UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SKRIPSI

1544

Nomor Persoalan : TKM 525T/II/2000/2001/XII/1/GH/05.07/2002

REDESIGN INDUSTRIAL ROBOT KAWASAKI FS30L FOR POLISHING APPLICATION

Disusun Oleh :

FARHAN SHAUMI AGUSTIANTO

96 / 109084 / TK / 21035

TGA01861

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA

2002

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Diajukan untuk memenuhi

sebagian syarat guna memperoleh

gelar Sarjana

di Jurursan Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Gadjah Mada

Telah disetujui untuk diuji

Dosen Pembimbing

21/06 2002

Ir. Gregorius Harjanto
NIP : 130 422 735

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

" Kamu tidak dapat menuntut ilmu kecuali dengan dukungan enam perkara, yaitu cerdas, gemar belajar, sabar, tekun, dan bersungguh-sungguh, memiliki biaya, dibantu oleh guru, dan belajar dalam jangka waktu lama." *(Imam asy-Syafi'i)*

Kupersembahkan untuk :

- Allah SWT, Raja segala mahkluk
- Nabi Muhammad SAW, Sang pembawa lentera Islam
- Bapak dan Ibu tercinta di Yogya yang selalu mendoakan dan kudoakan
- Bapak dan Ibu tercinta di Tulungagung, terima kasih buat doanya
- Galuh tersayang, makasih buat, keikhlasan, kesabaran, dan kesetiaan menemaniku
- Ayuk Farah dan Mas Furqon, thank's mentahannya
- Adek Fuad, banyak senyumlah untuk sedekah
- De' Esta dan de' Esti, thank's untuk kebaikannya
- Rendra, ojo tambah ireng yo
- Om Wid, kapan tanggal mainnya

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang berkat rahmat dan hidayah-Nya penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat selalu tercurah bagi Nabi kita Muhammad saw, yang telah menjadi pemimpin terbesar bagi umatnya dan selalu menjadi contoh bagi pemimpin-pemimpin dunia.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persaratan akhir guna menyelesaikan program Strata-1 dan memperoleh gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Tugas akhir ini mengambil topik Robot Kawasaki FS30L dengan modifikasi pada end effector untuk aplikasi proses finishing khususnya proses polishing di industri otomotive. Penyusun mengambil topik ini sebagai lanjutan dari mata kuliah Robot Industri I dan II sebagai mata kuliah pilihan, sehingga Tugas Akhir ini lebih menekankan pada desain Kinematis dan Dinamis Robot dengan sedikit memaparkan proses polishing itu sendiri.

Pada kesempatan ini, penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penyelesaian penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain :

1. Bapak Dr. Ir. Indarto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
2. Bapak Ir. G. Harjanto selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Mudjijana,M.Eng selaku Dosen Wali.
4. Seluruh Dosen dan Staff Tata Usaha Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
5. Semua rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan informasi dan perhatiannya, terutama Sdr. Ali Ansori, Padmanaba Bayu, Wahyu Adi, Agung, Sarmin, Wahyu Kresna, Wisnu, Hajar,Aries dan semua rekan-rekan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Akhir kata, semoga apa yang menjadi tujuan dan sasaran penyusunan Tugas Akhir ini dapat tercapai, sehingga dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Yogyakarta, Juli 2002

Penyusun

Farhan Shaumi Agustianto
96/109084/TK/21035

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto, Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR

Kuliah : TKM 525T (ROBOT INDUSTRI)

Mahasiswa : FARHAN SHAUMI AGUSTIANTO

r Mahasiswa : 96/109084/TK/21035

r PERSOALAN : TKM 525T/II/2000/2001/XII/1/GH/05.07/2002

Rancang sebuah robot Industri Kawasaki FS30L dengan payload 30 kg untuk aplikasi pada proses Polishing, lengkap dengan gambar dan detail yang penting !

Yogyakarta, 5 Juli 2002

Dosen Pembimbing

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Intisari

Industri robot dewasa ini mengalami perkembangan yang sangat cepat seiring dengan kemajuan teknologi yang mendukungnya antara lain : komputerisasi, *software*, pengetahuan bahan, elektronik, mikroprosesor, dan sebagainya. Perkembangan ini dilatar belakangi oleh meningkatnya kebutuhan barang akibat pertambahan penduduk dunia dan gaya hidup modern yang menginginkan segala sesuatunya dapat dilakukan secara cepat. Robot industri merupakan salah satu mesin produksi yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut meskipun di negara berkembang teknologi ini belum populer.

Robot Kawasaki seri FS30L merupakan robot 6 derajat kebebasan dengan spesifikasi untuk *material handling* dengan kelebihan tingkat kecepatan, *work envelope* yang luas, serta tingkat akurasinya yang tinggi.

Untuk merancang ulang Robot Kawasaki FS30L yang diaplikasikan untuk proses *polishing* ditentukan terlebih dulu torsi yang terbesar yang dialami tiap *joint* menggunakan metode Newton Euler yang digunakan untuk merancang sistem transmisi. Tiap *joint* robot menggunakan minimum 3 tingkat kecepatan dengan sumber penggerak dari servomotor AC yang sudah ditentukan sebelumnya. Kekuatan struktur dan defleksi lengan dihitung pada saat manipulator berada pada posisi kritisnya.

Tujuan perancangan ulang Robot Kawasaki FS30L ini dimaksudkan guna membandingkan data-data pada katalog yang dikeluarkan oleh Kawasaki dengan perhitungan yang dilakukan penyusun. Dari perancangan yang dilakukan oleh penyusun diperoleh torsi yang lebih besar sehingga ukuran tiap *joint* menjadi lebih besar pula.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN iii
KATA PENGANTAR iv
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR vi
INTISARI vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI xvi
BAB I. PENDAHULUAN 1

I.1. Definisi Robot 1
I.2. Klasifikasi Robot 3
I.3. Sejarah Perkembangan Robot Industri 17
I.4. Standarisasi Robot dan Industri otomatis 29
I.4.1. Robotics Industries Association R15 Standard Committee 29
I.4.2. Association A15 Standard Committee 32
I.5. Aplikasi Robot Finishing 35
I.5.1. Pengertian Polishing 37
I.5.2. Aplikasi di Industri 38
I.5.3. Peralatan dan kegunaannya 54
I.5.4. Kekasaran Permukaan dan Hasil Proses Polishing 61

BAB II. ROBOT INDUSTRI KAWASAKI FS30L 68

II.1. Diskripsi Robot Kawasaki 68
II.1.1. Sejarah Perusahaan 68
II.1.2. Visi dan Misi Perusahaan 70
II.2. Spesifikasi Robot Kawasaki FS30L 71
II.3. Kemampuan Operasi Robot Kawasaki FS30L 73
II.4. Aplikasi Robot Kawasaki FS30L untuk Proses Polishing 77

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III 80

III.A. GRIPPER 80
III.A.1. Definisi Gripper 81
III.A.2. Klasifikasi Gripper 81
III.A.2.1. Parallel Gripper 81
III.A.2.2. Angular Gripper 82
III.A.2.3. Toogle Gripper 82
III.A.2.4. 2 Jaw dan 3 Jaw Gripper 83
III.A.2.5. Internal dan External Gripping 84
III.A.3. Pemilihan Finger 85
III.A.4. Pemilihan Gripper untuk Proses Polishing 85

III.B. KINEMATIKA DAN DINAMIKA
ROBOT KAWASAKI ZX 130S 92
III.B.1. Posisi 1 94
III.B.2. Posisi 2 104
III.B.3. Posisi 3 114
III.B.4. Posisi 4 124
III.B.5. Posisi 5 134
III.B.6. Posisi 6 144

III.C. MOTOR LISTRIK DAN KONTROLLER 154

III.D. PERHITUNGAN SISTEM TRANSMISI PADA TIAP JOINT 161
III.D.1. Perancangan Transmisi Joint 1 161
III.D.2. Perhitungan Transmisi Joint 1,2 172
III.D.3. Perhitungan Transmisi Joint 3,4 179
III.D.4. Perancangan Transmisi Joint 5 187
III.D.5. Perancangan Transmisi Joint 6 197

BAB IV. ANALISIS STRUKTUR ROBOT FS30L 215

IV.1. Kekuatan Struktur Link-5 216
IV.2. Kekuatan Struktur Link-4 218
IV.3. Kekuatan Struktur Link-3 221
IV.4. Kekuatan Struktur Link-2 222
IV.5. Kekuatan Struktur Link-1 224
IV.6. Perhitungan Defleksi tiap Link 226

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V. OPERASIONAL DAN PERAWATAN ROBOT FS30L 229

V.1.Jadwal Pengecekan 229
V.1.1. Pengecekan Perhari 231
V.1.2. Pengecekan Tambahan per 5000 jam (satu tahun) 232
V.1.3. Pengecekan tambahan per 10.000 jam (2 tahun) 233
V.2. Pelumasan 234
V.2.1.Application Chart Pelumasan 235
V.2.2. Pengecekan Tegangan Timing Belt 236
V.2.3. Pengencangan Baut 236
V.3. Overhaul setelah 20.000 jam (4 tahun) waktu operasi 237

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN 238

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1. Revolute Robot 4
Gambar I.2. Polar Robot 5
Gambar I.3. Cylindrical Robot 5
Gambar I.4. Cartesian Robot, Sliding type 6
Gambar I.5. Cartesian Robot, Gantry type 6
Gambar I.6. Scara Robot 7
Gambar I.7. Operational Block Diagram of a-six axis Revolute Robot 10
Gambar I.8. Repeatability 14
Gambar I.9. Accuracy 14
Gambar I.10. Repeatability & Accuracy 15
Gambar I.11. CNC Polishing Center 36
Gambar I.12. Robotic Canopy Polishing 39
Gambar I.13. JS 10 Robot Polishing 40
Gambar I.14. Polishing Robot for Steinless steel Workpiece 40
Gambar I.15. Robotcell for Polishing Brass Lightshades 41
Gambar I.16. Abrasive Belt Polishing Robot 42
Gambar I.17. Carat Robotic for Buffing Wheel Polishing 42
Gambar I.18. Zeta two Robot for Plishing 43
Gambar I.19. Polishing Wheel (Bright Work, Inc) 56
Gambar I.20. Air-flex Polishing Wheel 57
Gambar I.21. Steinless steel Compound 58
Gambar I.22. Standard Surface Finish Terminology and Symbol 61
Gambar I.23. Surface Roughness Measurement 62
Gambar I.24. Visualisasi Hasil Proses Polishing 67
Gambar II.1. Robot Kawasaki FS30L 75
Gambar II.2. Work Envelope Robot Kawasaki FS30L 76
Gambar II.3. Dimensi Material yang akan dipolish 77
Gambar II.4. Sketsa Proses Polishing menggunakan Robot Kawasaki FS30L 78

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar II.5. DAN Technoloy Robotized Systems for Steinless Steel 79
Gambar III.A.1. Cara Kerja Gripper Pengganti Tangan Manusia 80
Gambar III.A.2. Parallel Gripper 81
Gambar III.A.3. Angular Gripper 82
Gambar III.A.4. Toggle Gripper 82
Gambar III.A.5. 2 Jaw Gripper 83
Gambar III.A.6. 3 Jaw Gripper 83
Gambar III.A.7. External and Internal Gripper 84
Gambar III.A.8. Encompassing and Retention 85
Gambar III.A.9. 3-point Gripper HGD-50-A 90
Gambar III.B.1. Parameter Link dan Joint pada Robot 92
Gambar III.B.2. Model 3D Robot Kawasaki FS30L 93
Gambar III.B.3. Posisi 1 94
Gambar III.B.4. Posisi 2 104
Gambar III.B.5. Posisi 3 114
Gambar III.B.6. Posisi 4 124
Gambar III.B.7. Posisi 5 134
Gambar III.B.8. Posisi 6 144
Gambar III.C.1. C-Controller 155
Gambar III.C.2. Multi Function Panel 156
Gambar III.C.3. Small Sized Teach Pendant 157
Gambar III.C.4. AC- Servomotor 158
Gambar III.C.5. Brake Assembly 158
Gambar III.C.6. Circuit Block Diagram 159
Gambar III.C.7. Servo Amplifier Block Diagram 159
Gambar III.D.1. Sistem Transmisi Joint 1 162
Gambar III.D.2. Sistem Transmisi Joint 2 172
Gambar III.D.3. Sistem Transmisi Joint 3 179
Gambar III.D.4. Sistem Transmisi Joint 4 180
Gambar III.D.5. Sistem Transmisi Joint 5 187

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar III.D.6. Sistem Transmisi Joint 6 197
Gambar IV.1. Posisi Robot Untuk Momen Maksimum 216
Gambar IV.2. Penampang Link-5 217
Gambar IV.3. Penampang Link-4(bagian I) 219
Gambar IV.4. Penampang Link-4(bagian II) 220
Gambar IV.5. Penampang Link-3 221
Gambar IV.6. Penampang Link-2 223
Gambar IV.7. Penampang Link-1 225
Gambar V.1. Lubricant Application Chart 235
Gambar V.2. Belt Tension Spesification 236

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel I.1. Sejarah Perkembangan Organisasi Robot 17
Tabel I.2. Tipe Compound dan Kegunaannya 57
Tabel I.3. Penggunaan Compound dan Materialnya 59
Tabel I.4. Lay Symbols for Engineering Surfaces 64
Tabel I.5. Tingkat Kekasaran beberapa Komponen Engineering 65
Tabel I.6. Kisaran Tingkat kakasaran dari berbagai macam proses Manufaktur 66
Tabel II.1. Spesifikasi Robot Kawasaki FS30L 72
Tabel III.A.1. Spesifikasi 3-point Gripper HGD-50-A 90
Tabel III.C.1. FS30L-series Servomotors 154
Tabel III.C.2. Spesifikasi Encoder 160
Tabel III.D.1. Perhitungan Transmisi Joint 1,2 173
Tabel III.D.2. Perhitungan Transmisi Joint 3,4 180
Tabel III.D.3. Perhitungan Transmisi Joint 5 192
Tabel III.D.4. Spesifikasi Bevel Gear pada Joint 6 207
Tabel III.D.5. Perhitungan Transmisi Joint 6 210
Tabel V.1. Preventive Maintenance Schedule 230
Tabel V.2. Daily Maintenance Checks 231
Tabel V.3. 5,000 Hour Maintenance Checks 232
Tabel V.4. 10,000 Hour Maintenance Checks 233
Tabel V.5. FS30L Lubricants 234
Tabel V.6. Tightening Torque Values 237

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaum Aqustianto, Ir. Gesang Nugroho
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 6.2 Harga Modul Standar (JIS B 1701-1973) 245
Tabel 5.1 Faktor Koreksi 245
Tabel 6.5 Faktor Bentuk Gigi 246
Tabel 6.6 Faktor Dinamis f_v 246
Tabel 6.8 Faktor Tegangan Kontak pada Bahan Roda Gigi 246
Tabel 6.7 Tegangan Lentur yang Diijinkan σ_a pada Bahan Roda Gigi 247
Tabel 1.1 Baja Karbon untuk Konstruksi Mesin dan Baja Batang yang difinis dingin untuk Poros 249
Tabel 1.2 Baja Paduan untuk Poros 249
Tabel 1.8 Ukuran Pasak dan Alur Pasak 250
Tabel 6.16 TeganganLentur yang Diijinkan dan Tegangan Kontak yang Diijinkan (roda gigi kerucut) 251
Tabel 6.17 Faktor Beban Lebih K_o, C_o 251
Tabel 6.18 Faktor Pembagian Beban K_m, C_m 252
Tabel 6.19 Koefisien Elastic C_p ($\sqrt{kg/mm}$) 252
Tabel 6.20 Tegangan Lentur yang Diijinkan σ_{ba} (kg/mm^2) 253
Tabel 6.21 Faktor Bentuk Roda Gigi Cacing Y 253
Tabel 6.22 Faktor Tahan Aus K_c 253
Tabel 6.23 Faktor Sudut Kisar K_γ 253
Tabel 5.10 (a) Tipe, Ukuran dan Pemakaian Sabuk Gilir 255
Tabel 5.10 (b) Nomor Nominal, Jumlah Gigi, dan Panjang, untuk Sabuk Gilir Standar 256
Tabel 5.11 Faktor Koreksi yang Harus Ditambahkan untuk Meningkatkan putaran dan Persyaratan Kerja Luar Biasa 256
Tabel 5.12 Kapasitas Daya yang Ditransmisikan setiap Inch (25,4 mm) Lebar Sabuk Gilir, P_o (kW) 257
Tabel 5.13 Jumlah Gigi Puli Minimum yang Diijinkan 258
Tabel 5.14 Faktor Koreksi untuk Berbagai J.G.T.(Jumlah Gigi Terkait) 258
Tabel 5.15 ΔC_i dan ΔC_t untuk Sabuk Gilir 259
Tabel 4.1 Sifat-sifat Bahan Bantalan Luncur 261
Tabel 2.25 Sifat-sifat Mekanik Paduan Al-Cu-Mg 262

DAFTAR GAMBAR

Gambar 6.24 Diagram Pemilihan Modul Roda Gigi Lurus (Lenturan) 248
Gambar 6.26 Faktor Bentuk Roda Gigi untuk Roda Gigi Lurus 248
Gambar 6.36 Faktor Dinamis Roda Gigi Kerucut 251
Gambar 6.37 Roda Gigi Kerucut Lurus dengan Sudut Tekanan 20° dan Sudut Poros 90° 252
Gambar 6.33 Nama Bagian-bagian Roda Gigi Kerucut 254
Gambar 6.38 Roda Gigi Kerucut Lurus dengan Sudut Tekanan 20° dan Sudut Poros 90° 254
Gambar 5.15 Lebar Sabuk Gilir Standar 257
Gambar 5.13 Sabuk Gilir 258
Gambar 5.14 Diagram Pemilihan Sabuk Gilir 258

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Daftar Notasi

a	jarak sumbu poros (mm)
A	luas penampang (mm^2)
$\Delta C_I, \Delta C_t$	daerah penyetelan (mm)
b	lebar roda gigi (mm)
c_k	kelonggaran puncak (mm)
c_o	kelonggaran belakang (mm)
c	jarak sumbu poros puli (mm)
C	beban nominal dinamis (N)
C_p	perbandingan jarak sumbu poros dengan jarak bagi
d	sudut kerucut jarak bagi ujung luar (^{o})
δ	sudut kerucut jarak bagi (^{o})
δ_k	sudut kerucut kepala (^{o})
δ_f	efisiensi
d_B	diameter naf puli kecil (mm)
d_f	diameter kaki (mm)
d_k	diameter lingkaran kepala (mm)
d_o	diameter lingkaran jarak bagi (mm)
d_p	diameter jarak bagi puli kecil (mm)
d_s	diameter minimum poros pejal (mm)
D_B	diameter naf uli besar (mm)
D_p	diameter jarak bagi puli besar (mm)
f_v	faktor dinamis
f_w	faktor lebar
F_n	berat roda gigi ke-n (kg)
$F_b = F'_b = F_{ab}$	beban lentur yang diijinkan (kg/mm^2)
F_c	faktor koreksi
$F_H = F_{ac} = F'_H$	beban permukaan yang diijinkan (kg/mm^2)
F_{min}	beban terkecil yang diijinkan (kg/mm^2)
F_H	beban permukaan yang diijinkan (kg/mm^2)
F_r	gaya radial yang terjadi (N)
F_t	gaya tangensial (kg)
g	percepatan gravitasi (9,807 m/s^2)
G	modulus geser (kg/mm^2)
γ	sudut kisar (^{o})
h_f	tinggi kaki (mm)
h_k	tinggi kepala (mm)
H	kedalaman gigi penuh (mm)
HB	kekerasan *brinell*
HRC	kekerasan *rockwell*
i	rasio kecepatan
I	momen inersia (mm^4)
J	faktor geometri

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

J_n	momen girasi (gram.cm^2)
JGT	jumlah gigi terkait
k_H	faktor tegangan kontak
K_v	faktor dinamis
K_o	faktor beban lebih
K_m	faktor distribusi beban
K_s	faktor ukuran
K_c	faktor tahan aus
K_γ	faktor sudut kisar
L_h	umur nominal bantalan (jam)
L_p	panjang keliling sabuk gilir (mm)
m	modul
M	momen lengkung (kg.mm)
n	putaran (rpm)
p	jarak bagi penampang sabuk gilir (mm)
P_m	daya yang ditransmisikan (kW)
P_d	daya perancangan (kW)
P_o	daya yang ditransmisikan persatuan lebar (kW)
r	jari-jari jarak bagi roda gigi (mm)
R	sisi kerucut (mm)
σ_T	tegangan tarik (kg/mm^2)
σ_B	kekuatan tarik (kg/mm^2)
σ_a	tegangan lentur yang diijinkan (kg/mm^2)
σ_b	tegangan lentur (kg/mm^2)
s	tebal lingkar gigi (mm)
S_f	angka keamanan
Σ	sudut poros (^{o})
t	waktu (detik)
T_d	torsi untuk perencanaan (N.m)
τ_a	tegangan geser ijin (kg/mm^2)
τ_j	torsi joint (N.m)
θ	sudut kontak (^{o})
θ_k	sudut kepala (^{o})
θ_f	sudut kaki (^{o})
v	kecepatan keliling (m/s)
ω	kecepatan sudut (rad/s)
W_b	lebar sabuk gigi di pasaran (mm)
W_w	lebar gigi puli (mm)
x	faktor perubahan kepala
X	jarak dari puncak ke puncak gigi luar (mm)
Y	faktor bentuk gigi
z	jumlah gigi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Definisi Robot

Berdasarkan fakta terdapat banyak definisi robot, bila kita bertanya kepada orang awam biasanya mereka akan menjawab bahwa robot adalah mesin yang mirip manusia yang banyak digambarkan di buku-buku komik maupun film-film. Belum ada suatu definisi yang dijadikan sebagai standar untuk internasional, namun demikian ada beberapa definisi yang dibuat oleh perkumpulan yang bergerak di bidang robot yang dapat kita jadikan acuan untuk memahami pengertian robot sekaligus mengetahui/membedakan antara robot dan yang bukan robot.

British Robot Assosiation (BRA) mendefinisikan robot sebagai[1] "*sebuah peralatan yang dapat diprogram ulang dan mempunyai minimal 4 derajat kebebasan untuk menggerakkan dan memindahkan barang, alat atau perkakas tertentu menurut gerakan yang terprogram untuk melaksanakan pekerjaan produksi tertentu*". BRA membatasi definisi robot untuk minimum 4 derajat kebebasan gerak, sehingga jika suatu mesin yang mempunyai kurang dari 4 derajat kebebasan menurut pengertian ini bukanlah sebuah robot.

Robotics Institute of America (RIA) mendefinisikan robot sebagai[1] " *sebuah alat yang dapat diprogram ulang dengan multifungsi manipulator untuk menggerakkan material, barang, alat, atau peralatan khusus menurut gerakan yang diprogram guna melakukan bermacam-macam pekerjaan*".

Japan Industrial Robot Association (JIRA) dan *Japanese Industrial Standards Committee* [1.1] di dalam daftar istilah-istilah untuk industri robot (JIS B 0134-1979) mendefinisikan[1]"*Manipulator adalah sebuah mesin yang mempunyai fungsi yang hampir sama dengan bagian atas tubuh manusia, dan menggerakkan suatu obyek dari suatu*

[1] *Engineering Foundations of Robotics* (Francis N. Nagy Phd.) Department of Electronic and Electrical Engineering University of Salford, United Kingdom (Andras Siegler Dr Eng) Computerr and Automation institute Department of Robotics and Computer Vision Hungarian Academy of Sciences Budapest, Hungary.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tempat ke tempat yang lain dalam satu ruang (No.1101)*....*Playback* robot adalah *sebuah manipulator yang dapat melaksanakan suatu operasi dengan membaca informasi memori untuk urutan operasi, termasuk kedudukan dan sejenisnya yang dipelajari secara manual terlebih dahulu* [No.1108]".

Salah satu perbedaan pendekatan standarisasi antara Negara barat dengan Jepang adalah negara barat tidak mengklasifikasikan *fixed* (*dedicated*) *machines* sebagai robot meskipun kadangkala mesin tersebut cukup fleksibel. Sebagai contoh sebuah mesin pemotong otomatis beroperasi menurut urutan proses yang tidak dapat diubah tanpa mengindahkan bagaimana input yang diberikan, menurut standar Jepang mesin pemotong ini merupakan sebuah robot (istilah Jepang : *fixed sequence robot*, JIS B 0134-1979, No. 1104), contoh yang lain adalah *pick and place devices* yang mengangkat sebuah lembaran dari suatu posisi dan kemudian menurunkannya ke mesin pemotong. Meskipun menurut fakta mesin tersebut dapat di*setting* secara manual tetapi mesin tersebut cukup fleksibel, menurut standar barat mesin tersebut bukanlah sebuah robot, mesin tersebut dapat disebut sebuah robot jika penyetelan operasi dapat dilakukan menggunakan *software*. Menurut standar Jepang mesin *pick and place* tersebut merupakan sebuah robot.

Sebuah mesin CNC menurut standar Barat tidak cukup fleksibel untuk disebut sebagai robot dikarenakan mesin CNC hanya digunakan untuk melakukan pekerjaan yang tetap, namun di lain pihak menurut standar Jepang mesin tersebut bisa disebut sebagai sebuah robot.

Computer Aided Manufacturers International (CAM-I) USA mendefinisikan robot sebagai[1] "*sebuah alat untuk menjalankan beberapa fungsi yang biasa dilakukan manusia atau terlihat beroperasi seperti memiliki kecerdasan manusia*".

Ada pendapat yang lain yang mendefinisikan robot sebagai[1] "*sebuah mesin otomatis dengan derajat kepastian sendiri, yang didesain untuk berinteraksi secara aktif kepada lingkungannya*". Menurut definisi ini robot adalah sebuah mesin otomatis, istilah inilah yang dapat menimbulkan suatu kebingungan. Sebuah mesin, untuk dapat disebut sebagai robot harus dapat merespon sebuah rangsangan berdasarkan informasi yang diterima dari lingkungan, tidak peduli kemungkinan terbatasnya lingkungan tersebut.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Robot akan menterjemahkan respon secara buta atau menggunakan sensor aktif untuk membawa perubahan yang dibutuhkan lingkungannnya.

Untuk membedakan secara lebih jelas lagi definisi robot, kita membagi robot berdasarkan fungsi operasi yang dijalankannya yakni ; "*sensing*" atau merasakan lingkungan dengan menggunakan sensor seperti; penglihatan, suara, sentuhan, jarak, dan sebagainya. "*making decision*" atau membuat keputusan berdasarkan informasi yang diterima dari sensor. Dan yang terakhir adalah "*deciding*" atau aksi yang dibutuhkan apabila sebuah keadaan terjadi atau tidak terjadi.

Dari beberapa definisi diatas terdapat pengertian bahwa robot merupakan sebuah mesin yang merupakan duplikasi atau mencontoh lengan manusia khususnya untuk robot sendi banyak. Pergelangan tangan manusia memiliki tiga buah sendi kecil sedangkan lengan manusia memiliki dua sendi besar yakni bahu dan siku. Untuk pergelangan tangan ketiga sendi tersebut adalah :

Roll dengan derajat gerakan $180^\circ \leftrightarrow 0^\circ \leftrightarrow +90^\circ = 270^\circ$
Pitch dengan derajat gerakan $-90^\circ \leftrightarrow 0^\circ \leftrightarrow +50^\circ = 140^\circ$
Yaw dengan derajat gerakan $-45^\circ \leftrightarrow 0^\circ \leftrightarrow +15^\circ = 60^\circ$

Dengan derajat gerakan tersebut lengan manusia dapat melakukan gerakan yang kompleks, meskipun tidak ada robot yang menyamai lengan manusia, robot dapat melakukan banyak hal yang mengganti peran lengan manusia.

I.2. Klasifikasi Robot

Robot dapat kita klasifikasikan berdasarkan :

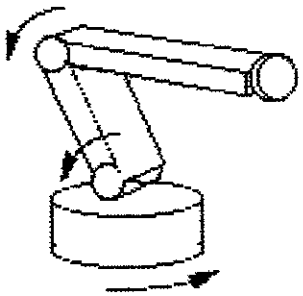
1. Bentuk dan gerakan robot.
2. Lintasan berdasarkan kontrol geraknya.
3. karakteristik pekerjaan dari robot tersebut.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Berdasarkan bentuk dan gerakannya robot terbagi menjadi [2]:

1. *Revolute (jointed arm) Robot*

Revolute Robot merupakan jenis terbaik dalam meniru gerakan dari tangan manusia dan sering disebut dengan *Anthropomorphic Robot* . Dengan kelebihan tersebut robot jenis ini lebih mudah untuk menyesuaikan diri dalam pekerjaan yang biasa dilakukan oleh manusia dibandingkan dengan robot jenis lain. Contoh Robot Asea (Irb-6, Swedia), Unimation (Puma 550, 560, 760, US dan UK).



Gambar I.1. Revolute Robot

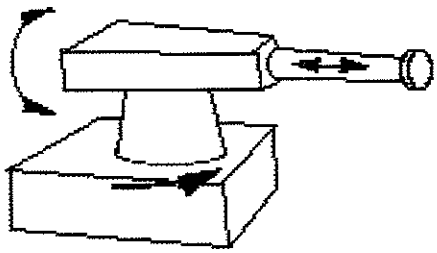
2. *Polar (spherical) Robot*

Robot jenis ini berputar dengan sumbu putar pada base, sumbu putar yang kedua adalah sumbu putar horizontal, kedua sumbu tersebut memungkinkan lengan robot berputar pada posisi vertikal. Lengan robot dapat melakukan gerakan melingkar yang membentuk sebuah bagian dari bola, sedangkan tiga derajat kebebasan yang dipunyai oleh robot jenis ini dikarenakan terdapat sebuah *prismatic joint* pada lengan yang dapat bergerak masuk dan keluar. Contoh robot

[2] *Engineering Foundations of Robotics* (Francis N. Nagy Phd.) Department of Electronic and Electrical Engineering University of Salford, United Kingdom (Andras Siegler Dr Eng) Computerr and Automation institute Department of Robotics and Computer Vision Hungarian Academy of Sciences Budapest, Hungary.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

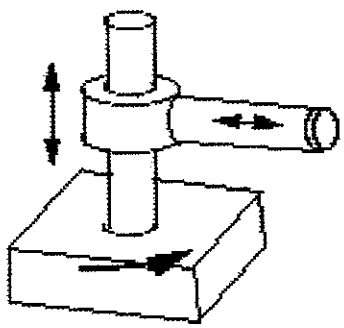
jenis ini antaara lain Unimation (series 1000, 2000, 40000, US), Prab (model 4200 dan 5800, Norway), GEC (Little Giant, UK).



Gambar I.2. Polar Robot

3. *Cylindrical Robot*

Terdiri dari sebuah *base*, sebuah lengan horizontal dan sebuah *prismatic joint*. Semua bagian *base* dapat bergerak turun dan naik, lengan horizontal dapat berputar mengitari sumbu vertikal dan lengan horizontal dapat bergerak masuk dan keluar bersamaan dengan gerak naik atau turunnya *base*. Contoh dari robot silinder ini antara lain : Prab (model E, FA, FB, FC, dan model G series, Norway), Peterson (Wiper 2500, 3000, UK), Fanuc (M-M1, M-M2, M-M3, Japan).

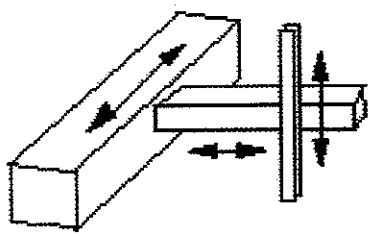


Gambar I.3. Cylindrical Robot

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. *Cartesian (rectangular) Robot, sliding type*

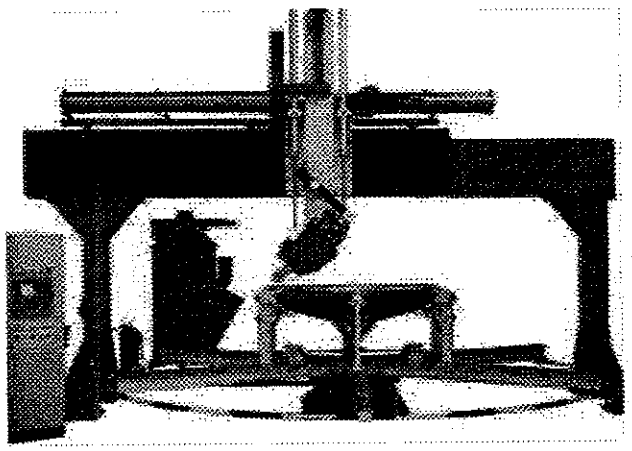
Pada robot jenis ini terdapat tiga sumbu lintasan, diwujudkan dalam gerak naik atau turun, gerak ke kiri atau ke kanan, dan gerak maju atau mundur yang kesemuanya merupakan gerak prismatik pada koordinat kartesian. Meskipun robot ini sangat presisi, robot ini tidak dianjurkan untuk beberapa aplikasi dikarenakan robot ini sulit untuk menyesuaikan diri untuk mengganti peran manusia. Contoh Robot kartesian ini adalah DEA Robot (Digital Electronic Automation SpA, model Pragma A 3000, Italy).



Gambar I.4. Cartesian Robot, Sliding Type

5. *Cartesian (rectangular) Robot, Gantry type*

Mekanisme gerak dari robot ini hampir sama dengan tipe *sliding*, hanya yang menjadi perbedaan adalah adanya kerangka luncur yang menjadi lintasan gerak robot. Contoh dari robot jenis ini adalah IBM (7565, US).

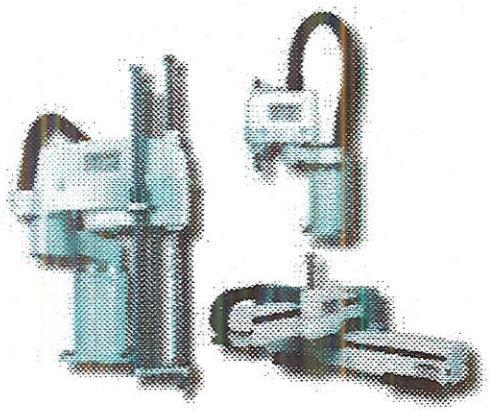


Gambar I.5. Cartesian Robot, Gantry type

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6. *SCARA type Robot*

SCARA Robot merupakan gabungan dari tipe *revolute* dan *cyndrical*. Pada sambungan putar terdapat sumbu vertikal yang memungkinkan gerakan horizontal. Konfigurasi robot SCARA memiliki sumbu putar vertical utama untuk beban karena gravitasi. Gaya Coriolis dan Sentrifugal tidak membebani struktur seperti jika sumbu tersebut horizontal. Keuntungan ini sangat penting bagi operasional robot pada kecepatan dan ketelitian tinggi. Contoh Robot SCARA antara lain; IBM (7535 dan 7545, US), Meta Machine (adeptone, UK).



Gambar I.6. Scara Robot

Berdasarkan klasifikasi yang kedua, yakni lintasan dari kontrol geraknya, Robot terbagi menjadi dua yaitu :

1. *Point-to-Point (PTP) Control*
2. *Continuous Path (CP) control*

Dengan *Point-to-Point Control*, robot diprogram untuk berhenti pada setiap titik guna merencanakan langkah selanjutnya. Meskipun berdasarkan fakta bahwa gerakan robot tidak dikontrol antara *set points*, hal tersebut biasanya terjadi secara alami berdasarkan geometri kinematik dari robot. Untuk robot dengan *Continuous Control* dapat mengikuti semua perintah kontrol secara tepat. *Point-to-Point Control*

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menunjukkan tingkat ketelitian dalam hal ketepatan dan *repeatability*, sedangkan *Continuous Path Control* menghasilkan gerak yang halus menurut lintasan yang pasti namun terdapat pengurangan kecepatan menurut hasil komputerisasi menggunakan metode interpolasi. Pengurangan kecepatan ini sekitar 15 – 25 %, yang menyebabkan ketidak ekonomisan proses kontrol, hal ini berakibat efisiensi akan turun jika dibandingkan dengan *Point-to-Point Control* untuk gerakan yang sama.

Berdasarkan karakteristik proses yang dilakukan robot dapat didefinisikan beberapa kriteria robot :

1. *Non-contact path following* – robot tidak langsung menyentuh objek, tetapi mengarahkan *tool* seperti *welding tool* atau *spray gun* dengan jarak tertentu dari *part*.
2. *Contact path following* – robot mengikuti permukaan *part* ketika melakukan operasi seperti *polishing*, atau *deburring*, sering digunakan sensor input seperti besaran gaya dan torsi untuk mengikuti bentuk permukaan *part*.
3. *Repetitive configuration moves* – robot bergerak berdasarkan urutan tertentu yang telah diatur oleh *teach pendant* dan melakukan operasi yang sama pada *part* yang ada, terkadang sensor seperti *vision camera* digunakan untuk mengatur gerak robot jika terdapat penyimpangan posisi *part* atau bentuk *part* yang tidak sama.
4. *Telerobotics* – kontrol terjadi karena hubungan dengan operator, lengan robot bergerak sesuai dengan gerak dengan operator.
5. *Target moves versus tought moves* – pada *terget moves tool* robot diperintahkan untuk bergerak ke sebuah posisi tidak secara fisik diajarkan, tetapi diketahui posisi tersebut relatif terhadap *base* robot. Pada *tought move*, robot diperintahkan untuk bergerak ke suatu posisi yang telah diajarkan dan dicatat terlebih dahulu. *Target moves* memerlukan model matematik dari invers kinematik robot, sedangkan *tought moves* hanya membutuhkan sebuah

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

controller untuk menggerakkan robot dan dengan encoder akan diketahui putaran *joint* untuk menyusun urutan geraknya.

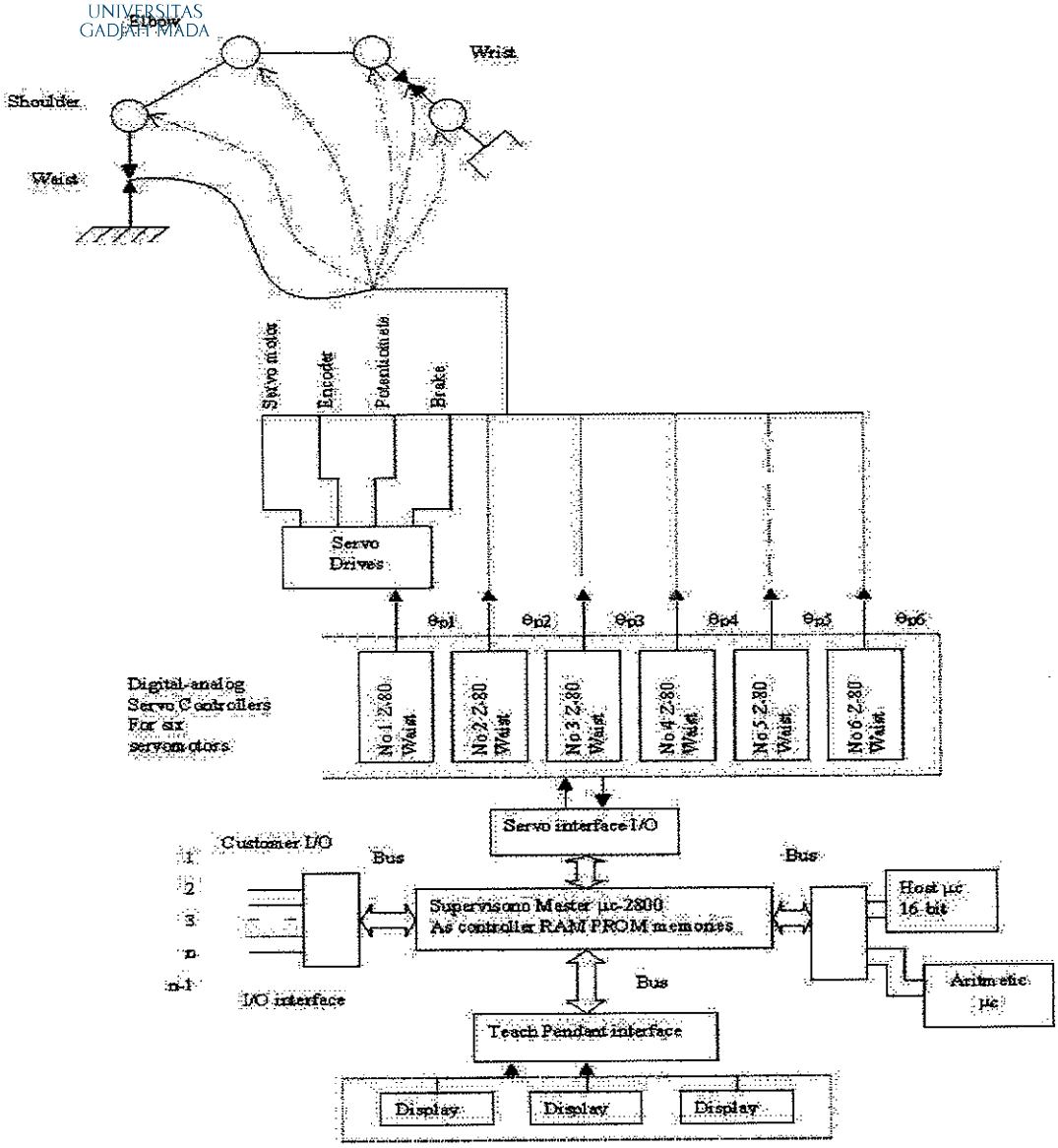
Untuk mengerti struktur kinematik dari robot, bagaimana kerja robot, dan kesesuaian dengan pekerjaan yang akan dilakukan, kita harus menguasai berbagai disiplin ilmu seperti; *mechanical and control engineering*, *analog* dan *digital electronik*, ilmu komputer, proses fabrikasi, dan ilmu manajemen. Berbagai disiplin ilmu tersebut harus berjalan seiring untuk dapat menghasilkan sebuah robot yang benar-benar optimum.

Komponen-komponen utama dari robot adalah :

- *Manipulator*
- *Controller*
- *Power Drive/Supply*
- *Teach Pendant/Manual Control*
- *Auxiliary peripheral terminals*

Robot banyak digunakan di dunia industri dengan derajat kebebasan yang berbeda-beda sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan. Untuk *robot workpiece transfer* biasanya digunakan 3 derajat kebebasan, untuk robot dengan aplikasi *pick and place* digunakan 4 derajat kebebasan. Robot industri dengan aplikasi yang lebih komplek menggunakan robot yang mempunyai derajat kebebasan yang lebih banyak seperti untuk operasi *painting* minimal robot tersebut harus memiliki 5 derajat kebebasan, serta untuk *assembly* digunakan robot dengan derajat kebebasan 6.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar I.7. Operational Block Diagram of a six-axis Revolute Robot.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Akhir-akhir ini terdapat 6 kategori standar untuk robot manipulator yang biasa kita jadikan pertimbangan dalam memilih robot yakni :

1. Terminologi dan Simbologi
2. Karakteristik dengan metode khusus
3. Standar konstruksi robot
4. Aturan-aturan mendesain
5. Metode tes dan kode tes
6. Hasil pemeriksaan

JIS B 0134, *National Bureau of Standards* (NBS), US, *Department of Commerce* (Special Report 459) merumuskan terminologi kerobotan :

1. Tipe Robot Industri

   Mengklasifikasikan robot industri berdasarkan :

   1.1. Informasi dan teaching

   1.2. Urutan informasi

   1.3. Konfigurasi Operasi
2. Istilah-istilah dasar yang menunjukkan fungsinya
3. Istilah-istilah dasar yang menunjukkan *performance* dan karakteristik
4. Istilah yang menunjukkan kinerja robot
5. Istilah yang menunjukkan operasional dn kontrol robot
6. Istilah yang menunjukkan kepandaian dari robot
7. Istilah yang menunjukkan tingkat keamanan

Istilah-istilah kunci yang terdapat dalam industri robot adalah:

- *Repeatability* – kemampuan mengulang gerakan yang diajarkan sebelumnya.
- *Accuracy* – kemampuan untuk bergerak menuju target yang belum diajarkan sebelumnya.
- *Tool speed* – kemampuan kecepatan linear robot ketika tool bergerak sepanjang garis lurus.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- *Screw speed* – kecepatan angular ketika tool berputar pada sebuah sumbu.
- *Joint interpolated motion* – gerakan dimana suatu joint membutuhkan waktu terlama untuk menentukan gerakan, sedangkan *joint* lain bergerak lambat secara proporsional sehingga semua *joint* tersebut menyelesaikan perubahan gerak masing-masing secara terus-menerus terhadap *joint* yang bergerak paling lambat.
- *Joint limits* – batas *software* atau *hardware* yang memaksa *joint* robot bergerak pada jangkauan maksimum. Batas *software* mempunyai jangkauan yang lebih kecil dari pada batasan *hardware*.
- *Joint speed limits* – batas kecepatan untuk *joint* robot yang membatasi kecepatan *links* robot dapat berpindah atau berputar.
- *Point-to-point motion* – karakteristik *starting* dan *stopping* antara gerakan *tool* menuju target-target.
- *Continous path motion* – karakteristik gabungan gerakan antara banyak target, biasanya disertai dengan pengurangan *accuracy* karena perpindahan target.
- *Interpolation (kinematic) capabilities* – robot biasanya mempunyai kemampuan untuk *forward* dan *inverse kinematics*. Gabungan keduanya memberikan kemampuan robot untuk bergerak pada koordinat *joint* dan kartesian yang kita maksudkan adalah gerak *joint*, linear atau gerak melingkar.
- *Forward kinematic* – menghitung kordinat *joint* untuk menyelesaikan sebuah gerakan robot, hal ini tidak semudah yang terlihat dikarenakan adanya *secondary joint* seperti *four-bar linkages, ball screws* dan lain-lain yang mungkin dibutuhkan untuk menyelesaikan gerakan ini.
- *Inverse kinematics* – menyelesaikan persamaan matematik dari kinematik robot untuk menghitung koordinat *joint* yang diperlukan untuk menggerakkan *tool* ke posisi tujuan. Hal ini diselesaikan dengan memperlihatkan koordinat *tool* pada sumbu x, y, z dan koordinat target merupakan *part* atau titik operasi dalam *workcell* . Inverse kinematik

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menghitung koordinat *joint* yang menggerakkan sumbu koordinat *tool* dengan sumbu koordinat target.

- I/O – input/output yang terdiri dari sinyal ON/OFF, *threshold values*, atau sinyal analog yang memungkinkan mengontrol atau merespon *external devices/sensors* untuk urutan kerja *workcell.*
- *Programming language* – bahasa dan logika susunan yang digunakan untuk memprogram perintah operasi guna mengontrol gerakan robot dan hubungannya dengan sensor dan peralatan lain.
- *Multi-tasking* – kemampuan untuk memproses lebih dari satu program dalam satu waktu atau proses I/O secara bersama-sama.
- *Load capability* – gaya dan torsi yang mampu diterima oleh robot untuk menggerakkan *tool.*
- TCF – *Tool* atau *Terminal Control Frame.*
- TCP – *Tool/Terminal Control Point.*
- *Teach Pendant* – alat operator yang digunakan untuk mengajarkan atau menyimpan urutan gerak robot dan perintah program yang sederhana.

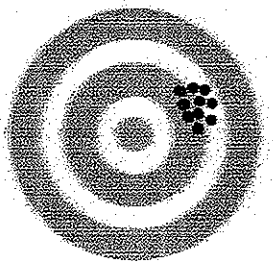
Repeatibility & Accuracy

Di dalam industri, sebuah robot tidak harus akurat untuk dapat menjadi *repeatable*, meskipun, sebuah robot tidak lebih akurat dari pada *repeatablenya.* Untuk itu, *accuracy* lebih rendah dari pada *repeatability*. Kedua istilah ini berhubungan , namun tidak saling mempengaruhi, untuk itu sangat penting untuk memahami perbedaan antara dua jenis istilah ini.

- *Repeatability*

  Repeatability adalah derajat dimana sebuah robot mampu untuk kembali ke sebuah titik referensi, seperti ujung dari *tool*, di dalam sebuah *workcell.* Perhatikan pada sebelah kanan dari *bullseye* dimana penembak menembak sasaran terkumpul saling berdekatan, meskipun begitu berada jauh dari *bullseye*. *Repeatability* dapat dimengerti sebagai sejauh mana sebuah group dapat dibuat.

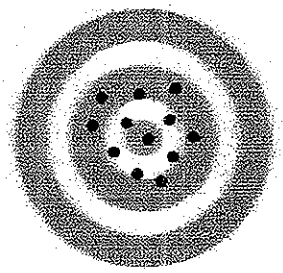
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar I.8. Repeatability

- *Accuracy*

  Accuracy adalah derajat dimana sebuah lengan robot dapat bergerak kesebuah titik yang diperintahkan dalam *workcell* ketika koordinat titik tersebut dimasukkan dari sebuah *offline programming station*, dihitung oleh program, atau diterima dari sebuah *vision system*. *Accuracy* menggambarkan seberapa dekat lengan tersebut akan bergerak ke titik tersebut. Pada *bullseye* dibawah, perhatikan bahwa semua lubang yang ditembak mendekati sasaran, tetapi masing-masing titik saling berjauhan. Kita tidak harus mempunyai *repeatability* yang bagus untuk mendapatkan *accuracy* yang baik.

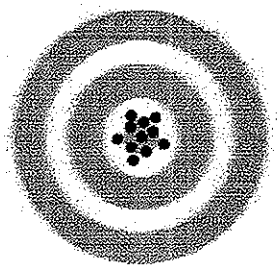


Gambar I.9. Accuracy

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Accuracy dan *Repeatability*

Accuracy dan *repeatability* adalah perhitungan dimana seberapa dekat sebuah *offline programmed point* dari robot dapat terjadi, dan seberapa dekat masing-masing titik tersebut. Perhatikan pada *bullseye* dibawah, titik-titik lubang semuanya ditengah-tangah target dan titik-titik tersebut saling berdekatan. Ini merupakan sebuah *accuracy* dan *repeatability* yang bagus. Sebuah robot dalam keadaan ini akan paling mudah untuk dilakukan *off-line program*.



Gambar I.10. Repeatability and Accuracy

Sejak dimulainya otomatisasi, *repeatability* telah menjadi sebuah masalah yang membutuhkan sebuah pemecahan. Ketika telah melakukan pekerjaan-pekerjaan, robot dapat mengalami keausan pada *machine ways* dan *bearingnya*. Keausan ini sangat berpengaruh besar pada *accuracy* dan *repeatability* robot, yang dapat mengakibatkan kesalahan kerja sampai pada kerugian materi bahkan kecelakaan operator. Ada beberapa metode yang berbeda untuk mengkoreksi penyimpangan ini, semua dengan teknologi yang bervariasi. Meskipun begitu pada dasarnya adalah dengan mensetting sebuah *repeatability checker*. Hal ini merupakan pengaturan yang sangat sederhana. Pada ujung *wrist* robot, bor sebuah lubang menggunakan 3/6' pisau *drill* dengan kedalaman ½' dari *wrist*. Pada sebuah daerah kerja robot, *install* sebuah *limit switch* dengan pisau *drill* yang sesuai. Buatlah program kepada robot untuk mengambil pisau *drill* pada *wrist* ke pisau *drill* pada *switch*. Jika kontak yang benar terjadi, IO membolehkan robot untuk melanjutkan peekerjaan, namun jika tidak robot akan berhenti dan operator akan segera tahu bila ada masalah dengan *repeatability* nya. Jika *switch* dapat dibuat dan titik-titik

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

masih mati, kemungkinan terdapat masalah pada *torch alignment*, *tooling*, *part* dan lain-lain.

Repatability bagaimanapun juga bukan hanya satu-satunya masalah yang dihadapi robot. *Repeatability* dari sebgaian besar robot industri jauh lebih baik dari pada *accuracy*nya. Umumnya *repeatability* berkisar antara 0.5 mm sedangkan *accuracy* sekitar 10 mm atau lebih jelek. Hal ini bukanlah merupakan sebuah masalah jika program robot menggunakan *teach pendant* dan penglihatan manusia. Adanya masalah hanya pada *repeatabilitynya*. Meskipun begitu ketika memprogram sebuah robot menggunakan sistem *offline* untuk menggerakkan robot secara numerik, *accuracy* robot menjadi sangat penting.

Dalam teorinya, dimungkinkan untuk memperbaiki *accuracy* sehingga dapat sebaik *repeatabilitynya*. Alasan mengapa *accuracy* dari robot sangat buruk adalah karena terdapat toleransi manufakturing yang terjadi selama proses produksi dari setiap robot. Dua sumber kesalahan terbesar adalah ketidaksesuaian pada panjang *link* robot dan titik nol pada setiap *joint*.

Yang dibutuhkan adalah sebuah sistem yang dapat memperhitungkan posisi xyz dari ujung robot, membandingkan dengan perkiraan posisi robot tersebut, dan akhirnya memperkirakan kesalahan (*error*) dan mencontohkan kesalahan ini untuk memperbaiki *accuracy* dari *offline programming*.

Terdapat juga *software* yang dapat memecahkan masalah tersebut yang disebabkan oleh *backlash, wear*, dan *normal vagrance* mesin.

Para *engineer* dari seluruh dunia berlomba-lomba mendesain mekanisme yang teruji untuk menjaga pertumbuhan penawaran untuk proses otomatisasi, robot melakukan banyak hal yang menakjubkan. Ketika sebagian besar para manufaktur robot mengklaim sebuah *repeatability* sebesar 0.2 mm (0.008 *inches*), CNC *machine tool* (bukan disebut robot) manufaktur mengklaim *repeatability* sebesar 0.0000254 mm(0.000001 *inches*) dan *accuracy* seimbang. Hal ini sebagian besar merupakan harapan dari keluhan dan toleransi manufaktur terlibat didalamnya. Sebuah mesin CNC ukuran sedang dapat membawa kemana saja dari 4-7 ton (8000-14000 lbs) dan mengangkat sampai dengan 1300 *inches*

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

per menit[3]. Sebuah robot mungkin dapat membawa sekitar 2000 pounds dan mengangkat 800 *inches* permenit. Tantangan yang dihadapi para engineer sekarang adalah bagaimana dapat mengawinkan keduanya. Membuat sebuah robot yang mempunyai *repeatability* dan *accuracy* yang sama dengan mesin CNC dan semakin cepat gerakannya.

I.3. Sejarah Perkembangan Robot Industri

Robot Industri dipatenkan pertama kali oleh George de Vol pada tahun 1954 beserta peralatan penunjang seperti; kontrol fotoelektrik, sistem rekam magnetik, namun sebetulnya robot telah digambarkan lewat imajinasi pada film *Star Wars* dan *Return of The Jedi*. Kata robot berasal dari kata Czech robotit yang berarti melakukan pekerjaan yang membosankan, istilah ini diperkenalkan oleh penulis drama berkebangsaan Czech, Karl Capek dalam karyanya yang berjudul Rossum's Universal Robot (R.U.R) awal tahun 1920-an..

Seorang insinyur perusahaan pesawat, Joe Engelberger tertarik dengan karya De Vol dan meyakinkan perusahaannya untuk mengembangkan robot, namun baru berhasil setelah Consolidated Diesel Electric bergabung dan terbentuk Unimation tahun 1960 dengan produk pertamanya Unimate untuk *die-casting* dan dijual kepada General Motor.

Setelah itu berdiri organisasi lain yang menekuni robot, perkembangan organisasi yang menekuni bidang robot disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel I.1. Sejarah perkembangan organisasi robot

NO	NAMA ORGANISASI	DIDIRIKAN
1.	Japan Industrial Robot Association (JIRA) c/o Kikaishinko Kaikan BL dg. 3-5-9. Shibakoen, Minato-ku, Tokyo 105 Japan.	Oktober 1972
2.	Robotic Industries Association (RIA)* one SME-Drive, 20501 Ford Road PO Box 1366 Dearborn, Michigan 48121 USA.	Juni 1974

[3] www2.et.byu.edu/~ered/robotics

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.	Italian Society for Industrial Robots (SIRI) c/o Etas compass, Via Mantegna, 6 Milano itali.	1975
4.	British Robot Association (BRA) 35-39 Hgh Street, Kempston, Bedford MK 427BJ United Kingdom.	1977
5.	French Industrial Robot Association (AFRI) 91 rue Falquieve, 75015 Paris, France.	1978
6.	Robotics International of SME one SME Drive Po box 930, Dearborn, Michigan 48128 USA.	1980
7.	Swedish Industrial Robot Association (SWIRA) storgatan 19, Box 5506 S-11485 Stoclholm Sweden.	1980
8.	Australian Robot Association 9 Queens Avenue MC Mohans Point, Sydney, NSW 2060 Australia.	1981
9.	Fachgemeinschaft Montagtechnik. Habdhabung Stechnik und Industrie Robot Postfach 710109 c/o VDMA D-6000 Frankfurt (Main) 71 West Germany.	Oktober 1981
10.	Danish Industrial Robot Association (DIRA) c/o Technological Institute Div of Industrial Automation. Gregersensvej Post box 141, OK-2630 Taasbup, Denmark.	Febuari 1982
11.	Singapore Robotic Association 5 Portsdown, Road, Off Ayer Rajah Road Singapore 0513 Republic of Singapore.	Juni 1982
12.	Robotic Society of Japan (Address, see JIRA)	Januari 1983
13.	The Robotics Society in Finland Po box 5500331 Helsinki 33 Finland	March 1983

Industri Otomotif di Amerika pada tahun 1999 mengalami peningkatan sampai 20 % dalam penggunaan robot untuk Industri Otomotif, mereka membeli lebih dari 60 %

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

robot pada tahun tersebut[4]. Fenomena ini terjadi seiring dengan relatif menurunnya harga robot untuk mendukung sistem fabrikasi mereka.

Semakin banyak perusahaan yang menggunakan robot untuk berbagai aplikasi untuk *metalcasting*, dari sistem sederhana seperti *mold* dan *core handling* sampai proses *cleaning rooms, machining, assembly*, robot banyak sekali digunakan untuk operasi *metalcasting*.

Salah satu hal yang menjadi pertimbangan memilih sistem robot adalah tingginya derajat fleksibilitas dalam operasionalnya, dan sekarang robot telah mengalami kemajuan yang sangat besar dalam hal fleksibilitas dibandingkan sepuluh tahun yang lalu. Kebutuhan konsumen semakin meningkat yang mengharuskan perusahaan memenuhi produk yang sangat beragam dengan volume yang dapat turun ataupun naik. Robot mampu untuk melakukan proses belajar, *machine vision*, kecerdasan buatan, dan teknologi peralatan yang fleksibel dapat memenuhi kapasitas serta keinginan dari pasar.

Sophisticated software dan *control* tergabung dalam sebuah operasi fabrikasi yang mendukung sistem yang fleksibel. Sistem yang fleksibel tersebut mampu membantu proses fabrikasi dengan cepat bila terjadi pergantian jadwal, desain yang variatif, dan merakit beberapa tipe dari komponen dengan meminimalisir *changeover times.*

Sebagai *customer* yang mengambil sikap "*Do what ever what ever I want-whenever I want it*" atau lakukan apapun, apapun yang saya inginkan kapanpun saya menginginkannya, banyak perusahaan yang menggantungkan fabrikasi dengan mengurangi *waste*, perencanaan kapasitas produksi rata-rata, mengurangi biaya dan waktu operator, peluncuran, dan pengiriman serta semakin pandai untuk menggunakan otomatisasi.

Kekuatan sistem robot adalah pada kemampuan untuk menyelesaikan berbagai operasi yang membutuhkan fleksibilitas, tetapi robot sendiri tidak akan mampu menjadi fleksibel atau digantungkan jika desain, *manufacturing, supplier* dan *customer* tidak diperhatikan.

Ketika sistem robot baru diperkenalkan dan digunakan pada proses di industri sekitar satu setengah dekade yang lalu, terdapat pandangan yang buruk tentang robot

[4] Journal - *Foundy Management & Technology*, John R Wright, 2000

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang diaplikasikan di industri manufaktur, otomotive misalnya, perusahaan Hamtranck, Michigan, terjadi kesalahan robot yang digunakan untuk *painting*(cat) mobil dimana ketika itu beberapa robot saling mengecat satu sama lain. Hal itu terjadi di waktu yang lalu, khususnya pada perkembangan teknologi robot dan sistem otomasi lain yang berhubungan.

Berikut akan digambarkan sebuah data yang menggambarkan perkembangan teknologi robot yang sangat cepat. " Hal yang tidak terjadi sebelumnya ketika banyak sekali permintaan akan robot industri khususnya di bidang Otomotif yang menjadi penggeraknya," dikatakan oleh Jan Karlsson, direktur *United Nations Commission for Europe* (UN/ECE). Di seluruh dunia melakukan permintaan untuk robot industri meningkat sampai 20 % pada tahun 1999 dari pada tahun 1998, Amerika Utara paling besar permintaan akan robot *skyrocketed* 60 %. Industri di Eropa meningkat permintaan akan robot 12 %, di lain pihak mereka meningkat 31 % pada tahun 1998. dari kesemuanya itu nampak sekali bahwa pada abad ke-21 ini merupakan "*the Age of the Robot*"[5].

Industri otomotif memberikan peranan yang terbesar pada tahun 1999, pembeliannya meningkat 24% dari tahun sebelumnya di seluruh dunia. Angka 60 % tersebut menggambarkan bahwa "*North America is the hottest robotics market in the world...triple the worldwide rate of growth*", seperti yang dikatakan oleh Donald A. Vincent,Executive Vice President RIA (Robotics Industries Association, Ann Arbor, Michigan. Amerika Utara melakukan pembelian pada tahun 1999 sebanyak 17.591 buah robot dengan total harga $1,4 billion, jenis robot yang terbanyak adalah *spot welding robots* yang meningkat sebesar 102 %, diikuti oleh *assembly robots* yang meningkat 100 %, seterunya yakni *material handling* sebesar 52 % dan *Arc welding* sebesar 46 % dibandingkan dengan tahun 1998[6].

Menurut RIA sekarang terdapat lebih dari 100.000 robot yang beroperasi di Amerika utara yang menempatkan Amerika sebagai negara terbanyak kedua setelah Jepang yang menggunakan robot dari segala bidang. Sebelumnya hanya terdapat 10 %

[5] Journal - *Foundy Management & Technology*, John R Wright, 2000
[6] Journal – *Material Handling Management*, vol 55, George Weimer, 2000

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dari perusahaan manufaktur yang sebenarnya dapat memanfaatkan robot untuk produksinya yang menggunakan robot dan selebihnya belum menggunakan robot.

Penggunaan robot pada manufaktur meningkat sangat cepat disebabkan karena beberapa hal, menurut Eric Mittelstadt, *chairman emeritus* dari *Fanuc Robotics North America Inc*, Rochester Hills, Michigan."robot dewasa ini lebih mudah untuk diprogram, robot juga sangat terbuka untuk berhubungan dengan komputer untuk meningkatkan proses. Biaya untuk mendapatkan informasi robot makin lama semakin berkurang termasuk biaya *software*, bahkan sekarang penggunaan robot semakin luas di industri, sekarang dapat kita lihat robot digunakan untuk "*material removal*" dan menggantikan mesin seperti "*CNC grinders*".

Salah satu faktor utama pada peningkatan sampai 60 % diatas adalah *United States Post Office* yang melakukan pembelian robot seharga $60 million, bagaimanapun juga aktivitas pada sistem robot dan otomatisasi sekarang pada puncaknya. Investasi pada sistem robot bagaimanapun juga menjadi sangat rumit dan membutuhkan teknologi tinggi, sehingga banyak perusahaan yang melakukan "*simulation route*" sebelum melakukan pada "*actual hardware*".

Bob Brown, presiden Deneb Robotic Inc, Troy, Michigan,a *subsidiary of Dassault Systems*, Paris mengatakan bahwa Pendekatan dengan simulasi 10.000 kali lebih murah dalam menyelesaikan masalah dari pada langsung pada hardware. Semakin banyak perusahaan yang menggunakan peralatan digital untuk memecahkan masalah dikarenakan tingginya biaya jika terjadi kesalahan dan besarnya modal yang dikeluarkan untuk proses otomatisasi[7].

Fanuc Robotics of America melakukan peragaan peningkatan fungsi robotnya pada tahun 2000 bersama Mori Seiki dalam hal penggabungan dengan peralatan lain di Westec, Los Angeles. Robot terbaru dari Fanuc yakni *Toploader Robots* khususnya M-710iT digabungkan dengan Moti Seiki SV500 *vertical machining center* dan sebuah SL *turning center*. Rel robot yang disediakan membuat sebuah "mobile robot" yang dapat bekerja untuk beberapa jenis mesin dan station. Dengan menggunakan 6 derajat kebebasan (satu linear, 5 rotary), M-710iT mampu untuk menangani benda kerja diantara

[7] Journal – *Material Handling Management*, vol 55, George Weimer, 2000

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

beberapa operasi dan melayani kedua mesin tersebut dengan biaya yang rendah dibandingkan dengan *traditional linear gantries.Fanuc* general manajer, *material handling*, Dick Johnson mengatakan dengan menggunakan *toploader robot* kita dapat memiliki robot dengan *work envelopes* yang luas tidak seperti robot standar dengan tipe *pedestal* yang dilekatkan pada lantai. Dengan menggunakan robot ini robot dapat mengangkat material dari pallet, memindahkan, dan mengurangi beberapa peralatan. Robot dapat digunakan untuk *deburring* dan *labelling*, seperti operasi utama yang biasa dilakukan di *plastic injection molding*.

Aplikasi yang lain dari Fanuc adalah melayani 6 sampai 8 mesin dengan menggunakan dua robot M-710iT, sistem ini menggunakan dua robot dengan satu rel. keuntungannya adalah dapat melakukan *overlapping workspaces* seperti terdapat *conveyor* di tengah-tengah rel, keuntungan lainnya adalah jika robot membutuhkan perawatan atau perbaikan, *toploader* dapat dipindahkan pada ujung-ujung rel dan dengan menggunakan *back-up mode* dapat melakukan operasi biasa seperti *loaded* dan *unloaded* sendiri-sendiri.

Robot jenis baru ini sangat sesuai untuk aplikasi *metal cutting* dengan *work envelopes* yang luas seperti *powertrain machining, tending of larger plastic injection molding machines* dan *die casting extraction*. Robot juga dapat digunakan untuk *long distance transfer* seperti *automotive glass* dan *sheet metal stamping*.

Robot generasi terbaru dengan teknologinya ini sangat potential untuk melakukan revolusi baru dalam *machine tool* dan industri plastik seperti yang dikatakan Dick Motley, *product manager Fanuc Robotics*. Robot tersebut dapat meningkatkan produktivitas dengan disertai *improve* sampai mencapai 90 % atau lebih. Hal ini terjadi hanya setahun yang lalu ketika Fanuc memperkenalkan produk terbarunya yakni *toploader robot* dengan versi yang lebih kecil, banyak dari *costumer* yang menanyakan untuk beban yang lebih besar ketika mereka tahu akan manfaat dari *toploader*.

Contoh lain yang menggambarkan meningkatnya minat pada penggunaan robot adalah dari Motoman, division, Yaskawa, West Carrollton, Ohio. Perusahaan tersebut baru-baru ini memperkenalkan *new non-contact, measuring/correction system* untuk mengetahui pergeseran dari *center point robot welding*.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Bukti yang lain yang menunjukkan keuntungan dari sistem robot sebagai contoh adalah ABB of Sweden, mempunyai *state-of-the-art manufacturing* pada *transformer plant* yang terletak di Athens, Georgia. Fleksibilitas untuk manufacturing, *material handling* dan *assembling* adalah merupakan kunci suksesnya ABB disebut sebagai "the Transformer Factory of the 21 st Century".

Salah satu aspek yang menyebabkan meningkatnya penggunaan robot pada manufacturing adalah sering terjadi diskusi atau dialog teknologi yang membahas robot beserta peralatan lain yang menunjang untuk meningkatkan kemampuan robot mengerjakan pekerjaan khusus seperti ; *gripper, clamps, rail, end effectors* dan banyak lagi peralatan kecil lainnya yang sangat penting untuk meningkatkan kemampuan robot, *electrical connectors* contohnya.

Electric connector yang tahan uji sangat penting dewasa ini mengingat fakta bahwa robot dan sistem robot sangatlah mahal dan biaya perbaikan juga sangat mahal seperti yang dijelaskan Mark Oakes, *electrical product manager*, *Wago Corp*, Germantown, Wisconsin, *subsidiary of Wago*, Minden, Germany. Kegagalan dan kerusakan robot yang paling utama adalah kegagalan dan kerusakan dari konektor dan solusinya adalah *Wago's patented* "*Cage Clamp*" yang berbasis *spring-pressure technology, connector* ini beroperasi secara *independent* dan mempunyai *solid* dan *vibration-proof connection*, tambahnya.

Persoalan lain pada sistem robot dan otomatisasi adalah banyaknya jenis robot dan *bus protocols*, Wago telah mengembangkan *bus-independent technology* dimana rangkaian listriknya dapat "*talks to itself*". Fleksibilitas dari sistem ini sangat membantu dan menarik bagi pelaku manufaktur, tambahnya lagi.

Sistem EOA, Dallas, division of De-Sta-Co, Madison Heights, Michigan, contohnya membuat Robohands, *gripper* yang dapat meningkatkan kemampuan untuk mengambil, memindahkan, meletakkan benda kerja yang bentuknya sangat komplek. Perusahaan ini juga memperkenalkan produk baru yang disebut "body builder" merupakan *end effector* yang cakap. Terdapat minat yang besar terhadap produk ini seperti yang dikatakan Aaron Baker, *product line manager*. Alat ini didesain khusus untuk *press room* dan *body shop work*.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Teknologi robot terbaru menaruh perhatian pada hubungan antara robot dengan *part* seperti hubungan gaya dan torsi yang dapat dikontrol. Teknologi ini akan membuat robot lebih aplikatif didalam industri *assembly,* yang menjadikan akan lebih luasnya penggunaan robot.

Robot dewasa ini digunakan hampir di semua sektor industri yang berhubungan dengan *repetitive task* atau pekerjaan yang sulit dilakukan dengan manual atau berbahaya seperti :

- *Welding, painting, surface finishing* pada industri otomotive dan penerbangan
- Perakitan elektronik dan produk-produk konsumen beserta *inspection*
- *Inspeksi part* yang menggunakan *robot assisted sensor* atau *Coordinate Measurement Machines* (CMM)
- Eksplorasi alam antariksa dan bawah air
- Limbah berbahaya pada laboratorium, fasilitas nuklir dan laboratorium kedokteran

Produsen dan Pembeli

Terdapat sejumlah produsen robot di dunia, yang terbanyak terdapat di Jepang. Beberapa produsen robot yang terkenal adalah:

- Fanuc (Jepang)
- Kawasaki (Jepang)
- Kuka (Jerman)
- ABB (Swedia, Amerika Serikat)
- Adept (Amerika Serikat)
- Seiko (Jepang)
- Motoman (Jepang)
- Mitsubishi (Jepang)

Harga sebuah robot bervariasi tergantung pada aplikasi, ukuran robot dan kerumitan, serta biaya teknologi yang mendukungnya. Harga robot dapat mencapai antara

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$ 1000 sampai miliaran dollar , tetapi harga rata-rata dari sebuah robot berkisar antara $ 20.000 - $ 80.000, biaya dari keseluruhan *Robot cell* besarnya beberapa kali lebih mahal dari biaya robotnya sendiri.

Para produsen biasanya memberikan *specification sheet,* tetapi kita harus berhati-hati dalam meneliti spesifikasi tersebut, para produsen tidak merasa perlu menggunakan *procedure test* yang sama untuk membuat data spesifikasi tersebut.

Teknologi Pendukung

Teknologi yang sering dijumpai dalam penggunaan robot adalah :

- *Vision Systems*
- *End-of-Arm Tooling* dan *special compliance manipulation devices*
- *Application Technology*
- *Optical devices* seperti laser
- Sensor seperti *acoustical* dan atau *proximity sensors*
- *Wrist sensor* yang mengukur gaya *wrist* dan torsi
- *Control software* dan *hardware*, seperti AC/DC motor, *encoders*, *tachometer*, amplifier
- *Part delivery systems* seperti *conveyor*, *part feeders*
- Application *software*, *interface software*
- *Realtime operating systems*, bahasa program
- *Communication Protocol/networks*
- I/O *devices* seperti PLC (*Programmable Logic Controller*), *discrete* ataupun *analog*

Keuntungan

- Fleksibilitas tinggi, dapat diprogram ulang, *kinematic dexterity*, dapat diatur besarnya respon untuk input dari manusia, meningkatkan kualitas produk.
- Mengoptimalkan *Capital Intensive Equipment* pada banyak shift kerja.
- Mengurangi kecelakaan kerja.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Mengurangi polusi berbahaya bagi pekerja.
- Mengurangi waktu penghentian operasi.

Kerugian

- Mengurangi Jumlah pekerja.
- Adanya penambahan operator.
- Adanya biaya yang besar untuk pengurangan tenaga kerja serta pengunaan teknologi baru.
- Teknologi yang tinggi tidak selalu dapat menutupi beberapa kekurangannya.
- Adanya biaya lain untuk membeli teknologi pendukung yang sangat dibutuhkan untuk memfungsikan cell, biasanya 3-10 kali lebih besar dari harga robot itu sendiri.

Keterbatasan

- *Assembly dexterity* tidak sama dengan manusia, sehingga di beberapa bagian dibutuhkan koordinasi penglihatan dan lengan.
- Perbandingan antara berat beban dengan berat robot masih buruk, umumnya kurang dari 5 %.
- Susunan struktur robot sering membatasi *joint limits* dan volume kerja.
- Volume kerja terbatas sejauh jika ukuran utama dipenuhi atau ketika *tooling/sensors* ditambahkan pada robot.
- *Robot repeatability* atau *accuracy* dapat membatasi jangkauan aplikasi.
- Arsitektur yang kaku dari sebagian besar sistem kontrol robot modern membuat kesulitan untuk menggabungkannya dalam sebuah *automated cells* dimana terdapat bermacam-macam alat yang harus diintegrasikan.

Bahasa Pemrograman Robot

Terdapat beberapa bahasa program dan *interfaces* untuk robot yang merupakan modifikasi dari bahasa program yang sudah ada seperti Basic, Pascal, atau C. Bahasa-

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bahasa pemrograman ini menggunakan sebuah *device interface* untuk mengeluarkan perintah-perintah kontrol kepada *servocard/amplifiers* yang menggerakkan mekanisme fisik motor. Sebagai tambahan, *programming interface* memungkinkan *user* untuk membaca dan mengirimkan *device* I/O.

Beberapa contoh dari bahasa pemrograman diantaranya :

- DARL/SPEL

  Merupakan bahasa pemrograman yang dasarnya seperti yang dikembangkan oleh SEIKO yang menggunakan seperti dibawah ini untuk mengontrol gerak robot dan I/O.

  100 MOVE T5 T7
  110 DELAY 20: SPEED 200
  120 MOVE T10 T4
  130 OUTPUT + OG3 500

- KAREL

  Bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh Fanuc dan merupakan turunan dari bahasa Pascal.

- VAL II

  Bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh Unimation.

- CODE (juga dikenal sebagai Robline) C dan API libraries

  Bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh BYU dan CIMETRIX dan membutuhkan *user* untuk menulis C program yang memanggil fungsi-fungsi *Library*, seperti program dibawah ini:

```
#include
#include
#include

#define OPEN_HAND 45.0
#define CLOSE_HAND 50.0

void main( void )
{
/* Local variables */
server peg;
```

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

```
mechanism s100, gripper;
char *server_name;
node_id s100_id, gripper_id;
node_id peg_1_loc, grip_tcf, pallet2, peg_1, pallet;
double offset = 150.0;

if( GetDefaultServer(&server_name)==ERROR )
{
printf("No default server found\n");
exit(-1);
}

/* open server */
peg = open_server( server_name, SYSTEM_V, 0 );
set_simrate(peg,0.25);

/* get all node ID to be used */
get_named_node_id(peg, "s100", &s100_id);
get_named_node_id(peg, "gripper", &gripper_id);
get_named_node_id(peg, "peg_1_loc", &peg_1_loc);
get_named_node_id(peg, "grip_tcf2", &grip_tcf);
get_named_node_id(peg, "pallet2", &pallet2);
get_named_node_id(peg, "peg_1", &peg_1);
get_named_node_id(peg, "pallet", &pallet);

/* open mechanism */
s100 = open_mechanism( peg, s100_id, CONTROL);
set_motion_track(s100, ON);
gripper = open_mechanism( peg, gripper_id, CONTROL);

set_interp_type( s100, JOINT_INTERP );
set_joint_speed( s100, 0.25 );
set_joint_speed( gripper, 0.25 );
move_single_axis( gripper, 0, OPEN_HAND );

while(1)
{
move_near_node( s100, peg_1_loc, grip_tcf, offset );
move_to_node( s100, peg_1_loc, grip_tcf );
move_single_axis( gripper, 0, CLOSE_HAND );
attach_node( peg, peg_1, grip_tcf );
move_away( s100, grip_tcf, offset );

move_rel_node( s100, pallet2, grip_tcf, "xyz", 0., 0. ,0. ,
125., 87.5 ,175. );
move_rel_node( s100, pallet2, grip_tcf, "xyz", 0., 0. ,0. ,
125., 87.5 ,75.0 );
move_single_axis( gripper, 0, OPEN_HAND );
change_color( peg, peg_1, 1., 0., 0. );
attach_node( peg, peg_1, pallet2 );
move_away( s100, grip_tcf, offset );
.
.
```

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Masalah terbesar yang berhubungan dengan bahasa pemrograman adalah sebuah program tidak dapat digunakan untuk sebuah mekanisme yang berbeda yang dibuat oleh *manufacturer* yang lain. Masalah ini terjadi ketika kita ingin mengganti mekanisme di dalam sebuah *cell* dengan sebuah mekanisme lain yang berbeda yang mengharuskan kita membuat bahasa program yang baru.

I.4. Standarisasi Robot dan Industri Otomatis

Terdapat beberapa standar yang tersedia untuk sistem robot. Standar utama dapat kita dapatkan dari *Robotics Industry Association* (RIA)[8]. Standarisasi ini termasuk definisi dari *repeatibility* dan *accuracy*, pembatasan dan peraturan keamanan penggunaan *teach pendant*, informasi *interface* yang menggambarkan kemampuan gerak robot, serta *wiring codes* yang digunakan untuk kontroller gerak robot.

I.4.1. Robotics Industries Association R15 Standard Committee

- ANSI/RIA R15.01-1-1990 → ditetapkan tanggal 14 Mei 1990, 16 halaman.
- ANSI/RIA R15.02/1-1990 → ditetapkan tanggal 28 Desember 1990, 26 halaman.
- RIA R15.03-1-1994: → ditetapkan tanggal 12 Mei 1994, penundaan penetapan ANSI , 15 halaman.
- ANSI/RIA R15.05-1-1990 → ditetapkan tanggal 13 September 1989, 36 halaman.
- ANSI/RIA R15.05-2-1992 → ditetapkan tanggal 14 September 1992, 45 halaman.
- ANSI/RIA R15.05-3-1992 → ditetapkan tanggal 16 October 1992, 6 halaman.
- ANSI/RIA R15.06-1992 → ditetapkan tanggal 19 August 1992, 22 halaman.

[8] www2.et.byu.edu/~ered/robotics/STANDARD/STANDARD.html

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ANSI/RIA R15.07/TR1-1993 → ditetapkan tanggal 20 September1993, 20 halaman.

ANSI/RIA R5.01-1-1990

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan Sistem Robot – Metode identifikasi umum untuk Sinyal dan Power Carrying Conduktors)

Standar ini berhubungan dengan penyediaan metode-metode umum untuk mengidentifikasi Sinyal dan *Power Carrying Conductors* yang digunakan dalam proses manufaktur serta aplikasi dari industri robot dan sistem robot.

ANSI/RIA R15.02/1-1990

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan sistem Robot – Hand Held Robot Control Pendant – Human Engineering Design Criteria)

Standar ini dibuat untuk menyediakan pedoman bagi para *Engineer* dalam mendesain operator *control pendant* untuk industri robot dan sistem robot. Bahasan utama dari standar ini adaah *promote speed, accuracy, simplicity, efficient, reliability* dan keamanan operasional robot, *programming, training dan maintenance.*

RIA R15.03-1-1994

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan sistem Robot – Circular Flange Mechanical Interface)

Tujuan dari standar ini adalah untuk menstandarkan ukuran dari *circular flange mechanical interface* yang akan memungkinkan *direct coupling end effector* ke robot *mounting plate.*

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ANSI/RIA R15.05-1-1990

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan sistem Robot – Point-to-Point dan Static Performance Characteristics – Evaluation)

Maksud utama dari standar ini adalah untuk membuat pengertian antara *Manufacturer* dengan *users* dari industri robot. Standar ini membuat pengertian dari kriteria *performance* yang paling penting dan sebuah metode untuk mengevaluasi kriteria tersebut. Yang termasuk dalam metode tes ini adalah *performance classes, standard test paths* dan *standard test loads*. Kegunaannya adalah untuk menyediakan informasi teknik yang penting guna memudahkan *user* untuk memilih robot yang sesuai dengan aplikasi mereka.

ANSI/RIA R15.05-2-1992

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan sistem Robot – Path Related dan Dynamic Performance Characteristics – Evaluation)

Tujuan dari standar ini adalah untuk membuat pengertian antara para *manufacturer* dengan *user* dari industri robot. Standar ini menstandarkan *fundamental dynamic path-related performance characteristic* dan menyediakan metode untuk menghitung *dynamic performance*. Termasuk di dalamnya standar *tes performance classes, standar tes path, standar tes loads*. Kegunaannya adalah untuk menyediakan informasi teknik yang berguna bagi para *user* sehingga dapat robot yang sesuai dengan aplikasi yang mereka inginkan.

ANSI/RIA R15.05-3-1992

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan sistem Robot – Pedoman untuk Reliability Acceptance Testing)

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Standar ini menyediakan tes minimum yang dibutuhkan yang akan menilai sebuah produk baru dari sebuah industri robot yang akan digunakan tanpa tes tambahan. Kegunaan dari standar ini adalah menyediakan *assurance, trough testing*, yang merupakan kegagalan awal dalam industri robot yang telah terdeteksi dan diperbaiki oleh *manufacturer* pada saat pengiriman kepada *user*. Tes ini dapat dilakukan oleh *user* jika diinginkan.

ANSI/RIA R15.06-1992

(Standar Nasional Amerika untuk Industri Robot dan sistem Robot – Safety Requirments)(revisi dari ANSI/RIA R15.06-1986)

Standar ini berfungsi menyediakan pedoman bagi *manufacturer* industri robot, *remanufacture* dan *rebuild, robot system installation*, dan metode-metode pengamanan untuk menambah tingkat keamanan dari personel yang tergabung dalam penggunaan industri robot dan sistem robot.

ANSI/RIA R15.07/TR1-1993

(Laporan Teknis dalam Industri Robot – Simulation/Offline Programming – Part 1 : Terms, Notations dan Kebutuhan data untuk Robot modelling)

Laporan teknis ini menjelaskan istilah-istilah dan definisi yang digunakan untuk mengklasifikasi karakter-karakter dari robot industri. Laporan teknis juga membuat metodologi untuk memberikan geometrik robot dan informasi kinematik. Metode ini akan memberikan informasi bagi *robot vendors, simulation vendors* dan *users* sebuah pengertian yang konsisten dari perubahan informasi.

I.4.2. Association A15 Standard Committe

- ANSI/AVA A15.05/1-1989 → *ditetapkan tanggal 1Desember 1988, 24 halaman.*

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- BSR/A15.08/1 - 199X AIA A15.08/2-1993 → *ditetapkan AIA tanggal 10 September 1993, penundaan penetapan ANSI , 19 halaman.*
- AIA A15.08/3-1993 → *ditetapkan AIA tanggal 10 September 1993, penundaan penetapan ANSI, 12 halaman.*
- BSR/AIA A15.08/4-199X → *target waktu penetapan April 1997, 12 halaman.*
- BSR/AIA A15.08/7-199X → *target waktu penetapan Januari 1997, 19 halaman.*

ANSI/AVA A15.05/1-1989

(Standar Nasional Amerika untuk Sistem Penglihatan Otomatis – Performance test – Penghitungan Relative Position dari Target fature di dalam ruang 2 Dimensi).

Standar ini bermaksud untuk menjelaskan sebuah standar tes pengukuran yang akan dapat digunakan sebagai referensi dalam membuat spesifikasi dan mengevaluasi sistem penglihatan mesin. Tes ini didesain untuk membantu para manufaktur dan *user* dalam memahami dan menginformasikan keinginan dan kemampuan nyata dari sistem penglihatan.

BSR/A15.08/1 –199X

(Standar Camera Data Sheet)

Dokumen ini meliputi *Camera optical interface, camera transfer functions, camera image defects, derived spesification*, menghitung *camera transfer function*, dan *curve fitting/plotting* serta metode-metode numerik.

AIA A15.08/2-1993

(Proposal Standar Nasional Amerika untuk Automated Vision Component – Camera – Standard AIA Connector Spesifications) (revisi dari ANSI/AIA A15.08/2-1992)

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Standar ini merinci *connector* yang sesuai untuk *machine vision, scientific, medical* dan kegunaan umum *image data acquisition* pada industri, laboratorium atau lingkungan kantor. Fungsi utama *connector* ini adalah untuk mentransfer semua energi dan sinyal analog, sinyal digital antara kamera dan sebuah *image processor*.

AIA A15.083/3-1993

(Proposal Standar Nasional Amerika untuk Automated Vision Component – Camera – AIA Monochrome Digital Interface Spesification) (revisi dari ANSI/AIA A15.08/3-1992)

Tujuan utama dari standar ini adalah untuk merinci komunikasi digital antara sebuah video kamera dengan sebuah *image processor*. Video kamera ini terdiri dari *matrix array cameras, variable scan camera* dan *linear array cameras*. Fungsi utama dari *interface* ini adalah untuk mentransfer sebuah *image digital* dari kamera ke sistem *image processing*.

BSR/AIA A15.08/4-199X

(Proposal Standar Nasional Amerika untuk Automated Vision Component – Cameras – RGB Digital Interface Spesification) (revisi 1dari Committee Review Draft)

Standar ini merinci komunikasi digital antara sebuah *RGB color video* dengan sebuah *image processor*. *Video camera* terdiri dari *matrix array cameras, variable scan cameras* dan *linear array cameras*. Fungsi utama dari *interface* ini adalah untuk mentransfer sebuah *image digital* dari kamera kepada sistem *image processing*.

BSR/AIA A15.08/7-199X

(Proposal Standar Nasional Amerika untuk Automated Vision Components – Cameras – AIA Serial Communication Protocol Spesification)(revisi 2 dari Committee Review Draft)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Standar ini berhubungan dengan *protocol* dan kode perintah yang digunakan dalam *serial communication* antara sebuah video kamera dan sebuah *image processor*. Tujuan utama protocol ini adalah untuk mentransfer perintah kontrol dari *image processor* kepada video kamera dan untuk pemahaman perintah ini oleh kamera. Yang kedua, standar ini menjelaskan *low-speed communication* dari data kamera kepada *host processor*.

I.5. Aplikasi Robot Finishing

Aplikasi *Robot finishing* terutama yang menggunakan *abrasive* dan *belt sintetis, flap* dan *buff wheels*. Penekanan utama akan ditekankan pada proses *polishing* untuk *finishing* permukaan yang akan dilakukan pengecatan atau plat. Penjelasan ini merupakan gambaran komponen-komponen apa yang membuat suatu *system Robot finishing*, bagaimana tiap bagian saling bekerjasama, faktor apa yang mempengaruhi biaya, dan membuat panduan bagi para pengguna yang akan melakukan proses polishing, buffing atau deburring serta membantu memberikan pemahaman tentang peralatan yang akan diperlukan untuk sebuah proses *finishing* agar tercapai hasil yang terbaik.

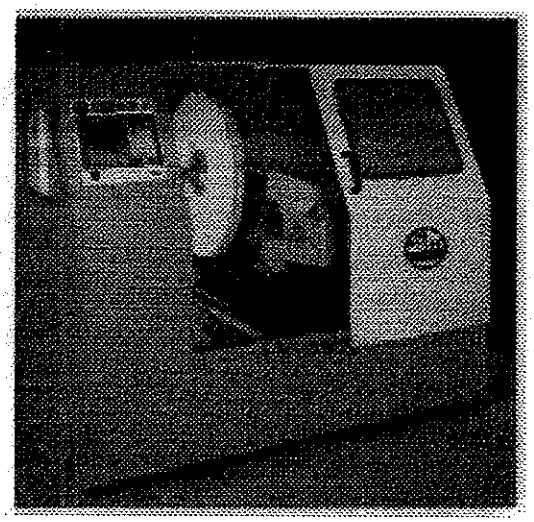
Sejak adanya teknik *polishing* modern pada awal abad 20, hampir semua proses polishing diselesaikan dengan menggunakan tangan. Dengan perkembangan teknologi telah membawa pengembangan pada media, sistem semi otomatis, dan sistem otomatis. Dengan perkembangan ini telah membawa kepada para jasa finishing untuk mengembangkan sistem otomatis guna menangani berbagai bentuk benda kerja yang lebih komplek.

Karena kesederhanaan dari proses *buffing* (cloth dan compound), *Buffing* merupakan proses *finishing* pertama yang dilakukan otomatisasi. Pada tahun 1915, 1916, dan 1917 proses otomatisasi *polishing* mulai berusaha dilakukan, keberhasilannya sangat terbatas pada bentuk-bentuk sederhana dengan volume benda kerja yang besar. Untuk bentuk-bentuk yang lebih komplek memerlukan banyak media "*processing head*", setiap *head* mengerjakan bagian yang spesifik dengan bentuk tertentu. Sistem otomatisasi ini

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dilakukan dengan target volume produksi yang tinggi dengan bentuk-bentuk yang lebih komplek.

Sistem otomatisasi CNC untuk proses *polishing* membuka peluang bagi proses dengan menggunakan *belt* untuk bentuk benda kerja yang lebih komplek, sebagian besar teknologi CNC hanya terbatas pada satu *belt* saja. CNC juga menyediakan 5 derajat kebebasan, yang terutama diperuntukkan untuk bentuk yang rumit. Pada banyak kasus untuk bentuk yang komplek harus dilakukan pengulangan proses untuk menyelesaikan proses *finishing*. CNC *belt polishing* sangat cocok untuk aplikasi *gate grinding* dan *flap wheel* dimana dua sampai empat bagian harus di set dan dijalankan secara bersamaan. Keuntungan utama dari CNC jika dibandingkan dengan sistem otomatisasi tradisional adalah pada saat pergantian benda kerja. Kontrol komputer CNC memberikan kebebasan kepada operator untuk memanggil program dari memori, mengubah 2 sampai 4 *fixture* dan menjalankan produksi dalam hitungan menit[9].



Gambar I.11. CNC Polishing Center

Otomatisasi Tradisional dan CNC merupakan sistem yang sangat cocok untuk proses *buffing*. *Polishing* menggunakan media *abrasive* mengingatkan kita pada

[9] Journal – *Robotic Finishing Applications*, Paul F. Miekstyn CmfgE (Manager of Robotic Systems Acme Manufacturing Company Madison Heights, Michigan.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

operasional menggunakan tangan, untuk bentuk benda kerja yang komplek orang menggunakan "manipulating part" selain *wheel* dan *belt* untuk menyelesaikan benda kerja tersebut.

Perkembangan teknologi robot telah membuka peluang kepada aplikasi otomatisasi *finishing* untuk bentuk benda kerja yang sederhana dan yang komplek. Industri robot dapat meniru gerakan dari manusia selama melakukan proses finishing manual. Robot memiliki kekurangan dari manusia dari segi perasaan pandangan dan sentuhan, namun hal ini dapat ditutupi dengan kemampuan mereka untuk mengulang gerakan dengan tingkat presisi yang tinggi. Kemampuan pengulangan mereka membuat robot sangat ideal untuk aplikasi proses perpindahan seperti *mig welding, water jetcutting, sealant dispensing, paint spraying* dan proses *finishing* itu sendiri.

Robot, ketika digabungkan dengan berbagai peralatan seperti; *finishing heads,* dan *system software* membuat suatu sistem otomatisasi yang sangat canggih. Robot yang mempunyai 6 derajat kebebasan dapat melakukan gerakan yang komplek dan dengan "head" yang tepat dan desain *tool* yang baik dapat melakukan proses polishing untuk 6 sisi dari benda kerja. Ketika robot tidak dapat menyelesaikan benda kerja dengan produksi rata-rata sama dengan "*traditional Multi Head Finishing line*" atau"*Multi Spindle CNC cells*", robot dapat melakukan banyak jenis operasi *finishing* pada suatu benda kerja.

Ketika satu faktor kemampuan *robot cell* tidak dapat berjalan dan *quick part* berubah, *robot cell* masih dapat berjalan dengan kemampuan sama seperti manual polishing. Aplikasi *Buffing* untuk saat ini terbaik jika digunakan metode tradisional dan CNC. Robot hanya dapat dijaga sama produksi rata-ratanya untuk gerakan yang sama seperti operator, biasanya dapat lebih cepat jika dibandingkan dengan sistem otomatisasi yang lain. Untuk kasus yang jarang ketika menggabungkan *belt finishing* dengan *buffing* pada bagian yang sama, robot dapat menjanjikan dengan mengurangi proses dan operasi.

I.5.1. Pengertian Polishing

Polishing merupakan salah satu metode *material finishing* yang dilakukan untuk menghilangkan goresan, kekasaran dan *burrs* pada suatu material sehingga permukaan

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang kasar menjadi halus dengan menggunakan bahan *abrasive* pada sebuah *polishing wheel* yang berputar sekitar 7500 ft/min[10]. *Polishing wheel* terbuat dari bahan kanvas, kulit, kain, dan bahkan kertas, yang membuat *polishing wheel* menjadi fleksibel.

Bahan *abrasive* yang digunakan melekat pada bagian luar dari *polishing wheel.* Setelah selesai digunakan, *polishing wheel* dapat digunakan kembali dengan melekatkan kembali bahan *abrasive*. Butiran *abrasive* dengan ukuran 20 – 80 digunakan untuk permukaan kasar, 90 –120 untuk *finish polishing*, dan diatas 120 untuk *fine finishing*.

Proses *polishing* tidak hanya menghilangkan sebagian permukaan kasar material tetapi juga memindahkannya ke bagian permukaan lain yang lebih rendah sehingga permukaan material menjadi mengkilap. Proses *polishing* tidak bertujuan untuk merubah ukuran dari material yang dikerjakan, sehingga hampir tidak terjadi perubahan dalam hal bentuk dan ukuran material.

Bubuk *abrasive* yang baik seperti *jewelers rouge, Linde-A, rottenstone,* atau material lain dilekatkan pada *wheel* sedangkan material yang dipolish dipegang untuk melawan gaya putar *wheel,* panas yang dihasilkan dari proses membantu proses *polishing* itu sendiri. Proses ini sendiri biasanya merupakan proses yang kering dan tidak menggunakan cairan pendingin.. *Polishing compound* yang digunakan dewasa ini biasanya berbentuk *stick* yang bila digunakan dengan menggosokkan pada bahan *abrasive.*

Kita dapat melakukan proses *polishing* ini baik untuk permukaan yang rata maupun yang tidak rata, untuk bentuk yang komplek diperlukan ukuran *polishing wheel* yang kecil dengan pemegang yang kecil pula.

I.5.2. Aplikasi Robot Polishing di Industri

Hampir semua operasi manufaktur melibatkan *finishing* menggunakan tangan, mulai dari *finishing* tepi tajam dari permukaan mesin sampai *finishing* paling komplek yakni *finishing jet engine fan blades* atau pinggul buatan serta kaki buatan.

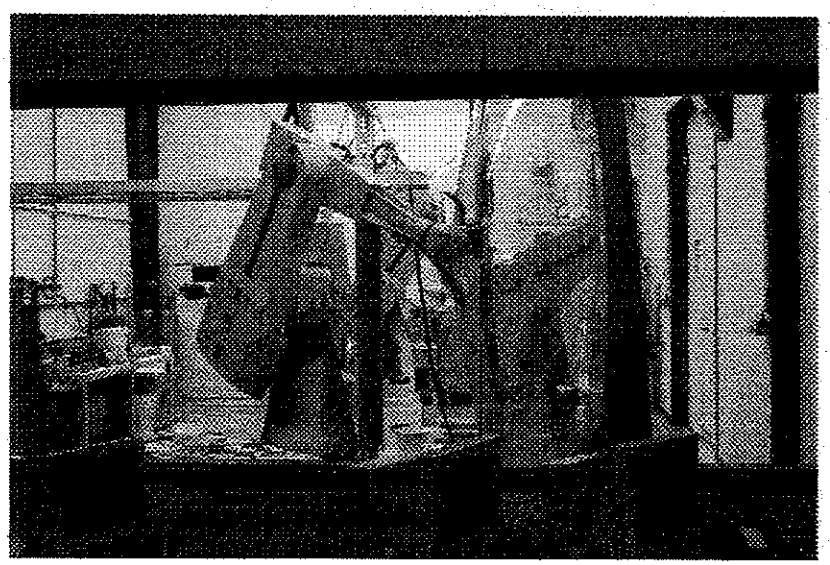
Berikut ini adalah contoh pemakaian otomatisasi *hand finishing* menggunakan robot pada beberapa industri :

---

[10] *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems,* Mikell P. Groover

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

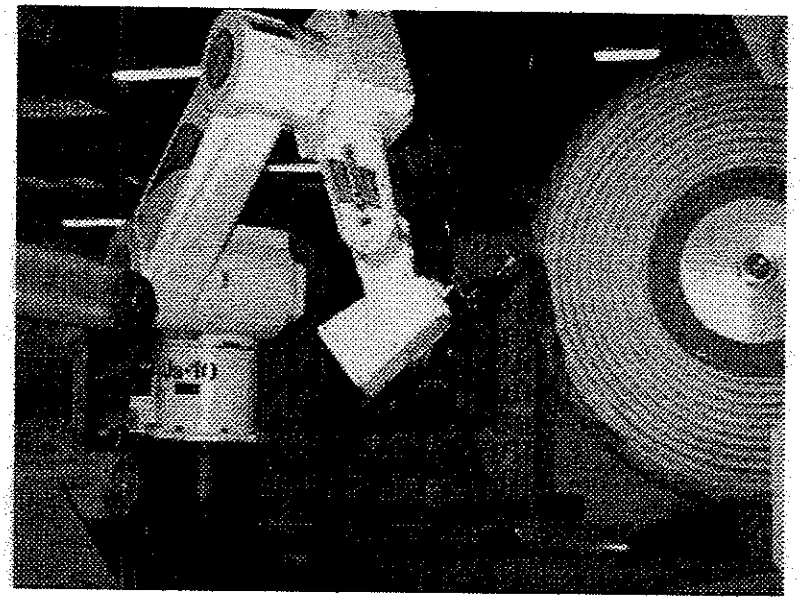
- *Aerospace – Airframe spars, stringers, skins – Engine fan vain, blade root, disks,* dan *combustion housings.*
- *Cookware Pots, pans, knives, forks, utensils.*
- *Houseware Die Cast lamp bases, vacuum cleaner trim. Die cast lamp bases, vacuum cleaner trim.*
- *Plumbing Sink, faucets, bases, handles.*
- *Marine Deck hardware, propellers, drive housings.*
- *Automotive Trim components, engine, transmission, plastic trim, bumpers, motorcycle suspension, engine details, trim components, gas tanks and fenders.*
- *Lock Hardware Lock sets, knobs, levers, hinges, trim components.*
- *Medical Implant(knees, hip), instruments.*



Gambar I.12. Robotic Canopy polishing

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

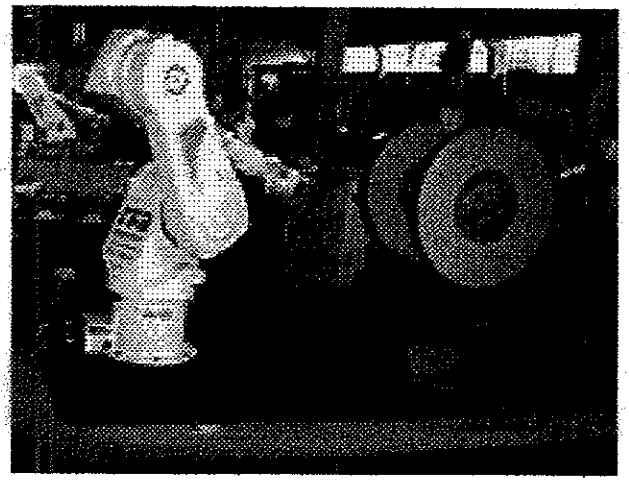


Gambar I.13. JS 10 Robot Polishing



Gambar I.14. Polishing Robot for steinless steel workpiece

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



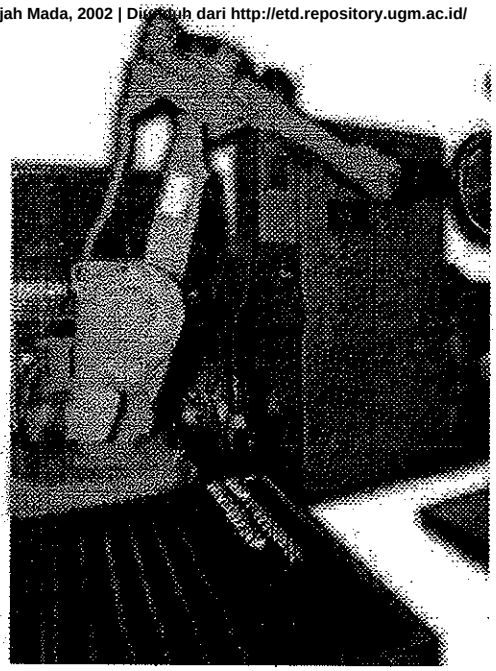
Gambar I.15. Robotcell for polishing brass lightshades

Penggunaan robot sebagai pengganti sistem manual yang menggunakan tangan manusia telah cukup berkembang dewasa ini, dengan mengutamakan prinsip bahwa keberhasilan proses polishing untuk mencapai hasil yang memuaskan seperti dengan metode manual dapat dicapai berkat kemampuan *repeatibility* dan *accuracy* dari sistem robot yang didukung oleh sistem penginderaan dari robot tersebut.terdapat tiga metode yang digunakan dalam otomatisasi robot untuk proses polishing di industri, yakni :

1. *Abrasive-belt Polishing*

   Proses polishing dengan menggunakan *belt* yang dilapisi bahan *abrasive* yang berputar, terdiri dari motor listrik sebagai penggerak dua *pulley* yang memutar *belt.* Tegangan *belt* serta jalannya *belt* dikontrol dengan menggunakan peralatan terpisah yang disebut dengan *back stand.* Ukuran *belt* yang diproduksi di industri bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan konsumen. Metode ini sangat cocok untuk proses polishing dengan bentuk material yang tidak komplek serta dengan berat yang relatif ringan, karena material dipegang oleh lengan robot.

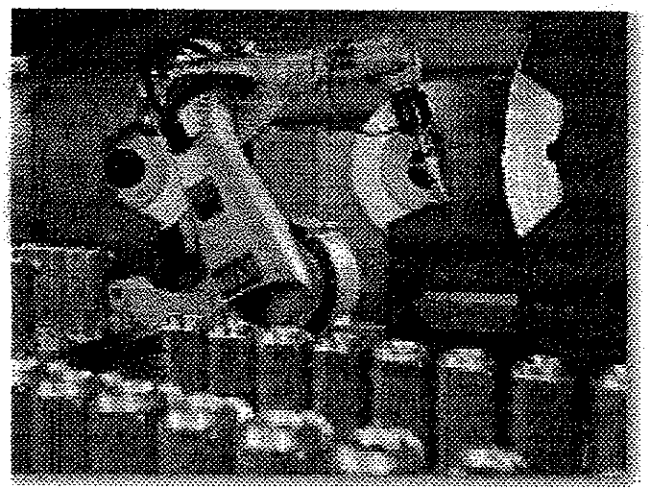
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar I.16. Abrasive belt polishing robot

2. *Buffing-wheel Polishing* dengan robot sebagai pemegang material

Metode ini menggunakan lengan robot sebagai pemegang material yang akan *dipolish*, sedangkan *Buffing wheel* digerakkan oleh motor listrik. Cara ini hampir sama dengan metode yang menggunakan *abrasive belt,* dengan *buffing wheel* sebagai media *abrasive.*

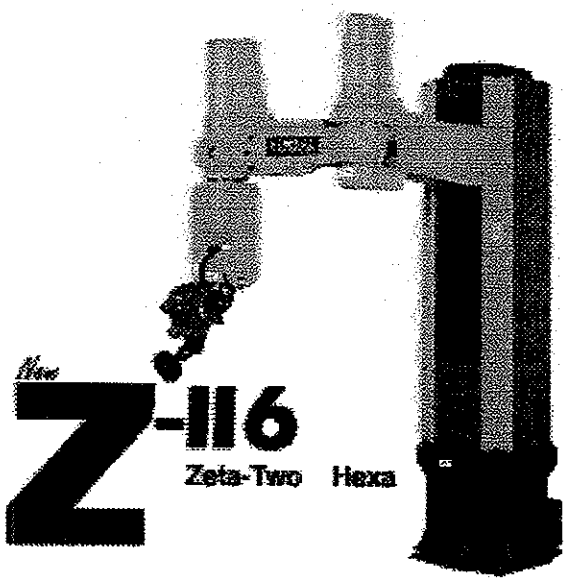


Gambar I.17. Carat Robotic for Buffing Wheel Polishing

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. *Buffing-wheel Polishing* dengan robot sebagai pemegang *wheel*

Merupakan proses *polishing* dengan tingkat ketelitian yang paling tinggi, sesuai untuk pengerjaan material yang komplek. Material yang dikerjakan tidak perlu diangkat sehingga dapat digunakan untuk material dengan ukuran besar. Untuk bentuk-bentuk yang lebih komplek dapat menggunakan *L-tool* pada *end-effectornya*, sehingga dapat dicapai tempat-tempat yang lebih sulit.



Gambar I.18. Zeta Two Robot for Polishing

Ketika kita ingin menerapkan sistem *finishing* menggunakan robot, kita harus memperhatikan beberapa *Justification factors*, yang antara lain :

1. *Labor Cost* – Berapa biaya operator *finishing*, berapa banyak operator yang mengerjakan proses *finishing* tiap *shift*? – Berapa jam rata-rata operator bekerja dan keuntungannya? – beberapa perusahaan hanya melaksanakan satu shift operasi *finishing*, yang menyulitkan dalam perhitungan pada berbagai tipe otomatisasi.
2. *Workmen's Compensation Cost* – Apakah benda kerja berukuran besar dan berat, apakah ada kemungkinan cedera? – Apakah benda kerja berukuran kecil dan sulit untuk dipegang, membutuhkan gerakan tangan berulang untuk memproses,

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

menambah resiko "Carpal Tunnel Syndrome"? – Apakah peralatan mengeluarkan suara berisik, dan atau kotor, mempengaruhi kesehatan? faktor resiko? – Apakah pekerjaan itu melelahkan dan membosankan sehingga dapat mempengaruhi efektifitas dan keselamatan kerja? – *Workmen's Compensation Claims* sedang popular saat ini. Proses manual untuk benda kerja kecil dan besar menjadi faktor yang sangat berpengaruh pada keuntungan di masa depan. *Robot finishing cell* dapat dapat meminimalisasi hal ini dengan menjauhkan operator dari resiko kesehatan dikarenakan kelelahan, kotor, dan kebisingan dari *manual finishing*.

3. *Govermental Regulations* – Apakah manual *finishing* telah memenuhi OSHA *standard*? – Apakah tingkat polusi udara memungkinkan area terbuka bagi proses *finishing*? – limbah dari *polishing* (material yang berbahaya).
4. *Just-In-Time Manufacturing* – Apa tujuan perusahaan terhadap *inventory product*? – Apakah produk yang dihasilkan akan berkurang atau berkembang di masa mendatang? – Apakah kompetisi yang ada mengharuskan kita untuk mengurangi harga produk dan mengembangkan pengiriman agar dapat tetap kompetitif?
5. *Quality Control* – Akankah penawaran konsumen menginginkan perbaikan kulitas yang hanya dapat dipenuhi jika menggunakan sistem otomatisasi?
6. *Available Work Force* – Bagaimanakah kemampuan operator *finishing* di tempat kita? – jika kita akan mengembangkan usaha, dapatkah kita menyewa dan melatih *work force* dalam waktu yang cukup? – Apakah departemen *finishing* mengkontrol kualitas dan produktivitas? – Apakah aturan kerja mempengaruhi kemampuan kita untuk merespon kondisi pasar? – Apakah penghapusan *finishing* tangan memperbaiki tingkat kompetitif produk di pasar? – Di banyak *plant*, departemen *finishing* mengontrol kualitas dan produktivitas dari produk jadi. Untuk meningkatkan kapasitas produksi, kita harus menyewa dan melatih operator *finishing* tambahan. Lebih kurang tiga dari sepuluh operator harus sudah berpengalaman minimum satu tahun.
7. *Perishable Cost* – Biaya penggunaan media (*belt*) sebagai implementasi dari *robot cell* telah berkurang dari 50 sampai 30 % daripada operasi manual.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

8. Peralatan pengaman seperti sarung tangan, *apron, ear plugs*, pelindung kaki, pelindung cahaya dan kacamata pengaman semua peralatan tersebut hampir dipunyai oleh semua perusahaan *finishing* yang sesuai dengan OSHA dan *local safety codes*. Manual operator *finishing* dapat menggunakan 2 pasang sarung tangan sekali *shift* dan sepasang kacamata pengaman seminggu sekali. Hal ini memerlukan biaya $2,000.00 atau lebih dari biaya tidak langsung setiap unit *finishing* dalam setahun. Robot tentu tidak memerlukan peralatan keamanan tersebut. Keuntungan *Finishing Robot* memiliki kemampuan yang tinggi untuk mengatasi perubahan, pada proses *finishing processor manual* dapat dengan cepat dan efektif menyelesaikan benda kerja dengan berbagai bentuk, jenis, dan seting yang cepat bahkan tidak ada pergantian.

Kebanyakan dari sistem otomasi tetap sangat cocok untuk operasi yang besar dan langkah yang banyak, berhari-hari bahkan bermingu-minggu dengan gerakan yang sama untuk jenis benda kerja yang sama. Produksi hanya akan berhenti jika ada penggantian media, set up yang menyulitkan dan membutuhkan waktu yang tidak sedikit. Mesin CNC menangani benda kerja dengan proses menengah sampai banyak langkah operasi dengan baik. Penggantian benda kerja biasanya cepat, hanya membutuhkan penggantian *fixture* dan *loading program* baru dari memori. Bagaimanapun juga CNC *cell* biasanya terbatas hanya untuk *single operation* dan cocok untuk operasi *belt grinding* yang sederhana atau *forgiving flap wheel* atau *buffing*.

Robot seperti manusia mengambil dan memindahkan benda kerja pada suatu media untuk menyelesaikan proses *finishing* yang diinginkan. *Robot cell* dapat menangani sampai delapan operasi individu seperti *abrasive* atau *belt sintetis, flap wheel, wire brushes, wheel sintetis* dan *buff* dengan *compound*. Sebagian besar *cell* dapat di set untuk menjalankan kombinasi dari berbagai macam operasi sesuai dengan urutan dan proses parameter dihitung oleh program.

Teknik *part queuing* dan *fixturing* pada proses robot dapat disetting untuk pergantian benda kerja secara cepat ketika konsep *quick cell tooling* telah dikembangkan. Untuk menyelesaikan sebuah perpindahan benda kerja, operator menjalankan aliran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

benda kerja yang terdapat pada *queue*, memilih dan mengeluarkan nomor benda kerja baru dari *memori storage*, memindahkan bagian yang berada pada *queuing trays* dan mengganti EOAT robot dengan *fixture* yang baru yang akan dijalankan. Pada beberapa kasus *set up* media atau *contact wheel* harus diganti untuk benda kerja yang baru. Pergantian ini biasanya dapat ditangani dalam 10 menit atau kurang. Ketika *cell hardware* dan *part program* akan dijalankan, operator dengan mudah menmasangkan benda kerja yang baru pada *queuing trays* dan menghidupkan *automatic cycle*. Robot kemudian akan memindahkan benda kerja pertama dari *queue* dan mengerjakannya sampai dengan delapan operasi sebelumnya.

Program robot melakukan set up untuk kecepatan proses, daya, dan SFPM dari aplikasi. Program juga menjaga jalannya media *wear factors* seperti umur *belt* dengan menambah daya proses atau SFPM pada penghitungan awal benda kerja atau *worn wheel* dengan memilih program dan SFPM untuk *wheel* baru dengan diameter kecil berdasarkan pada *Horsepower* yang dijalankan proses. Ketika menyelesaikan proses robot mengembalikan benda kerja pada posisinya di *queue*, dan kembali mengambil benda kerja baru. Robot akan melanjutkan menjalankan semua benda kerja yang ada di *queue*, berhenti hanya jika terjadi kesalahan, seperti kerusakan, *worn belt* atau *wheel*, menjatuhkan benda kerja dari EOAT,*air pressure loss*, atau ketika kesalahan sistem terjadi.

Sistem robot untuk proses *polishing* tidak sesuai hanya untuk *single piece runs*, meskipun mereka dapat dengan baik menangani *smaller lot runs* dari 10 sampai 50 benda kerja. Ketika robot *finishing cells* didesain dan diimplementasikan dengan baik, seorang operator dapat menangani sampai empat *cells* secara bersamaan. Ketika didesain sebuah *queue* yang besar digunakan konveyor atau metode lain seperti AGV's, tidak menjalankan produksi ketika istirahat, makan siang atau saat pergantian shift adalah normal.

Tidak dijalankannya produksi dapat diperhitungkan sebagai perbaikan produktifitas untuk tiap *shift*. Implementasi *process control software* untuk memonitor dan menghitung parameter proses telah bermanfaat bagi umur media sampai delapan jam dari ketidak aktifan operasi. Hal ini telah membuat perusahaan untuk menjalankan tiga

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

shift tidak beroperasi. Hal ini juga telah menambah manfaat dari otomatisasi, dengan tidak hanya mengurangi biaya media, tapi juga menyediakan waktu produksi sampai 23 jam dengan hanya 16 jam beroperasi.

Part selection

Ketika kita akan mengevaluasi benda kerja yang akan diproses, hal terbaik jika kita mensetup kategori seperti; bentuk, ukuran, berat, kebutuhan proses, material dan volume. Benda kerja dengan karakteristik yang sama atau serupa di kelompokkan dan dipisahkan. Konfigurasi dari banyak robot tidak dapat melakukan proses untuk semua bentuk dan ukuran yang sangat berbeda. Beberapa jenis benda kerja seperti tuas satau pipa memerlukan proses di keenam sisinya, membuat *part presentation*, pemegang, dan *head* adalah sangat penting. Proses untuk keenam sisi memerlukan memerlukan desain *head* khusus dan pemegang dengan konsep *part reorientation* akan membuat desain *cell* spesial. Volume benda kerja harus diperhitungkan untuk mengembangkan special *cell feature* yang lain.

Cell consideration

Ketika kita ingin memutuskan untuk mendesain teknologi atau melihat sistem penunjang, kita harus mempertimbangkan beberapa faktor. Pemilihan dari tiap komponen sangat penting antara lain ; *robots, heads, arrangement, software, tooling* dan keamanan untuk tiap komponen harus dievaluasi. Pemilihan robot harus dibuat semudah mungkin. Saran dari produsen harus dipertimbangkan, produsen dengan produk yang bermacam macam untuk berbagai kebutuhan dengan kontrol yang umum akan sangat bermanfaat. Hal ini akan sangat berguna ketika kebutuhan produksi membutuhkan spesifikasi, ukuran *cell* yang berbeda. Produk robot tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran, *polishing* dan *buffing* biasanya cocok menggunakan 6 derajat kebebasan, dengan *payload* 22 sampai 99 lb. Alasan utama harus dirumuskan , haruskah kita memutuskan untuk menggunakan robot dengan spesifikasi kurang dari 6 derajat kebebasan atau *payload* kurang dari 22 lb. Harus diperhitungkan kemampuan robot tersebut jika jenis dan ukuran dari benda kerja berubah di masa mendatang.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Process Heads

Pemilihan dan penempatan dari *heads* merupakan bagian yang penting dari desain dan implementasi dari *robot finishing cell.* Beberapa pengguna baru memilih lengan standar untuk buffing dan *polishing jack.* Pilihan ini jarang dapat bertahan untuk waktu yang lama, hampir semua sistem pendukung robot mempunyai bermacam desain *head* untuk memenuhi kebutuhan proses dan aplikasi yang luas dari *robot finishing*, *head* harus fleksibel. Bermacam-macam jenis *contact wheel* dan ukuran dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan proses dari berbagai benda kerja. Kecepatan penggantian *wheels*, desain *floating wheels*, kemampuan kontrol daya dan kecepatan adalah beberapa pertimbangan utama pemilihan *heads*. *Head* dengan vertical dan horizontal *belt* mungkin dibutuhkan untuk proses yang lebih baik dari benda kerja yang bervariasi. *Modern heads* telah didesain dengan fleksibilitas yang tinggi untuk berbagai proses. Sebuah desain *head* dapat mengakomodasi *belt, wheels, buffs,* dengan *software* untuk *kontrol belt* dan atau *buff wheel wear factor*. Memilih *head* untuk satu kegunaan, seperti operasi *belt* atau *wheel* dapat sangat berpengaruh pada keterbatasannya di masa mendatang untuk sebuah sistem *robot finishi*ng yang fleksibel.

End-Of-Arm Tooling

Benda kerja yang akan digunakan dalam proses *finishing* sangat mempengaruhi kita dalam mendesain sebuah *gripper*. Para produsen dari perusahaan *tooling company* banyak memproduksi bermacam-macam "off-the-shelf" *pneumatic actuated products*. Jenis *parallel* dan *three jaw styles* dengan *gripping forces* antara 30 sampai 330 lbs adalah jenis *gripper* yang paling banyak digunakan. Ketika kita ingin mendesain atau memilih suatu *gripper* untuk benda kerja tertentu, kita harus mempertimbangkan besarnya *gripping force* yang dibutuhkan untuk memegang benda kerja selama proses *finishing. Belt polishing* dapat digunakan untuk *gripping force* yang relatif bervariasi antara 30 sampai 100 lbs, tergantung pada ukuran benda kerja, bentuk dan permukaan *finger. Flap wheel, wire brushes* dan *syntetic wheel* membutuhkan suatu jenis *finger locking design* untuk mengunci benda kerja pada *fingers* agar mencegah benda kerja terlepas pada saat proses. Aplikasi *buffing* membutuhkan desain *gripper* yang paling

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sulit. *Buff* cenderung akan memegang pinggiran benda kerja dan mendorongnya menjauhi *gripper*, ketika *buff* sedang mengalami proses, *gripper* harus mempunyai gaya pemegang yang besar dari 100 sampai dengan 300 lbs dengan menggunakan *locking finger design*. Kadang-kadang benda kerja tidak dapat menggunakan produk "off-the-shelf", untuk kasus ini designer harus mendesain sendiri *pneumatic actuated cylinders, collets, mandrells*, dan peralatan lain yang dibutuhkan untuk memegang benda kerja. Tujuan utama dari *gripper* adalah memegang benda kerja dengan gaya yang tepat untuk operasional yang terus-menerus, *grippers* tidak boleh merusak benda kerja, dan mengganggu proses. *Grippers* harus dapat mengambil benda kerja dari *queuing nest* dan meletakkan benda kerja yang telah *difinishing* ke tempat yang telah disediakan tanpa merusak benda kerja yang telah *difinishing*. Bagian pemegang yang bersentuhan dengan benda kerja harus mempertimbangkan perubahan bentuknya, sangat dianjurkan untuk membuat desain *gripper* yang bersentuhan dengan benda kerja dapat diganti dengan mudah, karena hampir tidak mungkin membuat suatu *gripper* yang bagian pemegangnya tidak bersentuhan dengan benda kerja selama proses. *Gripper* juga harus dapat berkomunikasi dengan *cell* selama proses, *switches* atau sensor untuk mengidentifikasi *open/closed positions* dan *part present* akan sangat bermanfaat untuk mengatur proses. Ketika kita ingin mendesain suatu *gripper*, sangat dianjurkan untuk menghindari penggunaan *single acting spring unit*, dan *vacuum* untuk semua proses. *Single spring* dan *vacuum* tidak mempunyai reliabilitas seperti *pneumatic double acting mechanical design* dan harus dihindari sebisa mungkin. Desain *safety spring*, dimana sebuah *spring* bekerja bersama tekanan udara dan memberikan gaya pegang, jika tekanan udara hilang harus dipertimbangkan dimana benda kerja yang jatuh dapat menyebabkan masalah jika tekanan udara hilang.

Ketika seorang pengguna membutuhkan sejumlah benda kerja yang berbeda dalam satu *shift*, *tool change modules* adalah pemecahannya. Alat ini memungkinkan pengguna mengganti *gripper* secara cepat tanpa menggunakan alat yang lain, sehingga dapat menghindari penggunaan manual oleh operator dan waktu yang terbuang. Pada kasus yang lain *gripper* dihubungkan ddengan kabel dan pipa ke adapter yang terletak pada *pneumatic device* untuk mengunci *tool* pada lengan robot, cara ini dapat

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

memungkinkan pergantian *tool* dalam satu menit atau kurang. Biasanya seorang operator memerlukan waktu 10 sampai 15 menit untuk melepas da memasang baut pada *tool* ini. Pada proses yang memerlukan *finishing* benda kerja secaca menyeluruh terkadang dibutuhkan peralatan tambahan yang bekerja bersama dengan *gripper*. Peralatan yang umum adalah part *reorientation station*, dimana benda kerja ditempatkan pada *nest* dan diletakkan kembali pada posisi yang berbeda untuk menyelesaikan bagian benda kerja yang belum diproses. Teknik ini digunakan pada benda kerja seperti *hip* dan *knee implants* yang membutuhkan posisi pegangan dari banyak sisi.

Part Presentation

Pemilihan tipe *raw part's presentation* sangat berpengaruh pada produktivitas *cell*, banyak dari pengguna baru untuk pertama kali menggunakan *operator load* setiap benda kerja untuk robot EOAT, hal ini sangat jarang dapat memecahkan masalah produktivitas. Hampir semua *production cell* telah mengembangkan *raw part queue* dari 6 sampai 30 *parts, queue* ini memungkinkan *cell* untuk tetap beroperasi untuk beberapa persediaan *queue*.

Queue station dapat mengambil sejumlah *forms, single* dan *double drawer stations* adalah yang paling popular dikarenakan memungkinkan operator untuk memeriksa, mengganti jenis benda kerja dan operator tanpa mengganggu *cell's production. Conveyor* dapat menyediakan sampai delapan jam *parts queue* dan telah menyediakan bagi *customer* yang memerlukan *medium* sampai *high size lot runs*, sehingga dapat digunakan untuk *full* tiga *shift* operasi.

Ketika kita ingin memilih kapasitas dari *queue*, harus dipertimbangkan beberapa faktor berikut :

1. Harus diantisipasi penggunaan media untuk waktu yang panjang, benda kerja pada *queue* harus tidak boleh melebihi jumlah *part* yang berjalan pada satu set media. *Cell* akan berhenti jika media mengalami kelebihan dan biaya untuk penambahan *part* pada *queue* sangat merugikan.
2. Biaya *tooling* untuk *queue* dengan kapasitas yang besar sangat mahal.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. *Lot sizes*, yang terdiri dari 30 parts adalah tidak perlu jika tipe *lot run* hanya 12.

Cell Arrangement

Komponent *cell* harus disusun dengan pertimbangan kemudahan service, memprogram, dan operasionalnya. *Floor space* sangat penting pada setiap pabrik, tetapi mendesain sebuah *cell* dimana komponen-komponennnya diletakkan pada satu tempat dapat memyusahkan dalam memprogram dan perawatan. Menempatkan komponent pada *common base* dan menggunakan *plug-in connector* menambah biaya yang harus pengguna bayarkan ketika *cell* dipindahkan.

Cells didesain dengan *fence style barrier* dan *total walled enclosures*. *Fences* merupakan pemisah yang tidak mahal untuk memisahkan robot dengan operator, *fences* melindungi lingkungan luar dari lemparan atau jatuhnya benda kerja, tetapi desain *fences* ini harus menggunakan *dust collector* agar tidak mencemari lingkungan. Desain dengan *total walled enclosures* menggunakan *sheet metal* yang memiliki jendela dan pintu untuk mengakses. Total *enclosure* memiliki keuntungan tambahan karena tidak tercemarinya lingkungan, namun tetap diperlukan *dust coolector* yang biasanya diletakkan di lantai. *Heads* biasanya tidak membutuhkan *elaborate guards* dan *dust hoods* yang membuat media dapat bebas beroperasi untuk berbagai gerakan. *Cell lighting* disediakan oleh *independent lighting transformer to fluorescent* atau *adjustable flood light fixtures*.

Keamanan merupakan hal utama yang harus diperhatikan, standar pemerintah dan perhatian yang bagus diperlukan untuk menjaga/membatasi akses ke area kerja robot. Penyediaan fasilitas untuk mengakses *part* pada *queue* untuk operator tetap harus ada tanpa harus menggangu jalannya produksi. RIA *safety committee* telah mengeluarkan standar keamanan bagi pengguna robot.

Software

Software Robot polishing systems memperlihatkan sedikit kesamaan dengan aplikasi robot industri yang lain. *Finishing robots* tidak hanya melakukan sebuah proses , tetapi melakukan proses pada banyak lokasi(heads). Setiap proses memerlukan alat yang

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

berbeda dengan parameter proses seperti; SFPM, IPM, *force*, *dressing* and *compensation factors*. Untuk menyelesaikan seluruh proses, robot juga dapat melakukan *palletising* dan *depalletizing* benda kerja.

Program *logic* untuk menyelesaikan urutan proses dengan 6 buah media terpisah dapat terdiri dari *firing* dan *monitoring* lebih dari 60 I/O's dan sampai 8 *analog signals*. Untuk satu *user frame* dan satu *user tool* pada tiap *heads* diperlukan 40 sampai 60 *process points*. Hasil ini untuk kontrol struktur yang kompleks meskipun bagi programmer yang telah berpengalaman.

Jika *robotic finishing cell* digunakan untuk *tool proses*, mereka harus dibuat "user friedly". Perintah yang mendukung struktur *software* yang komplek untuk setiap bagian dari program harus dibatasi menjadi "polisher friendly" sistem menu yang sederhana. Sistem tersebut harus dapat mendukung seluruh proses tanpa operator harus sebagai programmer robot yang ahli. Menu sistem tersebut memungkinkan pengguna untuk mengembangkan urutan proses dengan menamai setiap user name. Semua input diberikan dari sistem CRT/Keyboard, seemua model operasi dapat diketahui dengan melihat menu pilihan proses, dengan status urutan proses, perhitungan material, *cycle time*, dan kesalahan yang ditampilkan oleh monitor. Pengguna tidak harus menulis urutan kode, perintah I/O on atau of, atau harus mengerti bahasa robot untuk mengembangkan kerja robot. Semua program yang komplek di buat oleh *executive software*, yang tidak dapat dilihat oleh pengguna. Dengan perlakuan seperti ini diharapkan pengguna dapat berkonsentrasi kepada produktivitas kerjanya, *process* dan *quality issues*, bukan pada program robot yang sangat komplek. Untuk mengembangkan *software* untuk *robotic finishing cell*, hal-hal dibawah ini harus menjadi pertimbangan :

- *Automated palletising/depalletizing routines*
- *Flexible sequence control*
- *Robot IPM, head force, SFPM override*
- *Media Wear compensation* (force, SFPM, or IPM)
- *Media Life Monitor*
- *Path-shut-off or multiple repeat*

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- *Path test run*
- *Frame offsets*
- *System fault screen*
- *Cycle timer/watch dog timer*
- *File management utilities.*

Process Programming

Proses atau urutan program dapat diajarkan langsung menggunakan *teach pendant. User* menggerakkan *hand polisher robot* menuju media yang akan dilakukan proses *finishing*, selama proses ini *user* dapat menseting parameter-parameter berdasarkan media yang digunakan dan area benda kerjayang akan diproses. Sebuah program yang baik memungkinkan bagi *user* untuk mengubah parameter proses (SFPM, IPM, Force). Memprogram sebuah *finishing robot* adalah sangat rumit dan membutuhkan waktu yang lama, terutama dalam menseting parameter dan melakukan tes untuk melihat hasil proses *finishing*. Pekerjaan ini menjadi lebih sulit ketika robot harus mengambil dan meletakkan benda kerja pada *queue* secara otomatis.

Technology Advances

Simulasi komputer dari aplikasi robot telah digunakan beberapa tahun yang lalu untuk mengevaluasi potensi aplikasi seperti jangkauan, *desain tool* dan *cycle time*. Metode simulasi telah berhasil digunakan untuk penyusunan peralatan, mengevaluasi desain EOAT dan memperhitungkan *cycle time*. Keuntungan terbesar dari penggunaan simulasi pada *polishing cell* adalah mengurangi banyak *teach time*, dapat juga dilakukan pada saat proses produksi berjalan dan akan memerlukan tambahan benda kerja yang baru. Pengalaman membuktikan bahwa *off-line taught* program dapat dilakukan dalam waktu yang terpisah, waktu yang digunakan selama simulasi hampir sama dengan waktu yang digunakan pada saat proses produksi. Bagaimanapun juga, menggunakan teknik *off-line robot cell* dapat menjalankan lebih banyak produksi selama proses pemrograman. Teknik simulasi dapat berjalan dengan berhasil pada model 3-D CAD, *customer part* terkadang sulit untuk dimodelisasi, dan pada beberapa kasus terlihat sedikit kesamaan

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

model dengan ukuran sebenarnya. Proses yang menggunakan *raw material* seperti *casting, forging* atau *molding* tidak selalu memiliki toleransi yang besar hal ini disebabkan oleh penggunaan *multiple molds* dan *die placed* selalu meningkat, faktor inilah yang meningkatkan kompelksitas pemrograman dengan menggunakan teknik *on-line* dan *off-line programming*. Produsen *software* simulasi telah mengembangkan *software* untuk mendukung *hand held* dan *CMM probes* dengan biaya murah. Penelitian ini memungkinkan *user* untuk mendapatkan data *part surface* dan juga pada *part* yang diproduksi sebenarnya, metode ini sangatlah menjanjikan untuk menjadikan pengembangan proses pemrograman menjadi lebih efektif.

Robot telah mengalami perkembangan baru dengan adanya proses *polishing*, karena sekarang robot dengan kontrol komputernya dan gerak terus-menerus telah dapat diprogram menyerupai gerak tangan manusia untuk melakukan proses *polishing* untuk berbagai bentuk permukaan *part* yang komplek. Seluruh produsen robot dan *user* yang semakin banyak pengalaman, software, simulasi dan kelebihan pada sistem dan proses serta evolusi teknologi lainnya akan membuat aplikasi proses *finishing* yang menggunakan robot semakin murah dan efisien.

I.5.3. Peralatan Polishing dan kegunaannya

Kesuksesan proses *polishing* yang menggunakan *Buffing Wheel* dengan *Compound* terletak pada 4 faktor utama yakni:

- Tipe *Cutting compound* harus digunakan untuk pekerjaan kasar, dengan menggunakan jenis *aggressive cloth buffing wheel* untuk mempercepat pengikisan permukaan kasar material. Setelah didapati hasil yang normal untuk lapisan tersebut kemudian dilanjutkan dengan "color operation" menggunakan *soft cloth buffing wheel* yang digabungkan dengan pemakaian warna *compound* yang sesuai untuk mendapatkan hasil sebuah permukaan yang mengkilap.
- Prosedur "Cut and Color" dengan memperhitungkan hasil yang diinginkan dapat dilakukan dalam satu kali proses dengan mempertimbangkan faktor ekonomisnya. Tipe-tipe *buffing wheel* yang digunakan dalam prosedur ini dapat sangat bervariasi sesuai dengan material, jenis *compound* dan hasil yang diinginkan.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Tipe *buffing wheel* yang digunakan harus sesuai dengan jenis *compound* yang dipakai, untuk jenis *compound* yang berbeda tidak boleh digunakan untuk satu *wheel* yang sama.
- Pemilihan *wheel* yang dipakai disesuaikan dengan ukuran material yang akan dikerjakan, serta kecepatan proses itu sendiri.

Beberapa pertimbangan yang harus dijadikan pedoman dalam memilih *wheel* yang tepat adalah sebagai berikut :

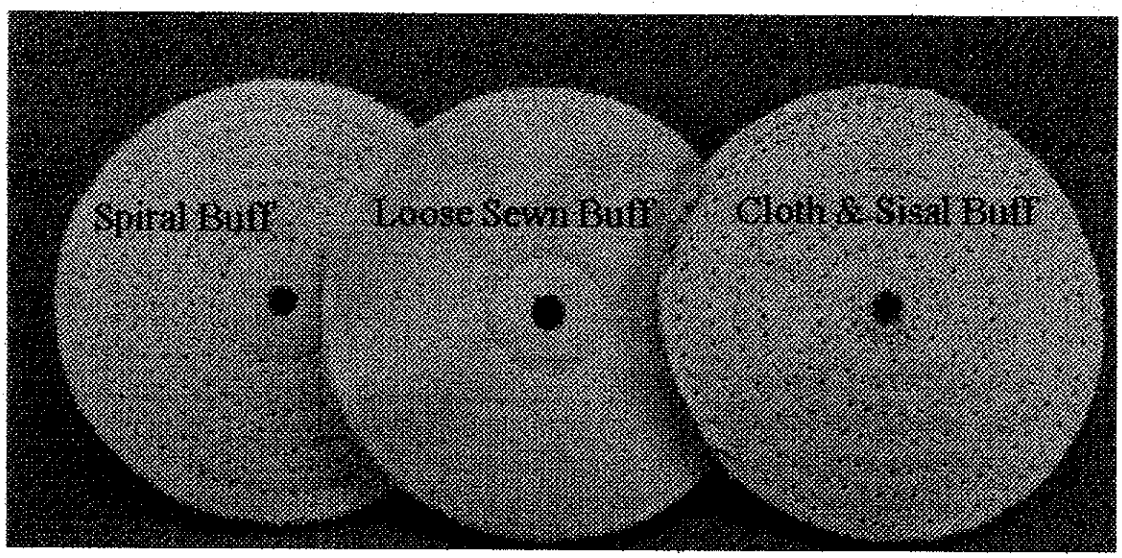
1. Pemilihan *wheel* disesuaikan dengan kecepatan luas permukaan per menit ketika proses berlangsung.
2. Diameter *wheel* yang digunakan disesuaikan dengan luasan operasi kerja yang mungkin terjadi.
3. Lebar permukaan *wheel* yang melakukan kontak dengan material sedikit lebih lebar dibandingkan dengan daerah kerja yang diinginkan.
4. Pemilihan kekerasan *wheel* dan material *wheel* disesuaikan dengan proses yang akan dilakukan.

Jenis-jenis *wheel* yang terdapat dalam dunia industri untuk proses *polishing* adalah sebagai berikut :

1. *Disc Canvas Wheels* – digunakan untuk peralatan pertanian seperti bajak dan sebagainya.
2. *Cloth (muslin) Polishing Wheels* – merupakan jenis yang paling banyak digunakan untuk berbagai jenis proses *polishing* dan berbagai tingkat kehalusan, mualai dari yang kasar sampai dengan yang halus.
3. *Leather Wheels – Bull neck leather* merupakan bahan yang umumnya digunakan dan dipakai ketika dibutuhkan sebuah *wheel* yang fleksibel untuk pengerjaan besi cor dan baja cor, kuningan serta perunggu.
4. *Solid Felt Wheel* – sangat cocok untuk pengerjaan permukaan *ferrous* dan *non ferrous metals*, menghasilkan *high finish* untuk baja, dan *medium finish* untuk kuningan dan alumunium.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

5. *Sheep Skin Wheels* – digunakan untuk menghilangkan bintik-bintik noda pada lembaran steinless steel.
6. *Compressed Canvas Wheels* dan *Compressed Leather* – digunakan untuk pisau pemotong, *small tool, button dies* dan sebagainya.
7. *Full Disc Buff* – terbuat dari 20 lapis lembaran berbagai macam benang jenis baru dan beratnya tergantung pada pemakaiannya.
8. *Bias Type Buff* – digunakan dimana dibutuhkan *cutting* kecepatan tinggi dan *coulouring buff*.



Gambar I.19. Polishing Wheel (Bright work, Inc.)

Gambar di atas merupakan contoh *Polishing wheel* ukuran kecil yang dikeluarkan oleh *Bright Work, Inc.*, yang terdiri dari 3 tipe yakni :

1. *Spiral Wheel* – terbuat dari bahan katun dengan pola benang berbentuk spiral yang memiliki keunggulan untuk pemakaian lama dengan kontrol yang baik, dan sesuai untuk segala jenis *compound*.
2. *Loose Sewn Wheel* – terbuat dari bahan katun kualitas tinggi untuk *finishing* hampir segala jenis logam, digunakan dengan *colouring* untuk menghasilkan permukaan yang mengkilap.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. *Cloth & Sisal Wheel* – merupakan jenis *cutting wheel* cepat dengan *compound* stainless untuk steinless steel, baja dan besi cor, menggunakan benang fiber, harus sering ditambahkan *compound* dan tidak boleh terlalu banyak.

Satu lagi tipe *Polishing wheel* yang dikeluarkan oleh *Bright Work, Inc.* yakni *Air-flex wheel* yang memiliki sifat lebih *abrasive* jika dibandingkan dengan tipe *spiral wheel*, namun tidak lebih *abrasive* jika dibandingkan dengan tipe *Loose sewn*, tetapi memiliki keunggulan dapat digunakan untuk berbagai bentuk permukaan karena dapat menjangkau permukaan yang lebih rumit, dan dapat digunakan untuk berbagai jenis *compound*.



Gambar I.20. Air-flex Polishing wheel

Berikut ini adalah tabel penggunaan berbagai jenis *compound* dan kegunaannya masin-masing.

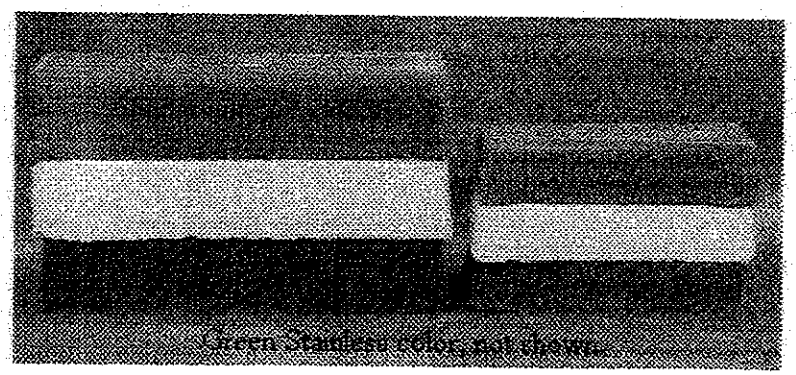
Tabel I.2. Tipe compound dan kegunaannya

TIPE COMPOUND	KEGUNAAN
COLORING	Untuk menghasilkan permukaan yang sangat mengkilap pada metal dan plastik
CROCUS	Untuk slight cut dan mewarnai soft metal

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

EMERY PASTE	Digunakan pada roll, set-up wheel, wire wheel, dan tampico wheel
GREASELESS	Untuk polishing, deburring atau satin finish
GREASE STICK	Untuk pelumasan polishing wheel dan abrasive belt
STEEL CUT	Penamaan menggambarkan fungsinya
TRIPOLI	Untuk Cut dan mewarnai non-ferrous metal, plastik, dan kayu
WHITE POLISH	Untuk Cut dan mewarnai alumunium, brass, bronze, copper, celluloid, die casting, hard rubber, plastik, dan kayu

Berikut ini merupakan tabel penggunaan jenis-jenis *compound* sesuai dengan jenis material yang akan *dipolish* berdasarkan *Mosher Company*.



Gambar I.21. Steinless steel compound

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel I.3. Penggunaan compound dan materialnya

MATERIAL	PROSES		
	COLOR	CUT & COLOR	CUT
ALUMUNIUM	COLORING COMPOUNDS 862 Soft, Dry 1062 Med. Hard, Med. Dry 1979 Very Hard, Dry 2222 Med. hard, Dry, Pink 2382 Hard, Dry, Yellow	TRIPOLI COMPOUNDS 1571 Hard, Very dry, 100 percent Saponifiable WHITE POLISH COMPOUNDS 16 Med. hard Dry 621 Hard, Dry	GREASELESS COMPOUNDS when more cut is required TRIPOLI COMPOUNDS 75 Med. hard, Med. Dry
NICKEL, SILVER & GOLD	COLORING COMPOUND 2113 W.D. Med. Hard, Dry, Water Disperseable 2222 Med. hard, Dry, Pink, Extra bright lustre	COLORING COMPOUND 1062 Med. hard, Med. dry CROCUS COMPOUNDS 7 Hard, Dry	TRIPOLI COMPOUNDS 1494 Hard, Med. Dry 1571 Hard, Very dry, 100% Saponifiable
BRASS & BRONZE	COLORING COMPOUNDS 1062 Med. Hard, Med. dry 1979 Very Hard, Dry 2222 Med. hard, Dry, Pink Extra bright lustre 2382 Hard, Dry, Yellow	TRIPOLI COMPOUNDS 100 percent Saponifiable 1571 Hard, Very dry WHITE POLISH COMPOUNDS 16 Med. hard Dry 621 Hard, Dry	TRIPOLI COMPOUNDS 75 Med. hard, Med. Dry 2010 Med. hard, Med. dry 2364 Hard, Med. dry
CHROMIUM PLATE	COLORING COMPOUNDS 1062 Med. Hard, Med. dry 1965 Hard, Med. Dry	COLORING COMPOUNDS 2318 W.D. Med. Hard, Med. dry	STEEL CUTTING 2330 Hard, Dry

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

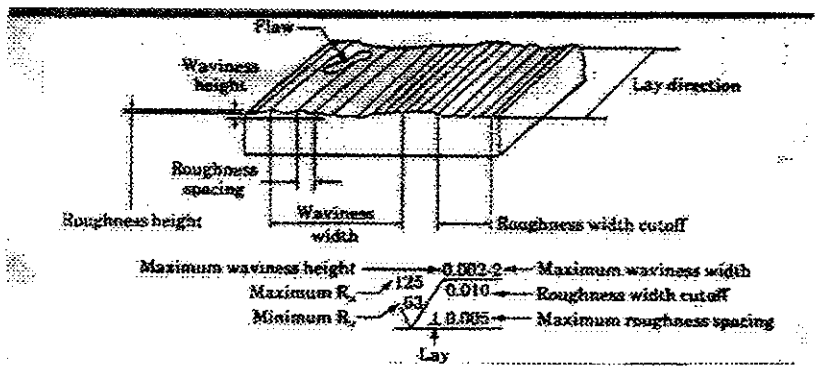
COPPER	COLORING COMPOUNDS 862 Soft, Dry 1062 Med. Hard, Med. dry 1979 Very Hard, Dry 2222 Med. hard, Dry, Pink	TRIPOLI COMPOUNDS 1571 Hard, Very dry 100% Saponifiable WHITE POLISH COMPOUNDS 16 Med. Hard, dry 621 Hard, Dry	TRIPOLI COMPOUNDS 75 2010
STEEL & STAINLESS STEEL	COLORING COMPOUNDS 1979 Very Hard, Dry 2181 Green Hard, Dry 2222 Med. hard, Dry, Pink, Extra bright lustre 2382 Hard, Dry, Yellow	COLORING COMPOUNDS 1062 Med. hard, Med. dry 2318 W.D. Med. Hard, Med. dry	STEEL CUTTING COMPOUNDS 271 Med. hard, Med. dry 1722 Hard, Med. dry 2330 Hard, Med. dry
PLASTIK & HARD RUBBER	COLORING COMPOUNDS 71 Med. hard, Med. Dry 862 Soft, Dry (*Lexan Compound) 2045 Soft, Med. dry (Anti-static)	WHITE POLISH COMPOUNDS 16 Med. Hard, Dry 17 Med. Hard, Med. Dry 2040 Med. hard, Greasy (Anti-static)	MISC COMPOUNDS 2105 Med. hard, Med. dry TRIPOLI COMPOUNDS 112 Med. hard, Med. dry 1010 Med. hard, Med. dry 1981 Soft, Med. Dry
WOOD	COLORING COMPOUNDS 1954 Med. hard, Med. dry 1979 Very hard. Dry	WHITE POLISH COMPOUNDS 1062 Med. hard, Med. dry	TRIPOLI COMPOUNDS 112 Med. hard, Med. dry 1571 Hard, Very dry 1722 Hard, Med. Dry
LEAD, PEWTER, WHITE METAL	COLORING COMPOUNDS 862 Soft, Dry Rouge 2113 W.D. Med.	CROCUS COMPOUND 7 Hard, Dry WHITE POLISH	TRIPOLI COMPOUNDS 1571 Hard, Very dry 2010 Soft, Med. dry

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

	Hard, Dry, Water Disperseable	COMPOUNDS 621 Hard, Dry	2318 W.D. Med. hard, Med. Dry
NICKEL	COLORING COMPOUNDS 1965 Hard, Med. Dry 1979 Very hard, Dry	-	-

III.4. Kekasaran Permukaan dan Hasil Proses Polishing

Semua permukaan, bagaimanapun metode manufakturing dan preparasinya, mempunyai karakteristik khusus yang disebut dengan *surface finish* atau *texture*. Penggambaran secara geometrik tentang bentuk permukaan material cukup diperlukan. Pedoman yang secara umum menerangkan dan mengukur tentang hal tersebut telah ada seperti yang tertera pada gambar I.22. dibawah ini.



Gambar I.22. Standard surface finish terminology and symbol

Keterangan :

Waviness : deviasi yang terjadi diukur dari permukaan yang rata. Hal ini terjadi dimungkinkan oleh adanya *defleksi tools, dies*, dan benda kerja selama proses, *warping*, ketidakrataan dalam pelumasan, *vibrasi*, atau ketidakstabilan mekanik ataupun suhu di dalam sistem. Yang diukur untuk *waviness* adalah tinggi dan lebar dari *wave*.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Roughness : wilayah yang kecil, deviasi yang tidak teratur dalam skala yang lebih kecil daripada *waviness*, mungkin terletak diatas *waviness*. Yang diukur dalam *roughness* adalah tinggi, lebar dan jarak/panjang permukaan yang diukur.

Lay : arah dari pola utama permukaan, yang biasanya dapat dilihat atau diamati dengan mata telanjang.

Flaws : ketidakteraturan seperti *scratches* (goresan), *cracks* (retakan), *holes* (lubang), *depressionss*(lubang akibat tekanan), *laps* , *seam* (jalur sambungan), *tears* (sobekan), dan *inclusions*.

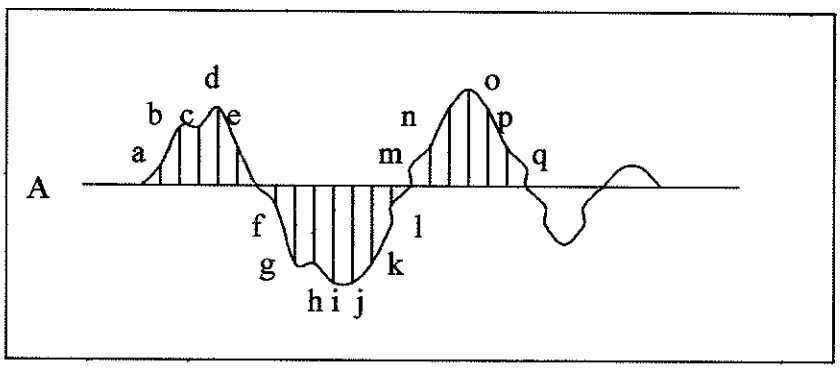
Umumnya, dua besaran yang menggambarkan kekasaran permukaan adalah *arithmetical average*, Ra (sering disebut AA atau CLA, Center Line Average) dan *Root Means Square Average*, Rq (RMS).

Berdasarkan skema yang diilustrasikan dibawah ini , *Arithmetical Average Roughness* didefinisikan sebagai :

$$Ra = \frac{a+b+c+d+....}{n}$$

dan *Root Means Square Average* adalah :

$$Rq = \sqrt{\frac{a^2+b^2+c^2+d^2+....}{n}}$$



Gambar I.23. Surface Roughness Measurement

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dikarenakan kesederhanaannya, *Arithmetical Average*, Ra telah menjadi standar Internasional dan telah digunakan secara luas. Meskipun demikian dari gambar diatas terlihat adanya hubungan antara Rq dan Ra. Sebagai contohnya dapat terlihat pada kekasaran permukaan dari *sine wave*, Rq berbanding lurus dengan Ra dimana, Rq=(1,11)(Ra).

Telah dilakukan penelitian untuk proses permesinan pada umumnya, Rq=(1,25)(Ra) dan lebih kurang, Rq=(1,45)(Ra) untuk proses *honing*. Besaran yang pada umumnya digunakan adalah mikro inchi (μin) atau mikro meter(μm), dimana 1 μin=0,025 μm dan 1 μm=40 μin.

Kekasaran permukaan biasanya diukur dan dicatat menggunakan peralatan yang bervariasi, yang disebut *surface Profilometers*. Salah satu yang umum dipakai adalah *diamond stylus* yang dijalankan secara garis lurus diatas permukaan material. Untuk memperlihatkan kekasaran permukaan, jalannya *profilometer* direkam menggunakan skala vertikal (tinggi kekasaran) yang besarannya lebih besar dibandingkan dengan skala horizontal.

Disebabkan oleh adanya radius dari *tip stylus*, bagian ini lebih halus dibandingkan dengan kekasaran permukaan yang sebenarnya. Semakin kecil radius dari tip dan semakin rendah kekasaran permukaan, akan semakin mendekati besaran dari kekasaran permukaan yang sebenarnya. Yang umum digunakan untuk mengukur kekasaran adalah menggunakan *stylus* berdiameter 0,0004 in (10 μm). rekaman permanen dari profil permukaan dibuat oleh peralatan mekanik dan elektronik.

Kekasaran permukaan juga dapat diteliti dengan menggunakan optik atau mikroskop elektron. *Stereoscopic photograph* sangat berguna untuk penelitian permukaan tiga dimensi. Kekasaran permukaan dapat juga diukur dengan menggunakan alat ini.

Pengukuran dan pemahaman kekasaran permukaan material dapat dirasa cukup komplek dan juga kontroversial. Pada umumnya tidak cukup menggambarkan kekasaran permukaan material dengan hanya menggunakan Ra atau Rq saja, dua permukaan material yang berbeda dapat mempunyai nilai kekasaran yang sama, seperti yang diukur oleh *profilometer*, tetapi topografinya mungkin berbeda. Perbedaan dari profil kedua

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

material dapat sangat berpengaruh besar ketika kita menghitung gesekan, *wear* (keausan), dan mekanisme pelumasan.

Simbol-simbol yang menjelaskan tentang *lay* dari sebuah permukaan diberikan pada tabel I.4. Simbol untuk *lay* diletakkan pada pojok kanan bawah dari *check mark*.

Tabel I.4. Lay symbols for engineering surfaces

Lay symbol	Interpretation	Examples
=	Lay parallel to the line representing the surface to which the symbol is applied	
⊥	Lay perpendicular to the line representing the surface to which the symbol is applied	
X	Lay angular in both directions to line representing the surface to which symbol is applied	
M	Lay multidirectional	
C	Lay approximately circular relative to the center of the surface to which the symbol is applied	
R	Lay approximately radial relative to the center of the surface to which the symbol is applied	
P	Pitted, protuberant, porous, or particulate nondirectional lay	

Simbol-simbol tersebut digunakan untuk menjelaskan sebuah permukaan berdasarkan kekasaran, *waviness*, dan *lay*, untuk itu *flaws* tidak termasuk. Bagaimanapun juga karena pentingnya, terdapat tanda khusus dalam gambar teknik yang menjelaskan tentang metode pemeriksaan untuk berbagai macam *surface flaws*.

Besarnya tingkat kekasaran dari sebuah permukaan yang akan *difinishing* dibutuhkan untuk aplikasi *engineering* yang diberikan dalam tabel I.5.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

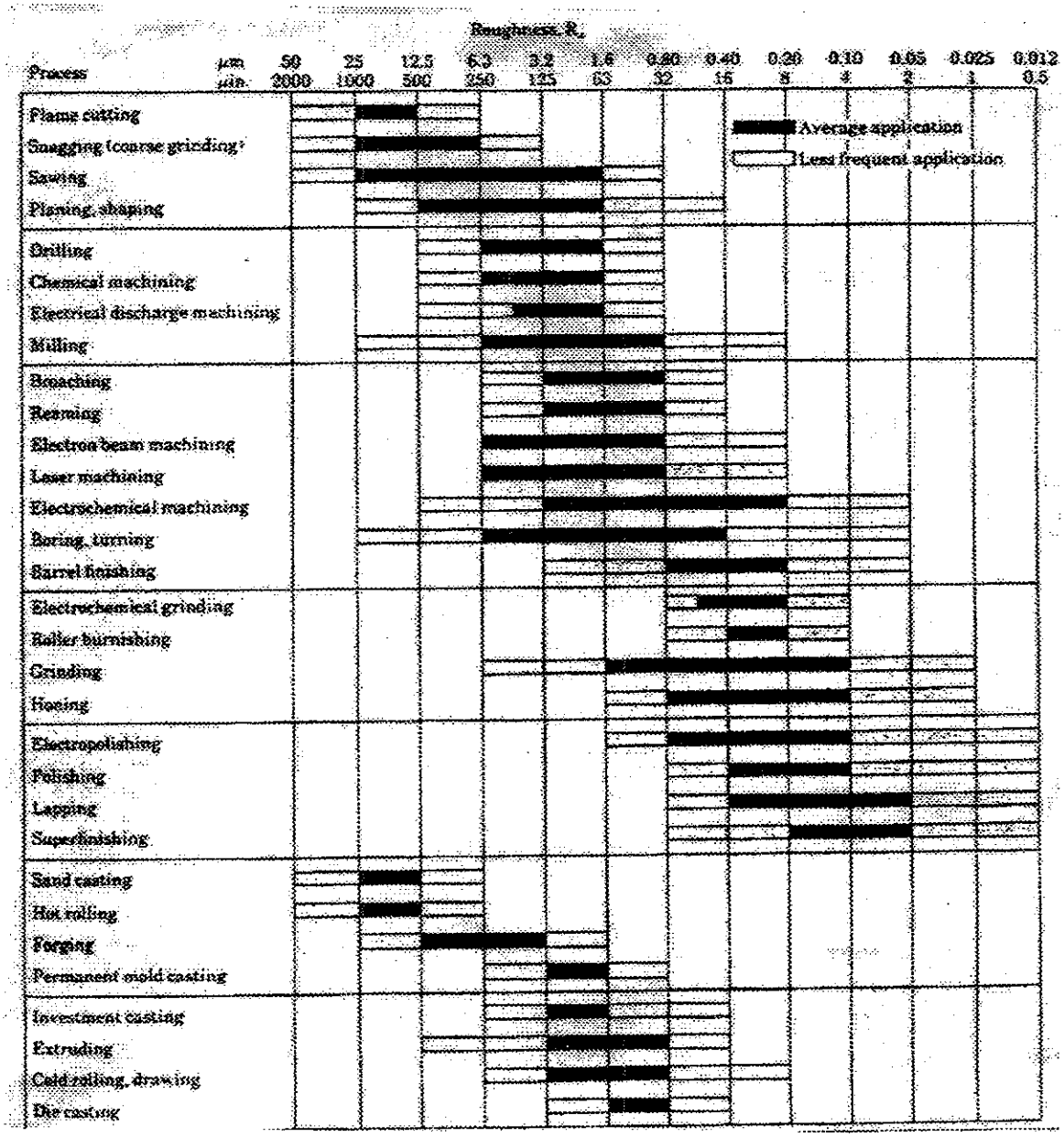
Tabel I.5. Tingkat kekasaran beberapa komponen engineering

(250 µin)	6,3	Clearance surfaces Rough machine parts	(16 µin)	0,40	Motor shaft Gear teeth (heavy loads) Spline shafts O-ring grooves (static) Antifriction-bearing bores and faces Chamshaft lobes Compressor-blade airfoils Journals for elastomer lip seals
(125)	3,2	Mating surfaces (static) Chased and cut threads Clutch-disk faces Surfaces for soft gaskets	(13)	0,32	Engine cylinder bores Piston outside diameters Crankshaft bearings
(63)	1,60	Piston-pin bores Brake drums Cylinder block, top Gear locating faces Gear shafts and bores Ratchet and pawl teeth Milled threads Rolling surfaces Gearbox faces Piston crowns Turbine-blade dovetails	(8)	0,20	Jet-engine stator blades Valve-tappet cam faces Hydraulic-cylinder bores Lapped antifriction bearings
(32)	0,80	Boached holes Bronze journal bearings Gear teeth Slideways and gibs Press-fit parts Piston-rod bushing Antifriction-bearing seats Sealing surfaces for hydraulic tube fitings	(4)	0,10	Ball-bearings faces Piston-pins Hydraulic piston rods Carbon-seal mating surfaces
			(2)	0,050	Shop-gage faces Comparator anvils
			(1)	0,025	Bearing balls Gages and mirrors Micrometer anvils

Tabel I.6. menunjukkan kisaran tingkat kekasaran dari berbagai macam proses *machining*, *forming*, dan proses *casting*.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel I.6. Kisaran tingkat kekasaran dari berbagai macam proses manufaktur. (Sumber Courtesy of General Motors)

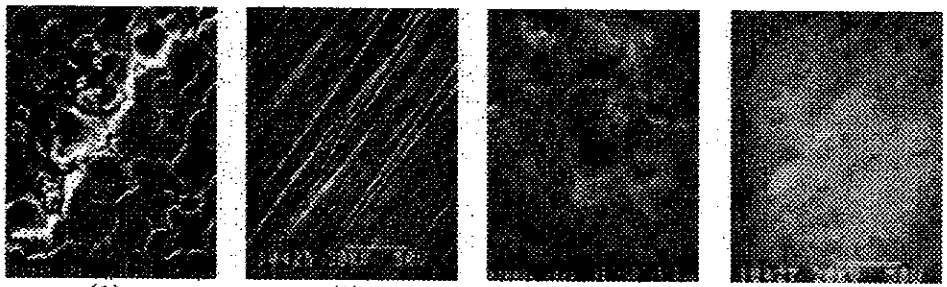


Dari tabel tersebut terlihat bahwa untuk proses *polishing* rata-rata tingkat kekasaran yang diperoleh berkisar antara 0,40 sampai dengan 0,10 μm namun untuk aplikasi tertentu dapat mencapai 0,012 μm.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Proses *polishing* merupakan sebuah metode *finishing* yang cukup baik untuk menghasilkan permukaan yang halus dan banyak digunakan untuk proses manufakturing di industri jika dibandingkan dengan proses *lapping* maupun *super finishing*, meskipun untuk proses lapping dan superfinishing rata-rata hasilnya dapat mencapai 0,05 μm.

Gambar I.24. menunjukkan contoh hasil proses polishing sebuah material.



(1) (2) (3) (4)

Gambar I.24. Visualisasi hasil proses polishing[11]

Keterangan :

(1) Merupakan gambar dari permukaan sebuah material steinless steel yang belum dilakukan proses *finishing* (sebelum proses *polishing*).
Terlihat permukaan banyak terdapat *crevasses* dan kasar.

(2) Merupakan gambar permukaan material steinless steel setelah dilakukan proses *polishing*.
Terlihat permukaan lebih rata dan halus dibandingkan jika tidak dilakukan *polishing*, meskipun masih terdapat *grooves* yang teratur.

(3) Merupakan gambar dari hasil proses *superfinishing* permukaan material (1) yang sebelumnya belum dilakukan *polishing*.
Terlihat permukaan menjadi lebih halus, dan sebagian besar *crevasses* menjadi hilang.

(4) Merupakan gambar dari hasil proses superfinishing permukaan material (2) yang sebelumnya telah *dipolish*.
Terlihat permukaan menjadi sangat rata dan halus, tidak ada lagi *grooves* atau *crevasses*.

[11] www.preciseusa.com

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II.
ROBOT INDUSTRI KAWASAKI FS30L

Di tengah persaingan dalam dunia industri dewasa ini, pemakaian robot industri sebagai suatu terobosan baru telah menjadi sorotan bagi pelaku-pelaku bisnis. Pertimbangan-pertimbangan ekonomis, efisiensi, keselamatan dan sebagainya selalu digali untuk mencari kemungkinan-kemungkinan digantinya sistem yang lama menjadi sistem robot. Dengan persaingan yang sangat kompetitif itulah, maka para produsen robot berusaha terus melakukan penelitian-penelitian serta inovasi-inovasi yang baru yang mampu memenuhi kebutuhan para konsumennya dengan tidak meninggalkan sisi komersialnya untuk dapat bersaing di pasar global.

Salah satu produsen robot industri yang cukup terkenal pada saat ini adalah Robot Industri Kawasaki yang berpusat di Jepang. Dengan inovasi-inovasinya Robot Industri Kawasaki mampu menjadi pesaing utama dalam bisnis robot industri, Kawasaki mampu memberikan kecanggihan teknologinya sehingga banyak para konsumen yang menggunakan robot ini untuk keperluan produksinya. Hampir di setiap negara yang memiliki industri maju dan berkembang menggunakan robot Kawasaki, untuk itu Kawasaki telah membuka banyak cabang perusahaannya di banyak negara demi memenuhi kebutuhan konsumennya dan merebut pangsa pasar internasional.

Robot Industri Kawasaki telah memproduksi berbagai tipe robot yang digunakan dalam industri seperti *Arc Welding, Spray painting, Handling, Paletizing, Clen Room,* dan sebagainya. Robot Industri Kawasaki juga terus memperbaharui teknologinya dengan seri-seri yang lebih baru agar dapat bersaing dengan produsen robot lainnya.

II.1. Diskripsi Robot Industri Kawasaki

II.1.1. Sejarah Perusahaan

Kawasaki Heavy Industries LTD (KHI) merupakan perusahaan besar yang terdiri dari; *R&D, Engineering, Manufacturing,* dan *Service Oriented Tasks.* KHI berdiri pada tahun 1896. KHI sekarang memiliki 21 fasilitas *manufacturing* di seluruh penjuru dunia;

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4 berada di Amerika Serikat dan satu berada di United Kingdom. KHI memiliki karyawan sebanyak 16500 orang dengan volume penjualan lebih dari 9 juta US$.

Divisi Robot adalah merupakan bagian dari Consumer Products & Machinery Group. Kawasaki memasuki bisnis robot industri pada tahun 1968 dengan sebuah teknologi yang berlisensi bersama Unimation, dan memulai memproduksi dan menjual robot di Jepang.

Berikut ini merupakan gambaran peningkatan pertumbuhan produksi Robot Industri Kawasaki setelah tahun 1968[1]:

- 1968 – Memulai memproduksi robot hidrolik dibawah lisensi dari Unimation.
- 1973 – Produksi robot meningkat menjadi 100 unit.
- 1980 – Produksi robot meningkat menjadi 1.000 unit.
- 1983 – memulai memproduksi robot P-series.
- 1985 – Lisensi bersama dengan Unimation berakhir.
- 1986 – Mengembangkan *electric robot* (desain dasar Robot Kawasaki).
- 1986 – Produksi robot mencapai 5.000 unit.
- 1989 – Mengembangkan robot J-series.
- 1990 – Produksi robot mencapai 10.000 unit.
- 1991 – Mengembangkan robot U-series.
- 1992 – Penggabungan Divisi Robot dengan Divisi Factory Automation.
- 1993 – Produksi robot mencapai 15.000 unit.
- 1995 – Produksi robot mencapai 20.000 unit.
- 1998 – Memperoleh sertifikat ISO 9001.
- 1999 – Membuka kantor di Kentucky.
- 2000 – Membuka kantor di Kanada.
- 2000 – Membeli Kobe Steel Robot Division.
- 2000 – Mengembangkan robot Z-series.

[1] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Divisi Robot mendirikan anak perusahaan di Amerika Serikat dan Eropa untuk memenuhi kebutuhan lokal akan robot. Ketiga anak perusahaan tersebut adalah Kawasaki Robotics (USA), Inc (KRI), Kawasaki Robotics (UK) Limited (KRUK), dan Kawasaki Robotics GmbH (KRG).

Kantor pusat Amerika Utara, Kawasaki Robotics (USA),Inc., dibuka pada tahun 1986 dan bergabung pada tahun 1990. Kantor cabang dibuka di UK pada tahun 1991, dan KRUK didirikan pada tahun 1995. KRG didirikan pada tahun 1995. Pada tahun 1998 Kawasaki Robotics membuka North American Training Center. KRI sebagai kantor pusat perusahaan secara langsung melakukan penjualan dan melayani konsumen di berbagai penjuru dunia.

Kawasaki Robotics (USA),Inc. menyediakan fasilitas sebagai berikut :

- *System Integration* dan *project management*.
- *Application Engineering*.
- *Feasibility studies* dan *Robotics simulations*.
- *Sales* dan *Marketing*.
- *Training* dan *Documentation*.
- *Field service* dan *Spare parts*.
- *Maintenance* dan *service program*.
- *Installation* dan *start-up*.
- *Hot line* 24 jam.
- *Refurbishing* dan *overhoul*.

II.1.2. Visi dan Misi perusahaan

Visi Industri Robot Kawasaki adalah meningkatkan penjualan, sebagai bagian dari keluarga besar Kawasaki seluruhnya, dengan menjaga kemampuan untuk mencapai target kami.

Misi dari Industri Robot Kawasaki adalah kami menyediakan pemecahan masalah robot – kami bertekad untuk menjadi yang terbaik.. kami menghargai orang-orang yang telah membesarkan perusahaan kami, pelanggan kami, dan komunitas kami. Kawasaki robotics adalah sebagai pemimpin dalam pengadaan robot industri dan sistem otomatis.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dengan beban robot yang berkisar antara 2 kg sampai 300 kg, kami melayani secara luas bagi kebutuhan industri dan aplikasinya.

Komitmen kami demi kualitas dan perbaikan yang terus-menerus telah membawa kami menjadi salah satu pemimpin *supplier* di dunia, dengan lebih dari 600 unit yang telah digunakan di Amerika Utara dan lebih dari 30.000 unit di penjuru dunia.

Tantangan-tantangan dari pengembangan sistem untuk pelanggan kami bervariasi, dan setiap kasus harus diselesaikan dengan hati-hati. Untuk beberapa pelanggan hanya dibutuhkan *single stand-alone robot*, untuk yang lain jauh lebih komplek. Untuk kasus ini, Kawasaki Robotics telah memiliki kemampuan mendesain, merakit, mengetest sistem, melakukan secara menyeluruh manajemen proyek dari konsep sampai dengan implementasinya.

II.2. Spesifikasi Robot Kawasaki FS30L

Robot Kawasaki FS30L merupakan salah satu seri dari Kawasaki F-series yang didesain sebagai sebuah perwujudan dari *art robot*. Jangkauan robot F-series, dengan berat yang ringan dan konstruksi lengan yang kecil sangat cocok untuk beban kecil sampai dengan menengah. Robot ini beroperasi dengan kecepatan yang tinggi dan memiliki akurasi yang tinggi serta *work envelope* yang fleksibel. Bidang pemasangan sangat kecil sangat kontras dengan work envelope yang luas.

Kelebihan-kelebihan yang ada pada Robot Kawasaki FS30L ini adalah :

1. *Speed Up – High Speed and High Performance*

   Kawasaki FS30L mengurangi *cycle time*.

   Dengan pengembangan konstruksi lengan yang ringan, *high output* dengan motor kecil serta efisiensi *reduction gear* yang tinggi, kecepatan maksimum robot telah ditingkatkan sebesar 20 % dari robot Kawasaki sebelumnya.

2. *Shape up – Small and Compact*

   Kawasaki FS30L dapat beroperasi dalam daerah yang sempit.

   Penghematan ruang merupakan salah satu keunggulan dari FS30L ini. Dengan desain yang kompak dan kecil, membuat dimensi lengan yang kecil dan

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

konfigurasi vertikal yang sederhana memungkinkan *lay out* yang efisien untuk peralatan tambahan.

Rumah penyangga sumbu/motor mengurangi area lantai yang dibutuhkan.konfigurasi *wrist* membuat instalasi kabel dan selang menjadi mudah. Robot FS30L berukuran kecil, sederhana dan energi yang digunakan sangat efisien dengan peralatan yang sangat mudah dipasang dan dibongkar.

3. *Full Line Up – Conversion and Variation*

Kawasaki FS30L dapat menyediakan berbagai macam keuntungan.

Robot FS30L merupakan robot *Handling* dengan pemasangan *Floor, Ceilling* atau *shelf mount*. Robot FS30L juga memiliki keuntungan lain yakni sistem pemasangan dengan konstruksi modul sehingga dapat dengan mudah dilakukan penggantian lengan untuk aplikasi lain dengan jangkauan dan beban yang berbeda sesuai dengan *conversion chart*.

Spesifikasi Robot Kawasaki FS30L selengkapnya dapat dilihat pada tabel II.1. di bawah ini.

Tabel II.1. Spesifikasi Robot Kawasaki FS30L[2]

Arm Type		Articulated Type	
Degrees of Freedom		6 Axes	
Axis Work Envelope and Max. Speed	Axis	Max. Stroke	Max. Speed
	JT1 : Arm rotation	±160°	160°/s
	JT2 : Arm out-in	+140°~-105°	140°/s
	JT3 : Arm up-down	+120°~-155°	160°/s
	JT4 : Wrist swivel	±270°	240°/s
	JT5 : Wrist bend	±130°	240°/s
	JT6 : Wrist twist	±360°	340°/s
Max. Reach		2,100 mm (from JT1-JT5)	

[2] www.khi.co.jp

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Max. Payload		30 kg
Moment	JT4 : Wrist swivel	176.4 N.m
	JT5 : Wrist bend	176.4 N.m
	JT6 : Wrist twist	176.4 N.m
Moment of Inertia	JT4 : Wrist swivel	7.2 $kg.m^2$
	JT5 : Wrist bend	7.2 $kg.m^2$
	JT6 : Wrist twist	3.3 $kg.m^2$
Position Repeatability		±0.15 mm (at Wrist Flange Surface)
Max. linear speed		11,100 mm/s (at Wrist Flange Surface)
Mass		585 kg (Excluding Option)
Body Colour		Munsell 10GY9/1 equivalent
Installation		Floor, Ceiling or Shelf mount
Environmental Condition	Ambient Temperature	0~45°C
	Relative Humidity	35~85 % (No Dew, Nor Frost Allowed)
	Vibration	Less than 0.5 G
	Other	The robot installing place should be free from : • inflammable or corrosive liquid or gas • electric noise interference
Pneumatic Circuit		Double Solenoid Valve : 1 circuit
Degree of Protection		IP65 equivalent

II.3. Kemampuan operasi Robot Kawasaki FS30L

Robot Kawasaki FS30L merupakan robot yang didesain untuk proses *handling* dengan beban kecil sampai menengah yakni sampai dengan 30 kg. sebagaimana yang tercantum dalam tabel spesifikasi robot FS30L, robot ini mempunyai 6 buah *link* dan sebuah *base* yang bergerak dengan sumbu geraknya berupa 6 buah *joint*. Setiap *joint*

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tersebut digerakkan oleh masing-masing sebuah servo motor dengan daya yang berbeda-beda sesuai dengan torsi yang dialami oleh tiap-tiap *joint*. Transmisi yang menjadi penggerak masing-masing lengan berupa transmisi roda gigi kecuali untuk *joint* 5 dan 6 yang menggunakan *belt* dan *pulley* sebagai sistem penggeraknya. Hal ini diambil dengan pertimbangan bahwa momen torsi yang dialami *joint* 5 dan 6 harus diperkecil agar beban yang dapat digunakan menjadi lebih besar, dengan cara menggeser titik berat *link* 5 dan *link* 6 mendekati joint 4, yakni motor penggerak kedua *joint* tersebut diletakkan pada *link* 4.

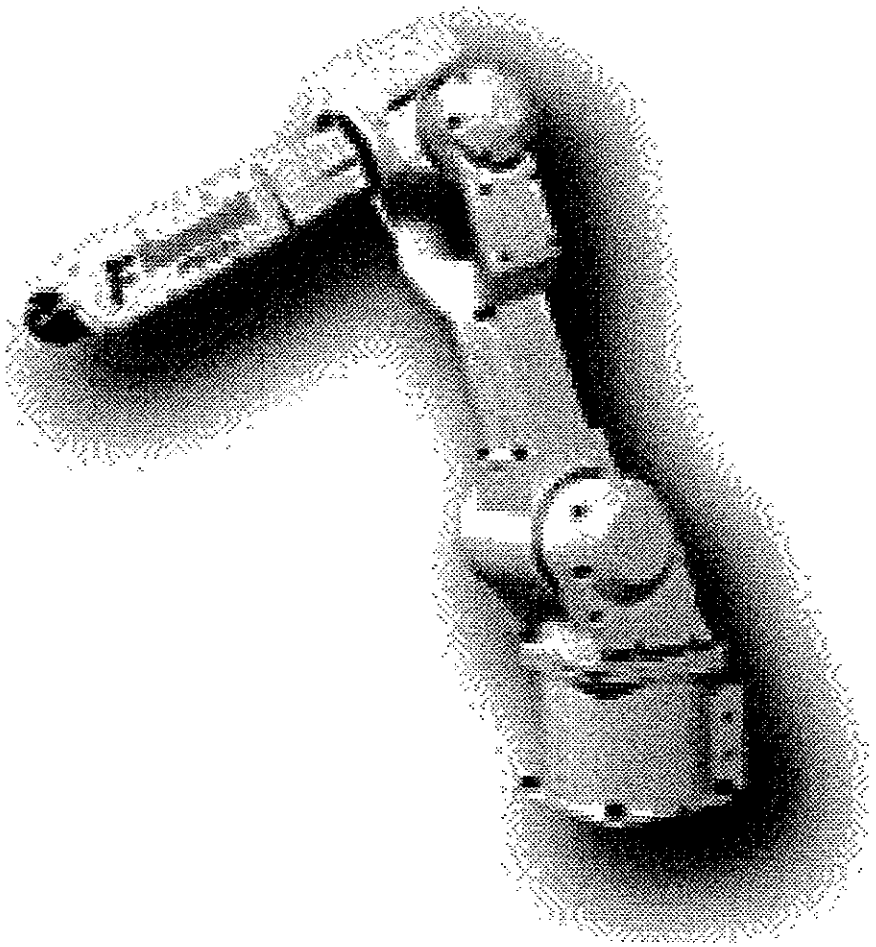
Pada robot Kawasaki FS30L ini semua joint merupakan *revolute joint* sehingga gerakan masing-masing *joint* merupakan gerak rotasi dengan sumbu *joint* sebagai sumbu rotasinya. Untuk *joint* 1 (arm rotation) yang menggerakkan *link* 1 dapat berputar sebesar 320° mengelilingi sumbu *base* dengan perincian 160° sebelah atas bidang gambar dan 160° sebelah bawah bidang gambar. Untuk *joint* 2 (arm out-in) yang menggerakkan *link* 2 dapat berputar 140° disebelah kiri sumbu vertikal bidang gambar berlawanan arah jarum jam dan 105^0 disebelah kanan sumbu vertikal bidang gambar searah jarum jam. Untuk *joint* 3 (arm up-down) yang menggerakkan *link* 3 dapat berputar 120° disebelah kanan sumbu memanjang *link* 3 searah jarum jam dan 155^0 disebelah kiri sumbu memanjang *link* 3 berlawanan arah jarum jam. Untuk *joint* 4 (wrist swivel) yang menggerakkan *link* 4 secara rotasi sejajar sumbu memanjang *linknya* dapat berputar sebanyak 540° masing-masing 270° di sebelah bawah dan atas bidang gambar. *Joint* 5 (wrist bend) yang menggerakkan *link* 5 dapat berputar sebanyak 260° dengan perincian 130° ke arah atas bidang gambar dan 130° ke arah bawah bidang gambar. Untuk *joint* 6 (wrist twist) yang menggerakkan *link* 6 dapat berputar sebanyak 720° terhadap sumbu memanjang *linknya* dengan masing-masing sebesar 360° ke arah atas dan bawah bidang gambar.

Motor listrik yang menggerakkan masing-masing *link* berupa servomotor yang letaknya berada di tiap-tiap *link* sebelumnya kecuali untuk *link* 6 yang servomotornya berada pada *link 4*.

Dengan kombinasi antara derajat putaran maksimum untuk tiap-tiap *joint* dan panjang masing-masing *link*, Robot Kawasaki FS30L memiliki daerah kerja (work envelope) yang luas yang terlihat pada gambar II.2

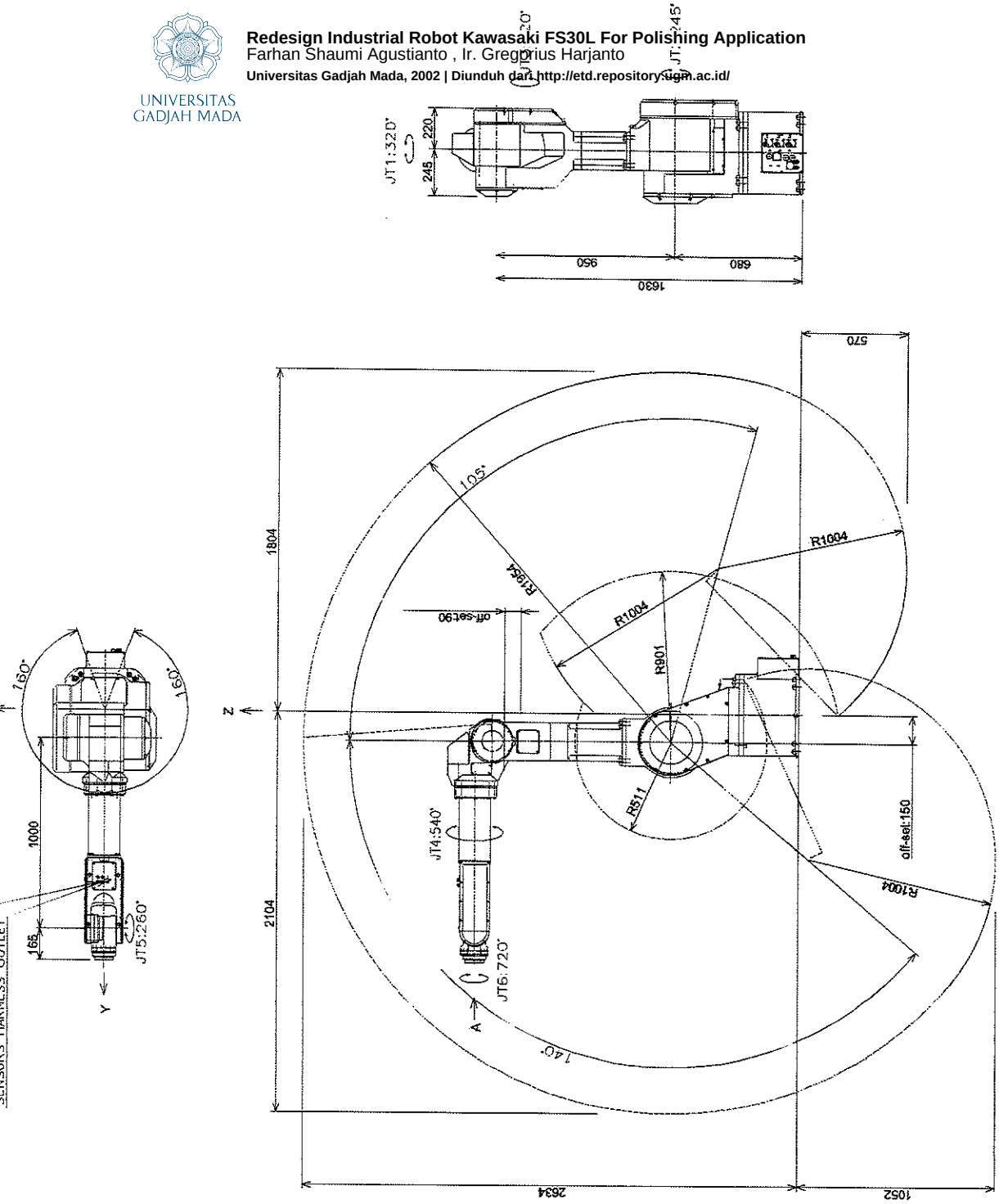
UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.1. Robot Kawasaki FS30L.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.2. Work EnvelopeRobot Kawasaki FS30L

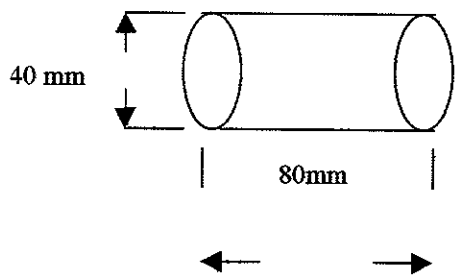
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

II.4. Aplikasi Robot Kawasaki FS30L untuk proses Polishing

Robot Kawasaki FS30L pada dasarnya merupakan robot *material handling*, namun dikarenakan kawasaki belum memproduksi robot untuk proses *polishing*, penulis memutuskan untuk menggunakan Robot Kawasaki FS30L sebagai penggantinya dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

1. Robot Kawasaki FS0L memiliki kemampuan untuk menahan beban sebesar 30 kg, sedangkan untuk standar aplikasi proses *polishing* sendiri dibutuhkan robot yang mampu menahan beban sebesar 22 lb sampai dengan 99 lb yang jika dikonversikan lebih kurang sebesar 10 kg sampai dengan 45 kg. Dengan beban maksimum 30 kg Robot FS30L mampu mengerjakan proses *polishing* untuk kerja kecil sampai dengan menengah.
2. Metode yang dipakai penulis untuk proses *polishing* ini adalah menggunakan metode *Buffing Wheel* dengan lengan robot sebagai pemegang material, sehingga sesuai dengan standar kerja robot FS30L yakni *material handling*.
3. Untuk berbagai bentuk dan ukuran material yang akan *dipolish* dapat dilakukan pemilihan *gripper*, untuk kemudian dipasangkan pada *end effector* Robot FS30L.

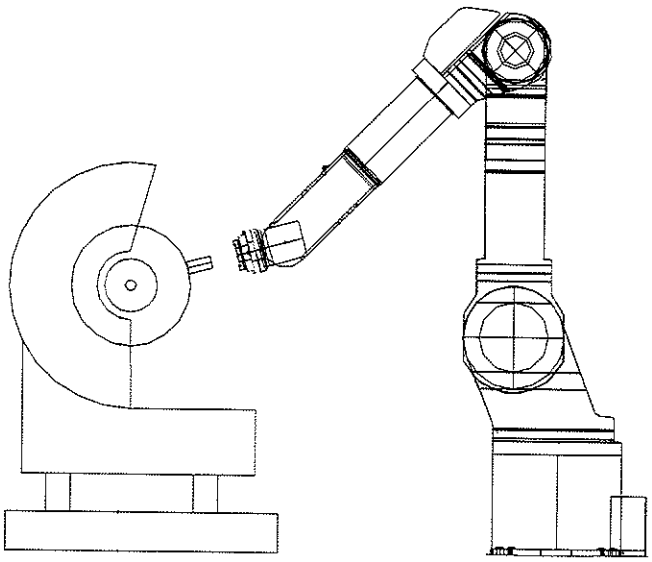
Sebagai contoh material yang akan digunakan oleh penulis adalah sebuah poros baja berbentuk silinder pejal dengan diameter 40 mm, panjang 80 mm dan berat I kg. sedangkan bagian yang akan dipoles adalah sisi alas lingkaran yang merupakan bekas pemotongan yang sebelumnya telah dilakukan proses deburring.



Gambar II.3. Dimensi Material yang akan dipolish

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar II.4. merupakan gambar sketsa dari proses polishing menggunakan Robot Kawasaki FS30 L dengan material poros baja serta menggunakan *DAN Technology Robotized Systems*[3] untuk baja.



Gambar II.4. Sketsa Proses Polishing menggunakan Robot Kawasaki FS30L

DAN technology Systems untuk proses *polishing* poros baja ini menggunakan dua buah *Polishing Unit* dan satu Buah *Brightening Unit*, menggunakan Kawasaki FS30L dengan *Payload* 30 Kg.

Storage System terdiri dari *container* yang digerakkan oleh *konveyor belt*. Robot akan mengambil material yang akan di*polish* pada *tray* yang telah diletakkan pada *loading area* untuk kemudian dikerjakan oleh *Polishing Unit Mod. Jolly* menggunakan *Sisal Brush Wheel* untuk proses *cutting* dengan diameter 400 mm dan tebal 60 mm, untuk selanjutnya dikerjakan oleh *Polishing Unit Mod. S 200* menggunakan *Sisal Brush Wheel* dengan diameter 1000 mm dan tebal 80 mm untuk proses *colouring*. Sedangkan proses yang terakhir untuk *colouring* menggunakan *Brightening Unit Mod. S 200* yang

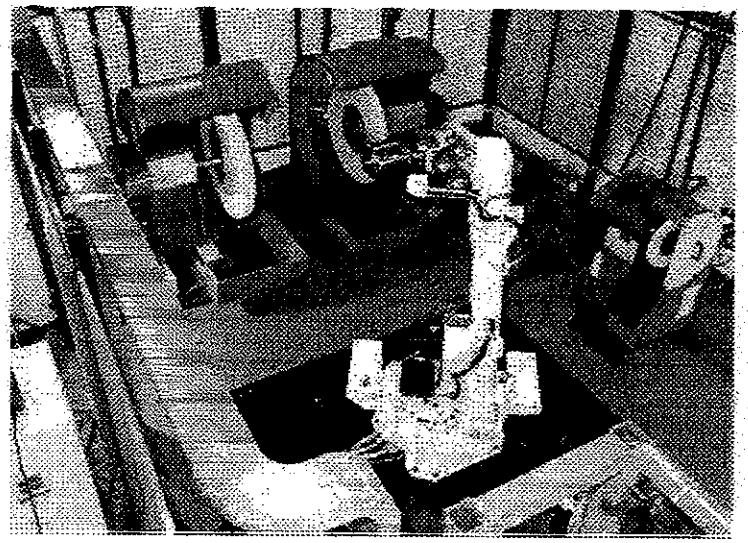
[3] www.deantoni.it

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menggunakan *Cotton Brush Wheel* dengan diameter 100 mm, tebal 80 mm. Setelah dilakukan proses *polishing* material dipindahkan pada *tray unload* yang telah tersedia.

Compound yang digunakan pada Proses *Cutting* sesuai dengan tabel III.2 yang dikeluarkan oleh *Mosher Company* yakni *Steel Cutting compound* 2330 Hard.Med.dry. sedangkan untuk *colouring* pertama menggunakan *colouring compound* 2318 W.D.Med.hard,Med.dry, dan yang kedua menggunakan *colouring compound* 2222 Med. Hard,dry,Pink,Extra bright lustre.

Gambar II.5. dibawah ini merupakan contoh aplikasi *Dan Technology Systems* untuk *Polishing* Steinless steel.



Gambar II.5. DAN Tachnology Robotized Systems for Steinless Steel

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

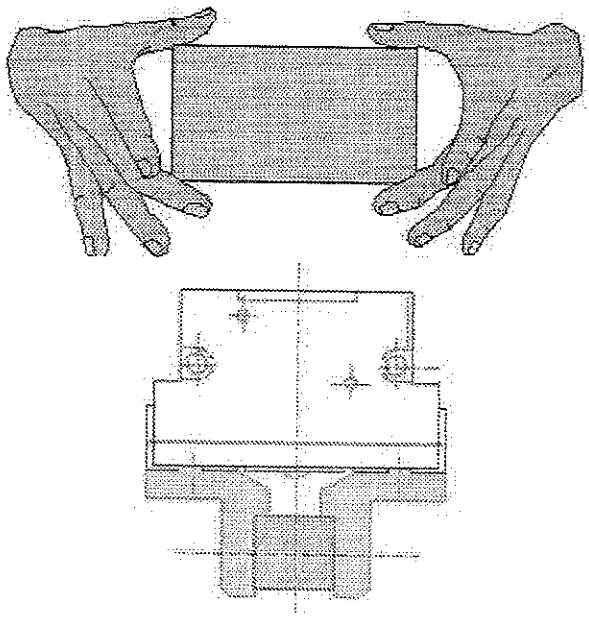
BAB III

III.A Gripper

III.A.1 Definisi Gripper

Gripper adalah merupakan sebuah alat yang dapat memegang sebuah objek/material yang akan digerakkan atau dipindahkan[13].

Cara termudah untuk menggambarkan sebuah *gripper* adalah seperti tangan manusia, sebuah *gripper* dapat memegang, mencengkeram, memindahkan serta melepaskan/menjatuhkan sebuah objek/material.



Gambar III.A.1. Cara kerja gripper pengganti tangan manusia

Sebuah *gripper* hanya merupakan sebuah bagian dari keseluruhan sistem otomatisasi. Sebuah *gripper* dapat digabungkan pada sebuah robot ataupun menjadi bagian dalam sebuah sistem otomatis.

[13] www. arobotics.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Berbagai macam jenis dan ukuran dari *gripper* yang terdapat dalam industri sekarang ini sehingga kita dapat memilih model yang tepat untuk aplikasi tertentu yang kita inginkan.

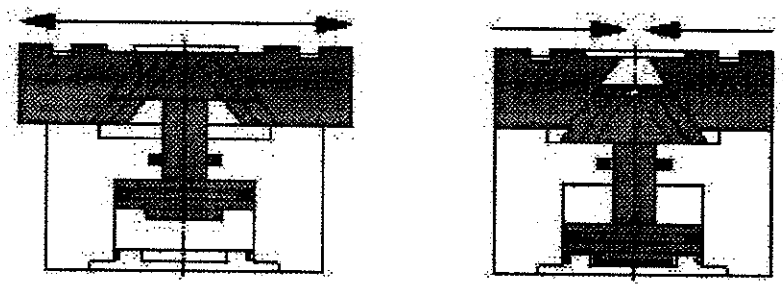
III.A.2. Klasifikasi Gripper

Prinsip dasar dari *gripper* yang akan digunakan adalah udara bertekanan disuplai ke dalam silinder menekan piston keatas dan kebawah, sesuai dengan desain mekaniknya *jaw gripper* akan bergerak membuka dan menutup.

Terdapat tiga jenis gerak utama dari *gripper jaw; parallel, angular* dan *toggle*. Prinsip-prinsip operasional dari ketiga gerak tersebut berdasarkan gerak *gripper jaw* relatif terhadap *gripper body*.

III.A.2.1. Parallel Gripper

Gripper jaw bergerak dalam gerak paralel relatif terhadap *gripper body*. Digunakan dalam sebagian besar aplikasi, *paralell gripper* merupakan tipe yang lebih akurat dibandingkan dengan tipe-tipe yang lain.

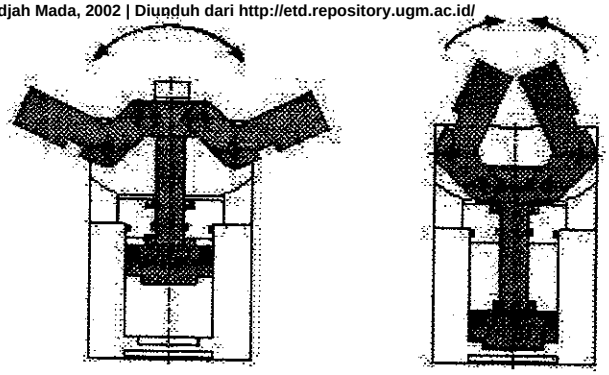


Gambar III.A.2. Parallel Gripper

III.A.2.2. Angular Gripper

Gripper jaw membuka dan menutup mengitari sebuah *central pivot joint*, bergerak dalam lintasan melingkar. *Angular gripper* sering digunakan ketika ruang terbatas tersedia atau ketika *jaw* harus bergerak keatas atau dalam tempat yang sempit.

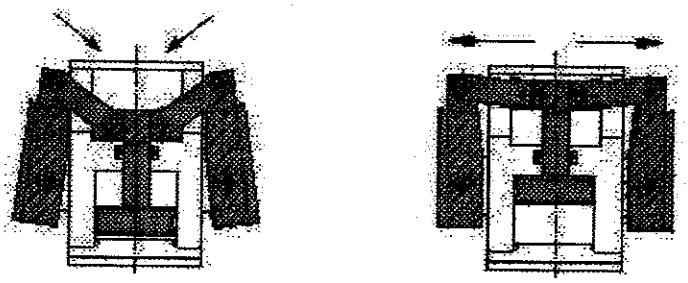
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.A.3. Angular Gripper

III.A.2.3. Toogle Gripper

Pivot joint jaw bergerak sebagai *over-center toggle lock*, menghasilkan gaya pegang yang tinggi dibandingkan rasio beratnya. Mekanisme ini akan tetap terkunci meskipun jika tekanan udara menghilang.

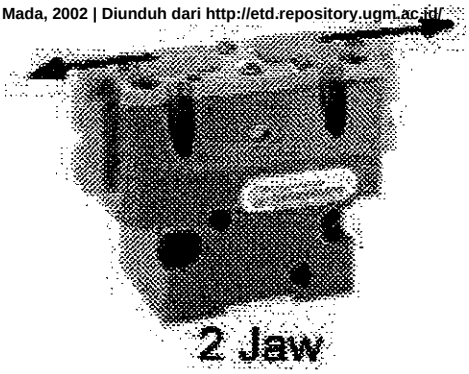


Gambar III.4. Toggle Gripper

III.A.2.4. 2 Jaw dan 3 Jaw Gripper

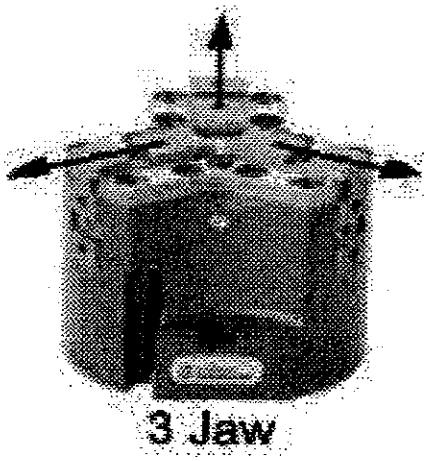
2 Jaw gripper merupakan jenis *gripper* yang paling populer, semua *tipe 2 Jaw gripper* (angular, paralel dan toggle) terdapat 2 bagian dari *finger* yang bersentuhan langsung dengan material yang dipegang. *Jaw* bergerak dalam gerak yang singkron membuka atau menutup dengan sumbu gerak yang terdapat pada *gripper body*.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.A.5. 2 Jaw Gripper

3 Jaw gripper merupakan salah satu jenis *gripper* yang khusus, semua *3 jaw gripper* (paralel dan toggle) terdapat 3 bagian dari *finger* yang bersentuhan langsung dengan material yang dipegang. *Jaw* bergerak secara singkron membuka dan menutup dengan sumbu gerak terdapat pada *gripper body*. *3 jaw* menghasilkan lebih banyak bagian yang melakukan kontak dengan material dan lebih akurat posisi *center* dibandingkan dengan tipe *2 jaw*.



Gambar III.A.6. 3 Jaw Gripper

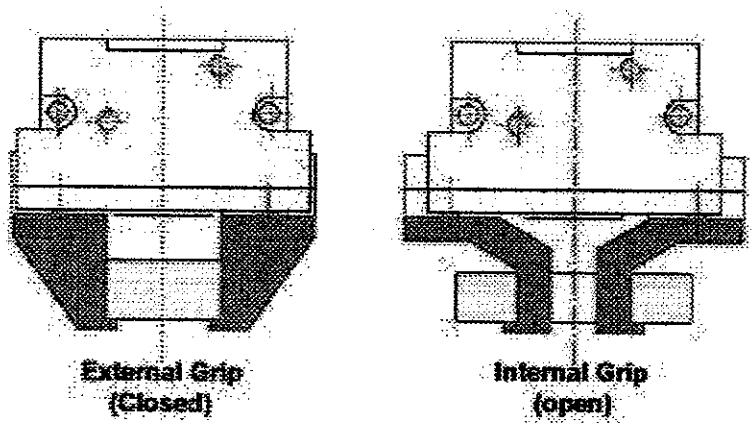
III.A.2.5. Internal dan External Gripping

Gripper yang digunakan dewasa ini ada 2 jenis dalam hal cara memegang material, *external* dan *internal*. Kedua cara tersebut digunakan tergantung pada geometri dari *part* yang akan dipegang, proses yang akan dijalani, bagian tertentu yang akan dipegang dan ruang yang tersedia.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

External gripping merupakan cara yang paling banyak digunakan untuk memegang material. Gaya menutup *gripper* digunakan untuk memegang benda kerja.

Internal grippng digunakan ketika geometri material mengijinkan serta ketika proses yang akan dijalani mengharuskan adanya proses permukaan luar material. Gaya membuka *gripper* digunakan untuk memegang benda kerja.



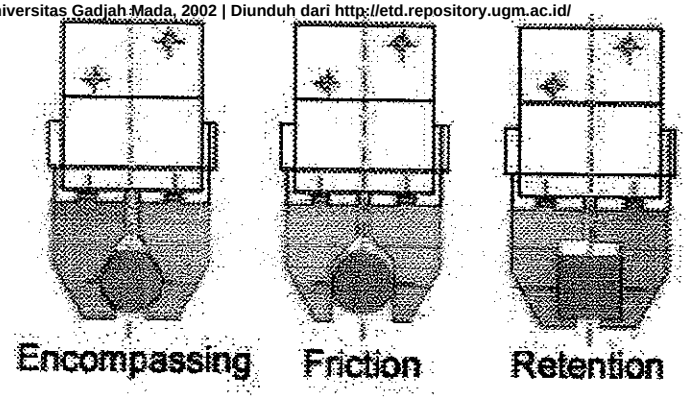
Gambar III.A.7. External and Internal Gripper

III.A.3. Pemilihan Finger

Pemilihan *finger* sangat dibutuhkan dalam setiap aplikasi. *Finger* digunakan untuk membuat kontak dengan material yang akan dipegang. Pertimbangan yang matang dalam hal pemilihan *finger* ini dapat menekan ukuran dan gaya pegang *gripper* itu sendiri untuk aplikasi tertentu yang diinginkan.

Encompassing atau *retention finger* lebih baik dikarenakan meningkatkan stabilitas dan juga memperkecil gaya pegang *gripper*. Bagaimanapun juga lintasan *jaw* tambahan dibutuhkan untuk *encompass* atau *retention* sehingga juga menjadi bahan pertimbangan pemilihan *finger gripper*.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.A.8. Encompassing and Retention

III.A.4. Pemilihan Gripper untuk Proses Polishing

Memilih sebuah *gripper* yang tepat untuk aplikasi tertentu bukan merupakan pekerjaan yang mudah, karena terdapat beberapa hubungan yang komplek dalam memilih dan menghitung dimensi yang tepat.

Beberapa faktor sangat berpengaruh dalam pemilihan *gripper*. Beberapa faktor penting tersebut adalah :

- Ukuran material yang akan dipegang.
- Berat material
- Letak dari pusat gravitasi material
- Gaya jepit yang dibutuhkan
- Kecepatan waktu membuka dan menutup *finger* yang diijinkan.

Disamping faktor-faktor diatas tentunya masih ada faktor lain yang berpengaruh dalam pemilihan *gripper*.

Dewasa ini, untuk memudahkan *costumer* dalam memilih *gripper* yang tepat untuk aplikasi tertentu telah berkembang berbagai macam *software*. Salah satunya yakni *Festo Gripper Selection Program*, yang menangani pemilihan *gripper* dari model *parallel* dan *3-point Gripper*, sampai *radial* dan *angle gripper*, sehingga sangat memudahkan *costumer*.

Festo Gripper Selection Program bekerja dalam sistem *windows* yang memberikan *user* langkah-langkah yang jelas. Tahap demi tahap program ini

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

memerlukan informasi dan harga variabel tertentu yang berhubungan dengan aplikasi. Berikut ini adalah prosedur singkat dari program tersebut :

- Mendefinisikan tipe *gripper* yang akan digunakan.
- Memberikan informasi tentang material dan *gripper finger*.
- Memasukkan data tekanan operasional, koefisien gesekan material dan angka keamanan.
- Mendefinisikan arah dan kecepatan gerak *gripper*.

Progam ini menghitung beban dari *gripper jaws*, kecepatan menutup dan membuka *finger* berdasarkan berat *gripper finger* atau *moment inersia* massa *gripper fingers*. Kemudian menghitung *gripping force* berdasarkan tekanan dan material *fingers* serta torsi *gripper* yang dibutuhkan yang berhubungan dengan tekanan.

Hasil dari penghitungan ini memberikan tipe-tipe *gripper* yang sesuai dan dapat dicetak sesuai pilihan *user*.

Menggunakan pogram ini untuk memilih *gripper* yang tepat memiliki banyak keuntungan yakni kecepatan dan ketepatan dalam memilih *gripper* yang hanya dengan menekan beberapa tombol sampai dengan mencetaknya, untuk kemudian dapat dilihat spesifikasi *gripper* dalam katalog Festo maupun dalam *Festo CD ROM*.

Untuk aplikasi *polishing* menggunakan *buffing wheel* dengan *gripper* sebagai pemegang material, penulis menggunakan Program *Gripper Selection Tool – Version* 2.02.

Material yang akan *dipolish* adalah baja berbentuk silinder pejal dengan diameter 40 mm, panjang 80 mm dengan berat 1 kg. bagian yang akan dipolish adalah permukaan alas lingkaran.

Untuk material yang berbentuk silinder, *grripper* yang paling tepat adalah jenis *3-point gripper*, karena untuk material dengan sumbu axial simetrik gripper ini dapat menjepit material pada posisi central dengan gaya minimum baik untuk *internally* maupun *externally*. *Gripper* jenis ini sangat baik dalam hal distribusi gaya jepit sekaligus keamanannya bahkan meskipun ada gaya lateral dari segala arah.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2022 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Secara umum kelebihan dari *3-point gripper* ini adalah :

1. Sesuai untuk *axially symmetrical workpieces*
2. Dapat menahan gaya lateral
3. Gerak memusat pada setiap langkah
4. Merupakan *gripper* dengan keamanan tinggi
5. Cocok untuk *internal* atau *external gripping*
6. *Self-centring*
7. Dapat disensor dari paling kurang 2 sisi
8. *Double acting*
9. *Maximum precision*
10. *Retention forces* yang tinggi

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam memilih *gripper* tersebut adalah sebagai berikut :

1. Memilih tipe *gripper* yang akan digunakan, yaitu *3-point Gripper*.
2. Memberikan informasi tentang material dan *finger* yaitu:
   - Informasi tentang material
     - Jarak x (center of gravity) material, diukur dari permukaan atas *gripper body* = 50 mm.
     - Berat material, m = 1 kg.
   - *Gripping Direction*, yaitu *external direction*.
   - Informasi tentang *ONE Gripper finger*
     - Jarak x (center of gravity) finger, diukur dari permukaan atas *gripper body* = 45 mm.
     - Berat *finger*, m = 0,25 kg.
     - X_D, panjang *gripper* = 60 mm.
3. Memasukkan data *dynamic movement*
   - *Horizontal gripping with vertikal acceleration* = 0,0111 m/s.
   - *Vertical gripping with vertical acceleration* = 0,0111 m/s.
   - *Vertical gripping with horizontal acceleration* = 0,0111 m/s.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perpustakaan Digital dan Tugas Akhir 2022 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. Memasukkan data tekanan ruang, koefisien gesekan, dan angka keamanan
   - Bahan permukaan *finger* = steel , bahan mateial = steel
   - *Enviromental condition, pressure* = 4,9 bar
   - Temperatur material = 60^0
   - Angka keamanan = 3
5. Melihat hasil perhitungan untuk kemudian mencetak *form result* dengan menekan tombol " *print calculation protocol* ".

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Fadhlan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Author	Farhan Shaumi A	Date	: 6/20/02 2:40:07 PM
Project Name	Polishing project	Project No.	: 01
		File name	: GRIPPER.GST

ustomer data

Teknik Mesin UGM Yogyakarta	Customer No.	0001
	Telephone	: 0274-902181
	Fax	: 0274-521673

esto 3-point Gripper HGD - 50 - A

FESTO part no.	161 838	
Gripping direction	External gripping	
Working pressure	4.9	bar
Device temperature	60.0	°C
Safety factor	3	

The centre of gravity does not lie between the gripper fingers

formation about the object

Weight of the object	1.000	kg
Distance 0-line -> centre of gravity	50	mm

formation about ONE gripper finger

Weight of one gripper finger	0.250	kg
Distance 0-line -> centre of gravity	45	mm
Distance 0-line -> gripping point	60	mm
Friction coefficient μ between gripper finger and object	0.25	

ze and direction of the dynamic movement

Highest linear acceleration	-0.01	m/s²
Vertical gripping with horizontal acceleration		

ne results (rate of utilization in %)

Total weight (object, gripper and finger)	2.730	kg
Intermediate distance of the pressure point	60.00 mm	
Static gripping force with friction fit*	9.81 N	
Dynamic gripping force with friction fit*	9.82 N	

*The gripping force is only relevant if a friction fit exists between the fingers and the object. It is greatly reduced if there is a form fit.

Dynamic longitudinal force on the gripper fingers	5.72 N	
Dynamic transversal force My	0.00 Nm	

With flow control valves attainable closing time at 4.9 bar	0.42	s

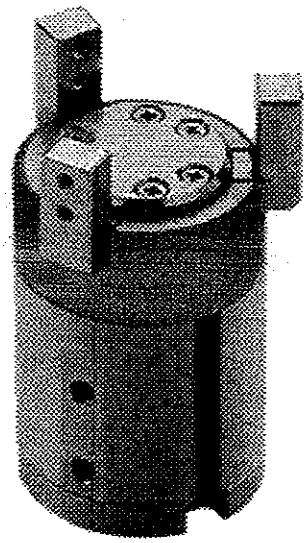
The calculated closing time (of the selected fingers for one gripping stroke) can be attained by using flow control valves.

Results calculated via this program have the sole function of product description and do not guarantee any warranty or characteristics in contemplation w. Claims regarding calculation results not achieved or arithmetical errors can not be put forward. As for the rest, our legal liability with regard aim of damages - for whatever legal ground - in any case is limited to cases of willful or intentional default or gross negligence.

Copyright © Festo 1996-1999 Subject to change without notice.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Dari *form result* (diatas) terlihat bahwa jenis *gripper* yang sesuai adalah HGD – 50 A.



Gambar III.A.9. 3-point Gripper HGD-50-A

Spesifikasi dari HGD – 50 A ini dapat dilihat pada tabel III.A.1. di bawah ini.

Tabel III.A. 1. Spesifikasi 3-pint Gripper HGD-50-A

Criterion	Feature
Mode of operation	Double acting
Gripper function	3-point
No. of gripper jaw	3
Drive	One cylindrical central
Type of mounting direct	Srew
Sensing type	Magnetic
Design of slot	NA5
Piston nominal size	50 mm
Operating pressure	2 – 8 bar

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Ambient temperature	$5^{o} - 60^{o}$ C
Air connection type	Female thread
Connector thread	G 1/8
Material of barrel/housing	Alumunium
Material of gripper fingers	Tool steel
Material of cover	POM
CT criterion	Compliant
Product weight	0,985 kg
Nominal gripping force, closing	320 N
Nominal gripping force, opening	350 N
Operating frequency max.	4 Hz
Nominal times opening/closing	10 ms
Air consumption at 6 bar per stroke	0,06751
Medium	Compressed air, filtered
Interchangeability	0,2 mm
Repetition accuracy (+/-)	0,02 mm

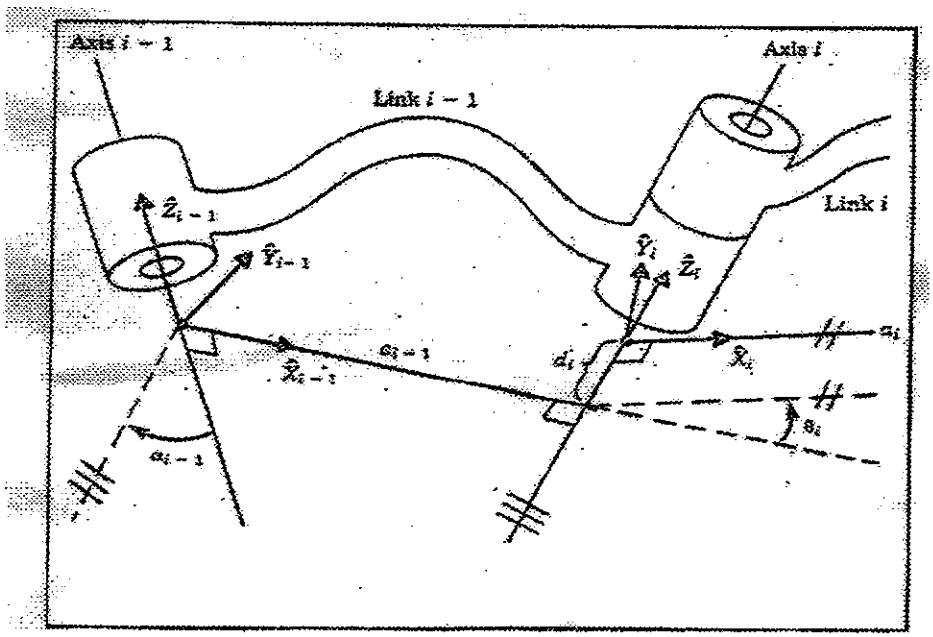
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III

III.B. Kinematika dan Dinamika Robot Kawasaki FS30L

Perhitungan kinematik dan dinamik ini merupakan analisis koordinat masing-masing joint maupun *manipulator* terhadap koordinat *base* yang ditetapkan. Hal ini berguna untuk mengontrol sistem penginderaan dari robot dan juga untuk menganalisis besarnya torsi dan gaya yang dialami tiap-tiap *joint* dan *link* untuk keperluan desain dan optimalisasi kinerja dari robot itu sendiri.

Perhitungan yang akan dilakukan selanjutnya adalah dengan manganalisis setiap posisi gerak robot yang sekiranya akan mengalami pembebanan yang besar untuk setiap *joint*nya, dalam hal ini penulis akan mengambil 5 buah posisi gerakan robot Koordinat yang dipakai adalah koordinat kartesian, dengan parameter-parameter tertentu yang telah terdefinisikan seperti yang terlihat pada gambar III.B.1. di bawah ini :



Gambar III.B.1. Parameter link dan joint pada Robot

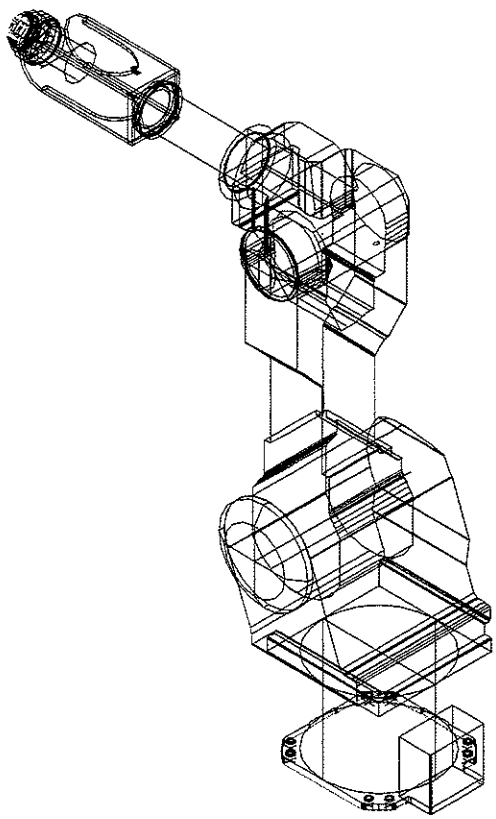
Dalam melakukan perhitungan dinamik robot, penulis menggunakan persamaan gerak Newton-Euler dengan terlebih dahulu menetapkan parameter-parameter yang diperlukan melalui gambar dan dibantu dengan program Auto-Cad untuk menetapkan

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
UNIVERSITAS GADJAH MADA

parameter massa *link* dan koordinat pusat massa tiap *link* berdasarkan data yang tertera pada katalog Robot Kawasaki FS30L. perhitungan yang dilakukan selanjutnya menggunakan program *Mathlab* dengan memasukkan persamaan-persamaan yang sudah terdefinisi.

Dikarenakan Robot yang akan dianalisa akan diaplikasikan untuk proses *polishing*, maka penulis menggunakan manipulator berupa *gripper* dan material baja dengan dimensi yang sudah tertera pada gambar. Pada perhitungan dengan adanya manipulator dan material ini akan berpengaruh pada harga pembebanan statis maupun dinamis.

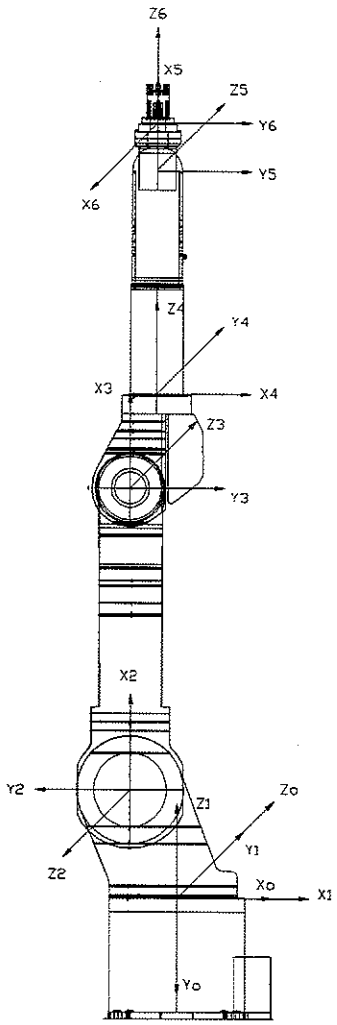
Untuk posisi 1 merupakan posisi istirahat sedangkan posisi 2,3,4,5 dan 6 merupakan posisi ekstrim atau merupakan posisi dimana robot mencapai jangkauan terjauhnya, dengan perkiraan bahwa torsi terbesar yang terjadi pada tiap joint akan dialami untuk posisi-posisi tersebut.



Gambar III.B.2. Model 3D Robot Kawasaki FS30L

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.B.1. Posisi 1



Gambar III.B.3. Posisi 1

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	0°	90°	0	0
2	90°	90°	-0.15	0
3	0	-180°	-0.95	0
4	-90°	90°	-0.09	-0,09
5	90°	-90°	0	0
6	90°	90°	0	0

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

POSISI 1

$i := 0..5$

$$\theta := \begin{bmatrix} 0 \\ 90 \\ 0 \\ -90 \\ 90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \qquad \alpha := \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ -180 \\ 90 \\ -90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \qquad a := \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad d := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.571 \\ 0 \\ -1.571 \\ 1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \qquad \alpha_i = \begin{bmatrix} 1.571 \\ 1.571 \\ -3.142 \\ 1.571 \\ -1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \qquad a_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad d_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik Transformasi

$$A(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & a_i\cdot\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & a_i\cdot\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A01 := A(0)$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A12 := A(1)$

$$A(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -0.15 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A23 := A(2)$

$$A(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -0.95 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A34 := A(3)

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0.09 \\ 0 & 1 & 0 & -0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A45 := A(4)

$$A(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A56 := A(5)

$$A(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A06 := A01·A12·A23·A34·A45·A56

$$A06 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0.09 \\ 0 & 1 & 0 & 0.09 \\ 1 & 0 & 0 & -1.1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Letak ujung manipulator (gripper) terhadap base (0;0;0.1185)

$$Po := A06 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1185 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad Po = \begin{bmatrix} 0.09 \\ 0.208 \\ -1.1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrik Rotasi

$$R(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

R01 := R(0)

$$R(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS
GADJAH MADA

$R12 := R(1)$

$$R(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R21 := R12^{-1}$

$R02 := R01 \cdot R12$

$R23 := R(2)$

$$R(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$R03 := R02 \cdot R23$

$R32 := R23^{-1}$

$R34 := R(3)$

$$R(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R04 := R03 \cdot R34$

$R43 := R34^{-1}$

$R45 := R(4)$

$$R(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R05 := R04 \cdot R45$

$R54 := R45^{-1}$

$R56 := R(5)$

$$R(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R06 := R05 \cdot R56$

$R65 := R56^{-1}$

$R10 := R01^{-1}$

$$R10 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R20 := R02^{-1}$

$$R20 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$R30 := R03^{-1}$

$$R30 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

$R40 := R04^{-1}$ $R50 := R05^{-1}$ $R60 := R06^{-1}$

$$R40 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad R50 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad R60 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Kecepatan Sudut

$\omega 0 := 0$ $\omega 1 := 2.792$ $\omega 2 := 2.443$ $\omega 3 := 2.792$ $z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$\omega 4 := 4.189$ $\omega 5 := 4.189$ $\omega 6 := 5.934$

$R10\omega 1 := R10 \cdot (\omega 0 + z \cdot \omega 1)$ $R20\omega 2 := R21 \cdot (R10\omega 1 + z \cdot \omega 2)$ $R30\omega 3 := R32 \cdot (R20\omega 2 + z \cdot \omega 3)$

$R40\omega 4 := R43 \cdot (R30\omega 3 + z \cdot \omega 4)$ $R50\omega 5 := R54 \cdot (R40\omega 4 + z \cdot \omega 5)$ $R60\omega 6 := R65 \cdot (R50\omega 5 + z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.792 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega 2 = \begin{bmatrix} 2.792 \\ 2.443 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30\omega 3 = \begin{bmatrix} 2.792 \\ -2.443 \\ -2.792 \end{bmatrix}$$

$$R40\omega 4 = \begin{bmatrix} 2.443 \\ 1.397 \\ -2.792 \end{bmatrix} \quad R50\omega 5 = \begin{bmatrix} 1.397 \\ -1.397 \\ -2.443 \end{bmatrix} \quad R60\omega 6 = \begin{bmatrix} -1.397 \\ 3.491 \\ 1.397 \end{bmatrix}$$

Percepatan Sudut

$\omega dot0 := 0$ $\omega dot1 := 0.698$ $\omega dot2 := 0.611$ $\omega dot3 := 0.698$ $R00 := 1$

$\omega dot4 := 1.047$ $\omega dot5 := 1.047$ $\omega dot6 := 1.4835$ $R00\omega 0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$\omega ddot1 := 0$ $\omega ddot2 := 0$ $\omega ddot3 := 0$ $\omega ddot4 := 0$

$\omega ddot5 := 0$ $\omega ddot6 := 0$

$R10\omega dot1 := R10 \cdot (R00 \cdot \omega dot0 + z \cdot \omega ddot1 + (R00\omega 0 \times z \cdot \omega 0))$

$R20\omega dot2 := R21 \cdot (R10\omega dot1 + z \cdot \omega ddot2 + R10\omega 1 \times z \cdot \omega 2)$

$R30\omega dot3 := R32 \cdot (R20\omega dot2 + z \cdot \omega ddot3 + (R20\omega 2) \times z \cdot \omega 3)$

$R40\omega dot4 := R43 \cdot (R30\omega dot3 + z \cdot \omega ddot4 + R30\omega 3 \times z \cdot \omega 4)$

$R50\omega dot5 := R54 \cdot (R40\omega dot4 + z \cdot \omega ddot5 + R40\omega 4 \times z \cdot \omega 5)$

$R60\omega dot6 := R65 \cdot (R50\omega dot5 + z \cdot \omega ddot6 + R50\omega 5 \times z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega dot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega dot2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.821 \end{bmatrix} \quad R30\omega dot3 = \begin{bmatrix} 6.821 \\ 7.795 \\ -6.821 \end{bmatrix} \quad R40\omega dot4 = \begin{bmatrix} 3.9 \\ -6.821 \\ 3.413 \end{bmatrix}$$

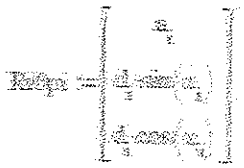
$$R50\omega dot5 = \begin{bmatrix} -17.055 \\ -3.413 \\ -9.752 \end{bmatrix} \quad R60\omega dot6 = \begin{bmatrix} -11.703 \\ -9.752 \\ -25.344 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier

p_i : origin frame koordinat terhadap sistem koordinat (i-1)



$$R10p1 := \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \cdot \sin(\alpha_0) \\ d_0 \cdot \cos(\alpha_0) \end{bmatrix} \quad R20p2 := \begin{bmatrix} a_1 \\ d_1 \cdot \sin(\alpha_1) \\ d_1 \cdot \cos(\alpha_1) \end{bmatrix} \quad R30p3 := \begin{bmatrix} a_2 \\ d_2 \cdot \sin(\alpha_2) \\ d_2 \cdot \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$R40p4 := \begin{bmatrix} a_3 \\ d_3 \cdot \sin(\alpha_3) \\ d_3 \cdot \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \quad R50p5 := \begin{bmatrix} a_4 \\ d_4 \cdot \sin(\alpha_4) \\ d_4 \cdot \cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \quad R60p6 := \begin{bmatrix} a_5 \\ d_5 \cdot \sin(\alpha_5) \\ d_5 \cdot \cos(\alpha_5) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20p2 = \begin{bmatrix} -0.15 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30p3 = \begin{bmatrix} -0.95 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40p4 = \begin{bmatrix} -0.09 \\ -0.09 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R50p5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R60p6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$^{i}R_0\dot{v}_i = (\,^{i}R_0\dot{\omega}_i) \times (\,^{i}R_0p_i^{*}) + (\,^{i}R_0\omega_i) \times [(\,^{i}R_0\omega_i) \times (\,^{i}R_0p_i^{*})] + {}^{i}R_{i-1}.(\,^{i-1}R_0\dot{v}_{i-1})$$

$$R10vdot1 := (R10\omega dot1 \times R10p1) + R10\omega1 \times (R10\omega1 \times R10p1) + 0$$

$$R20vdot2 := (R20\omega dot2 \times R20p2) + R20\omega2 \times (R20\omega2 \times R20p2) + R21 \cdot R10vdot1$$

$$R30vdot3 := (R30\omega dot3 \times R30p3) + (R30\omega3 \times (R30\omega3 \times R30p3)) + R32 \cdot R20vdot2$$

$$R40vdot4 := (R40\omega dot4 \times R40p4) + R40\omega4 \times (R40\omega4 \times R40p4) + R43 \cdot R30vdot3$$

$$R50vdot5 := (R50\omega dot5 \times R50p5) + (R50\omega5 \times (R50\omega5 \times R50p5)) + R54 \cdot R40vdot4$$

$$R60vdot6 := (R60\omega dot6 \times R60p6) + (R60\omega6 \times (R60\omega6 \times R60p6)) + R65 \cdot R50vdot5$$

$$R10vdot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20vdot2 = \begin{bmatrix} 0.895 \\ -2.046 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30vdot3 = \begin{bmatrix} 13.971 \\ 15.006 \\ 14.811 \end{bmatrix} \quad R40vdot4 = \begin{bmatrix} -14.129 \\ 15.435 \\ -13.971 \end{bmatrix}$$

$$R50vdot5 = \begin{bmatrix} 15.435 \\ 13.971 \\ 14.129 \end{bmatrix} \quad R60vdot6 = \begin{bmatrix} 13.971 \\ 14.129 \\ 15.435 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier di Pusat Massa

s_i : posisi pusat massa link-i terhadap (x_i, y_i, z_i) dalam meter
ditentukan dengan bantuan Autocad

$$s1 := \begin{bmatrix} 0.0198769 \\ 0.0187241 \\ 0.2792426 \end{bmatrix} \quad s2 := \begin{bmatrix} 0.3640382 \\ -0.0001744 \\ -0.0247365 \end{bmatrix} \quad s3 := \begin{bmatrix} 0.0311122 \\ -0.0584025 \\ -0.0003596 \end{bmatrix} \quad s4 := \begin{bmatrix} -0.0000557 \\ -0.0000192 \\ 0.4155820 \end{bmatrix}$$

$$s5 := \begin{bmatrix} 0.3206769 \\ 0 \\ -0.1464595 \end{bmatrix} \quad s6 := \begin{bmatrix} -0.0001711 \\ 0.0000010 \\ 0.0499760 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}Roa_i = iRo\omega dot i \times iRosi + iRo\omega i \times [\, iRowi \times iRosi \,] + iRovdoti$$

$$R10a1 := R10\omega dot1 \times (R10 \cdot s1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times (R10 \cdot s1)) + R10vdot1$$

$$R20a2 := R20\omega dot2 \times (R20 \cdot s2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times (R20 \cdot s2)) + R20vdot2$$

$$R30a3 := R30\omega dot3 \times (R30 \cdot s3) + R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times (R30 \cdot s3)) + R30vdot3$$

$$R40a4 := R40\omega dot4 \times (R40 \cdot s4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times (R20 \cdot s4)) + R40vdot4$$

$$R50a5 := R50\omega dot5 \times (R50 \cdot s5) + R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times (R20 \cdot s5)) + R50vdot5$$

$$R60a6 := R60\omega dot6 \times (R60 \cdot s6) + R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times (R60 \cdot s6)) + R60vdot6$$

$$R10a1 = \begin{bmatrix} -0.155 \\ 0 \\ 0.146 \end{bmatrix} \quad R20a2 = \begin{bmatrix} 1.043 \\ -2.385 \\ -5.01 \end{bmatrix} \quad R30a3 = \begin{bmatrix} 13.976 \\ 15.921 \\ 14.448 \end{bmatrix} \quad R40a4 = \begin{bmatrix} -15.344 \\ 18.475 \\ -16.804 \end{bmatrix}$$

$$R50a5 = \begin{bmatrix} 14.073 \\ 18.478 \\ 14.78 \end{bmatrix} \quad R60a6 = \begin{bmatrix} 13.262 \\ 12.621 \\ 15.823 \end{bmatrix}$$

Persamaan-persamaan Mundur

mi = massa tiap link (kg)
mt = massa total (data Autocad)

$$mt := 0.1032072339473 + 0.0724924460640 + 0.0295482470174 + 0.0011111164060 + 0.00112118124$$

$$m1 := \frac{0.1032072339473}{mt} \cdot 430.3 \quad m2 := \frac{0.0724924460640}{mt} \cdot 430.3 \quad m3 := \frac{0.0295482470174}{mt} \cdot 430.3$$

$$m4 := \frac{0.0011111164060}{mt} \cdot 430.3 \quad m5 := \frac{0.0011211812428}{mt} \cdot 430. \quad m6 := \frac{0.0000827492909}{mt} \cdot 430.3 + 2.7$$

m1 = 213.96 m4 = 2.303
m2 = 150.285 m5 = 2.324
m3 = 61.257 m6 = 2.902

$$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 = 433.03$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

gaya tiap link pengaruh massanya (${}^{i}R_{0}f_{i}$)

${}^{i}R_{0}f_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis Ri0fi =mi * Rioai

$R60f6 := m6 \cdot R60a6$

$R50f5 := R56 \cdot R60f6 + m5 \cdot R50a5$

$R40f4 := R45 \cdot R50f5 + m4 \cdot R40a4$

$R30f3 := R34 \cdot R40f4 + m3 \cdot R30a3$

$R20f2 := R23 \cdot R30f3 + m2 \cdot R20a2$

$R10f1 := R12 \cdot R20f2 + m1 \cdot R10a1$

$$R60f6 = \begin{bmatrix} 38.48 \\ 36.621 \\ 45.911 \end{bmatrix} \quad R50f5 = \begin{bmatrix} 78.62 \\ 81.43 \\ 70.975 \end{bmatrix} \quad R40f4 = \begin{bmatrix} -106.32 \\ 121.176 \\ -120.138 \end{bmatrix} \quad R30f3 = \begin{bmatrix} 976.232 \\ 1.082 \cdot 10^{3} \\ 1.006 \cdot 10^{3} \end{bmatrix}$$

$$R20f2 = \begin{bmatrix} 1.133 \cdot 10^{3} \\ -1.44 \cdot 10^{3} \\ -1.759 \cdot 10^{3} \end{bmatrix} \quad R10f1 = \begin{bmatrix} -1.792 \cdot 10^{3} \\ 1.133 \cdot 10^{3} \\ -1.409 \cdot 10^{3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap originnya (i) dalam kg.m²

$I_{i} = m_{i} * s_{i}^{2}$ ditulis Ii = mi * si^2

$I1 := m1 \cdot s1^{2} \quad I2 := m2 \cdot s2^{2} \quad I3 := m3 \cdot s3^{2} \quad I4 := m4 \cdot s4^{2} \quad I5 := m5 \cdot s5^{2} \quad I6 := m6 \cdot s6^{2}$

$$I1 = \begin{bmatrix} 0.085 \\ 0.075 \\ 16.684 \end{bmatrix} \quad I2 = \begin{bmatrix} 19.916 \\ 4.571 \cdot 10^{-6} \\ 0.092 \end{bmatrix} \quad I3 = \begin{bmatrix} 0.059 \\ 0.209 \\ 7.921 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \quad I4 = \begin{bmatrix} 7.146 \cdot 10^{-9} \\ 8.491 \cdot 10^{-10} \\ 0.398 \end{bmatrix}$$

$$I5 = \begin{bmatrix} 0.239 \\ 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} \quad I6 = \begin{bmatrix} 8.494 \cdot 10^{-8} \\ 2.902 \cdot 10^{-12} \\ 7.247 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap base

${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} = {}^{i}R_{o} \times I_{i} \times {}^{o}R_{i}$ ditulis Ri0IiR0i

$$R10I1R01 := \begin{bmatrix} 15.105 & 0 & 0 \\ 0 & 4.71 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R20I2R02 := \begin{bmatrix} 39.107 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R30I3R03 := \begin{bmatrix} 0.284 & 0 & 0 \\ 0 & 9.969 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0.592 \end{bmatrix}$$

$$R40I4R04 := \begin{bmatrix} 1.598 \cdot 10^{-7} & 0 & 0 \\ 0 & 3.465 & 0 \\ 0 & 0 & 1.146 \end{bmatrix} \quad R50I5R05 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.141 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 4.43 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$R60I6R06 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0 \\ 0 & 0 & 9.693 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

gaya luar eksternal tiap link (${}^{i}R_{o}F_{i}$)

${}^{i}R_{o}F_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis R0iFi = mi*R0iai

$R10F1 := m1 \cdot R10a1 \quad R30F3 := m3 \cdot R30a3 \quad R50F5 := m5 \cdot R50a5$

$R20F2 := m2 \cdot R20a2 \quad R40F4 := m4 \cdot R40a4 \quad R60F6 := m6 \cdot R60a6$

$$R10F1 = \begin{bmatrix} -33.152 \\ -1.912 \cdot 10^{-1} \\ 31.229 \end{bmatrix} \quad R20F2 = \begin{bmatrix} 156.727 \\ -358.438 \\ -752.992 \end{bmatrix} \quad R30F3 = \begin{bmatrix} 856.094 \\ 975.286 \\ 885.043 \end{bmatrix} \quad R40F4 = \begin{bmatrix} -35.345 \\ 42.556 \\ -38.708 \end{bmatrix}$$

$$R50F5 = \begin{bmatrix} 32.709 \\ 42.949 \\ 34.354 \end{bmatrix} \quad R60F6 = \begin{bmatrix} 38.48 \\ 36.621 \\ 45.911 \end{bmatrix}$$

momen tiap link yang terjadi (${}^{i}R_{o}n_{i}$)

${}^{i}R_{o}N_{i} = {}^{i}R_{o}I_{i} \circ R_{i} * iRowdoti + iRowdoti \times ({}^{i}R_{o}I_{i} \circ R_{i} * iRowdoti)$

$R10N1 := R10I1R01 \cdot R10\omega dot1 + R10\omega dot1 \times (R10I1R01 \cdot R10\omega dot1)$

$R20N2 := R20I2R02 \cdot R20\omega dot2 + R20\omega dot2 \times (R20I2R02 \cdot R20\omega dot2)$

$R30N3 := R30I3R03 \cdot R30\omega dot3 + R30\omega dot3 \times (R30I3R03 \cdot R30\omega dot3)$

$R40N4 := R40I4R04 \cdot R40\omega dot4 + R40\omega dot4 \times (R40I4R04 \cdot R40\omega dot4)$

$R50N5 := R50I5R05 \cdot R50\omega dot5 + R50\omega dot5 \times (R50I5R05 \cdot R50\omega dot5)$

$R60N6 := R60I6R06 \cdot R60\omega dot6 + R60\omega dot6 \times (R60I6R06 \cdot R60\omega dot6)$

$$R10N1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20N2 = \begin{bmatrix} 1.633 \cdot 10^{-14} \\ 1.114 \cdot 10^{-13} \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30N3 = \begin{bmatrix} -29.539 \\ 14.329 \\ -19.138 \end{bmatrix} \quad R40N4 = \begin{bmatrix} 53.983 \\ -38.889 \\ -88.273 \end{bmatrix}$$

$$R50N5 = \begin{bmatrix} 0.14 \\ -0.738 \\ -0.031 \end{bmatrix} \quad R60N6 = \begin{bmatrix} -91.776 \\ -6.591 \\ 43.238 \end{bmatrix}$$

$R60p5 := R56^{T} \cdot R50p5 \quad R50p4 := R45^{T} \cdot R40p4 \quad R40p3 := R34^{T} \cdot R30p3$

$R30p2 := R23^{T} \cdot R20p2 \quad R20p1 := R12^{T} \cdot R10p1$

momen (${}^{i}R_{o}n_{i}$) :

${}^{i}R_{o}n_{i} = {}^{i}R_{i+1} * ({}^{i+1}R_{o}n_{i+1} + ({}^{i+1}R_{o}p_{i} \times {}^{i+1}R_{o}f_{i+1})) + (({}^{i}R_{o}p_{i} + {}_{i}R_{o}s_{i}) \times {}^{i}R_{o}F_{i}) + {}^{i}R_{o}N_{i}$

$R60n6 := ((R60p6 + (R60 \cdot s6)) \times R60F6) + R60N6$

$R50n5 := R56 \cdot (R60n6 + ((R60p5) \times R60f6)) + ((R50p5 + (R50 \cdot s5)) \times R50F5) + R50N5$

$R40n4 := R45 \cdot (R50n5 + ((R50p4) \times R50f5)) + ((R40p4 + (R40 \cdot s4)) \times R40F4) + R40N4$

$R30n3 := R34 \cdot (R40n4 + ((R40p3) \times R40f4)) + ((R30p3 + (R30 \cdot s3)) \times R30F3) + R30N3$

$R20n2 := R23 \cdot (R30n3 + ((R30p2) \times R30f3)) + ((R20p2 + (R20 \cdot s2)) \times R20F2) + R20N2$

$R10n1 := R12 \cdot (R20n2 + ((R20p1) \times R20f2)) + ((R10p1 + (R10 \cdot s1)) \times R10F1) + R10N1$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R60n6 = \begin{bmatrix} -91.782 \\ -8.878 \\ 45.068 \end{bmatrix} \quad R50n5 = \begin{bmatrix} 40.177 \\ -81.503 \\ -17.892 \end{bmatrix} \quad R40n4 = \begin{bmatrix} 100.371 \\ 5.164 \\ -27.241 \end{bmatrix} \quad R30n3 = \begin{bmatrix} -23.643 \\ 843.55 \\ -991.852 \end{bmatrix}$$

$$R10n1 = \begin{bmatrix} 1.225 \cdot 10^3 \\ 106.71 \\ -1.06 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \quad R20n2 = \begin{bmatrix} 106.71 \\ -1.069 \cdot 10^3 \\ 1.217 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

Torsi yang diperlukan link-i (τ_i) dalam Nm

$\tau_i = ({}^iR_o n_i)^T * {}^iR_{i-1} * z + b_i q_i$ faktor redaman b diabaikan, maka $\tau_i = ({}^iR_o n_i)^T * {}^iR_{i-1} * z$

$\tau 6 := \left(R60n6^T\right) \cdot R65 \cdot z$ $\quad \tau 5 := \left(R50n5^T\right) \cdot R54 \cdot z$ $\quad \tau 4 := \left(R40n4^T\right) \cdot R43 \cdot z$

$\tau 3 := \left(R30n3^T\right) \cdot R32 \cdot z$ $\quad \tau 2 := \left(R20n2^T\right) \cdot R21 \cdot z$ $\quad \tau 1 := \left(R10n1^T\right) \cdot R10 \cdot z$

$\tau 1 = (106.71)$

$\tau 2 = \left[-1.069 \cdot 10^3\right]$

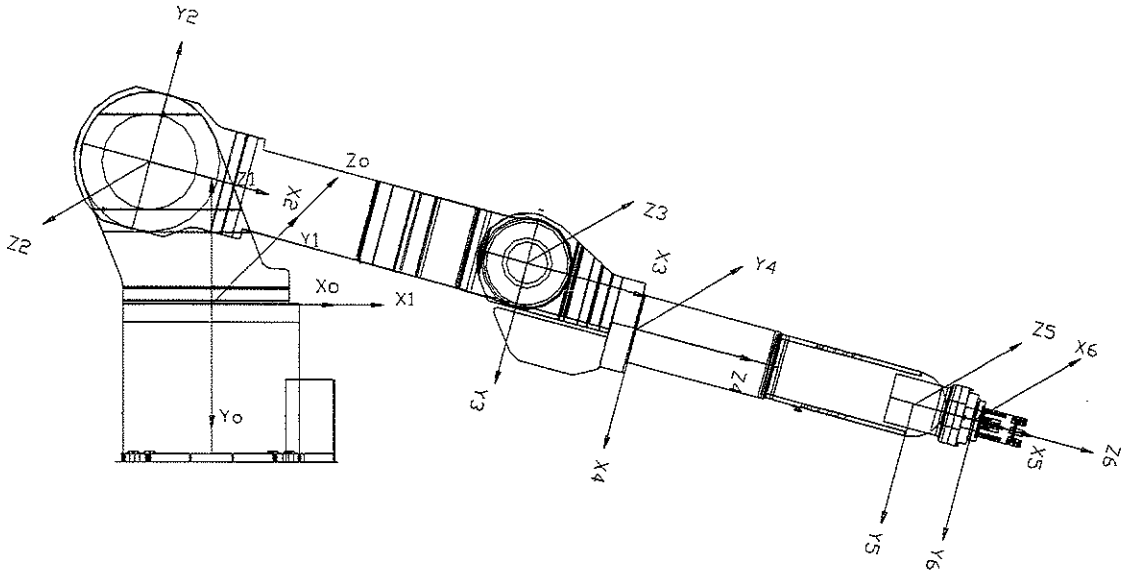
$\tau 3 = (991.852)$

$\tau 4 = (5.164)$

$\tau 5 = (81.503)$

$\tau 6 = (-8.878)$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.B.4. Posisi 2

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	0°	90°	0	0
2	-15°	90°	0.15	0
3	0	-180°	0.95	0
4	-90°	90°	0.09	0,09
5	90°	-90°	0	0
6	90°	90°	0	0

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2017 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

POSISI 2

$i := 0 .. 5$

$$\theta := \begin{bmatrix} 0 \\ -15 \\ 0 \\ -90 \\ 90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \qquad \alpha := \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ -180 \\ 90 \\ -90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \qquad a := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.15 \\ 0.95 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad d := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.262 \\ 0 \\ -1.571 \\ 1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \qquad \alpha_i = \begin{bmatrix} 1.571 \\ 1.571 \\ -3.142 \\ 1.571 \\ -1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \qquad a_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.15 \\ 0.95 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad d_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik Transformasi

$$A(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & a_i\cdot\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & a_i\cdot\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A01 := A(0)$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A12 := A(1)$

$$A(1) = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 & 0.145 \\ -0.259 & 0 & -0.966 & -0.039 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A23 := A(2)$

$$A(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.95 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$A34 := A(3)$

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -0.09 \\ 0 & 1 & 0 & 0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A45 := A(4)$

$$A(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A56 := A(5)$

$$A(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A06 := A01 \cdot A12 \cdot A23 \cdot A34 \cdot A45 \cdot A56$

$$A06 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & 0.259 & 1.086 \\ 0 & 1 & 0 & -0.09 \\ -0.259 & 0 & 0.966 & -0.198 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Letak ujung gripper terhadap body (0;0;0.1185)

$$Po := A06 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1185 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad Po = \begin{bmatrix} 1.086 \\ 0.028 \\ -0.198 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrik Rotasi

$$R(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i) \cdot \sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i) \cdot \sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i) \cdot \cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i) \cdot \cos(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$R01 := R(0)$

$$R(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R12 := R(1)$

$$R(1) = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ -0.259 & 0 & -0.966 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R21 := R12^{-1}$

$R02 := R01 \cdot R12$

$R23 := R(2)$

$$R(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$R03 := R02 \cdot R23$

$R32 := R23^{-1}$

$R34 := R(3)$

$$R(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R04 := R03 \cdot R34$

$R43 := R34^{-1}$

$R45 := R(4)$

$$R(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R05 := R04 \cdot R45$

$R54 := R45^{-1}$

$R56 := R(5)$

$$R(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R06 := R05 \cdot R56$

$R65 := R56^{-1}$

$R10 := R01^{-1}$

$$R10 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R20 := R02^{-1}$

$$R20 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0 & -1 & 0 \\ -0.259 & 0 & -0.966 \end{bmatrix}$$

$R30 := R03^{-1}$

$$R30 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.259 & 0 & 0.966 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R40 := R04^{-1}$ $R50 := R05^{-1}$ $R60 := R06^{-1}$

$$R40 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0.259 & 0 & 0.966 \\ -0.966 & 0 & 0.259 \end{bmatrix} \quad R50 = \begin{bmatrix} 0.259 & 0 & 0.966 \\ 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad R60 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.259 & 0 & 0.966 \end{bmatrix}$$

Kecepatan Sudut

$\omega 0 := 0$ $\omega 1 := 2.792$ $\omega 2 := 2.443$ $\omega 3 := 2.792$ $z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$\omega 4 := 4.189$ $\omega 5 := 4.189$ $\omega 6 := 5.934$

$R10\omega 1 := R10 \cdot (\omega 0 + z \cdot \omega 1)$ $R20\omega 2 := R21 \cdot (R10\omega 1 + z \cdot \omega 2)$ $R30\omega 3 := R32 \cdot (R20\omega 2 + z \cdot \omega 3)$

$R40\omega 4 := R43 \cdot (R30\omega 3 + z \cdot \omega 4)$ $R50\omega 5 := R54 \cdot (R40\omega 4 + z \cdot \omega 5)$ $R60\omega 6 := R65 \cdot (R50\omega 5 + z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.792 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega 2 = \begin{bmatrix} -0.723 \\ 2.443 \\ -2.697 \end{bmatrix} \quad R30\omega 3 = \begin{bmatrix} -0.723 \\ -2.443 \\ -0.095 \end{bmatrix}$$

$$R40\omega 4 = \begin{bmatrix} 2.443 \\ 4.094 \\ 0.723 \end{bmatrix} \quad R50\omega 5 = \begin{bmatrix} 4.094 \\ -4.912 \\ -2.443 \end{bmatrix} \quad R60\omega 6 = \begin{bmatrix} -4.912 \\ 3.491 \\ 4.094 \end{bmatrix}$$

Percepatan Sudut

$\omega dot0 := 0$ $\omega dot1 := 0.698$ $\omega dot2 := 0.611$ $\omega dot3 := 0.698$ $R00 := 1$

$\omega dot4 := 1.047$ $\omega dot5 := 1.047$ $\omega dot6 := 1.4835$ $R00\omega 0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$\omega ddot1 := 0$ $\omega ddot2 := 0$ $\omega ddot3 := 0$ $\omega ddot4 := 0$

$\omega ddot5 := 0$ $\omega ddot6 := 0$

$R10\omega dot1 := R10 \cdot (R00 \cdot \omega dot0 + z \cdot \omega ddot1 + (R00\omega 0 \times z \cdot \omega 0))$

$R20\omega dot2 := R21 \cdot (R10\omega dot1 + z \cdot \omega ddot2 + R10\omega 1 \times z \cdot \omega 2)$

$R30\omega dot3 := R32 \cdot (R20\omega dot2 + z \cdot \omega ddot3 + (R20\omega 2) \times z \cdot \omega 3)$

$R40\omega dot4 := R43 \cdot (R30\omega dot3 + z \cdot \omega ddot4 + R30\omega 3 \times z \cdot \omega 4)$

$R50\omega dot5 := R54 \cdot (R40\omega dot4 + z \cdot \omega ddot5 + R40\omega 4 \times z \cdot \omega 5)$

$R60\omega dot6 := R65 \cdot (R50\omega dot5 + z \cdot \omega ddot6 + R50\omega 5 \times z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega dot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega dot2 = \begin{bmatrix} 6.588 \\ 0 \\ -1.765 \end{bmatrix} \quad R30\omega dot3 = \begin{bmatrix} 13.409 \\ -2.018 \\ 1.765 \end{bmatrix} \quad R40\omega dot4 = \begin{bmatrix} -1.01 \\ 1.765 \\ -3.176 \end{bmatrix}$$

$$R50\omega dot5 = \begin{bmatrix} -8.468 \\ 3.176 \\ -16.14 \end{bmatrix} \quad R60\omega dot6 = \begin{bmatrix} -21.117 \\ -16.14 \\ -37.614 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier

p_i : origin frame koordinat terhadap sistem koordinat (i-1)

$$R10p1 := \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \cdot \sin(\alpha_0) \\ d_0 \cdot \cos(\alpha_0) \end{bmatrix} \quad R20p2 := \begin{bmatrix} a_1 \\ d_1 \cdot \sin(\alpha_1) \\ d_1 \cdot \cos(\alpha_1) \end{bmatrix} \quad R30p3 := \begin{bmatrix} a_2 \\ d_2 \cdot \sin(\alpha_2) \\ d_2 \cdot \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$R40p4 := \begin{bmatrix} a_3 \\ d_3 \cdot \sin(\alpha_3) \\ d_3 \cdot \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \quad R50p5 := \begin{bmatrix} a_4 \\ d_4 \cdot \sin(\alpha_4) \\ d_4 \cdot \cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \quad R60p6 := \begin{bmatrix} a_5 \\ d_5 \cdot \sin(\alpha_5) \\ d_5 \cdot \cos(\alpha_5) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20p2 = \begin{bmatrix} 0.15 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30p3 = \begin{bmatrix} 0.95 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40p4 = \begin{bmatrix} 0.09 \\ 0.09 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R50p5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R60p6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$^{i}R_0\dot{v}_i = (\,^{i}R_0\dot{\omega}_i)\,x\,(\,^{i}R_0p_i^{*}) + (\,^{i}R_0\omega_i)\,x\,[(\,^{i}R_0\omega_i)\,x\,(\,^{i}R_0p_i^{*})\,] + {}^{i}R_{i-1}.(\,^{i-1}R_0\dot{v}_{i-1})$$

$$R10vdot1 := (R10\omega dot1 \times R10p1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times R10p1) + 0$$

$$R20vdot2 := (R20\omega dot2 \times R20p2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times R20p2) + R21 \cdot R10vdot1$$

$$R30vdot3 := (R30\omega dot3 \times R30p3) + (R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times R30p3)) + R32 \cdot R20vdot2$$

$$R40vdot4 := (R40\omega dot4 \times R40p4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times R40p4) + R43 \cdot R30vdot3$$

$$R50vdot5 := (R50\omega dot5 \times R50p5) + (R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times R50p5)) + R54 \cdot R40vdot4$$

$$R60vdot6 := (R60\omega dot6 \times R60p6) + (R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times R60p6)) + R65 \cdot R50vdot5$$

$$R10vdot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20vdot2 = \begin{bmatrix} -1.986 \\ -0.53 \\ 0.292 \end{bmatrix} \quad R30vdot3 = \begin{bmatrix} -7.665 \\ 3.884 \\ 1.69 \end{bmatrix} \quad R40vdot4 = \begin{bmatrix} -4.253 \\ 1.72 \\ 7.84 \end{bmatrix}$$

$$R50vdot5 = \begin{bmatrix} 1.72 \\ -7.84 \\ 4.253 \end{bmatrix} \quad R60vdot6 = \begin{bmatrix} -7.84 \\ 4.253 \\ 1.72 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier di Pusat Massa

s_i : posisi pusat massa link-i terhadap (x_i, y_i, z_i) dalam meter
ditentukan dengan bantuan Autocad

$$s1 := \begin{bmatrix} 0.0198769 \\ 0.0187241 \\ 0.2792426 \end{bmatrix} \quad s2 := \begin{bmatrix} 0.3640382 \\ -0.0001744 \\ -0.0247365 \end{bmatrix} \quad s3 := \begin{bmatrix} 0.0311122 \\ -0.0584025 \\ -0.0003596 \end{bmatrix} \quad s4 := \begin{bmatrix} -0.0000557 \\ -0.0000192 \\ 0.4155820 \end{bmatrix}$$

$$s5 := \begin{bmatrix} 0.3206769 \\ 0 \\ -0.1464595 \end{bmatrix} \quad s6 := \begin{bmatrix} -0.0001711 \\ 0.0000010 \\ 0.0499760 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}Roa_i = iRo\omega dot i \times iRosi + iRo\omega i \times [\, iRowi \times iRosi \,] + iRovdot i$$

$$R10a1 := R10\omega dot1 \times (R10 \cdot s1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times (R10 \cdot s1)) + R10vdot1$$

$$R20a2 := R20\omega dot2 \times (R20 \cdot s2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times (R20 \cdot s2)) + R20vdot2$$

$$R30a3 := R30\omega dot3 \times (R30 \cdot s3) + R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times (R30 \cdot s3)) + R30vdot3$$

$$R40a4 := R40\omega dot4 \times (R40 \cdot s4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times (R20 \cdot s4)) + R40vdot4$$

$$R50a5 := R50\omega dot5 \times (R50 \cdot s5) + R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times (R20 \cdot s5)) + R50vdot5$$

$$R60a6 := R60\omega dot6 \times (R60 \cdot s6) + R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times (R60 \cdot s6)) + R60vdot6$$

$$R10a1 = \begin{bmatrix} -0.155 \\ 0 \\ 0.146 \end{bmatrix} \quad R20a2 = \begin{bmatrix} -6.864 \\ -0.868 \\ 1.447 \end{bmatrix} \quad R30a3 = \begin{bmatrix} -7.86 \\ 3.92 \\ 0.906 \end{bmatrix} \quad R40a4 = \begin{bmatrix} -1.637 \\ -0.435 \\ 16.368 \end{bmatrix}$$

$$R50a5 = \begin{bmatrix} -3.716 \\ -13.185 \\ -4.373 \end{bmatrix} \quad R60a6 = \begin{bmatrix} -9.209 \\ 6.678 \\ 0.021 \end{bmatrix}$$

Persamaan-persamaan Mundur

mi = massa tiap link (kg)
mt = massa total (data Autocad)

$$mt := 0.1032072339473 + 0.0724924460640 + 0.0295482470174 + 0.0011111164060 + 0.0011211812428$$

$$m1 := \frac{0.1032072339473}{mt} \cdot 430.3 \quad m2 := \frac{0.0724924460640}{mt} \cdot 430.3 \quad m3 := \frac{0.0295482470174}{mt} \cdot 430.3$$

$$m4 := \frac{0.0011111164060}{mt} \cdot 430.3 \quad m5 := \frac{0.0011211812428}{mt} \cdot 430.3 \quad m6 := \frac{0.0000827492909}{mt} \cdot 430.3 + 2.73$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.gu.id/

m1 = 215.96 m4 = 2.302

m2 = 150.285 m5 = 2.324

m3 = 61.257 m6 = 2.902

$$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 = 433.03$$

gaya tiap link pengaruh massanya (${}^{i}R_{0}f_{i}$)

${}^{i}R_{0}f_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis Ri0fi =mi * Rioai

R60f6 := m6·R60a6

R50f5 := R56·R60f6 + m5·R50a5

R40f4 := R45·R50f5 + m4·R40a4

R30f3 := R34·R40f4 + m3·R30a3

R20f2 := R23·R30f3 + m2·R20a2

R10f1 := R12·R20f2 + m1·R10a1

$$R60f6 = \begin{bmatrix} -26.72 \\ 19.377 \\ 0.06 \end{bmatrix} \quad R50f5 = \begin{bmatrix} -8.577 \\ -57.367 \\ 9.214 \end{bmatrix} \quad R40f4 = \begin{bmatrix} -12.985 \\ -9.58 \\ 95.07 \end{bmatrix} \quad R30f3 = \begin{bmatrix} -576.537 \\ 253.095 \\ 45.909 \end{bmatrix}$$

$$R20f2 = \begin{bmatrix} -1.608 \cdot 10^{3} \\ -383.605 \\ 171.48 \end{bmatrix} \quad R10f1 = \begin{bmatrix} -1.631 \cdot 10^{3} \\ 250.572 \\ -352.376 \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap originnya (i) dalam kg.m²

$I_{i} = m_{i} * s_{i}^{2}$ ditulis Ii = mi * si^2

I1 := m1·s1² I2 := m2·s2² I3 := m3·s3² I4 := m4·s4² I5 := m5·s5² I6 := m6·s6²

$$I1 = \begin{bmatrix} 0.085 \\ 0.075 \\ 16.684 \end{bmatrix} \quad I2 = \begin{bmatrix} 19.916 \\ 4.571 \cdot 10^{-6} \\ 0.092 \end{bmatrix} \quad I3 = \begin{bmatrix} 0.059 \\ 0.209 \\ 7.921 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \quad I4 = \begin{bmatrix} 7.146 \cdot 10^{-9} \\ 8.491 \cdot 10^{-10} \\ 0.398 \end{bmatrix}$$

$$I5 = \begin{bmatrix} 0.239 \\ 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} \quad I6 = \begin{bmatrix} 8.494 \cdot 10^{-8} \\ 2.902 \cdot 10^{-12} \\ 7.247 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap base

${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} = {}^{i}R_{o} \times I_{i} \times {}^{o}R_{i}$ ditulis Ri0IiR0i

$$R10I1R01 := \begin{bmatrix} 15.105 & 0 & 0 \\ 0 & 4.71 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R20I2R02 := \begin{bmatrix} 39.107 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R30I3R03 := \begin{bmatrix} 0.284 & 0 & 0 \\ 0 & 9.969 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0.592 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R40I4R04 := \begin{bmatrix} 1.598\cdot10^{0} & 0 & 0 \\ 0 & 3.465 & 0 \\ 0 & 0 & 1.146 \end{bmatrix} \qquad R50I5R05 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.141\cdot10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 4.43\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$R60I6R06 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0 \\ 0 & 0 & 9.693\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

gaya luar eksternal tiap link (${}^{i}R_{o}F_{i}$)

${}^{i}R_{o}F_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis R0iFi = mi*R0iai

R10F1 := m1·R10a1 R30F3 := m3·R30a3 R50F5 := m5·R50a5

R20F2 := m2·R20a2 R40F4 := m4·R40a4 R60F6 := m6·R60a6

$$R10F1 = \begin{bmatrix} -33.152 \\ -1.912\cdot10^{-1} \\ 31.229 \end{bmatrix} \quad R20F2 = \begin{bmatrix} -1.032\cdot10^{3} \\ -130.51 \\ 217.389 \end{bmatrix} \quad R30F3 = \begin{bmatrix} -481.467 \\ 240.11 \\ 55.489 \end{bmatrix} \quad R40F4 = \begin{bmatrix} -3.771 \\ -1.003 \\ 37.703 \end{bmatrix}$$

$$R50F5 = \begin{bmatrix} -8.636 \\ -30.647 \\ -10.164 \end{bmatrix} \quad R60F6 = \begin{bmatrix} -26.72 \\ 19.377 \\ 0.06 \end{bmatrix}$$

momen tiap link yang terjadi (${}^{i}R_{o}n_{i}$)

${}^{i}R_{o}N_{i} = {}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} * iRowdoti + iRowdoti \times ({}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} * iRowdoti)$

R10N1 := R10I1R01·R10ωdot1 + R10ωdot1 × (R10I1R01·R10ωdot1)

R20N2 := R20I2R02·R20ωdot2 + R20ωdot2 × (R20I2R02·R20ωdot2)

R30N3 := R30I3R03·R30ωdot3 + R30ωdot3 × (R30I3R03·R30ωdot3)

R40N4 := R40I4R04·R40ωdot4 + R40ωdot4 × (R40I4R04·R40ωdot4)

R50N5 := R50I5R05·R50ωdot5 + R50ωdot5 × (R50I5R05·R50ωdot5)

R60N6 := R60I6R06·R60ωdot6 + R60ωdot6 × (R60I6R06·R60ωdot6)

$$R10N1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20N2 = \begin{bmatrix} 257.654 \\ -454.854 \\ -2.785\cdot10^{-14} \end{bmatrix} \quad R30N3 = \begin{bmatrix} 1.7 \\ -7.291 \\ 8.728 \end{bmatrix} \quad R40N4 = \begin{bmatrix} 13 \\ 2.443 \\ -9.814 \end{bmatrix}$$

$$R50N5 = \begin{bmatrix} -0.216 \\ -0.605 \\ -0.077 \end{bmatrix} \quad R60N6 = \begin{bmatrix} -225.412 \\ -13.848 \\ 129.491 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R60p5 := R56^{T} \cdot R50p5$ $R50p4 := R45^{T} \cdot R40p4$ $R40p3 := R34^{T} \cdot R30p3$

$R30p2 := R23^{T} \cdot R20p2$ $R20p1 := R12^{T} \cdot R10p1$

momen (${}^{i}R_{o}n_{i}$) :

${}^{i}R_{o}n_{i} = {}^{i}R_{i+1} * ({}^{i+1}R_{o}n_{i+1} + ({}^{i+1}R_{o}p_{i} \times {}^{i+1}R_{o}f_{i+1})) + (({}^{i}R_{o}p_{i} + {}_{i}R_{o}s_{i}) \times {}^{i}R_{o}F_{i}) + {}^{i}R_{o}N_{i}$

$R60n6 := ((R60p6 + (R60 \cdot s6)) \times R60F6) + R60N6$

$R50n5 := R56 \cdot (R60n6 + ((R60p5) \times R60f6)) + ((R50p5 + (R50 \cdot s5)) \times R50F5) + R50N5$

$R40n4 := R45 \cdot (R50n5 + ((R50p4) \times R50f5)) + ((R40p4 + (R40 \cdot s4)) \times R40F4) + R40N4$

$R30n3 := R34 \cdot (R40n4 + ((R40p3) \times R40f4)) + ((R30p3 + (R30 \cdot s3)) \times R30F3) + R30N3$

$R20n2 := R23 \cdot (R30n3 + ((R30p2) \times R30f3)) + ((R20p2 + (R20 \cdot s2)) \times R20F2) + R20N2$

$R10n1 := R12 \cdot (R20n2 + ((R20p1) \times R20f2)) + ((R10p1 + (R10 \cdot s1)) \times R10F1) + R10N1$

$$R60n6 = \begin{bmatrix} -226.347 \\ -15.136 \\ 129.237 \end{bmatrix} \quad R50n5 = \begin{bmatrix} 125.488 \\ -227.546 \\ -10.419 \end{bmatrix} \quad R40n4 = \begin{bmatrix} 47.218 \\ 118.968 \\ 219.552 \end{bmatrix} \quad R30n3 = \begin{bmatrix} -222.943 \\ -103.505 \\ 347.256 \end{bmatrix}$$

$$R10n1 = \begin{bmatrix} 150.237 \\ 429.347 \\ -373.1 \end{bmatrix} \quad R20n2 = \begin{bmatrix} 25.571 \\ -382.357 \\ -451.344 \end{bmatrix}$$

Torsi yang diperlukan link-i (τ_i) dalam Nm

$\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z + b_i q_i$ faktor redaman b diabaikan, maka $\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z$

$\tau 6 := (R60n6^{T}) \cdot R65 \cdot z$ $\tau 5 := (R50n5^{T}) \cdot R54 \cdot z$ $\tau 4 := (R40n4^{T}) \cdot R43 \cdot z$

$\tau 3 := (R30n3^{T}) \cdot R32 \cdot z$ $\tau 2 := (R20n2^{T}) \cdot R21 \cdot z$ $\tau 1 := (R10n1^{T}) \cdot R10 \cdot z$

$\tau 1 = (429.347)$

$\tau 2 = (-382.357)$

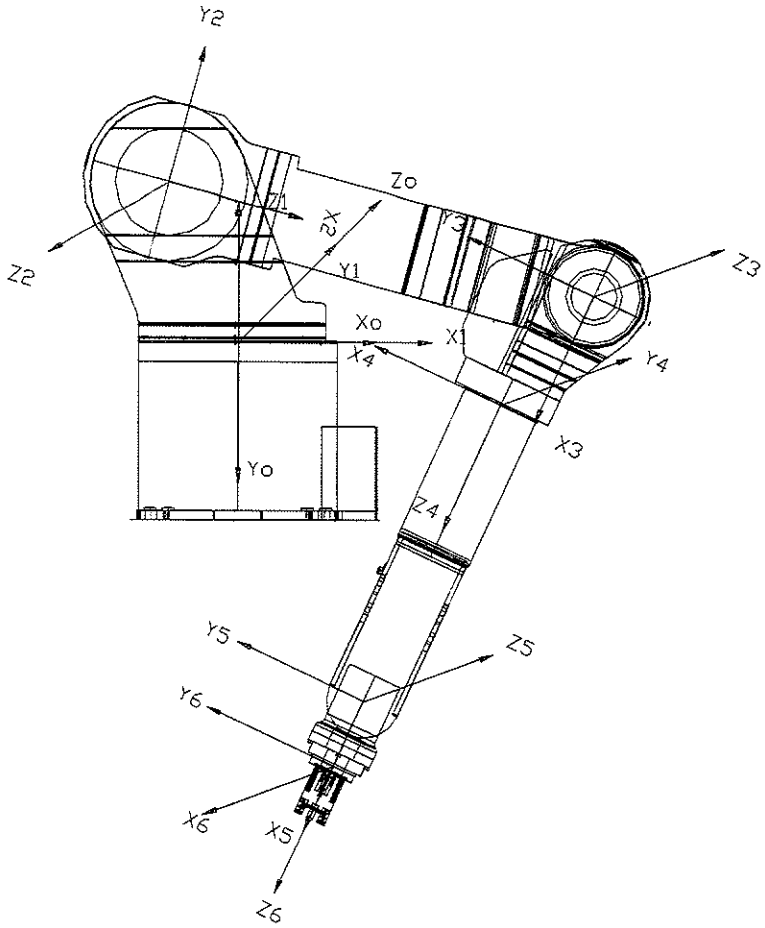
$\tau 3 = (-347.256)$

$\tau 4 = (118.968)$

$\tau 5 = (227.546)$

$\tau 6 = (-15.136)$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.B.5. Posisi 3

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	0°	90°	0	0
2	-15°	90°	0.15	0
3	0	-100°	0.95	0
4	-90°	90°	0.09	0,09
5	90°	-90°	0	0
6	90°	90°	0	0

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustian, Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

POSISI 3

$i := 0..5$

$$\theta := \begin{bmatrix} 0 \\ -15 \\ 0 \\ -90 \\ 90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad \alpha := \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ -100 \\ 90 \\ -90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad a := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.15 \\ 0.95 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.262 \\ 0 \\ -1.571 \\ 1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \quad \alpha_i = \begin{bmatrix} 1.571 \\ 1.571 \\ -1.745 \\ 1.571 \\ -1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \quad a_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.15 \\ 0.95 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik Transformasi

$$A(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & a_i\cdot\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & a_i\cdot\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A01 := A(0)$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A12 := A(1)$

$$A(1) = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 & 0.145 \\ -0.259 & 0 & -0.966 & -0.039 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A23 := A(2)$

$$A(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.95 \\ 0 & -0.174 & 0.985 & 0 \\ 0 & -0.985 & -0.174 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A34 := A(3)

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -0.09 \\ 0 & 1 & 0 & 0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A45 := A(4)

$$A(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A56 := A(5)

$$A(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A06 := A01·A12·A23·A34·A45·A56

$$A06 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0.255 & 0.045 & 1.044 \\ 0 & 0.174 & -0.985 & -0.104 \\ -0.259 & 0.951 & 0.168 & -0.355 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Letak ujung gripper terhadap body (0;0;0.1185)

$$Po := A06 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1185 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad Po = \begin{bmatrix} 1.074 \\ -0.084 \\ -0.242 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrik Rotasi

$$R(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

R01 := R(0)

$$R(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R12 := R(1)$

$$R(1) = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ -0.259 & 0 & -0.966 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R21 := R12^{-1}$

$R02 := R01 \cdot R12$

$R23 := R(2)$

$$R(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.174 & 0.985 \\ 0 & -0.985 & -0.174 \end{bmatrix}$$

$R03 := R02 \cdot R23$

$R32 := R23^{-1}$

$R34 := R(3)$

$$R(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R04 := R03 \cdot R34$

$R43 := R34^{-1}$

$R45 := R(4)$

$$R(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R05 := R04 \cdot R45$

$R54 := R45^{-1}$

$R56 := R(5)$

$$R(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R06 := R05 \cdot R56$

$R65 := R56^{-1}$

$R10 := R01^{-1}$

$$R10 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R20 := R02^{-1}$

$$R20 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0 & -1 & 0 \\ -0.259 & 0 & -0.966 \end{bmatrix}$$

$R30 := R03^{-1}$

$$R30 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0.255 & 0.174 & 0.951 \\ 0.045 & -0.985 & 0.168 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R40 := R04^{-1}$ $R50 := R05^{-1}$ $R60 := R06^{-1}$

$$R40 = \begin{bmatrix} -0.255 & -0.174 & -0.9 \\ 0.045 & -0.985 & 0.16 \\ -0.966 & 0 & 0.25 \end{bmatrix} \quad R50 = \begin{bmatrix} 0.045 & -0.985 & 0.168 \\ 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0.255 & 0.174 & 0.951 \end{bmatrix} \quad R60 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & -0.259 \\ 0.255 & 0.174 & 0.951 \\ 0.045 & -0.985 & 0.168 \end{bmatrix}$$

Kecepatan Sudut

$\omega 0 := 0$ $\omega 1 := 2.792$ $\omega 2 := 2.443$ $\omega 3 := 2.792$ $z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$\omega 4 := 4.189$ $\omega 5 := 4.189$ $\omega 6 := 5.934$

$R10\omega 1 := R10 \cdot (\omega 0 + z \cdot \omega 1)$ $R20\omega 2 := R21 \cdot (R10\omega 1 + z \cdot \omega 2)$ $R30\omega 3 := R32 \cdot (R20\omega 2 + z \cdot \omega 3)$

$R40\omega 4 := R43 \cdot (R30\omega 3 + z \cdot \omega 4)$ $R50\omega 5 := R54 \cdot (R40\omega 4 + z \cdot \omega 5)$ $R60\omega 6 := R65 \cdot (R50\omega 5 + z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.792 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega 2 = \begin{bmatrix} -0.723 \\ 2.443 \\ -2.697 \end{bmatrix} \quad R30\omega 3 = \begin{bmatrix} -0.723 \\ -0.518 \\ 2.389 \end{bmatrix}$$

$$R40\omega 4 = \begin{bmatrix} 0.518 \\ 6.578 \\ 0.723 \end{bmatrix} \quad R50\omega 5 = \begin{bmatrix} 6.578 \\ -4.912 \\ -0.518 \end{bmatrix} \quad R60\omega 6 = \begin{bmatrix} -4.912 \\ 5.416 \\ 6.578 \end{bmatrix}$$

Percepatan Sudut

$\omega dot0 := 0$ $\omega dot1 := 0.698$ $\omega dot2 := 0.611$ $\omega dot3 := 0.698$ $R00 := 1$

$\omega dot4 := 1.047$ $\omega dot5 := 1.047$ $\omega dot6 := 1.4835$ $R00\omega 0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$\omega ddot1 := 0$ $\omega ddot2 := 0$ $\omega ddot3 := 0$ $\omega ddot4 := 0$

$\omega ddot5 := 0$ $\omega ddot6 := 0$

$R10\omega dot1 := R10 \cdot (R00 \cdot \omega dot0 + z \cdot \omega ddot1 + (R00\omega 0 \times z \cdot \omega 0))$

$R20\omega dot2 := R21 \cdot (R10\omega dot1 + z \cdot \omega ddot2 + R10\omega 1 \times z \cdot \omega 2)$

$R30\omega dot3 := R32 \cdot (R20\omega dot2 + z \cdot \omega ddot3 + (R20\omega 2) \times z \cdot \omega 3)$

$R40\omega dot4 := R43 \cdot (R30\omega dot3 + z \cdot \omega ddot4 + R30\omega 3 \times z \cdot \omega 4)$

$R50\omega dot5 := R54 \cdot (R40\omega dot4 + z \cdot \omega ddot5 + R40\omega 4 \times z \cdot \omega 5)$

$R60\omega dot6 := R65 \cdot (R50\omega dot5 + z \cdot \omega ddot6 + R50\omega 5 \times z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega dot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega dot2 = \begin{bmatrix} 6.588 \\ 0 \\ -1.765 \end{bmatrix} \quad R30\omega dot3 = \begin{bmatrix} 13.409 \\ 1.388 \\ 2.293 \end{bmatrix} \quad R40\omega dot4 = \begin{bmatrix} -4.415 \\ 2.293 \\ -11.24 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R50\omega dot5 = \begin{bmatrix} 0.174 \\ 11.24 \\ -23.142 \end{bmatrix} \qquad R60\omega dot6 = \begin{bmatrix} -27.796 \\ -23.142 \\ -29.022 \end{bmatrix}$$

Percepatan Linier

p_i : origin frame koordinat terhadap sistem koordinat (i-1)

$$Ri0pi := \begin{bmatrix} a_i \\ d_i \cdot \sin(\alpha_i) \\ d_i \cdot \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 := \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \cdot \sin(\alpha_0) \\ d_0 \cdot \cos(\alpha_0) \end{bmatrix} \qquad R20p2 := \begin{bmatrix} a_1 \\ d_1 \cdot \sin(\alpha_1) \\ d_1 \cdot \cos(\alpha_1) \end{bmatrix} \qquad R30p3 := \begin{bmatrix} a_2 \\ d_2 \cdot \sin(\alpha_2) \\ d_2 \cdot \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$R40p4 := \begin{bmatrix} a_3 \\ d_3 \cdot \sin(\alpha_3) \\ d_3 \cdot \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \qquad R50p5 := \begin{bmatrix} a_4 \\ d_4 \cdot \sin(\alpha_4) \\ d_4 \cdot \cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \qquad R60p6 := \begin{bmatrix} a_5 \\ d_5 \cdot \sin(\alpha_5) \\ d_5 \cdot \cos(\alpha_5) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20p2 = \begin{bmatrix} 0.15 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30p3 = \begin{bmatrix} 0.95 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40p4 = \begin{bmatrix} 0.09 \\ 0.09 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R50p5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R60p6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}R_0\dot{v}_i = ({}^{i}R_0\dot{\omega}_i) \times ({}^{i}R_0p_i^*) + ({}^{i}R_0\omega_i) \times [({}^{i}R_0\omega_i) \times ({}^{i}R_0p_i^*)] + {}^{i}R_{i-1}.({}^{i-1}R_0\dot{v}_{i-1})$$

$$R10vdot1 := (R10\omega dot1 \times R10p1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times R10p1) + 0$$

$$R20vdot2 := (R20\omega dot2 \times R20p2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times R20p2) + R21 \cdot R10vdot1$$

$$R30vdot3 := (R30\omega dot3 \times R30p3) + (R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times R30p3)) + R32 \cdot R20vdot2$$

$$R40vdot4 := (R40\omega dot4 \times R40p4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times R40p4) + R43 \cdot R30vdot3$$

$$R50vdot5 := (R50\omega dot5 \times R50p5) + (R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times R50p5)) + R54 \cdot R40vdot4$$

$$R60vdot6 := (R60\omega dot6 \times R60p6) + (R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times R60p6)) + R65 \cdot R50vdot5$$

$$R10vdot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20vdot2 = \begin{bmatrix} -1.986 \\ -0.53 \\ 0.292 \end{bmatrix} \quad R30vdot3 = \begin{bmatrix} -7.665 \\ 2.338 \\ -3.531 \end{bmatrix} \quad R40vdot4 = \begin{bmatrix} -4.962 \\ -4.307 \\ 7.522 \end{bmatrix}$$

$$R50vdot5 = \begin{bmatrix} -4.307 \\ -7.522 \\ 4.962 \end{bmatrix} \quad R60vdot6 = \begin{bmatrix} -7.522 \\ 4.962 \\ -4.307 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier di Pusat Massa

s_i : posisi pusat massa link-i terhadap (x_i, y_i, z_i) dalam meter
ditentukan dengan bantuan Autocad

$$s1 := \begin{bmatrix} 0.0198769 \\ 0.0187241 \\ 0.2792426 \end{bmatrix} \quad s2 := \begin{bmatrix} 0.3640382 \\ -0.0001744 \\ -0.0247365 \end{bmatrix} \quad s3 := \begin{bmatrix} 0.0311122 \\ -0.0584025 \\ -0.0003596 \end{bmatrix} \quad s4 := \begin{bmatrix} -0.0000557 \\ -0.0000192 \\ 0.4155820 \end{bmatrix}$$

$$s5 := \begin{bmatrix} 0.3206769 \\ 0 \\ -0.1464595 \end{bmatrix} \quad s6 := \begin{bmatrix} -0.00000761 \\ 0.0000049 \\ 0.0071273 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}Roa_{i} = iRo\omega dot_i \times iRos_i + iRo\omega_i \times [\, iRow_i \times iRos_i \,] + iRovdot_i$$

$$R10a1 := R10\omega dot1 \times (R10 \cdot s1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times (R10 \cdot s1)) + R10vdot1$$

$$R20a2 := R20\omega dot2 \times (R20 \cdot s2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times (R20 \cdot s2)) + R20vdot2$$

$$R30a3 := R30\omega dot3 \times (R30 \cdot s3) + R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times (R30 \cdot s3)) + R30vdot3$$

$$R40a4 := R40\omega dot4 \times (R40 \cdot s4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times (R20 \cdot s4)) + R40vdot4$$

$$R50a5 := R50\omega dot5 \times (R50 \cdot s5) + R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times (R20 \cdot s5)) + R50vdot5$$

$$R60a6 := R60\omega dot6 \times (R60 \cdot s6) + R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times (R60 \cdot s6)) + R60vdot6$$

$$R10a1 = \begin{bmatrix} -0.155 \\ 0 \\ 0.146 \end{bmatrix} \quad R20a2 = \begin{bmatrix} -6.864 \\ -0.868 \\ 1.447 \end{bmatrix} \quad R30a3 = \begin{bmatrix} -7.86 \\ 1.573 \\ -3.703 \end{bmatrix} \quad R40a4 = \begin{bmatrix} 0.632 \\ -1.664 \\ 25.559 \end{bmatrix}$$

$$R50a5 = \begin{bmatrix} -5.589 \\ -18.36 \\ -6.251 \cdot 1 \end{bmatrix} \quad R60a6 = \begin{bmatrix} -7.437 \\ 4.684 \\ -4.301 \end{bmatrix}$$

Persamaan-persamaan Mundur

mi = massa tiap link (kg)
mt = massa total (data Autocad)

$$mt := 0.1032072339473 + 0.0724924460640 + 0.0295482470174 + 0.0011111164060 + 0.0011211812428$$

$$m1 := \frac{0.1032072339473}{mt} \cdot 430.3 \quad m2 := \frac{0.0724924460640}{mt} \cdot 430.3 \quad m3 := \frac{0.0295482470174}{mt} \cdot 430.3$$

$$m4 := \frac{0.0011111164060}{mt} \cdot 430.3 \quad m5 := \frac{0.0011211812428}{mt} \cdot 430.3 \quad m6 := \frac{0.0000827492909}{mt} \cdot 430.3 + 2.73$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

m1 = 213.96 m4 = 2.303

m2 = 130.285 m5 = 2.324

m3 = 61.257 m6 = 2.902

$$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 = 433.03$$

gaya tiap link pengaruh massanya (${}^{i}R_{0}f_{i}$)

${}^{i}R_{0}f_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis Ri0fi =mi * Rioai

R60f6 := m6·R60a6

R50f5 := R56·R60f6 + m5·R50a5

R40f4 := R45·R50f5 + m4·R40a4

R30f3 := R34·R40f4 + m3·R30a3

R20f2 := R23·R30f3 + m2·R20a2

R10f1 := R12·R20f2 + m1·R10a1

$$R60f6 = \begin{bmatrix} -21.58 \\ 13.59 \\ -12.48 \end{bmatrix} \quad R50f5 = \begin{bmatrix} -25.47 \\ -64.265 \\ 13.575 \end{bmatrix} \quad R40f4 = \begin{bmatrix} -12.12 \\ -29.303 \\ 123.141 \end{bmatrix} \quad R30f3 = \begin{bmatrix} -604.608 \\ 108.461 \\ -256.129 \end{bmatrix}$$

$$R20f2 = \begin{bmatrix} -1.636 \cdot 10^{3} \\ -401.582 \\ 155.052 \end{bmatrix} \quad R10f1 = \begin{bmatrix} -1.654 \cdot 10^{3} \\ 273.705 \\ -370.353 \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap originnya (i) dalam kg.m²

$I_{i} = m_{i} * s_{i}^{2}$ ditulis li = mi * si^2

I1 := m1·s1² I2 := m2·s2² I3 := m3·s3² I4 := m4·s4² I5 := m5·s5² I6 := m6·s6²

$$I1 = \begin{bmatrix} 0.085 \\ 0.075 \\ 16.684 \end{bmatrix} \quad I2 = \begin{bmatrix} 19.916 \\ 4.571 \cdot 10^{-6} \\ 0.092 \end{bmatrix} \quad I3 = \begin{bmatrix} 0.059 \\ 0.209 \\ 7.921 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \quad I4 = \begin{bmatrix} 7.146 \cdot 10^{-9} \\ 8.491 \cdot 10^{-10} \\ 0.398 \end{bmatrix}$$

$$I5 = \begin{bmatrix} 0.239 \\ 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} \quad I6 = \begin{bmatrix} 1.68 \cdot 10^{-10} \\ 6.967 \cdot 10^{-11} \\ 1.474 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap base

${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} = {}^{i}R_{o} \times I_{i} \times {}^{o}R_{i}$ ditulis Ri0liR0i

$$R10I1R01 := \begin{bmatrix} 15.105 & 0 & 0 \\ 0 & 4.71 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R20I2R02 := \begin{bmatrix} 39.107 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R30I3R03 := \begin{bmatrix} 0.284 & 0 & 0 \\ 0 & 9.969 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0.592 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R40I4R04 := \begin{bmatrix} 1.598\cdot10^{-} & 0 & 0 \\ 0 & 3.465 & 0 \\ 0 & 0 & 1.146 \end{bmatrix} \qquad R50I5R05 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.141\cdot10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 4.43\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$R60I6R06 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0 \\ 0 & 0 & 9.693\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

gaya luar ekternal tiap link (${}^{i}R_{o}F_{i}$)

${}^{i}R_{o}F_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis R0iFi = mi*R0iai

R10F1 :=m1·R10a1 R30F3 :=m3·R30a3 R50F5 :=m5·R50a5

R20F2 :=m2·R20a2 R40F4 :=m4·R40a4 R60F6 :=m6·R60a6

$$R10F1 = \begin{bmatrix} -33.152 \\ -1.912\cdot10^{-1} \\ 31.229 \end{bmatrix} \quad R20F2 = \begin{bmatrix} -1.032\cdot10^{3} \\ -130.51 \\ 217.389 \end{bmatrix} \quad R30F3 = \begin{bmatrix} -481.467 \\ 96.341 \\ -226.827 \end{bmatrix} \quad R40F4 = \begin{bmatrix} 1.455 \\ -3.833 \\ 58.875 \end{bmatrix}$$

$$R50F5 = \begin{bmatrix} -12.99 \\ -42.685 \\ -0.015 \end{bmatrix} \quad R60F6 = \begin{bmatrix} -21.58 \\ 13.59 \\ -12.48 \end{bmatrix}$$

momen tiap link yang terjadi (${}^{i}R_{o}n_{i}$)

${}^{i}R_{o}N_{i} = {}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i}$*iRowdoti + iRowdoti x (${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i}$*iRowdoti)

R10N1 :=R10I1R01·R10ωdot1 + R10ωdot1 × (R10I1R01·R10ωdot1)

R20N2 :=R20I2R02·R20ωdot2 + R20ωdot2 × (R20I2R02·R20ωdot2)

R30N3 :=R30I3R03·R30ωdot3 + R30ωdot3 × (R30I3R03·R30ωdot3)

R40N4 :=R40I4R04·R40ωdot4 + R40ωdot4 × (R40I4R04·R40ωdot4)

R50N5 :=R50I5R05·R50ωdot5 + R50ωdot5 × (R50I5R05·R50ωdot5)

R60N6 :=R60I6R06·R60ωdot6 + R60ωdot6 × (R60I6R06·R60ωdot6)

$$R10N1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20N2 = \begin{bmatrix} 257.654 \\ -454.854 \\ -2.785\cdot10^{-14} \end{bmatrix} \quad R30N3 = \begin{bmatrix} 5.693 \\ -9.472 \\ -3.929 \end{bmatrix} \quad R40N4 = \begin{bmatrix} 59.779 \\ -48.925 \\ -47.968 \end{bmatrix}$$

$$R50N5 = \begin{bmatrix} -1.097 \\ 0.015 \\ -0.102 \end{bmatrix} \quad R60N6 = \begin{bmatrix} -249.371 \\ -16.636 \\ 244.796 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R60p5 := R56^{T} \cdot R50p5$ $R50p4 := R45^{T} \cdot R40p4$ $R40p3 := R34^{T} \cdot R30p3$

$R30p2 := R23^{T} \cdot R20p2$ $R20p1 := R12^{T} \cdot R10p1$

momen (${}^{i}R_{o}n_{i}$) :

${}^{i}R_{o}n_{i} = {}^{i}R_{i+1} * ({}^{i+1}R_{o}n_{i+1} + ({}^{i+1}R_{o}p_{i} \times {}^{i+1}R_{o}f_{i+1})) + (({}^{i}R_{o}p_{i} + {}_{i}R_{o}s_{i}) \times {}^{i}R_{o}F_{i}) + {}^{i}R_{o}N_{i}$

$R60n6 := ((R60p6 + (R60 \cdot s6)) \times R60F6) + R60N6$

$R50n5 := R56 \cdot (R60n6 + ((R60p5) \times R60f6)) + ((R50p5 + (R50 \cdot s5)) \times R50F5) + R50N5$

$R40n4 := R45 \cdot (R50n5 + ((R50p4) \times R50f5)) + ((R40p4 + (R40 \cdot s4)) \times R40F4) + R40N4$

$R30n3 := R34 \cdot (R40n4 + ((R40p3) \times R40f4)) + ((R30p3 + (R30 \cdot s3)) \times R30F3) + R30N3$

$R20n2 := R23 \cdot (R30n3 + ((R30p2) \times R30f3)) + ((R20p2 + (R20 \cdot s2)) \times R20F2) + R20N2$

$R10n1 := R12 \cdot (R20n2 + ((R20p1) \times R20f2)) + ((R10p1 + (R10 \cdot s1)) \times R10F1) + R10N1$

$$R60n6 = \begin{bmatrix} -249.472 \\ -16.685 \\ 244.917 \end{bmatrix} \quad R50n5 = \begin{bmatrix} 241.357 \\ -248.709 \\ -11.838 \end{bmatrix} \quad R40n4 = \begin{bmatrix} 87.217 \\ 204.78 \\ 200.608 \end{bmatrix} \quad R30n3 = \begin{bmatrix} -200.006 \\ 125.136 \\ 305.564 \end{bmatrix}$$

$$R10n1 = \begin{bmatrix} 128.842 \\ 260.879 \\ -194.949 \end{bmatrix} \quad R20n2 = \begin{bmatrix} 48.508 \\ -204.206 \\ -283.08 \end{bmatrix}$$

Torsi yang diperlukan link-i (τ_i) dalam Nm

$\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z + b_i q_i$ faktor redaman b diabaikan, maka $\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z$

$\tau 6 := \left(R60n6^{T}\right) \cdot R65 \cdot z$ $\tau 5 := \left(R50n5^{T}\right) \cdot R54 \cdot z$ $\tau 4 := \left(R40n4^{T}\right) \cdot R43 \cdot z$

$\tau 3 := \left(R30n3^{T}\right) \cdot R32 \cdot z$ $\tau 2 := \left(R20n2^{T}\right) \cdot R21 \cdot z$ $\tau 1 := \left(R10n1^{T}\right) \cdot R10 \cdot z$

$\tau_1 = [\ 260.879\ ]$

$\tau_2 = [-204.206\ ]$

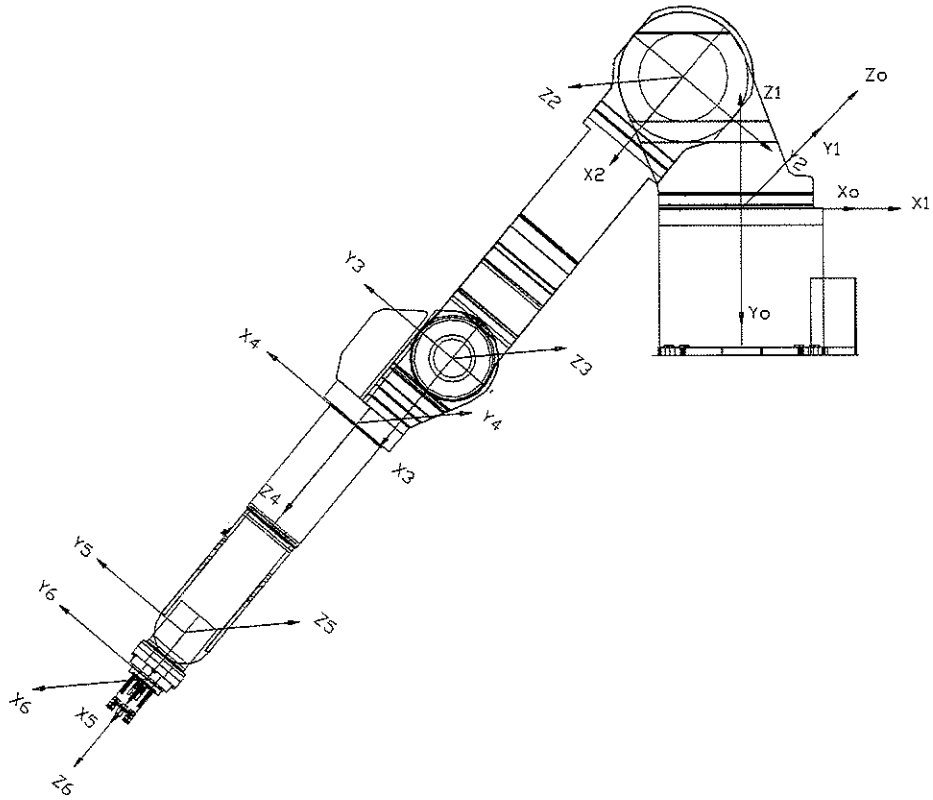
$\tau_3 = (-176.295\ )$

$\tau_4 = (\ 204.78\ )$

$\tau_5 = (\ 248.709\ )$

$\tau_6 = (\ -116.685\ )$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.B.6. Posisi 4

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	0°	90°	0	0
2	230°	90°	-0.15	0
3	0	-180°	-0.95	0
4	-90°	90°	-0.09	-0,09
5	90°	-90°	0	0
6	90°	90°	0	0

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

POSISI 4

$i := 0..5$

$$\theta := \begin{bmatrix} 0 \\ 230 \\ 0 \\ -90 \\ 90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad \alpha := \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ -180 \\ 90 \\ -90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad a := \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 4.014 \\ 0 \\ -1.571 \\ 1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \quad \alpha_i = \begin{bmatrix} 1.571 \\ 1.571 \\ -3.142 \\ 1.571 \\ -1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \quad a_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik Transformasi

$$A(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & a_i\cdot\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & a_i\cdot\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A01 := A(0)$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A12 := A(1)$

$$A(1) = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 & 0.096 \\ -0.766 & 0 & 0.643 & 0.115 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A23 := A(2)$

$$A(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -0.95 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$A34 := A(3)$

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0.09 \\ 0 & 1 & 0 & -0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A45 := A(4)$

$$A(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A56 := A(5)$

$$A(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A06 := A01 \cdot A12 \cdot A23 \cdot A34 \cdot A45 \cdot A56$

$$A06 = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & 0.766 & 0.638 \\ 0 & 1 & 0 & 0.09 \\ -0.766 & 0 & -0.643 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Letak ujung gripper terhadap body (0;0;0.1185)

$$Po := A06 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1185 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad Po = \begin{bmatrix} 0.638 \\ 0.209 \\ 0.9 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrik Rotasi

$$R(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i) \cdot \sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i) \cdot \sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i) \cdot \cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i) \cdot \cos(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$R01 := R(0)$

$$R(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R12 := R(1)$

$$R(1) = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 \\ -0.766 & 0 & 0.643 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R21 := R12^{-1}$

$R02 := R01 \cdot R12$

$R23 := R(2)$

$$R(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$R03 := R02 \cdot R23$

$R32 := R23^{-1}$

$R34 := R(3)$

$$R(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R04 := R03 \cdot R34$

$R43 := R34^{-1}$

$R45 := R(4)$

$$R(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R05 := R04 \cdot R45$

$R54 := R45^{-1}$

$R56 := R(5)$

$$R(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R06 := R05 \cdot R56$

$R65 := R56^{-1}$

$R10 := R01^{-1}$

$$R10 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R20 := R02^{-1}$

$$R20 = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 \\ 0 & -1 & 0 \\ -0.766 & 0 & 0.643 \end{bmatrix}$$

$R30 := R03^{-1}$

$$R30 = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.766 & 0 & -0.643 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto, Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R40 := R04^{-1}$ $R50 := R05^{-1}$ $R60 := R06^{-1}$

$$R40 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0.766 & 0 & -0.643 \\ 0.643 & 0 & 0.766 \end{bmatrix} \quad R50 = \begin{bmatrix} 0.766 & 0 & -0.643 \\ -0.643 & 0 & -0.766 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad R60 = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.766 & 0 & -0.643 \end{bmatrix}$$

Kecepatan Sudut

$\omega 0 := 0$ $\omega 1 := 2.792$ $\omega 2 := 2.443$ $\omega 3 := 2.792$ $z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$\omega 4 := 4.189$ $\omega 5 := 4.189$ $\omega 6 := 5.934$

$R10\omega 1 := R10 \cdot (\omega 0 + z \cdot \omega 1)$ $R20\omega 2 := R21 \cdot (R10\omega 1 + z \cdot \omega 2)$ $R30\omega 3 := R32 \cdot (R20\omega 2 + z \cdot \omega 3)$

$R40\omega 4 := R43 \cdot (R30\omega 3 + z \cdot \omega 4)$ $R50\omega 5 := R54 \cdot (R40\omega 4 + z \cdot \omega 5)$ $R60\omega 6 := R65 \cdot (R50\omega 5 + z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.792 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega 2 = \begin{bmatrix} -2.139 \\ 2.443 \\ 1.795 \end{bmatrix} \quad R30\omega 3 = \begin{bmatrix} -2.139 \\ -2.443 \\ -4.587 \end{bmatrix}$$

$$R40\omega 4 = \begin{bmatrix} 2.443 \\ -0.398 \\ 2.139 \end{bmatrix} \quad R50\omega 5 = \begin{bmatrix} -0.398 \\ -6.328 \\ -2.443 \end{bmatrix} \quad R60\omega 6 = \begin{bmatrix} -6.328 \\ 3.491 \\ -0.398 \end{bmatrix}$$

Percepatan Sudut

$\omega dot0 := 0$ $\omega dot1 := 0.698$ $\omega dot2 := 0.611$ $\omega dot3 := 0.698$ $R00 := 1$

$\omega dot4 := 1.047$ $\omega dot5 := 1.047$ $\omega dot6 := 1.4835$ $R00\omega 0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$\omega ddot1 := 0$ $\omega ddot2 := 0$ $\omega ddot3 := 0$ $\omega ddot4 := 0$

$\omega ddot5 := 0$ $\omega ddot6 := 0$

$R10\omega dot1 := R10 \cdot (R00 \cdot \omega dot0 + z \cdot \omega ddot1 + (R00\omega 0 \times z \cdot \omega 0))$

$R20\omega dot2 := R21 \cdot (R10\omega dot1 + z \cdot \omega ddot2 + R10\omega 1 \times z \cdot \omega 2)$

$R30\omega dot3 := R32 \cdot (R20\omega dot2 + z \cdot \omega ddot3 + (R20\omega 2) \times z \cdot \omega 3)$

$R40\omega dot4 := R43 \cdot (R30\omega dot3 + z \cdot \omega ddot4 + R30\omega 3 \times z \cdot \omega 4)$

$R50\omega dot5 := R54 \cdot (R40\omega dot4 + z \cdot \omega ddot5 + R40\omega 4 \times z \cdot \omega 5)$

$R60\omega dot6 := R65 \cdot (R50\omega dot5 + z \cdot \omega ddot6 + R50\omega 5 \times z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega dot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega dot2 = \begin{bmatrix} -4.384 \\ 0 \\ -5.225 \end{bmatrix} \quad R30\omega dot3 = \begin{bmatrix} 2.436 \\ -5.972 \\ 5.225 \end{bmatrix} \quad R40\omega dot4 = \begin{bmatrix} -2.988 \\ 5.225 \\ 7.797 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R50\omega dot5 = \begin{bmatrix} -5.009 \\ -7.797 \\ 4.654 \end{bmatrix} \qquad R60\omega dot6 = \begin{bmatrix} -5.438 \\ 4.654 \\ -42.558 \end{bmatrix}$$

Percepatan Linier

p_i : origin frame koordinat terhadap sistem koordinat (i-1)

$$Ri0pi := \begin{bmatrix} a_i \\ d_i \cdot \sin(\alpha_i) \\ d_i \cdot \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 := \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \cdot \sin(\alpha_0) \\ d_0 \cdot \cos(\alpha_0) \end{bmatrix} \qquad R20p2 := \begin{bmatrix} a_1 \\ d_1 \cdot \sin(\alpha_1) \\ d_1 \cdot \cos(\alpha_1) \end{bmatrix} \qquad R30p3 := \begin{bmatrix} a_2 \\ d_2 \cdot \sin(\alpha_2) \\ d_2 \cdot \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$R40p4 := \begin{bmatrix} a_3 \\ d_3 \cdot \sin(\alpha_3) \\ d_3 \cdot \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \qquad R50p5 := \begin{bmatrix} a_4 \\ d_4 \cdot \sin(\alpha_4) \\ d_4 \cdot \cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \qquad R60p6 := \begin{bmatrix} a_5 \\ d_5 \cdot \sin(\alpha_5) \\ d_5 \cdot \cos(\alpha_5) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20p2 = \begin{bmatrix} -0.15 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30p3 = \begin{bmatrix} -0.95 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40p4 = \begin{bmatrix} -0.09 \\ -0.09 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R50p5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R60p6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}R_0\dot{v}_i = ({}^{i}R_0\dot{\omega}_i) \times ({}^{i}R_0 p_i^*) + ({}^{i}R_0\omega_i) \times [({}^{i}R_0\omega_i) \times ({}^{i}R_0 p_i^*)] + {}^{i}R_{i-1} \cdot ({}^{i-1}R_0\dot{v}_{i-1})$$

$$R10vdot1 := (R10\omega dot1 \times R10p1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times R10p1) + 0$$

$$R20vdot2 := (R20\omega dot2 \times R20p2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times R20p2) + R21 \cdot R10vdot1$$

$$R30vdot3 := (R30\omega dot3 \times R30p3) + (R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times R30p3)) + R32 \cdot R20vdot2$$

$$R40vdot4 := (R40\omega dot4 \times R40p4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times R40p4) + R43 \cdot R30vdot3$$

$$R50vdot5 := (R50\omega dot5 \times R50p5) + (R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times R50p5)) + R54 \cdot R40vdot4$$

$$R60vdot6 := (R60\omega dot6 \times R60p6) + (R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times R60p6)) + R65 \cdot R50vdot5$$

$$R10vdot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20vdot2 = \begin{bmatrix} 1.378 \\ 1.568 \\ 0.576 \end{bmatrix} \quad R30vdot3 = \begin{bmatrix} 27.034 \\ -11.495 \\ -15.568 \end{bmatrix} \quad R40vdot4 = \begin{bmatrix} 12.71 \\ -15.234 \\ -26.688 \end{bmatrix}$$

$$R50vdot5 = \begin{bmatrix} -15.234 \\ 26.688 \\ -12.71 \end{bmatrix} \quad R60vdot6 = \begin{bmatrix} 26.688 \\ -12.71 \\ -15.234 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier di Pusat Massa

s_i : posisi pusat massa link-i terhadap (x_i, y_i, z_i) dalam meter
ditentukan dengan bantuan Autocad

$$s1 := \begin{bmatrix} 0.0198769 \\ 0.0187241 \\ 0.2792426 \end{bmatrix} \quad s2 := \begin{bmatrix} 0.3640382 \\ -0.0001744 \\ -0.0247365 \end{bmatrix} \quad s3 := \begin{bmatrix} 0.0311122 \\ -0.0584025 \\ -0.0003596 \end{bmatrix} \quad s4 := \begin{bmatrix} -0.0000557 \\ -0.0000192 \\ 0.4155820 \end{bmatrix}$$

$$s5 := \begin{bmatrix} 0.3206769 \\ 0 \\ -0.1464595 \end{bmatrix} \quad s6 := \begin{bmatrix} -0.0001711 \\ 0.0000010 \\ 0.0499760 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}Roa_i = iRo\omega dot i \times iRosi + iRo\omega i \times [\, iRowi \times iRosi \,] + iRovdoti$$

$$R10a1 := R10\omega dot1 \times (R10 \cdot s1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times (R10 \cdot s1)) + R10vdot1$$

$$R20a2 := R20\omega dot2 \times (R20 \cdot s2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times (R20 \cdot s2)) + R20vdot2$$

$$R30a3 := R30\omega dot3 \times (R30 \cdot s3) + R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times (R30 \cdot s3)) + R30vdot3$$

$$R40a4 := R40\omega dot4 \times (R40 \cdot s4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times (R20 \cdot s4)) + R40vdot4$$

$$R50a5 := R50\omega dot5 \times (R50 \cdot s5) + R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times (R20 \cdot s5)) + R50vdot5$$

$$R60a6 := R60\omega dot6 \times (R60 \cdot s6) + R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times (R60 \cdot s6)) + R60vdot6$$

$$R10a1 = \begin{bmatrix} -0.155 \\ 0 \\ 0.146 \end{bmatrix} \quad R20a2 = \begin{bmatrix} 4.486 \\ 1.229 \\ 4.509 \end{bmatrix} \quad R30a3 = \begin{bmatrix} 27.659 \\ -9.994 \\ -16.93 \end{bmatrix} \quad R40a4 = \begin{bmatrix} 19.359 \\ -14.201 \\ -29.19 \end{bmatrix}$$

$$R50a5 = \begin{bmatrix} -10.805 \\ 22.78 \\ 3.978 \end{bmatrix} \quad R60a6 = \begin{bmatrix} 26.928 \\ -10.373 \\ -13.467 \end{bmatrix}$$

Persamaan-persamaan Mundur

mi = massa tiap link (kg)
mt = massa total (data Autocad)

$$mt := 0.1032072339473 + 0.0724924460640 + 0.0295482470174 + 0.0011111164060 + 0.0011211812428$$

$$m1 := \frac{0.1032072339473}{mt} \cdot 430.3 \quad m2 := \frac{0.0724924460640}{mt} \cdot 430.3 \quad m3 := \frac{0.0295482470174}{mt} \cdot 430.3$$

$$m4 := \frac{0.0011111164060}{mt} \cdot 430.3 \quad m5 := \frac{0.0011211812428}{mt} \cdot 430.3 \quad m6 := \frac{0.0000827492909}{mt} \cdot 430.3 + 2.73$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

m1 = 213.96 m4 = 2.303

m2 = 150.285 m5 = 2.324

m3 = 61.257 m6 = 2.902

$$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 = 433.03$$

gaya tiap link pengaruh massanya (${}^{i}R_{0}f_{i}$)

${}^{i}R_{0}f_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis Ri0fi =mi * Rioai

R60f6 := m6·R60a6

R50f5 := R56·R60f6 + m5·R50a5

R40f4 := R45·R50f5 + m4·R40a4

R30f3 := R34·R40f4 + m3·R30a3

R20f2 := R23·R30f3 + m2·R20a2

R10f1 := R12·R20f2 + m1·R10a1

$$R60f6 = \begin{bmatrix} 78.134 \\ -30.098 \\ -39.076 \end{bmatrix} \quad R50f5 = \begin{bmatrix} -64.19 \\ 131.083 \\ -20.852 \end{bmatrix} \quad R40f4 = \begin{bmatrix} 65.445 \\ -96.901 \\ -198.322 \end{bmatrix} \quad R30f3 = \begin{bmatrix} 1.893 \cdot 10^{3} \\ -677.673 \\ -1.134 \cdot 10^{3} \end{bmatrix}$$

$$R20f2 = \begin{bmatrix} 2.567 \cdot 10^{3} \\ 862.33 \\ 1.812 \cdot 10^{3} \end{bmatrix} \quad R10f1 = \begin{bmatrix} -3.071 \cdot 10^{3} \\ -801.8 \\ 893.559 \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap originnya (i) dalam kg.m²

$I_{i} = m_{i} * s_{i}^{2}$ ditulis Ii = mi * si^2

I1 := m1·s1² I2 := m2·s2² I3 := m3·s3² I4 := m4·s4² I5 := m5·s5² I6 := m6·s6²

$$I1 = \begin{bmatrix} 0.085 \\ 0.075 \\ 16.684 \end{bmatrix} \quad I2 = \begin{bmatrix} 19.916 \\ 4.571 \cdot 10^{-6} \\ 0.092 \end{bmatrix} \quad I3 = \begin{bmatrix} 0.059 \\ 0.209 \\ 7.921 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \quad I4 = \begin{bmatrix} 7.146 \cdot 10^{-9} \\ 8.491 \cdot 10^{-10} \\ 0.398 \end{bmatrix}$$

$$I5 = \begin{bmatrix} 0.239 \\ 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} \quad I6 = \begin{bmatrix} 8.494 \cdot 10^{-8} \\ 2.902 \cdot 10^{-12} \\ 7.247 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap base

${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} = {}^{i}R_{o} \times I_{i} \times {}^{o}R_{i}$ ditulis Ri0IiR0i

$$R10I1R01 := \begin{bmatrix} 15.105 & 0 & 0 \\ 0 & 4.71 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R20I2R02 := \begin{bmatrix} 39.107 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R30I3R03 := \begin{bmatrix} 0.284 & 0 & 0 \\ 0 & 9.969 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0.592 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

$$R40I4R04 := \begin{bmatrix} 1.598\cdot10^{-7} & 0 & 0 \\ 0 & 3.465 & 0 \\ 0 & 0 & 1.146 \end{bmatrix} \qquad R50I5R05 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.141\cdot10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 4.43\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$R60I6R06 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0 \\ 0 & 0 & 9.693\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

gaya luar eksternal tiap link (${}^{i}R_{o}F_{i}$)

${}^{i}R_{o}F_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis R0iFi = mi*R0iai

R10F1 := m1·R10a1 R30F3 := m3·R30a3 R50F5 := m5·R50a5

R20F2 := m2·R20a2 R40F4 := m4·R40a4 R60F6 := m6·R60a6

$$R10F1 = \begin{bmatrix} -33.152 \\ -1.912\cdot10^{-1} \\ 31.229 \end{bmatrix} \quad R20F2 = \begin{bmatrix} 674.164 \\ 184.657 \\ 677.615 \end{bmatrix} \quad R30F3 = \begin{bmatrix} 1.694\cdot10^{3} \\ -612.228 \\ -1.037\cdot10^{3} \end{bmatrix} \quad R40F4 = \begin{bmatrix} 44.593 \\ -32.71 \\ -67.239 \end{bmatrix}$$

$$R50F5 = \begin{bmatrix} -25.114 \\ 52.949 \\ 9.246 \end{bmatrix} \quad R60F6 = \begin{bmatrix} 78.134 \\ -30.098 \\ -39.076 \end{bmatrix}$$

momen tiap link yang terjadi (${}^{i}R_{o}n_{i}$)

${}^{i}R_{o}N_{i} = {}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} * iRowdoti + iRowdoti \times ({}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} * iRowdoti)$

R10N1 := R10I1R01·R10ωdot1 + R10ωdot1 × (R10I1R01·R10ωdot1)

R20N2 := R20I2R02·R20ωdot2 + R20ωdot2 × (R20I2R02·R20ωdot2)

R30N3 := R30I3R03·R30ωdot3 + R30ωdot3 × (R30I3R03·R30ωdot3)

R40N4 := R40I4R04·R40ωdot4 + R40ωdot4 × (R40I4R04·R40ωdot4)

R50N5 := R50I5R05·R50ωdot5 + R50ωdot5 × (R50I5R05·R50ωdot5)

R60N6 := R60I6R06·R60ωdot6 + R60ωdot6 × (R60I6R06·R60ωdot6)

$$R10N1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20N2 = \begin{bmatrix} -171.459 \\ 895.888 \\ 5.486\cdot10^{-14} \end{bmatrix} \quad R30N3 = \begin{bmatrix} -17.779 \\ -3.921 \\ 7.225 \end{bmatrix} \quad R40N4 = \begin{bmatrix} -94.479 \\ 44.804 \\ -45.16 \end{bmatrix}$$

$$R50N5 = \begin{bmatrix} -0.153 \\ 0.102 \\ 0.029 \end{bmatrix} \quad R60N6 = \begin{bmatrix} 73.538 \\ -0.47 \\ -10.054 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

$R60p5 := R56^{T} \cdot R50p5$ $R50p4 := R45^{T} \cdot R40p4$ $R40p3 := R34^{T} \cdot R30p3$

$R30p2 := R23^{T} \cdot R20p2$ $R20p1 := R12^{T} \cdot R10p1$

momen (${}^{i}R_{o}n_{i}$) :

${}^{i}R_{o}n_{i} = {}^{i}R_{i+1} * ({}^{i+1}R_{o}n_{i+1} + ({}^{i+1}R_{o}p_{i} \times {}^{i+1}R_{o}f_{i+1})) + (({}^{i}R_{o}p_{i} + {}_{i}R_{o}s_{i}) \times {}^{i}R_{o}F_{i}) + {}^{i}R_{o}N_{i}$

$R60n6 := ((R60p6 + (R60 \cdot s6)) \times R60F6) + R60N6$

$R50n5 := R56 \cdot (R60n6 + ((R60p5) \times R60f6)) + ((R50p5 + (R50 \cdot s5)) \times R50F5) + R50N5$

$R40n4 := R45 \cdot (R50n5 + ((R50p4) \times R50f5)) + ((R40p4 + (R40 \cdot s4)) \times R40F4) + R40N4$

$R30n3 := R34 \cdot (R40n4 + ((R40p3) \times R40f4)) + ((R30p3 + (R30 \cdot s3)) \times R30F3) + R30N3$

$R20n2 := R23 \cdot (R30n3 + ((R30p2) \times R30f3)) + ((R20p2 + (R20 \cdot s2)) \times R20F2) + R20N2$

$R10n1 := R12 \cdot (R20n2 + ((R20p1) \times R20f2)) + ((R10p1 + (R10 \cdot s1)) \times R10F1) + R10N1$

$$R60n6 = \begin{bmatrix} 72.567 \\ -4.482 \\ -8.905 \end{bmatrix} \quad R50n5 = \begin{bmatrix} -9.926 \\ 69.527 \\ 11.18 \end{bmatrix} \quad R40n4 = \begin{bmatrix} -59.433 \\ 31.225 \\ -88.162 \end{bmatrix} \quad R30n3 = \begin{bmatrix} 145.683 \\ -1.001 \cdot 10^{3} \\ 793.265 \end{bmatrix}$$

$$R10n1 = \begin{bmatrix} 727.499 \\ -640.688 \\ 2.125 \cdot 10^{3} \end{bmatrix} \quad R20n2 = \begin{bmatrix} 28.773 \\ 2.116 \cdot 10^{3} \\ -962.442 \end{bmatrix}$$

Torsi yang diperlukan link-i (τ_i) dalam Nm

$\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z + b_i q_i$ faktor redaman b diabaikan, maka $\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z$

$\tau 6 := (R60n6^{T}) \cdot R65 \cdot z$ $\tau 5 := (R50n5^{T}) \cdot R54 \cdot z$ $\tau 4 := (R40n4^{T}) \cdot R43 \cdot z$

$\tau 3 := (R30n3^{T}) \cdot R32 \cdot z$ $\tau 2 := (R20n2^{T}) \cdot R21 \cdot z$ $\tau 1 := (R10n1^{T}) \cdot R10 \cdot z$

$\tau_1 = [\ 640.688\ ]$

$\tau_2 = [1.127 \cdot 10^{3}\ ]$

$\tau_3 = (793.265\ )$

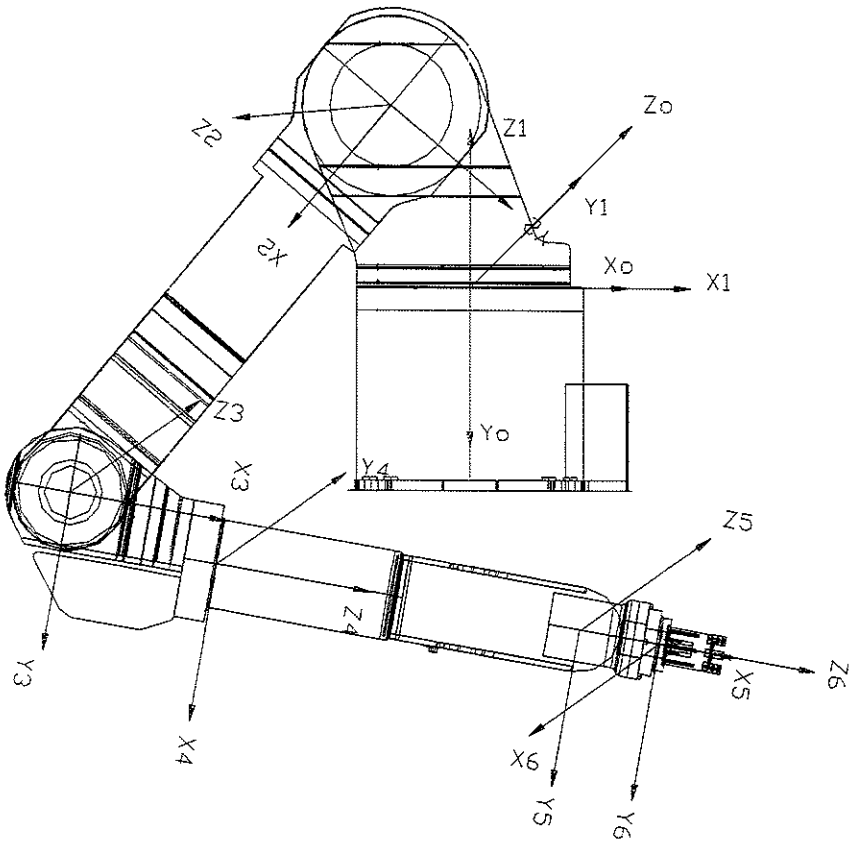
$\tau_4 = (\ 31.225)$

$\tau_5 = (-65.527\ )$

$\tau_6 = (-4.482\ )$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.B.5. Posisi 5



Gambar III.B.7. Posisi 5

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	0°	90°	0	0
2	230°	90°	-0.15	0
3	120^0	-180°	-0.95	0
4	-90°	90°	-0.09	-0,09
5	90°	-90°	0	0
6	90°	90°	0	0

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

POSISI 5

$i := 0 .. 5$

$$\theta := \begin{bmatrix} 0 \\ 230 \\ 120 \\ -90 \\ 90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad \alpha := \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ -180 \\ 90 \\ -90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \quad a := \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 4.014 \\ 2.094 \\ -1.571 \\ 1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \quad \alpha_i = \begin{bmatrix} 1.571 \\ 1.571 \\ -3.142 \\ 1.571 \\ -1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \quad a_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik Transformasi

$$A(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & a_i\cdot\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & a_i\cdot\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A01 := A(0)$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A12 := A(1)$

$$A(1) = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 & 0.096 \\ -0.766 & 0 & 0.643 & 0.115 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A23 := A(2)$

$$A(2) = \begin{bmatrix} -0.5 & 0.866 & 0 & 0.475 \\ 0.866 & 0.5 & 0 & -0.823 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A34 := A(3)

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0.09 \\ 0 & 1 & 0 & -0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A45 := A(4)

$$A(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A56 := A(5)

$$A(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A06 := A01·A12·A23·A34·A45·A56

$$A06 = \begin{bmatrix} 0.321 & -0.557 & 0.766 & -0.328 \\ -0.866 & -0.5 & 0 & 0.778 \\ 0.383 & -0.663 & -0.643 & -0.251 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Letak ujung gripper terhadap body (0;0;0.1185)

$$Po := A06 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.1185 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad Po = \begin{bmatrix} -0.237 \\ 0.778 \\ -0.327 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrik Rotasi

$$R(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

R01 := R(0)

$$R(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

R12 := R(1)

$$R(1) = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 \\ -0.766 & 0 & 0.643 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R21 := R12^{-1}$

$R02 := R01 \cdot R12$

R23 := R(2)

$$R(2) = \begin{bmatrix} -0.5 & 0.866 & 0 \\ 0.866 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$R03 := R02 \cdot R23$

$R32 := R23^{-1}$

R34 := R(3)

$$R(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R04 := R03 \cdot R34$

$R43 := R34^{-1}$

R45 := R(4)

$$R(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R05 := R04 \cdot R45$

$R54 := R45^{-1}$

R56 := R(5)

$$R(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R06 := R05 \cdot R56$

$R65 := R56^{-1}$

$R10 := R01^{-1}$ $\quad$ $R20 := R02^{-1}$ $\quad$ $R30 := R03^{-1}$

$$R10 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad R20 = \begin{bmatrix} -0.643 & 0 & -0.766 \\ 0 & -1 & 0 \\ -0.766 & 0 & 0.643 \end{bmatrix} \quad R30 = \begin{bmatrix} 0.321 & -0.866 & 0.383 \\ -0.557 & -0.5 & -0.663 \\ 0.766 & 0 & -0.643 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.gi/
UNIVERSITAS
GADJAH MADA

$R40 := R04^{-1}$ $R50 := R05^{-1}$ $R60 := R06^{-1}$

$$R40 = \begin{bmatrix} 0.557 & 0.5 & 0.663 \\ 0.766 & 0 & -0.64 \\ -0.321 & 0.866 & -0.38 \end{bmatrix} \quad R50 = \begin{bmatrix} 0.766 & 0 & -0.643 \\ 0.321 & -0.866 & 0.383 \\ -0.557 & -0.5 & -0.663 \end{bmatrix} \quad R60 = \begin{bmatrix} 0.321 & -0.866 & 0.383 \\ -0.557 & -0.5 & -0.663 \\ 0.766 & 0 & -0.643 \end{bmatrix}$$

Kecepatan Sudut

$\omega 0 := 0$ $\omega 1 := 2.792$ $\omega 2 := 2.443$ $\omega 3 := 2.792$ $z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$\omega 4 := 4.189$ $\omega 5 := 4.189$ $\omega 6 := 5.934$

$R10\omega 1 := R10 \cdot (\omega 0 + z \cdot \omega 1)$ $R20\omega 2 := R21 \cdot (R10\omega 1 + z \cdot \omega 2)$ $R30\omega 3 := R32 \cdot (R20\omega 2 + z \cdot \omega 3)$

$R40\omega 4 := R43 \cdot (R30\omega 3 + z \cdot \omega 4)$ $R50\omega 5 := R54 \cdot (R40\omega 4 + z \cdot \omega 5)$ $R60\omega 6 := R65 \cdot (R50\omega 5 + z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.792 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega 2 = \begin{bmatrix} -2.139 \\ 2.443 \\ 1.795 \end{bmatrix} \quad R30\omega 3 = \begin{bmatrix} 3.185 \\ -0.631 \\ -4.587 \end{bmatrix}$$

$$R40\omega 4 = \begin{bmatrix} 0.631 \\ -0.398 \\ -3.185 \end{bmatrix} \quad R50\omega 5 = \begin{bmatrix} -0.398 \\ -1.004 \\ -0.631 \end{bmatrix} \quad R60\omega 6 = \begin{bmatrix} -1.004 \\ 5.303 \\ -0.398 \end{bmatrix}$$

Percepatan Sudut

$\omega dot0 := 0$ $\omega dot1 := 0.698$ $\omega dot2 := 0.611$ $\omega dot3 := 0.698$ $R00 := 1$

$\omega dot4 := 1.047$ $\omega dot5 := 1.047$ $\omega dot6 := 1.4835$ $R00\omega 0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$\omega ddot1 := 0$ $\omega ddot2 := 0$ $\omega ddot3 := 0$ $\omega ddot4 := 0$

$\omega ddot5 := 0$ $\omega ddot6 := 0$

$R10\omega dot1 := R10 \cdot (R00 \cdot \omega dot0 + z \cdot \omega ddot1 + (R00\omega 0 \times z \cdot \omega 0))$

$R20\omega dot2 := R21 \cdot (R10\omega dot1 + z \cdot \omega ddot2 + R10\omega 1 \times z \cdot \omega 2)$

$R30\omega dot3 := R32 \cdot (R20\omega dot2 + z \cdot \omega ddot3 + (R20\omega 2) \times z \cdot \omega 3)$

$R40\omega dot4 := R43 \cdot (R30\omega dot3 + z \cdot \omega ddot4 + R30\omega 3 \times z \cdot \omega 4)$

$R50\omega dot5 := R54 \cdot (R40\omega dot4 + z \cdot \omega ddot5 + R40\omega 4 \times z \cdot \omega 5)$

$R60\omega dot6 := R65 \cdot (R50\omega dot5 + z \cdot \omega ddot6 + R50\omega 5 \times z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega dot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega dot2 = \begin{bmatrix} -4.384 \\ 0 \\ -5.225 \end{bmatrix} \quad R30\omega dot3 = \begin{bmatrix} 3.953 \\ 5.096 \\ 5.225 \end{bmatrix} \quad R40\omega dot4 = \begin{bmatrix} 8.247 \\ 5.225 \\ -1.311 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R50\omega dot5 = \begin{bmatrix} 2.583 \\ 1.311 \\ -6.581 \end{bmatrix} \qquad R60\omega dot6 = \begin{bmatrix} 3.671 \\ -6.581 \\ -3.374 \end{bmatrix}$$

Percepatan Linier

p_i : origin frame koordinat terhadap sistem koordinat (i-1)

$$Ri0pi := \begin{bmatrix} a_i \\ d_i \cdot \sin(\alpha_i) \\ d_i \cdot \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 := \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \cdot \sin(\alpha_0) \\ d_0 \cdot \cos(\alpha_0) \end{bmatrix} \qquad R20p2 := \begin{bmatrix} a_1 \\ d_1 \cdot \sin(\alpha_1) \\ d_1 \cdot \cos(\alpha_1) \end{bmatrix} \qquad R30p3 := \begin{bmatrix} a_2 \\ d_2 \cdot \sin(\alpha_2) \\ d_2 \cdot \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$R40p4 := \begin{bmatrix} a_3 \\ d_3 \cdot \sin(\alpha_3) \\ d_3 \cdot \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \qquad R50p5 := \begin{bmatrix} a_4 \\ d_4 \cdot \sin(\alpha_4) \\ d_4 \cdot \cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \qquad R60p6 := \begin{bmatrix} a_5 \\ d_5 \cdot \sin(\alpha_5) \\ d_5 \cdot \cos(\alpha_5) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20p2 = \begin{bmatrix} -0.15 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30p3 = \begin{bmatrix} -0.95 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40p4 = \begin{bmatrix} -0.09 \\ -0.09 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R50p5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R60p6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}R_0\dot{v}_i = ({}^{i}R_0\dot{\omega}_i) \times ({}^{i}R_0p_i^*) + ({}^{i}R_0\omega_i) \times [({}^{i}R_0\omega_i) \times ({}^{i}R_0p_i^*)] + {}^{i}R_{i-1}.({}^{i-1}R_0\dot{v}_{i-1})$$

$$R10vdot1 := (R10\omega dot1 \times R10p1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times R10p1) + 0$$

$$R20vdot2 := (R20\omega dot2 \times R20p2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times R20p2) + R21 \cdot R10vdot1$$

$$R30vdot3 := (R30\omega dot3 \times R30p3) + (R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times R30p3)) + R32 \cdot R20vdot2$$

$$R40vdot4 := (R40\omega dot4 \times R40p4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times R40p4) + R43 \cdot R30vdot3$$

$$R50vdot5 := (R50\omega dot5 \times R50p5) + (R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times R50p5)) + R54 \cdot R40vdot4$$

$$R60vdot6 := (R60\omega dot6 \times R60p6) + (R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times R60p6)) + R65 \cdot R50vdot5$$

$$R10vdot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20vdot2 = \begin{bmatrix} 1.378 \\ 1.568 \\ 0.576 \end{bmatrix} \quad R30vdot3 = \begin{bmatrix} 21.032 \\ -1.078 \\ 18.144 \end{bmatrix} \quad R40vdot4 = \begin{bmatrix} 1.91 \\ 19.233 \\ -21.237 \end{bmatrix}$$

$$R50vdot5 = \begin{bmatrix} 19.233 \\ 21.237 \\ -1.91 \end{bmatrix} \quad R60vdot6 = \begin{bmatrix} 21.237 \\ -1.91 \\ 19.233 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier di Pusat Massa

s_i : posisi pusat massa link-i terhadap (x_i, y_i, z_i) dalam meter
ditentukan dengan bantuan Autocad

$$s1 := \begin{bmatrix} 0.0198769 \\ 0.0187241 \\ 0.2792426 \end{bmatrix} \quad s2 := \begin{bmatrix} 0.3640382 \\ -0.0001744 \\ -0.0247365 \end{bmatrix} \quad s3 := \begin{bmatrix} 0.0311122 \\ -0.0584025 \\ -0.0003596 \end{bmatrix} \quad s4 := \begin{bmatrix} -0.0000557 \\ -0.0000192 \\ 0.4155820 \end{bmatrix}$$

$$s5 := \begin{bmatrix} 0.3206769 \\ 0 \\ -0.1464595 \end{bmatrix} \quad s6 := \begin{bmatrix} -0.0001711 \\ 0.0000010 \\ 0.0499760 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}Roa_i = iRo\omega dot i \times iRosi + iRo\omega i \times [\, iRowi \times iRosi \,] + iRovdoti$$

$$R10a1 := R10\omega dot1 \times (R10 \cdot s1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times (R10 \cdot s1)) + R10vdot1$$

$$R20a2 := R20\omega dot2 \times (R20 \cdot s2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times (R20 \cdot s2)) + R20vdot2$$

$$R30a3 := R30\omega dot3 \times (R30 \cdot s3) + R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times (R30 \cdot s3)) + R30vdot3$$

$$R40a4 := R40\omega dot4 \times (R40 \cdot s4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times (R20 \cdot s4)) + R40vdot4$$

$$R50a5 := R50\omega dot5 \times (R50 \cdot s5) + R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times (R20 \cdot s5)) + R50vdot5$$

$$R60a6 := R60\omega dot6 \times (R60 \cdot s6) + R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times (R60 \cdot s6)) + R60vdot6$$

$$R10a1 = \begin{bmatrix} -0.155 \\ 0 \\ 0.146 \end{bmatrix} \quad R20a2 = \begin{bmatrix} 4.486 \\ 1.229 \\ 4.509 \end{bmatrix} \quad R30a3 = \begin{bmatrix} 19.42 \\ -1.287 \\ 16.782 \end{bmatrix} \quad R40a4 = \begin{bmatrix} 3.471 \\ 20.602 \\ -24.39 \end{bmatrix}$$

$$R50a5 = \begin{bmatrix} 19.482 \\ 18.958 \\ -1.861 \end{bmatrix} \quad R60a6 = \begin{bmatrix} 20.961 \\ -1.851 \\ 20.254 \end{bmatrix}$$

Persamaan-persamaan Mundur

mi = massa tiap link (kg)
mt = massa total (data Autocad)

$$mt := 0.1032072339473 + 0.0724924460640 + 0.0295482470174 + 0.0011111164060 + 0.0011211812428$$

$$m1 := \frac{0.1032072339473}{mt} \cdot 430.3 \quad m2 := \frac{0.0724924460640}{mt} \cdot 430.3 \quad m3 := \frac{0.0295482470174}{mt} \cdot 430.3$$

$$m4 := \frac{0.0011111164060}{mt} \cdot 430.3 \quad m5 := \frac{0.0011211812428}{mt} \cdot 430.3 \quad m6 := \frac{0.0000827492909}{mt} \cdot 430.3 + 2.73$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

m1 = 213.96 m4 = 2.303

m2 = 150.285 m5 = 2.324

m3 = 61.257 m6 = 2.902

$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 = 433.03$

gaya tiap link pengaruh massanya (${}^{i}R_{0}f_{i}$)

${}^{i}R_{0}f_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis Ri0fi =mi * Rioai

R60f6 := m6·R60a6

R50f5 := R56·R60f6 + m5·R50a5

R40f4 := R45·R50f5 + m4·R40a4

R30f3 := R34·R40f4 + m3·R30a3

R20f2 := R23·R30f3 + m2·R20a2

R10f1 := R12·R20f2 + m1·R10a1

$$R60f6 = \begin{bmatrix} 60.819 \\ -5.37 \\ 58.769 \end{bmatrix} \quad R50f5 = \begin{bmatrix} 104.053 \\ 104.885 \\ -9.696 \end{bmatrix} \quad R40f4 = \begin{bmatrix} 17.69 \\ 151.51 \\ -161.066 \end{bmatrix} \quad R30f3 = \begin{bmatrix} 1.351 \cdot 10^{3} \\ -96.521 \\ 1.18 \cdot 10^{3} \end{bmatrix}$$

$$R20f2 = \begin{bmatrix} -84.753 \\ 1.306 \cdot 10^{3} \\ -501.911 \end{bmatrix} \quad R10f1 = \begin{bmatrix} 405.812 \\ -257.698 \\ 1.337 \cdot 10^{3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap originnya (i) dalam kg.m^2

$I_{i} = m_{i} * s_{i}^{2}$ ditulis Ii = mi * si^2

I1 := m1·s1^2 I2 := m2·s2^2 I3 := m3·s3^2 I4 := m4·s4^2 I5 := m5·s5^2 I6 := m6·s6^2

$$I1 = \begin{bmatrix} 0.085 \\ 0.075 \\ 16.684 \end{bmatrix} \quad I2 = \begin{bmatrix} 19.916 \\ 4.571 \cdot 10^{-6} \\ 0.092 \end{bmatrix} \quad I3 = \begin{bmatrix} 0.059 \\ 0.209 \\ 7.921 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \quad I4 = \begin{bmatrix} 7.146 \cdot 10^{-9} \\ 8.491 \cdot 10^{-10} \\ 0.398 \end{bmatrix}$$

$$I5 = \begin{bmatrix} 0.239 \\ 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} \quad I6 = \begin{bmatrix} 8.494 \cdot 10^{-8} \\ 2.902 \cdot 10^{-12} \\ 7.247 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap base

${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} = {}^{i}R_{o} \times I_{i} \times {}^{o}R_{i}$ ditulis Ri0IiR0i

$$R10I1R01 := \begin{bmatrix} 15.105 & 0 & 0 \\ 0 & 4.71 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R20I2R02 := \begin{bmatrix} 39.107 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R30I3R03 := \begin{bmatrix} 0.284 & 0 & 0 \\ 0 & 9.969 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0.592 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R40I4R04 := \begin{bmatrix} 1.598\cdot10^{-7} & 0 & 0 \\ 0 & 3.465 & 0 \\ 0 & 0 & 1.146 \end{bmatrix} \qquad R50I5R05 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.141\cdot10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 4.43\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$R60I6R06 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0 \\ 0 & 0 & 9.693\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

gaya luar ekternal tiap link (${}^{i}R_{o}F_{i}$)

${}^{i}R_{o}F_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis R0iFi = mi*R0iai

R10F1 := m1·R10a1 R30F3 := m3·R30a3 R50F5 := m5·R50a5

R20F2 := m2·R20a2 R40F4 := m4·R40a4 R60F6 := m6·R60a6

$$R10F1 = \begin{bmatrix} -33.152 \\ -1.912\cdot10^{-1} \\ 31.229 \end{bmatrix} \quad R20F2 = \begin{bmatrix} 674.164 \\ 184.657 \\ 677.615 \end{bmatrix} \quad R30F3 = \begin{bmatrix} 1.19\cdot10^{3} \\ -78.831 \\ 1.028\cdot10^{3} \end{bmatrix} \quad R40F4 = \begin{bmatrix} 7.994 \\ 47.457 \\ -56.181 \end{bmatrix}$$

$$R50F5 = \begin{bmatrix} 45.284 \\ 44.065 \\ -4.326 \end{bmatrix} \quad R60F6 = \begin{bmatrix} 60.819 \\ -5.37 \\ 58.769 \end{bmatrix}$$

momen tiap link yang terjadi (${}^{i}R_{o}n_{i}$)

${}^{i}R_{o}N_{i} = {}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i}$*iRowdoti + iRowdoti x (${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i}$*iRowdoti)

R10N1 := R10I1R01·R10ωdot1 + R10ωdot1 × (R10I1R01·R10ωdot1)

R20N2 := R20I2R02·R20ωdot2 + R20ωdot2 × (R20I2R02·R20ωdot2)

R30N3 := R30I3R03·R30ωdot3 + R30ωdot3 × (R30I3R03·R30ωdot3)

R40N4 := R40I4R04·R40ωdot4 + R40ωdot4 × (R40I4R04·R40ωdot4)

R50N5 := R50I5R05·R50ωdot5 + R50ωdot5 × (R50I5R05·R50ωdot5)

R60N6 := R60I6R06·R60ωdot6 + R60ωdot6 × (R60I6R06·R60ωdot6)

$$R10N1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20N2 = \begin{bmatrix} -171.459 \\ 895.888 \\ 5.486\cdot10^{-14} \end{bmatrix} \quad R30N3 = \begin{bmatrix} 16.885 \\ -6.362 \\ -2.628 \end{bmatrix} \quad R40N4 = \begin{bmatrix} 15.886 \\ 30.495 \\ 147.801 \end{bmatrix}$$

$$R50N5 = \begin{bmatrix} -0.036 \\ 0.076 \\ -0.028 \end{bmatrix} \quad R60N6 = \begin{bmatrix} -8.245 \\ -2.387 \\ -9.236 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R60p5 := R56^{T} \cdot R50p5$ $\quad R50p4 := R45^{T} \cdot R40p4$ $\quad R40p3 := R34^{T} \cdot R30p3$

$R30p2 := R23^{T} \cdot R20p2$ $\quad R20p1 := R12^{T} \cdot R10p1$

momen (${}^{i}R_{o}n_{i}$) :

${}^{i}R_{o}n_{i} = {}^{i}R_{i+1} * ({}^{i+1}R_{o}n_{i+1} + ({}^{i+1}R_{o}p_{i} \times {}^{i+1}R_{o}f_{i+1})) + (({}^{i}R_{o}p_{i} + {}_{i}R_{o}s_{i}) \times {}^{i}R_{o}F_{i}) + {}^{i}R_{o}N_{i}$

$R60n6 := ((R60p6 + (R60 \cdot s6)) \times R60F6) + R60N6$

$R50n5 := R56 \cdot (R60n6 + ((R60p5) \times R60f6)) + ((R50p5 + (R50 \cdot s5)) \times R50F5) + R50N5$

$R40n4 := R45 \cdot (R50n5 + ((R50p4) \times R50f5)) + ((R40p4 + (R40 \cdot s4)) \times R40F4) + R40N4$

$R30n3 := R34 \cdot (R40n4 + ((R40p3) \times R40f4)) + ((R30p3 + (R30 \cdot s3)) \times R30F3) + R30N3$

$R20n2 := R23 \cdot (R30n3 + ((R30p2) \times R30f3)) + ((R20p2 + (R20 \cdot s2)) \times R20F2) + R20N2$

$R10n1 := R12 \cdot (R20n2 + ((R20p1) \times R20f2)) + ((R10p1 + (R10 \cdot s1)) \times R10F1) + R10N1$

$$R60n6 = \begin{bmatrix} -10.361 \\ -5.471 \\ -7.328 \end{bmatrix} \quad R50n5 = \begin{bmatrix} -3.983 \\ -12.499 \\ 7.347 \end{bmatrix} \quad R40n4 = \begin{bmatrix} 45.598 \\ 26.23 \\ 163.474 \end{bmatrix} \quad R30n3 = \begin{bmatrix} -132.232 \\ 1.035 \cdot 10^{3} \\ 96.115 \end{bmatrix}$$

$$R10n1 = \begin{bmatrix} -280.613 \\ -861.092 \\ 1.18 \cdot 10^{3} \end{bmatrix} \quad R20n2 = \begin{bmatrix} 845.615 \\ 1.171 \cdot 10^{3} \\ -331.857 \end{bmatrix}$$

Torsi yang diperlukan link-i (τ_i) dalam Nm

$\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z + b\dot{q}_i$ faktor redaman b diabaikan, maka $\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z$

$\tau 6 := (R60n6^{T}) \cdot R65 \cdot z$ $\quad \tau 5 := (R50n5^{T}) \cdot R54 \cdot z$ $\quad \tau 4 := (R40n4^{T}) \cdot R43 \cdot z$

$\tau 3 := (R30n3^{T}) \cdot R32 \cdot z$ $\quad \tau 2 := (R20n2^{T}) \cdot R21 \cdot z$ $\quad \tau 1 := (R10n1^{T}) \cdot R10 \cdot z$

$\tau 1 = (-861.092)$

$\tau 2 = [1.171 \cdot 10^{3}]$

$\tau 3 = (-96.115)$

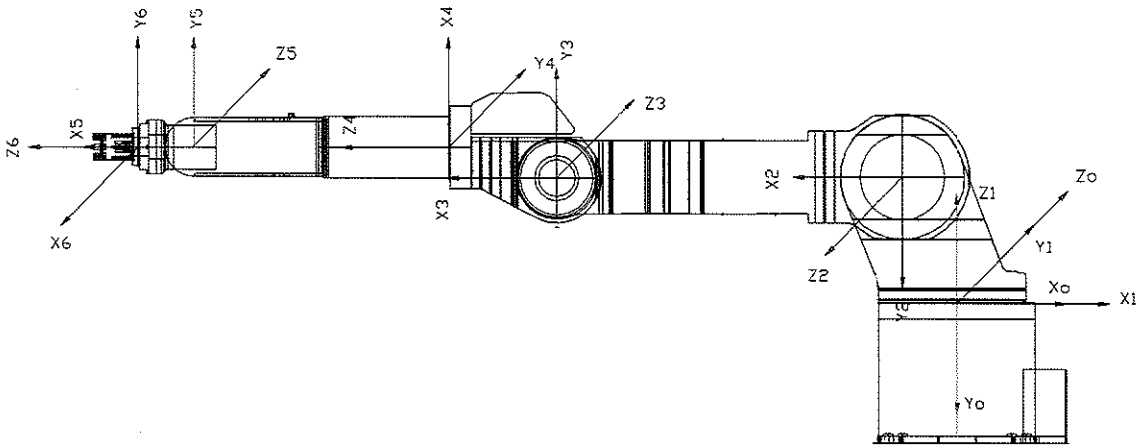
$\tau 4 = (26.23)$

$\tau 5 = (12.499)$

$\tau 6 = (-5.471)$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.B.6. Posisi 6



Gambar III.B.8. Posisi 6

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	0°	90°	0	0
2	180°	90°	-0.15	-0.354
3	0^0	-180°	-0.95	0
4	-90°	90°	-0.09	-0,09
5	90°	-90°	0	0
6	90°	90°	0	0

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

POSISI 6

$i := 0 .. 5$

$$\theta := \begin{bmatrix} 0 \\ 180 \\ 0 \\ -90 \\ 90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \qquad \alpha := \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ -180 \\ 90 \\ -90 \\ 90 \end{bmatrix} \cdot \frac{\pi}{180} \qquad a := \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad d := \begin{bmatrix} 0 \\ -0.354 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 3.142 \\ 0 \\ -1.571 \\ 1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \qquad \alpha_i = \begin{bmatrix} 1.571 \\ 1.571 \\ -3.142 \\ 1.571 \\ -1.571 \\ 1.571 \end{bmatrix} \qquad a_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.15 \\ -0.95 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad d_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.354 \\ 0 \\ -0.09 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik Transformasi

$$A(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & a_i\cdot\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & a_i\cdot\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A01 := A(0)$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A12 := A(1)$

$$A(1) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0.15 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -0.354 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$A23 := A(2)$

$$A(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -0.95 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A34 := A(3)

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0.09 \\ 0 & 1 & 0 & -0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A45 := A(4)

$$A(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A56 := A(5)

$$A(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A06 := A01·A12·A23·A34·A45·A56

$$A06 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1.1 \\ 0 & 1 & 0 & 0.444 \\ 0 & 0 & -1 & 0.09 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Letak ujung gripper terhadap body (0;0;0.1185)

$$Po := A06 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1185 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad Po = \begin{bmatrix} 1.1 \\ 0.562 \\ 0.09 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrik Rotasi

$$R(i) := \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\cdot\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cdot\cos(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

R01 := R(0)

$$R(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R12 := R(1)$

$$R(1) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R21 := R12^{-1}$

$R02 := R01 \cdot R12$

$R23 := R(2)$

$$R(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$R03 := R02 \cdot R23$

$R32 := R23^{-1}$

$R34 := R(3)$

$$R(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R04 := R03 \cdot R34$

$R43 := R34^{-1}$

$R45 := R(4)$

$$R(4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R05 := R04 \cdot R45$

$R54 := R45^{-1}$

$R56 := R(5)$

$$R(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R06 := R05 \cdot R56$

$R65 := R56^{-1}$

$R10 := R01^{-1}$

$$R10 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$R20 := R02^{-1}$

$$R20 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$R30 := R03^{-1}$

$$R30 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R40 := R04^{-1}$ $R50 := R05^{-1}$ $R60 := R06^{-1}$

$$R40 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R50 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad R60 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Kecepatan Sudut

$\omega 0 := 0$ $\omega 1 := 2.792$ $\omega 2 := 2.443$ $\omega 3 := 2.792$

$\omega 4 := 4.189$ $\omega 5 := 4.189$ $\omega 6 := 5.934$

$$z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$R10\omega 1 := R10 \cdot (\omega 0 + z \cdot \omega 1)$ $R20\omega 2 := R21 \cdot (R10\omega 1 + z \cdot \omega 2)$ $R30\omega 3 := R32 \cdot (R20\omega 2 + z \cdot \omega 3)$

$R40\omega 4 := R43 \cdot (R30\omega 3 + z \cdot \omega 4)$ $R50\omega 5 := R54 \cdot (R40\omega 4 + z \cdot \omega 5)$ $R60\omega 6 := R65 \cdot (R50\omega 5 + z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.792 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega 2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.443 \\ 2.792 \end{bmatrix} \quad R30\omega 3 = \begin{bmatrix} 0 \\ -2.443 \\ -5.584 \end{bmatrix}$$

$$R40\omega 4 = \begin{bmatrix} 2.443 \\ -1.395 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R50\omega 5 = \begin{bmatrix} -1.395 \\ -4.189 \\ -2.443 \end{bmatrix} \quad R60\omega 6 = \begin{bmatrix} -4.189 \\ 3.491 \\ -1.395 \end{bmatrix}$$

Percepatan Sudut

$\omega dot0 := 0$ $\omega dot1 := 0.698$ $\omega dot2 := 0.611$ $\omega dot3 := 0.698$ $R00 := 1$

$\omega dot4 := 1.047$ $\omega dot5 := 1.047$ $\omega dot6 := 1.4835$

$$R00\omega 0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\omega ddot1 := 0$ $\omega ddot2 := 0$ $\omega ddot3 := 0$ $\omega ddot4 := 0$

$\omega ddot5 := 0$ $\omega ddot6 := 0$

$R10\omega dot1 := R10 \cdot (R00 \cdot \omega dot0 + z \cdot \omega ddot1 + (R00\omega 0 \times z \cdot \omega 0))$

$R20\omega dot2 := R21 \cdot (R10\omega dot1 + z \cdot \omega ddot2 + R10\omega 1 \times z \cdot \omega 2)$

$R30\omega dot3 := R32 \cdot (R20\omega dot2 + z \cdot \omega ddot3 + (R20\omega 2) \times z \cdot \omega 3)$

$R40\omega dot4 := R43 \cdot (R30\omega dot3 + z \cdot \omega ddot4 + R30\omega 3 \times z \cdot \omega 4)$

$R50\omega dot5 := R54 \cdot (R40\omega dot4 + z \cdot \omega ddot5 + R40\omega 4 \times z \cdot \omega 5)$

$R60\omega dot6 := R65 \cdot (R50\omega dot5 + z \cdot \omega ddot6 + R50\omega 5 \times z \cdot \omega 6)$

$$R10\omega dot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20\omega dot2 = \begin{bmatrix} -6.821 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30\omega dot3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40\omega dot4 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.462 \cdot 10^{-15} \\ 10.234 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R50\omega dot5 = \begin{bmatrix} -10.234 \\ -10.234 \\ 5.844 \end{bmatrix} \qquad R60\omega dot6 = \begin{bmatrix} -1.956 \\ 5.844 \\ -35.091 \end{bmatrix}$$

Percepatan Linier

p_i : origin frame koordinat terhadap sistem koordinat (i-1)

$$Ri0pi := \begin{bmatrix} a_i \\ d_i \cdot \sin(\alpha_i) \\ d_i \cdot \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 := \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \cdot \sin(\alpha_0) \\ d_0 \cdot \cos(\alpha_0) \end{bmatrix} \qquad R20p2 := \begin{bmatrix} a_1 \\ d_1 \cdot \sin(\alpha_1) \\ d_1 \cdot \cos(\alpha_1) \end{bmatrix} \qquad R30p3 := \begin{bmatrix} a_2 \\ d_2 \cdot \sin(\alpha_2) \\ d_2 \cdot \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

$$R40p4 := \begin{bmatrix} a_3 \\ d_3 \cdot \sin(\alpha_3) \\ d_3 \cdot \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \qquad R50p5 := \begin{bmatrix} a_4 \\ d_4 \cdot \sin(\alpha_4) \\ d_4 \cdot \cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \qquad R60p6 := \begin{bmatrix} a_5 \\ d_5 \cdot \sin(\alpha_5) \\ d_5 \cdot \cos(\alpha_5) \end{bmatrix}$$

$$R10p1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R20p2 = \begin{bmatrix} -0.15 \\ -0.354 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R30p3 = \begin{bmatrix} -0.95 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R40p4 = \begin{bmatrix} -0.09 \\ -0.09 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R50p5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R60p6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$^{i}R_0\dot{v}_i = (\,^{i}R_0\dot{\omega}_i) \times (\,^{i}R_0p_i^{*}) + (\,^{i}R_0\omega_i) \times [(\,^{i}R_0\omega_i) \times (\,^{i}R_0p_i^{*})] + {}^{i}R_{i-1}.(\,^{i-1}R_0\dot{v}_{i-1})$$

$$R10vdot1 := (R10\omega dot1 \times R10p1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times R10p1) + 0$$

$$R20vdot2 := (R20\omega dot2 \times R20p2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times R20p2) + R21 \cdot R10vdot1$$

$$R30vdot3 := (R30\omega dot3 \times R30p3) + (R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times R30p3)) + R32 \cdot R20vdot2$$

$$R40vdot4 := (R40\omega dot4 \times R40p4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times R40p4) + R43 \cdot R30vdot3$$

$$R50vdot5 := (R50\omega dot5 \times R50p5) + (R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times R50p5)) + R54 \cdot R40vdot4$$

$$R60vdot6 := (R60\omega dot6 \times R60p6) + (R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times R60p6)) + R65 \cdot R50vdot5$$

$$R10vdot1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R20vdot2 = \begin{bmatrix} 2.065 \\ 2.76 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad R30vdot3 = \begin{bmatrix} 37.356 \\ -2.76 \\ 3.059 \cdot 10^{-} \end{bmatrix} \qquad R40vdot4 = \begin{bmatrix} 4.162 \\ -0.077 \\ -37.356 \end{bmatrix}$$

$$R50vdot5 = \begin{bmatrix} -0.077 \\ 37.356 \\ -4.162 \end{bmatrix} \qquad R60vdot6 = \begin{bmatrix} 37.356 \\ -4.162 \\ -0.077 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Percepatan Linier di Pusat Massa

s_i : posisi pusat massa link-i terhadap (x_i, y_i, z_i) dalam meter
ditentukan dengan bantuan Autocad

$$s1 := \begin{bmatrix} 0.0198769 \\ 0.0187241 \\ 0.2792426 \end{bmatrix} \quad s2 := \begin{bmatrix} 0.3640382 \\ -0.0001744 \\ -0.0247365 \end{bmatrix} \quad s3 := \begin{bmatrix} 0.0311122 \\ -0.0584025 \\ -0.0003596 \end{bmatrix} \quad s4 := \begin{bmatrix} -0.0000557 \\ -0.0000192 \\ 0.4155820 \end{bmatrix}$$

$$s5 := \begin{bmatrix} 0.3206769 \\ 0 \\ -0.1464595 \end{bmatrix} \quad s6 := \begin{bmatrix} -0.0001711 \\ 0.0000010 \\ 0.0499760 \end{bmatrix}$$

$${}^{i}Roa_{i} = iRo\omega dot i \times iRosi + iRo\omega i \times [\, iRowi \times iRosi \,] + iRovdoti$$

$$R10a1 := R10\omega dot1 \times (R10 \cdot s1) + R10\omega 1 \times (R10\omega 1 \times (R10 \cdot s1)) + R10vdot1$$

$$R20a2 := R20\omega dot2 \times (R20 \cdot s2) + R20\omega 2 \times (R20\omega 2 \times (R20 \cdot s2)) + R20vdot2$$

$$R30a3 := R30\omega dot3 \times (R30 \cdot s3) + R30\omega 3 \times (R30\omega 3 \times (R30 \cdot s3)) + R30vdot3$$

$$R40a4 := R40\omega dot4 \times (R40 \cdot s4) + R40\omega 4 \times (R40\omega 4 \times (R20 \cdot s4)) + R40vdot4$$

$$R50a5 := R50\omega dot5 \times (R50 \cdot s5) + R50\omega 5 \times (R50\omega 5 \times (R20 \cdot s5)) + R50vdot5$$

$$R60a6 := R60\omega dot6 \times (R60 \cdot s6) + R60\omega 6 \times (R60\omega 6 \times (R60 \cdot s6)) + R60vdot6$$

$$R10a1 = \begin{bmatrix} -0.155 \\ 0 \\ 0.146 \end{bmatrix} \quad R20a2 = \begin{bmatrix} 7.075 \\ 2.421 \\ 0.148 \end{bmatrix} \quad R30a3 = \begin{bmatrix} 38.512 \\ -0.934 \\ -0.799 \end{bmatrix} \quad R40a4 = \begin{bmatrix} 8.415 \\ -0.077 \\ -40.645 \end{bmatrix}$$

$$R50a5 = \begin{bmatrix} 8.839 \\ 34.839 \\ 2.38 \end{bmatrix} \quad R60a6 = \begin{bmatrix} 36.77 \\ -4.025 \\ 1.409 \end{bmatrix}$$

Persamaan-persamaan Mundur

mi = massa tiap link (kg)
mt = massa total (data Autocad)

$$mt := 0.1032072339473 + 0.0724924460640 + 0.0295482470174 + 0.0011111164060 + 0.0011211812428$$

$$m1 := \frac{0.1032072339473}{mt} \cdot 430.3 \quad m2 := \frac{0.0724924460640}{mt} \cdot 430.3 \quad m3 := \frac{0.0295482470174}{mt} \cdot 430.3$$

$$m4 := \frac{0.0011111164060}{mt} \cdot 430.3 \quad m5 := \frac{0.0011211812428}{mt} \cdot 430.3 \quad m6 := \frac{0.0000827492909}{mt} \cdot 430.3 + 2.73$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$m1 = 213.96$ $m4 = 2.303$

$m2 = 150.285$ $m5 = 2.324$

$m3 = 61.257$ $m6 = 2.902$

$$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 = 433.03$$

gaya tiap link pengaruh massanya (${}^{i}R_{0}f_{i}$)

${}^{i}R_{0}f_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis Ri0fi =mi * Rioai

R60f6 := m6·R60a6

R50f5 := R56·R60f6 + m5·R50a5

R40f4 := R45·R50f5 + m4·R40a4

R30f3 := R34·R40f4 + m3·R30a3

R20f2 := R23·R30f3 + m2·R20a2

R10f1 := R12·R20f2 + m1·R10a1

$$R60f6 = \begin{bmatrix} 106.69 \\ -11.68 \\ 4.088 \end{bmatrix} \quad R50f5 = \begin{bmatrix} 24.632 \\ 187.668 \\ -6.147 \end{bmatrix} \quad R40f4 = \begin{bmatrix} 25.531 \\ 24.454 \\ -281.293 \end{bmatrix} \quad R30f3 = \begin{bmatrix} 2.64 \cdot 10^{3} \\ -82.718 \\ -24.482 \end{bmatrix}$$

$$R20f2 = \begin{bmatrix} 3.704 \cdot 10^{3} \\ 446.514 \\ 46.669 \end{bmatrix} \quad R10f1 = \begin{bmatrix} -3.737 \cdot 10^{3} \\ 46.669 \\ 477.744 \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap originnya (i) dalam kg.m^2

$I_{i} = m_{i} * s_{i}^{2}$ ditulis Ii = mi * si^2

I1 := m1·s1^2 I2 := m2·s2^2 I3 := m3·s3^2 I4 := m4·s4^2 I5 := m5·s5^2 I6 := m6·s6^2

$$I1 = \begin{bmatrix} 0.085 \\ 0.075 \\ 16.684 \end{bmatrix} \quad I2 = \begin{bmatrix} 19.916 \\ 4.571 \cdot 10^{-6} \\ 0.092 \end{bmatrix} \quad I3 = \begin{bmatrix} 0.059 \\ 0.209 \\ 7.921 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \quad I4 = \begin{bmatrix} 7.146 \cdot 10^{-9} \\ 8.491 \cdot 10^{-10} \\ 0.398 \end{bmatrix}$$

$$I5 = \begin{bmatrix} 0.239 \\ 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} \quad I6 = \begin{bmatrix} 8.494 \cdot 10^{-8} \\ 2.902 \cdot 10^{-12} \\ 7.247 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

matrik momen inersia link-i terhadap base

${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i} = {}^{i}R_{o} \times I_{i} \times {}^{o}R_{i}$ ditulis Ri0IiR0i

$$R10I1R01 := \begin{bmatrix} 15.105 & 0 & 0 \\ 0 & 4.71 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R20I2R02 := \begin{bmatrix} 39.107 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R30I3R03 := \begin{bmatrix} 0.284 & 0 & 0 \\ 0 & 9.969 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 0.592 \end{bmatrix}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$R40I4R04 := \begin{bmatrix} 1.598\cdot10^{-7} & 0 & 0 \\ 0 & 3.465 & 0 \\ 0 & 0 & 1.146 \end{bmatrix} \qquad R50I5R05 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.141\cdot10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 4.43\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$R60I6R06 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0 \\ 0 & 0 & 9.693\cdot10^{-3} \end{bmatrix}$$

gaya luar ekternal tiap link (${}^{i}R_{o}F_{i}$)

${}^{i}R_{o}F_{i} = m_{i} \times {}^{i}R_{o}a_{i}$ ditulis R0iFi = mi*R0iai

R10F1 := m1·R10a1 R30F3 := m3·R30a3 R50F5 := m5·R50a5

R20F2 := m2·R20a2 R40F4 := m4·R40a4 R60F6 := m6·R60a6

$$R10F1 = \begin{bmatrix} -33.152 \\ -1.912\cdot10^{-1} \\ 31.229 \end{bmatrix} \quad R20F2 = \begin{bmatrix} 1.063\cdot10^{3} \\ 363.796 \\ 22.187 \end{bmatrix} \quad R30F3 = \begin{bmatrix} 2.359\cdot10^{3} \\ -57.187 \\ -48.935 \end{bmatrix} \quad R40F4 = \begin{bmatrix} 19.384 \\ -0.178 \\ -93.625 \end{bmatrix}$$

$$R50F5 = \begin{bmatrix} 20.544 \\ 80.978 \\ 5.533 \end{bmatrix} \qquad R60F6 = \begin{bmatrix} 106.69 \\ -11.68 \\ 4.088 \end{bmatrix}$$

momen tiap link yang terjadi (${}^{i}R_{o}n_{i}$)

${}^{i}R_{o}N_{i} = {}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i}$*iRowdoti + iRowdoti x (${}^{i}R_{o}I_{i}{}^{o}R_{i}$*iRowdoti)

R10N1 := R10I1R01·R10ωdot1 + R10ωdot1 × (R10I1R01·R10ωdot1)

R20N2 := R20I2R02·R20ωdot2 + R20ωdot2 × (R20I2R02·R20ωdot2)

R30N3 := R30I3R03·R30ωdot3 + R30ωdot3 × (R30I3R03·R30ωdot3)

R40N4 := R40I4R04·R40ωdot4 + R40ωdot4 × (R40I4R04·R40ωdot4)

R50N5 := R50I5R05·R50ωdot5 + R50ωdot5 × (R50I5R05·R50ωdot5)

R60N6 := R60I6R06·R60ωdot6 + R60ωdot6 × (R60I6R06·R60ωdot6)

$$R10N1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R20N2 = \begin{bmatrix} -266.743 \\ -2.228\cdot10^{-13} \\ 0 \end{bmatrix} \quad R30N3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad R40N4 = \begin{bmatrix} 3.469\cdot10^{-14} \\ -3.318\cdot10^{-15} \\ 11.728 \end{bmatrix}$$

$$R50N5 = \begin{bmatrix} -0.252 \\ 0.263 \\ 0.048 \end{bmatrix} \qquad R60N6 = \begin{bmatrix} 76.141 \\ 1.561 \\ -4.695 \end{bmatrix}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$R60p5 := R56^{T} \cdot R50p5$ $R50p4 := R45^{T} \cdot R40p4$ $R40p3 := R34^{T} \cdot R30p3$

$R30p2 := R23^{T} \cdot R20p2$ $R20p1 := R12^{T} \cdot R10p1$

momen (${}^{i}R_{o}n_{i}$) :

${}^{i}R_{o}n_{i} = {}^{i}R_{i+1} * ({}^{i+1}R_{o}n_{i+1} + ({}^{i+1}R_{o}p_{i} \times {}^{i+1}R_{o}f_{i+1})) + (({}^{i}R_{o}p_{i} + {}_{i}R_{o}s_{i}) \times {}^{i}R_{o}F_{i}) + {}^{i}R_{o}N_{i}$

$R60n6 := ((R60p6 + (R60 \cdot s6)) \times R60F6) + R60N6$

$R50n5 := R56 \cdot (R60n6 + ((R60p5) \times R60f6)) + ((R50p5 + (R50 \cdot s5)) \times R50F5) + R50N5$

$R40n4 := R45 \cdot (R50n5 + ((R50p4) \times R50f5)) + ((R40p4 + (R40 \cdot s4)) \times R40F4) + R40N4$

$R30n3 := R34 \cdot (R40n4 + ((R40p3) \times R40f4)) + ((R30p3 + (R30 \cdot s3)) \times R30F3) + R30N3$

$R20n2 := R23 \cdot (R30n3 + ((R30p2) \times R30f3)) + ((R20p2 + (R20 \cdot s2)) \times R20F2) + R20N2$

$R10n1 := R12 \cdot (R20n2 + ((R20p1) \times R20f2)) + ((R10p1 + (R10 \cdot s1)) \times R10F1) + R10N1$

$$R60n6 = \begin{bmatrix} 75.557 \\ -3.771 \\ -4.697 \end{bmatrix} \quad R50n5 = \begin{bmatrix} -6.723 \\ 75.009 \\ 14.725 \end{bmatrix} \quad R40n4 = \begin{bmatrix} 49.5 \\ -32.039 \\ -55.129 \end{bmatrix} \quad R30n3 = \begin{bmatrix} 58.007 \\ -73.432 \\ 186.102 \end{bmatrix}$$

$$R10n1 = \begin{bmatrix} 224.974 \\ 925.402 \\ 71.465 \end{bmatrix} \quad R20n2 = \begin{bmatrix} -216.254 \\ 62.208 \\ 925.402 \end{bmatrix}$$

Torsi yang diperlukan link-i (τ_i) dalam Nm

$\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z + b_i q_i$ faktor redaman b diabaikan, maka $\tau_i = ({}^{i}R_{o}n_{i})^{T} * {}^{i}R_{i-1} * z$

$\tau 6 := \left(R60n6^{T}\right) \cdot R65 \cdot z$ $\tau 5 := \left(R50n5^{T}\right) \cdot R54 \cdot z$ $\tau 4 := \left(R40n4^{T}\right) \cdot R43 \cdot z$

$\tau 3 := \left(R30n3^{T}\right) \cdot R32 \cdot z$ $\tau 2 := \left(R20n2^{T}\right) \cdot R21 \cdot z$ $\tau 1 := \left(R10n1^{T}\right) \cdot R10 \cdot z$

$\tau_1 = [1.291.10^{3}]$

$\tau_2 = [1.183.10^{3}]$

$\tau_3 = (-993.572)$

$\tau_4 = (-32.039)$

$\tau_5 = (-75.009)$

$\tau_6 = (-3.771)$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III

III.C. Motor Listrik dan Kontroller

Pada perancangan ulang Robot Kawasaki FS30L ini, motor listrik yang dipakai ditentukan terlebih dahulu sesuai dengan data yang diambil dari Kawasaki untuk kemudian dijadikan acuan dalam melakukan perhitungan sistem transmisi yang akan digunakan. Data tersebut dapat kita lihat pada tabel III.C.1. dibawah ini.

Tabel III.C.1. FS30L-series Servo Motors

Motor model No.	Rating	Joint No.	Cont.Torque @ Max.Speed N-m (kg-cm)	Max. Speed (RPM)	Weight
P80B22450RCX2A	4.2 kW	1,2	16.66 (170.0)	2730	30.6
P60B13200LCX23	3.1 kW	3	9.80 (100.0)	3000	13.2
P50B08100VCXS9	1.0 kW	4,5,6	3.19 (32.5)	4000	5.7

Dari tabel diatas terlihat bahwa Robot FS30L ini menggunakan Servo Motor untuk menggerakkan manipulatornya. Tipe servomotor yang digunakan adalah tipe AC Brushless Servo Motor, yang memiliki kelebihan akurasi dan ketelitian yang tinggi karena posisi motor selalu dikontrol oleh *absolut encoder* yang memberikan *feedback* dalam suatu sistem tertutup (*close-loop system*).

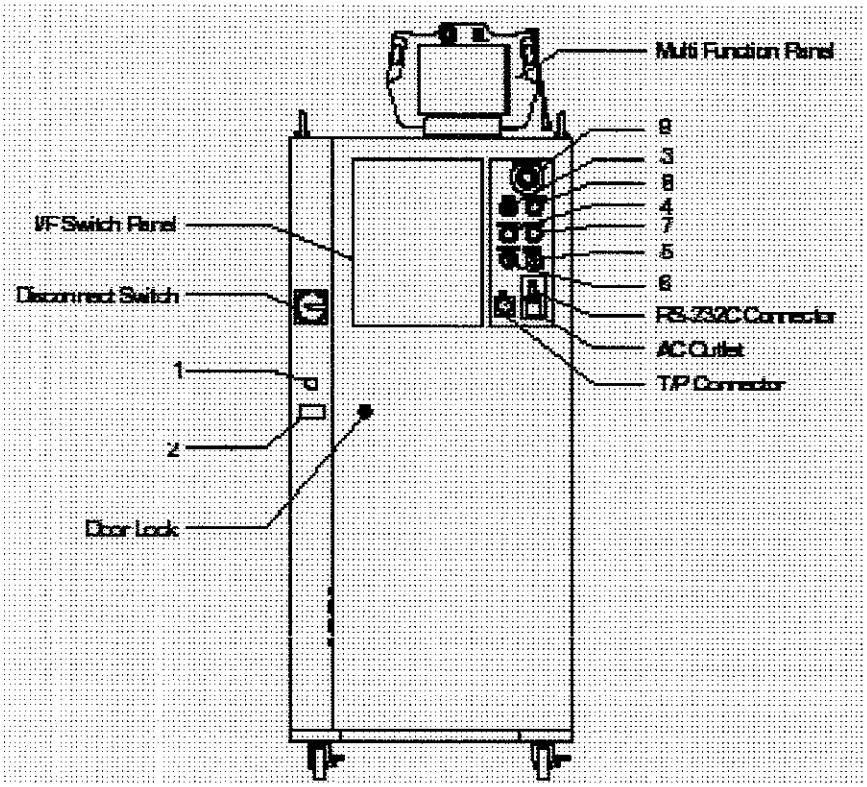
Kelebihan dari AC servomotor ini adalah tidak memerlukan penggantian sikat seperti Brushless motor shingga perawatannya lebih mudah, serta panas yang timbul dapat lebih mudah keluar dikarenakan kumparan jangkar berada diluar.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kontroller yang dipakai oleh Robot FS30L ini adalah tipe C-Controller yang dikombinasikan dengan *teach pendant* dan *display unit*. Kelebihan yang dimiliki oleh kontroler ini adalah[14]:

1. *Compact Size*

   C controller memiliki bentuk yang kecil dan ramping dengan dimensi lebar 550 mm, tinggi 1.250 mm dan tebal 500 mm, sehingga hanya memerlukan ruang yang kecil dengan perawatan dapat dilakukan hanya dari depan.



Gambar III.C.1. C-Controller

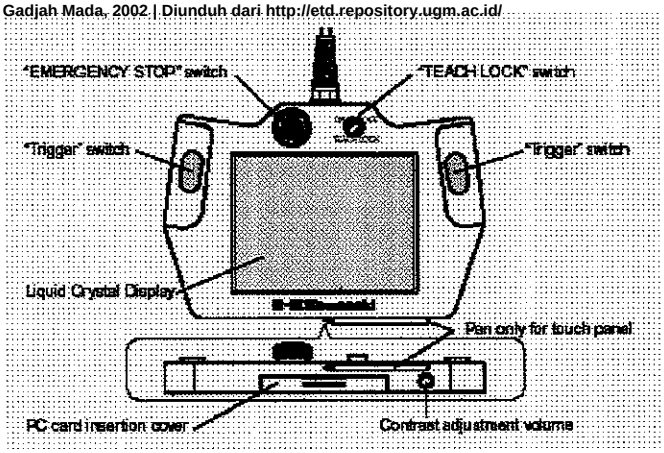
2. *Multifunctional Panel*

   Dapat digunakan sebagai *teach pendant* pada saat melakukan *teaching*, sebagai *input/output screen* saat *data setting* atau *display screen* pada saat *running*.

---

[14] *Katalog Kawasaki Robot F-Series*, Kawasaki Heavy Industries.Ltd.

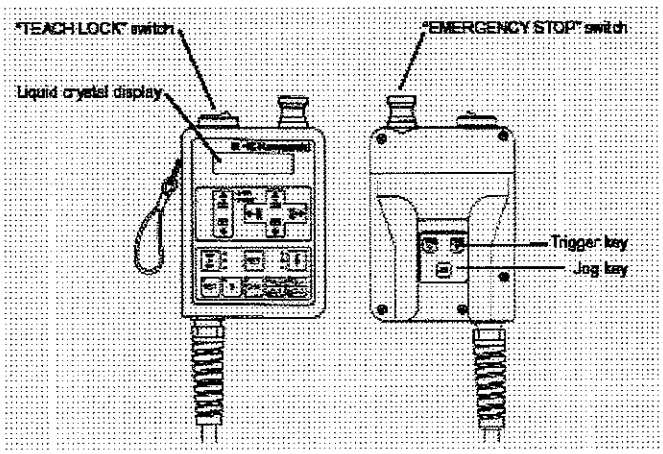
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.C.2. Multi Function Panel

3. *Small Sized Teach-Pendant*

   Small sized Teach-Pendant sangat cocok untuk proses *teaching, modifying* dan *checking* dari gerakan tergantung kebutuhan.



Gambar III.C.3. Small Sized Teach Pendant

4. *High Performance Vision Available*

   High performance vision board dapat dipasang pada kontroler sebagai peralatan tambahan.

5. *High Level Function*

   C controller menggunakan bahasa "As" untuk aplikasi yang luas yang tidak memerlukan PLC untuk program yang sederhana.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6. *Deadman Switch*

   Merupakan peralatan keamanan standar yang akan mematikan motor secara otomatis ketika *switch panel* atau *teach pendant* terlepas.

7. *Variety of Optional Functions*

   C controller memiliki bermacam-macam fungsi tambahan seperti *software program, dedicated arc welding devices* dan *communication buses.*

Ac servomotor terdiri dari beberapa bagian utama yakni:

- *Permanent magnet rotor*
- *Stator windings*
- *24 VDC brake Assembly*
- *Encoder Assembly*

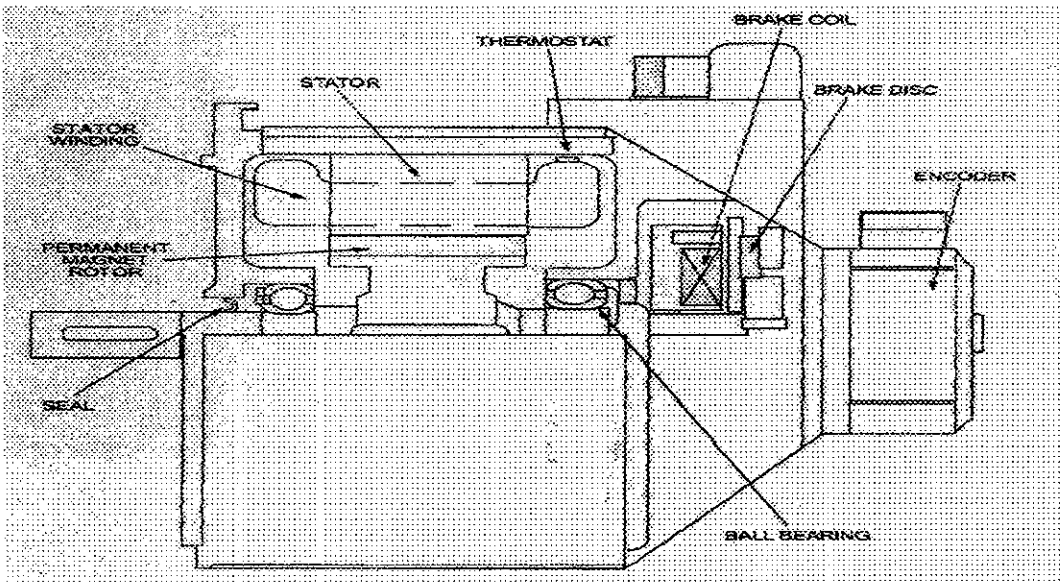
Rotor merupakan bagian berputar yang terbuat dari magnet permanen, dengan 6 kutub terbuat dari *rare-earth* (re-CO) atau Neodymium-iron (Ne-Fe). Sedangkan stator merupakan bagian yang diam mengelilingi rotor dan menerima sinyal elektrik 3 fase (U,V,W) dari *power modules.*

Motor menerima *pulsed electrical drive signal* dari *power block* IPMs dan berputar sesuai dengan sinyal yang masuk, untuk kemudian mengirimkan *velocity feedback signals* kepada 1GB *servo Board* melalui Encoder yang terpasang pada poros motor.

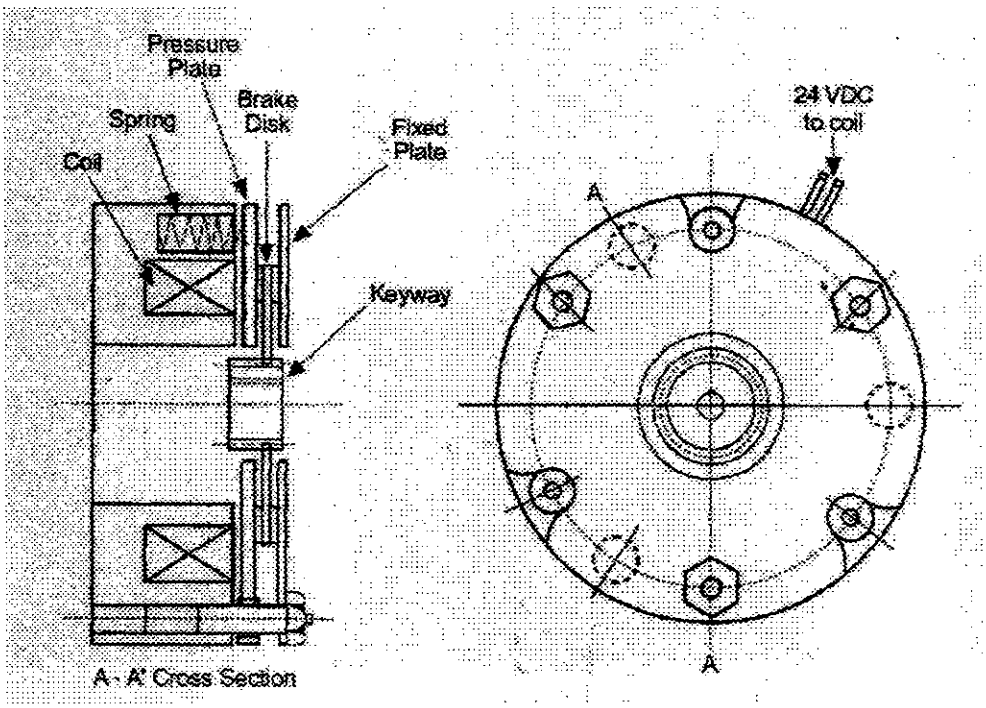
Mekanisme pengereman yang terdapat pada AC servomotor ini menggunakan sistem elektromagnetik dimana sistem pengereman menggunakan *spring, brake disc, pressure plate* dan *brake coil.* Sistem pengereman elektromagnetik dikontrol oleh 1GB Board, 1GB Board menghasilkan RGSO signal untuk menggerakkan servomotor, dan /BRK_REQ signal untuk menghentikan pengereman. Sebelum melepaskan rem, RGSO signal membangkitkan servomotor untuk menjaga posisi poros. Kemudian brake release signal diteruskan kepada solid state relays pada 1GB board, yang membangkitkan tegangan 24 VDC kepada brake coil. Ketika arus listrik 24 VDC mengalir kedalam *coil* untuk seterusnya membuat magnet induksi sehingga menarik *pressure plate* menjauhi

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

brake disc yang terhubung dengan poros motor. Pengereman dilakukan pada saat *emergency stop, hold condition* atau pada saat akhir gerakan.



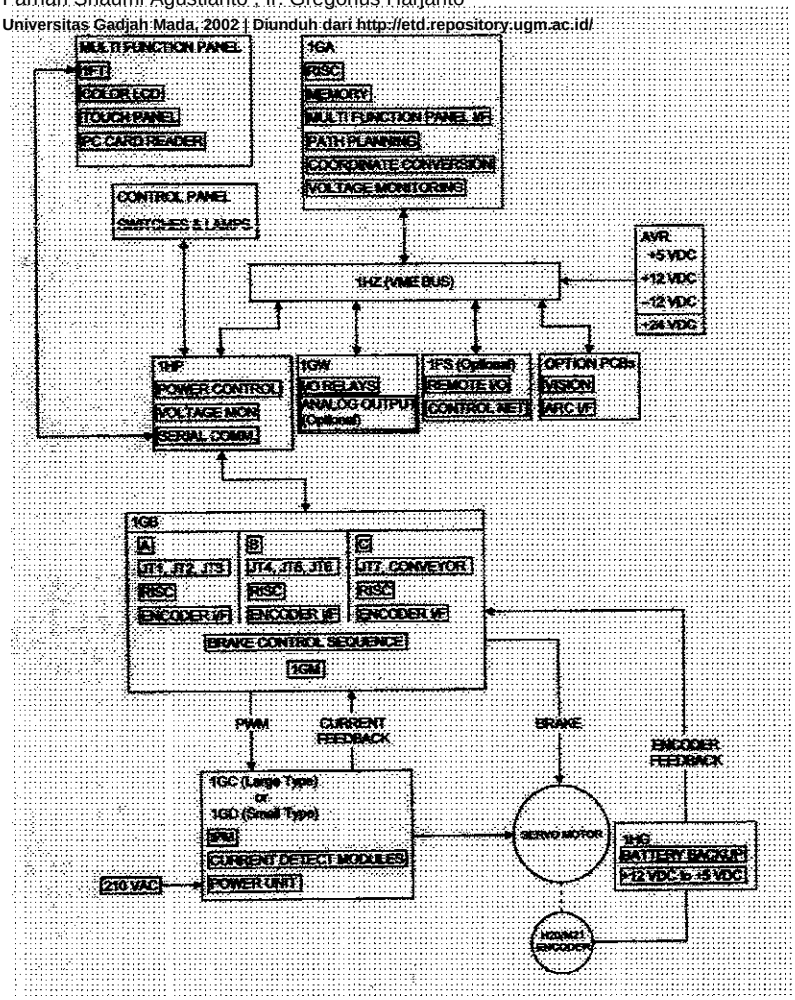
Gambar III.C.4. AC-Servomotor



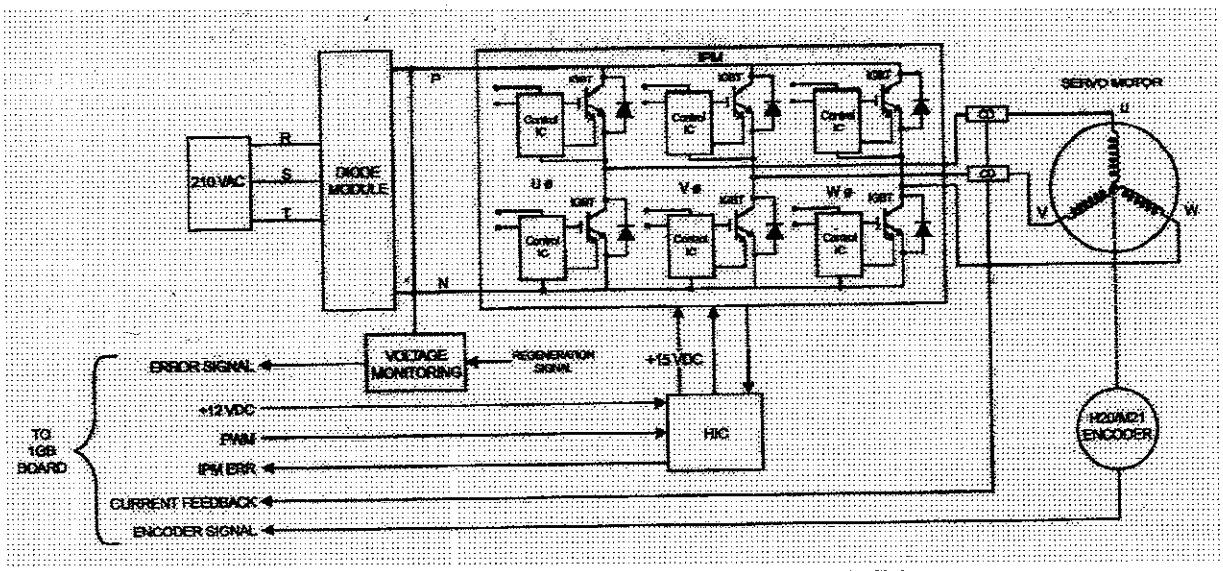
Gambar III.C.5. Brake Assembly

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar III.C.6. Circuit Block Diagram



Gambar III.C.7. Servo Amplifier Block Diagram

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Motor listrik juga memiliki sistem pengaman panas yakni thermostat, yang akan membuka pada suhu 130^0 C (266° F) sehingga motor listrik akan berhenti dan akan menutup kembali ketika motor telah kembali dingin.

Encoder yang digunakan pada AC servomotor ini menggunakan seri H20 Encoder dengan spesifikasinya terlihat pada tabel III.C.2. dibawah ini.

Tabel III.C.2. Spesifikasi Encoder

Electrical Spesification	**Optical Encoder**	**Magnetic Encoder**
Type	Optical Disk	Magnetic Incremental
Power	5 DC ± 0.25 V	3.6 VDC or more
Current Consumption	180 mA	25μA
Resolution	2^{13} (8,192) Revolutions	1/Revolution
Response	6000 RPM	
Countable Rotations	2^{16} (65,536) Revolutions	
Operating Temperature	-20^0 - $+80^\circ$ C	
Storage Temperature	-20° - $+80^\circ$ C	
Humidity	95 % RH or less, no dew condensation	
Vibration	10G, 6 ms or less	
Impact	100G, 6 ms or less	
Miscellaneous	Dustproof, water and oil resistant	

Fungsi dari encoder adalah untuk mengetahui putaran motor dan waktu untuk pembalikan arus. Data yang diperoleh encoder berupa *absolute position, speed, direction of rotation*, dan *elignment* dari *rotor magnets* dengan kutub stator. Encoder memberikan 48 bits data lewat *half duplex serial communications* kepada 1GB board dengan kecepatan 1 MB/sec.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III

III.D. Perhitungan Sistem Transmisi pada Tiap Joint

Pada perhitungan dinamik untuk masing-masing *joint* pada posisi kritisnya guna mengetahui torsi maksimum yang dialami tiap-tiap *joint*, kemudian untuk masing-masing *joint* dipilih harga torsi terbesar dari keenam posisi tersebut, didapatkan hasil :

$\tau_1 = 1291$ N.m $\quad \tau_2 = 1183$ N.m $\quad \tau_3 = 993{,}572$ N.m

$\tau_4 = 204{,}78$ N.m $\quad \tau_5 = 248{,}709$ N.m $\quad \tau_6 = 116{,}685$ N.m

Torsi yang didapatkan dari hasil perhitungan ini selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam merancang sistem transmisi robot. Torsi tersebut akan digunakan sebagai penggerak untuk masing-masing *link* yang menggunakan sumber tenaga dari motor listrik.

Putaran maksimum yang dialami tiap-tiap *joint* juga akan menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan sistem transmisi robot. Dari data spesifikasi robot yang tertera pada katalog, kita dapat menghitung putaran maksimum yang dialami tiap-tiap joint dengan hasil sebagai berikut :

$n_1 = 26{,}667$ rpm $\quad n_2 = 23{,}333$ rpm $\quad n_3 = 26{,}667$ rpm

$n_4 = 40$ rpm $\quad n_5 = 40$ rpm $\quad n_6 = 56{,}667$ rpm

pada perancangan sistem transmisi ini yang perlu diperhatikan adalah efisiensi daya yang akan diberikan oleh motor listrik, sehingga perlu diperhatikan dimensi roda gigi yang tepat untuk dapat menggerakkan masing-masing *link*.

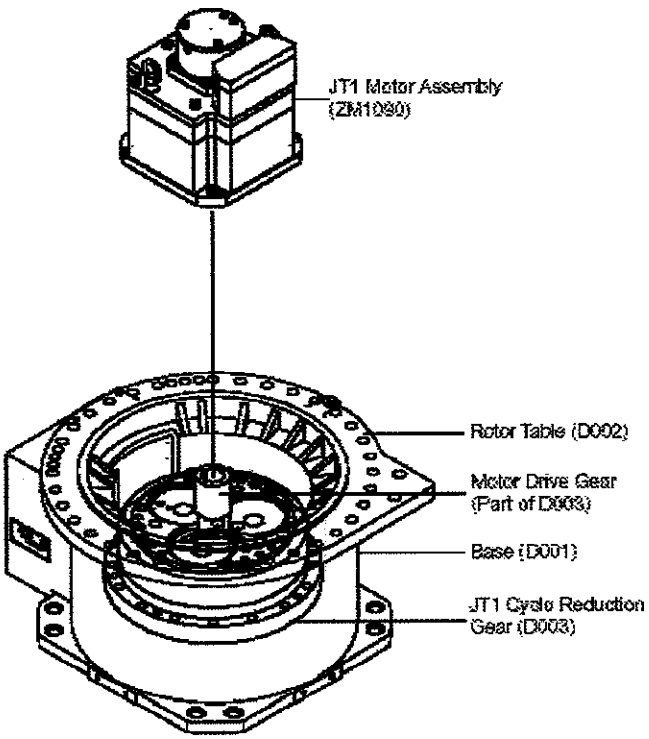
III.D.1. Perancangan transmisi joint 1

Sistem transmisi untuk *joint* 1 diperhitungkan menggunakan *Reduction Gear* dalam hal ini adalah *Planetary Gear* 3 tingkat guna menggerakkan *link* 1 dengan gerak

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

rotasi horizontal terhadap *base*. Pemilihan *Planetary Gear* 3 tingkat untuk *joint* 1 didasarkan pada fakta bahwa torsi yang akan digerakkan cukup besar sedangkan motor yang dipakai harus seringan dan sekecil mungkin untuk menggerakkan *link* 1 dengan kecepatan angular yang cukup baik. *Planetary Gear* ini juga memiliki keunggulan dalam hal kekakuan, karena dapat menghindari adanya putaran balik dari poros *output* ke poros *input* dikarenakan adanya tiga buah pinion gear.

Sketsa gambar roda gigi tersebut dapat terlihat dibawah ini :



Gambar III.D.1. Sistem transmisi joint 1

Dari gambar diatas terlihat *Cyclo Reduction Gear/Planetary Gear* yang terdiri dari 5 buah roda gigi, masing-masing adalah tiga buah sun gear (1,3,5), 9 buah pinion gear (2,4,6), dan tiga buah ring gear (7,8,9). 15 buah roda gigi tersebut merupakan roda gigi lurus standar.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Sun gear (1) terhubung dengan *motor drive gear* yang langsung digerakkan oleh motor listrik, yang selanjutnya menggerakkan 3 buah roda gigi pinion (2), untuk itu berlaku persamaan umum untuk roda gigi lurus:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} \text{ atau } d_1.n_1 = d_2.n_2$$

Pinion gear (2) selanjutnya akan berusaha memutar *ring gear* (7), namun karena pada konstruksi ini *ring gear* tidak berevolusi, maka *pinion gear* berputar berevolusi terhadap sun gear, putaran evolusi tersebut merupakan output putaran tingkat 1 dari reduction unit dan menjadi putaran input untuk tingkat selanjutnya, demikian seterusnya.

Perhitungan Roda gigi

Ring gear dan pinion gear merupakan roda gigi lurus, dan untuk lebih memudahkan perhitungan diasumsikan bahwa ring gear merupakan roda gigi lurus biasa (outer gear), kemudian diperhitungkan variabel utama sebagai berikut :

- Torsi joint 1 merupakan torsi arm, maka $T_{arm} = \tau_1 = 1291$ N.m, dengan putaran $n_{arm} = 26{,}667$ rpm
  Faktor keamanan $f_c = 1{,}25$, maka Torsi untuk perencanaan, (T_d)
  $T_d = f_c \times \tau_1$
  $T_d = 1{,}25 \times 1291$ N.m $= 1613{,}75$ N.m

  Dari Spesifikasi motor[14] yang dipilih diketahui :

Motor Model	: P80B22450RCX2A
Daya Output	: 4,2 kW
Torsi	: 16660 N.mm (1700 kg.mm)
Kecepatan max	: 2730 rpm

[14] Lampiran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Rasio kecepatan,

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$\mathrm{i} = \frac{2730}{26{,}667} = 102{,}375$$

$$T = T_d.i$$

Cek Torsi T = 16660.102,375 = 1705567,5 N.mm = 1705,5675 N.m

Karena $T > T_d$, motor listrik dapat digunakan.

- Modul, m = 5 dan sudut kontak, $\alpha_0 = 20^\circ$

$$d_O = z.m$$

Diameter lingkaran jarak bagi *Ring Gear* $d_{o7} = d_{o8} = d_{o9}$ = 385 mm

Jumlah gigi *Ring Gear* $z_7 = z_8 = z_9$ = 385/5 = 77

Jumlah gigi *Sun Gear* $z_1 = z_3 = z_5$ = 27

$z_{\text{planet Gear}} = (\, z_{\text{ring Gear}} - z_{\text{sun Gear}})/2$

Jumlah gigi *Planet Gear* $z_2 = z_4 = z_6 = (\, 77 - 27\,)/2 = 25$

- $$i = \left(1 + \frac{z_{ring\ \text{Gear}}}{z_{\text{sun Gear}}}\right)$$

Cek rasio kecepatan setiap *Planetary Gear* $i_r = \left(1 + \frac{77}{27}\right) = 3{,}852$

Cek rasio kecepatan *Reduction Unit* $i = \left(1 + \frac{77}{27}\right)^3 = 57{,}149$

- Cek torsi output T_{out} = 16660.57,149 = 952102,5372 N.mm = 952,1025 N.m

- Diameter lingkaran jarak bagi (mm) $d_O = z.m$

Diameter lingkaran jarak bagi *Sun Gear* $d_{o1} = d_{o3} = d_{o5}$ = 27.5 = 135 mm

Diameter lingkaran jarak bagi *Planet Gear* $d_{o7} = d_{o8} = d_{o9}$ = 25.5 = 125 mm

Kelonggaran sisi, C_O = 0 dan kelonggaran puncak, c_k = 0,25.5 = 1,25 mm

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Diameter lingkaran kepala (mm) $d_k = (z+2)m$

  Diameter lingkaran kepala *Sun Gear* $d_{k1} = d_{k3} = d_{k5} = (27+2).5 = 145$ mm

  Diameter lingkaran kepala *Planet Gear* $d_{k2} = d_{k4} = d_{k6} = (25+2).5 = 135$ mm

  Diameter kepala (mm) $d_k = (z-2)m$

  Diameter lingkaran kepala *Ring Gear* $d_{k7} = d_{k8} = d_{k9} = (77-2).5 = 375$ mm

- Diameter kaki (mm) $d_f = (z-2)m - 2c_k$

  Diameter lingkaran kaki *Sun Gear* $d_{f1} = d_{f3} = d_{f5} = (27-2).5-2.1,25 = 122,5$ mm

  Diameter lingkaran. kaki *Planet Gear* $d_{f2} = d_{f4} = d_{f6} = (25-2).5 - 2.\ 1,25 = 112,5$ mm

  Diameter kaki (mm) $d_f = (z+2)m + 2c_k$

  Diameter lingkaran. kaki *Sun Gear* $d_{f7} = d_{f8} = d_{f9} = (77+2).5 + 2.\ 1,25 = 397,5$ mm

- Faktor bentuk[15] $Y_1=Y_3=Y_5= 0,349$; $Y_2=Y_4=Y_6= 0,339$; $Y_7=Y_8=Y_9= 0,435$

- Kecepatan roda gigi *Ring Gear* $n_7 = n_8 = n_9 = 0$

  Kecepatan roda gigi 1 (*Sun Gear*) $n_1 = 2730$ rpm

  Kecepatan roda gigi 2 (*Planet Gear*) $n_2 = 2730 .27/25 = 2948,4$ rpm

  Kecepatan roda gigi 3 (*Sun Gear*) $n_3 = 2730.(1+27/77) = 708,75$ rpm

  Kecepatan roda gigi 4 (*Planet Gear*) $n_4 = 708,75.\ 27/25 = 765,45$ rpm

  Kecepatan roda gigi 5 (*Sun Gear*) $n_5 = 708,75.\ (1+27/77) = 184,002$ rpm

  Kecepatan roda gigi 6 (*Planet Gear*) $n_6 = 184,002.27/25 = 198,722$ rpm

- Kecepatan keliling (m/s) $v = \dfrac{\pi d_o n}{60.1000}$

  Kecepatan keliling roda gigi 1 $v_1 = \pi.135.2730/60/1000 = 19,297$ m/s

  Kecepatan keliling roda gigi 2 $v_2 = \pi.125.2948,4/60/1000 = 19,297$ m/s

[15] Lampiran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Kecepatan keliling roda gigi 3 $v_3 = \pi.135.708,75/60/1000 = 5,009$ m/s

Kecepatan keliling roda gigi 4 $v_4 = \pi.125.765,45/60/1000 = 5,009$ m/s

Kecepatan keliling roda gigi 5 $v_5 = \pi.135.184,002/60/1000 = 1,3$ m/s

Kecepatan keliling roda gigi 6 $v_6 = \pi.125.198,722/60/1000 = 1,3$ m/s

- Torsi pada roda gigi 1 $T_1 = 1700$ kg.mm

  Torsi pada roda gigi 2 $T_2 = 1700.25/27/3 = 524,691$ kg.mm

  Torsi pada roda gigi 3 $T_3 = 1700.(1+77/27) = 6548,148$ kg.mm

  Torsi pada roda gigi 4 $T_4 = 6548,148.\ 25/27/3 = 2021,033$ kg.mm

  Torsi pada roda gigi 5 $T_5 = 6548,148.(1+77/27) = 25222,496$ kg.mm

  Torsi pada roda gigi 6 $T_6 = 25222,496.25/27/3 = 7784,721$ kg.mm

- Gaya tangensial (kg) $F_t = \dfrac{2T}{d_o}$

  Gaya tangensial pada roda gigi 1 $F_{t1} = 2.1700/135 = 25.185$ kg

  Gaya tangensial pada roda gigi 2 $F_{t2} = 2.\ 524,691/125 = 8,395$ kg

  Gaya tangensial pada roda gigi 3 $F_{t3} = 2.\ 6548,148/135 = 97,009$ kg

  Gaya tangensial pada roda gigi 4 $F_{t4} = 2.\ 2021,033/125 = 32,336$ kg

  Gaya tangensial pada roda gigi 5 $F_{t5} = 2.\ 25222,496/135 = 373,666$ kg

  Gaya tangensial pada roda gigi 6 $F_{t6} = 2.\ 7784,721/125 = 124,555$ kg

- Faktor dinamis roda gigi 1 $f_{v1} = 6/(6+19,297) = 0,237$

  Faktor dinamis roda gigi 2 $f_{v2} = 6/(6+19,297) = 0,237$

  Faktor dinamis roda gigi 3 $f_{v3} = 3/(3+5,009) = 0,374$

  Faktor dinamis roda gigi 4 $f_{v4} = 3/(3+5,009) = 0,374$

  Faktor dinamis roda gigi 5 $f_{v5} = 3/(3+1,3) = 0,697$

  Faktor dinamis roda gigi 6 $f_{v6} = 3/(3+1,3) = 0,697$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Bahan roda gigi [16]:

  Roda Gigi 1, S 35 C, $\sigma_a = 26$ kg/mm^2, $H_B = 150$

  Roda Gigi 2, S 35 C, $\sigma_a = 26$ kg/mm^2, $H_B = 150$

  Roda Gigi 7, S 15 CK, $\sigma_a = 30$ kg/mm^2, $H_B = 400$

  Roda Gigi 3, S 45 C, $\sigma_a = 30$ kg/mm^2, $H_B = 200$

  Roda Gigi 4, S 45 C, $\sigma_a = 30$ kg/mm^2, $H_B = 200$

  Roda Gigi 8, S 15 CK, $\sigma_a = 30$ kg/mm^2, $H_B = 400$

  Roda Gigi 5, SNC 3, $\sigma_a = 60$ kg/mm^2, $H_B = 300$

  Roda Gigi 5, SNC 3, $\sigma_a = 60$ kg/mm^2, $H_B = 300$

  Roda Gigi 9, S 15 CK, $\sigma_a = 30$ kg/mm^2, $H_B = 400$

- Faktor tegangan kontak antara roda gigi 1 dan 2 $k_{H1\&2} = 0{,}027$ kg/mm^2

  Faktor tegangan kontak antara roda gigi 2 dan 7 $k_{H2\&7} = 0{,}1077$ kg/mm^2

  Faktor tegangan kontak antara roda gigi 3 dan 4 $k_{H3\&4} = 0{,}053$ kg/mm^2

  Faktor tegangan kontak antara roda gigi 4 dan 8 $k_{H4\&8} = 0{,}1072$ kg/mm^2

  Faktor tegangan kontak antara roda gigi 5 dan 6 $k_{H5\&6} = 0{,}13$ kg/mm^2

  Faktor tegangan kontak antara roda gigi 6 dan 9 $k_{H6\&9} = 0{,}168$ kg/mm^2

- Beban lentur yang diijinkan (kg)[17] $F_b' = \sigma_b m Y f_v$

  Beban lentur yang diijinkan per satuan lebar sisi untuk:

  Roda gigi 1, $F'_{b1} = 26.5.0{,}237.0{,}349 = 10{,}76$ kg/mm

  Roda gigi 2, $F'_{b2} = 26.5.0{,}237.0{,}339 = 10{,}452$ kg/mm

  Roda gigi 7, $F'_{b7} = 30.5.0{,}237.0{,}435 = 15{,}476$ kg/mm

  Roda gigi 3, $F'_{b3} = 30.5.0{,}374.0{,}349 = 19{,}607$ kg/mm

  Roda gigi 4, $F'_{b4} = 30.5.0{,}374.0{,}339 = 19{,}045$ kg/mm

  Roda gigi 8, $F'_{b8} = 30.5.0{,}374.0{,}435 = 24{,}438$ kg/mm

  Roda gigi 5, $F'_{b5} = 60.5.0{,}697.0{,}349 = 73{,}035$ kg/mm

  Roda gigi 6, $F'_{b6} = 60.5.0{,}697.0{,}339 = 70{,}942$ kg/mm

[16] Lampiran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Roda gigi 9, F'_{b9} = 30.5.0,697.0,435 = 45,516 kg/mm

- Beban permukaan yang diijinkan (kg) $F'_H = f_v k_H d_{O1} \dfrac{2z_2}{z_1 + z_2}$

  Beban permukaan yang diijinkan per satuan lebar sisi antara:

  Roda gigi 1 dan 2, $F'_{H1\&2}$ = 0,237.0,027.135.2.27/(27+25) = 0,831 kg/mm

  Roda gigi 2dan 7, $F'_{H2\&7}$ = 0,237.0,1077.125.2.25/(25+77) = 4,821 kg/mm

  Roda gigi 3 dan 4, $F'_{H3\&4}$ = 0,374.0,053.135.2.27.(27+77) = 2,576 kg/mm

  Roda gigi 4 dan 8, $F'_{H4\&8}$ = 0,374.0,1072.125.2.25/(25+77) = 7,577 kg/mm

  Roda gigi 5 dan 6, $F'_{H5\&6}$ = 0,697.0,13.135.2.27.(27+77) = 11,771 kg/mm

  Roda gigi 6 dan 9, $F'_{H6\&9}$ = 0,697.0,168.125.2.25/(25+77) = 22,117 kg/mm

- F'_b dan F'_H yang diperoleh pada perhitungan diatas dipilih yang terkecil, yaitu:

  Roda gigi 1 dan 2 $F'_{1\&2}$ = 0,831 kg/mm

  Roda gigi 2 dan 7 $F'_{2\&7}$ = 4,82 kg/mm

  Roda gigi 3 dan 4 $F'_{3\&4}$ = 2,57 kg/mm

  Roda gigi 4 dan 8 $F'_{4\&8}$ = 7,577 kg/mm

  Roda gigi 5 dan 6 $F'_{5\&6}$ = 11,771 kg/mm

  Roda gigi 6 dan 9 $F'_{6\&9}$ = 22,117 kg/mm

- Lebar sisi minimum (mm) $b = \dfrac{F_t}{F'}$

  Lebar sisi min.untuk roda gigi 1 dan 2 $b_{1\&2}$ = 25,185/0,831 = 30,297 mm

  Lebar sisi min.untuk roda gigi 2 dan 7 $b_{2\&7}$ = 8,395/4,82 = 1,741 mm

  Lebar sisi min.untuk roda gigi 3 dan 4 $b_{3\&4}$ = 97,009/2,576 = 37,648 mm

  Lebar sisi min.untuk roda gigi 4 dan 8 $b_{4\&8}$ = 32,336/7,577 = 4,267 mm

  Lebar sisi min.untuk roda gigi 5 dan 6 $b_{5\&6}$ = 373,666/11,771 = 31,743 mm

  Lebar sisi min.untuk roda gigi 6 dan 9 $b_{6\&8}$ = 124,555/22,117 = 5,631 mm

[17] Suga Kiyokatsu, Sularso, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, hal 240

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dipilih lebar sisi b = 31 mm

Dilakukan pengecekan b/m = 31/5 = 6,2 sehingga memenuhi $6 \leq b/m \leq 10$

Dilakukan pengecekan d_{o1}/b = 135/31 = 4,354 maka memenuhi $d_{o1}/b \geq 1{,}33$

Dilakukan pengecekan d_{o2}/b = 125/31 = 4,032 maka memenuhi $d_{o2}/b \geq 1{,}33$

Perhitungan Poros

Untuk perhitungan poros roda gigi pada planetary gear joint 1 digunakan bahan S 30 C untuk setiap porosnya, yang memiliki tegangan tarik σ_B = 48 kg/mm^2 dengan mengambil Sf1 = 6 dan Sf2 = 1,3.

Harga Kt = 1,5 untuk pembebanan yang terjadi sedikit kejutan, Cb = 2 untuk beban lentur.

- Tegangan geser ijin (kg/mm^2) $\tau_a = \sigma_B/(Sf_1 \times Sf_2)$

  τ_a = 48/(6.1,3) = 6,153 kg/mm^2

- Diameter poros minimum (mm) $d_s = \left(\frac{5{,}1}{\tau_a} K_t C_b T\right)^{1/3}$

  Diameter poros roda gigi 1 d_{s1} = (5,1.1,5.2.1700/6,153)$^{1/3}$ = 16,168 mm

  Diameter poros roda gigi 2 d_{s2} = (5,1.1,5.2.524,691/6,153)$^{1/3}$ = 10,926 mm

  Diameter poros roda gigi 3 d_{s3} = (5,1.1,5.2.6548,148/6,153)$^{1/3}$ = 25,344 mm

  Diameter poros roda gigi 4 d_{s4} = (5,1.1,5.2.2021,033/6,153)$^{1/3}$ = 17,127 mm

  Diameter poros roda gigi 5 d_{s5} = (5,1.1,5.2.25222,496/6,153)$^{1/3}$ = 39,729 mm

  Diameter poros roda gigi 6 d_{s6} = (5,1.1,5.2.7784,72/6,153)$^{1/3}$ = 26,849 mm

- Diameter poros yang dipilih

  Diameter poros roda gigi 1 yang dipilih d_{s1} = 20 mm

  Diameter poros roda gigi 2 yang dipilih d_{s2} = 15 mm

  Diameter poros roda gigi 3 yang dipilih d_{s3} = 30 mm

  Diameter poros roda gigi 4 yang dipilih d_{s4} = 25 mm

  Diameter poros roda gigi 5 yang dipilih d_{s5} = 40 mm

  Diameter poros roda gigi 6 yang dipilih d_{s6} = 45 mm

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan Bantalan Peluru

Pada perancangan sistem transmisi, bantalan peluru dipakai pada *planet gear(2,4,6)* sedang pada *sun gear(1,3,5)* dan *ring gear(7,8,9)* tidak memakai bantalan.

- Umur bantalan nominal L_h = 50000 jam
- Torsi pada roda gigi 1 T_1 = 16660 N.mm

  Torsi pada roda gigi 2 T_2 = 16660.25/27/3 = 5141,975 N.mm

  Torsi pada roda gigi 3 T_3 = 16660.(1+77/27) = 64171,851 N.mm

  Torsi pada roda gigi 4 T_4 = 64171,851.25/27/3 = 19806,127 N.mm

  Torsi pada roda gigi 5 T_5 = 19806,127.(1+77/27) = 247180,466 N.mm

  Torsi pada roda gigi 6 T_6 = 247180,466.25/27/3 = 76290,267 N.mm

- Gaya tangensial (N) $F_t = \frac{2T}{d_o}$

  Gaya tangensial pada roda gigi 1 F_{t1} = 2.16660/135 = 246,814 N

  Gaya tangensial pada roda gigi 2 F_{t2} = 2.5141,975/125 = 82,271 N

  Gaya tangensial pada roda gigi 3 F_{t3} = 2.64171,851/135 = 950,694 N

  Gaya tangensial pada roda gigi 4 F_{t4} = 2.19806,127/125 = 316,898 N

  Gaya tangensial pada roda gigi 5 F_{t5} = 2.247180,466/135 = 3661,932 N

  Gaya tangensial pada roda gigi 6 F_{t6} = 2.76290,267/125 = 1220,644 N

- Gaya radial yang terjadi (N) $F_r = F_t \tan \alpha_o$

  Gaya radial pada roda gigi 1 F_{r1} = 246,814.tan 20° = 89,833 N

  Gaya radial pada roda gigi 2 F_{r2} = 82,271.tan 20° = 29,944 N

  Gaya radial pada roda gigi 3 F_{r3} = 950,694.tan 20° = 346,024 N

  Gaya radial pada roda gigi 4 F_{r4} = 316,898.tan 20° = 115,341 N

  Gaya radial pada roda gigi 5 F_{r5} = 3661,932.tan 20° = 1332,834 N

  Gaya radial pada roda gigi 6 F_{r6} = 1220,644.tan 20° = 444,278 N

- Diasumsikan bantalan tidak mengalami gaya aksial sehingga:

  Beban ekivalen pada bantalan roda gigi 2 $F_2 = F_{r2}$ = 29,944 N

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Beban ekivalen pada bantalan roda gigi 4 $F_4 = F_{r4} = 115{,}341$ N

Beban ekivalen pada bantalan roda gigi 6 $F_6 = F_{r6} = 444{,}278$ N

- Beban nominal dinamis (N) $C = F \sqrt[p]{60.10^{-6}.L_h n}$

  Bantalan roda gigi 2 $C_2 = 29{,}944.\sqrt[3]{50000.2948{,}4.60.10^{-6}} = 619{,}277$ N

  Bantalan roda gigi 4 $C_4 = 115{,}341.\sqrt[3]{50000.765{,}45.60.10^{-6}} = 1521{,}708$ N

  Bantalan roda gigi 6 $C_6 = 444{,}278.\sqrt[3]{50000.198{,}722.60.10^{-6}} = 3739{,}192$ N

- Dipilih bantalan[18] untuk:

  Roda gigi 2: bantalan no. 6302 dengan bilangan dukung dinamik $C_2 = 895$ N

  Roda gigi 4: bantalan no. 6305 dengan bilangan dukung dinamik $C_4 = 1610$ N

  Roda gigi 6: bantalan no. 6309 dengan bilangan dukung dinamik $C_6 = 4150$ N

- Umur bantalan $L_{ha} = L_h \left(\frac{C_{SKF}}{C} \right)^p$

  Umur bantalan roda gigi 2 $L_{ha2} = 50000.(895/619{,}277)^3 = 150932{,}9081$ jam

  Umur bantalan roda gigi 4 $L_{ha4} = 50000.(1610/1521{,}708)^3 = 59217{,}942$ jam

  Umur bantalan roda gigi 6 $L_{ha6} = 50000.(4150/3739{,}19)^3 = 68356{,}65829$ jam

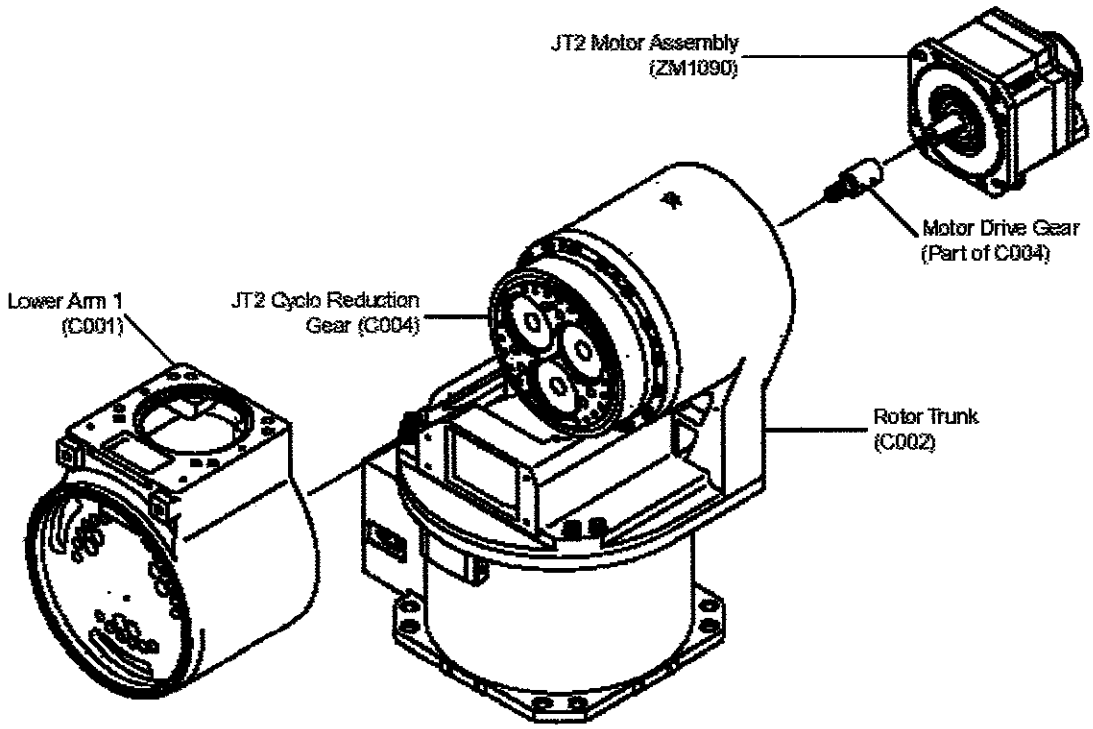
[18] Lampiran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.D.2. Perhitungan Transmisi joint 1,2

Untuk lebih memudahkan dan mempercepat proses perhitungan penulis menggunakan program *microsoft Exel* untuk perhitungan *joint1*,2, yang mempunyai sisem transmisi sama yakni *planetary gear* 3 tingkat, hanya dimensi atau ukuran masing-masing *joint* berbeda disesuaikan dengan motor listrik dan torsi masing-masing.

Sketsa gambar sisem transmisi *joint* 2 tersebut dapat terlihat dibawah ini :



Gambar III.D.2. Sistem transmisi joint 2

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel III.D.1. Perhitungan transmisi joint 1,2

Keterangan	JT1	JT2
Torsi max dinamika (N.m)	1,291.0000	1,183.0000
fc	1.25	1.25
T torsi rencana (N.m)	1,613.7500	1,478.7500
P daya rencana (W)	4506.440129	3613.267884

Spesifikasi Motor Listrik

Motor Model No	P80B22450RCX2A	P80B22450RCX2A
P daya motor listrik (kW)	4.2	4.2
n kecepatan putaran max. (rpm)	2730	2730
T torsi (N.mm)	16660	16660
T torsi (kg.mm)	1700	1700

Perhitungan Reduction Unit

n out (derajat/sec)	160	140
n out (rpm)	26.66666667	23.33333333
i rasio	102.375	117
Cek T rencana (N.m)	1705.5675	1949.22
α_n sudut tekan (derajat)	20	20
m modul	5	5
dc3 (mm)	385	300
z3	77	60
z1	27	24
z2	25	18
cek i setiap *planetary gear*	3.851851852	3.5
cek i	57.14901184	42.875
Cek T_{out} torsi output (N.m)	952.1025372	714.2975
do1 (mm)	135	120
do2 (mm)	125	90
ck kelonggaran puncak (mm)	1.25	1.25
dk1 diameter kepala (mm)	145	130
dk2 diameter kepala (mm)	135	100
dk3 diameter kepala (mm)	375	290
df1 diameter kaki (mm)	122.5	107.5

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

df2 diameter kaki (mm)	112.5	77.5
df3 diameter kaki (mm)	397.5	312.5
Y1 faktor bentuk	0.349	0.336
Y2 faktor bentuk	0.339	0.308
Y3 faktor bentuk	0.435	0.421
n1 kec. gear 1 (rpm)	2730	2730
n2 kec. gear 2 (rpm)	2948.4	3640
n3 kec. gear 3 (rpm)	708.75	780
n4 kec. gear 4 (rpm)	765.45	1040
n5 kec. gear 5 (rpm)	184.0024038	222.8571429
n6 kec. gear 6 (rpm)	198.7225962	297.1428571
v1 kec. keliling gear 1 (m/s)	19.29723287	17.15309589
v2 kec. keliling gear 2 (m/s)	19.29723287	17.15309589
v3 kec. keliling gear 3 (m/s)	5.009858535	4.90088454
v4 kec. keliling gear 4 (m/s)	5.009858535	4.90088454
v5 kec. keliling gear 5 (m/s)	1.30063635	1.400252726
v6 kec. keliling gear 6 (m/s)	1.30063635	1.400252726
T1 torsi gear 1 (kg.mm)	1700	1700
T2 torsi gear 2 (kg.mm)	524.691358	425
T3 torsi gear 3 (kg.mm)	6548.148148	5950
T4 torsi gear 4 (kg.mm)	2021.033379	1487.5
T5 torsi gear 5 (kg.mm)	25222.49657	20825
T6 torsi gear 6 (kg.mm)	7784.721164	5206.25
ft1 gaya tangensial gear 1 (kg)	25.18518519	28.33333333
ft2 gaya tangensial gear 2 (kg)	8.395061728	9.444444444
ft3 gaya tangensial gear 3 (kg)	97.00960219	99.16666667
ft4 gaya tangensial gear 4 (kg)	32.33653406	33.05555556
ft5 gaya tangensial gear 5 (kg)	373.6666159	347.0833333
ft6 gaya tangensial gear 6 (kg)	124.5555386	115.6944444
fv1 faktor dinamis gear 1	0.237180091	0.25914461
fv2 faktor dinamis gear 2	0.237180091	0.25914461
fv3 faktor dinamis gear 3	0.37453845	0.379704321
fv4 faktor dinamis gear 4	0.37453845	0.379704321
fv5 faktor dinamis gear 5	0.697571186	0.681779022
fv6 faktor dinamis gear 6	0.697571186	0.681779022
Bahan Roda Gigi 1	S 35 C	S 35 C
Bahan Roda Gigi 2	S 35 C	S 35 C

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Bahan Roda Gigi 2	S 15 CK	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 3	S 45 C	SNC 2
Bahan Roda Gigi 4	S 45 C	SNC 2
Bahan Roda Gigi 8	S 15 CK	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 5	SNC 3	SNC 3
Bahan Roda Gigi 6	SNC 3	SNC 3
Bahan Roda Gigi 9	S 15 CK	S 15 CK
σ_{a1} teg lentur ijin (kg/mm2)	26	26
σ_{a2} teg lentur ijin (kg/mm2)	26	26
σ_{a7} teg lentur ijin (kg/mm2)	30	30
σ_{a3} teg lentur ijin (kg/mm2)	30	60
σ_{a4} teg lentur ijin (kg/mm2)	30	60
σ_{a8} teg lentur ijin (kg/mm2)	30	30
σ_{a5} teg lentur ijin (kg/mm2)	60	60
σ_{a6} teg lentur ijin (kg/mm2)	60	60
σ_{a9} teg lentur ijin (kg/mm2)	30	30
Hb1 kekerasan Brinnel	150	150
Hb2 kekerasan Brinnel	150	150
Hb7 kekerasan Brinnel	400	400
Hb3 kekerasan Brinnel	200	250
Hb4 kekerasan Brinnel	200	250
Hb8 kekerasan Brinnel	400	400
Hb5 kekerasan Brinnel	300	300
Hb6 kekerasan Brinnel	300	300
Hb9 kekerasan Brinnel	400	400
kH1 faktor teg kontak	0.027	0.027
kH2 faktor teg kontak	0.1077	0.1077
kH3 faktor teg kontak	0.053	0.086
kH4 faktor teg kontak	0.1072	0.1357
kH5 faktor teg kontak	0.13	0.13
kH6 faktor teg kontak	0.168	0.168
F'b1 beban lentur ijin (kg/mm)	10.76086074	11.31943656
F'b2 beban lentur ijin (kg/mm)	10.45252662	10.37615018
F'b7 beban lentur ijin (kg/mm)	15.47600095	16.36498211
F'b3 beban lentur ijin (kg/mm)	19.60708786	38.27419556
F'b4 beban lentur ijin (kg/mm)	19.04528018	35.08467927

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

F'b8 beban lentur ijin (kg/mm)	24.43863386	23.97832788
F'b5 beban lentur ijin (kg/mm)	73.03570319	68.72332542
F'b6 beban lentur ijin (kg/mm)	70.94298963	62.99638164
F'b9 beban lentur ijin (kg/mm)	45.51651989	43.05434524
F'H1&2 beban permukaan ijin (kg/mm)	0.831270608	0.719681602
F'H2&7 beban permukaan ijin (kg/mm)	4.820859751	3.864444158
F'H3&4 beban permukaan ijin (kg/mm)	2.576752509	3.358755937
F'H4&8 beban permukaan ijin (kg/mm)	7.577426915	7.134352113
F'H5&6 beban permukaan ijin (kg/mm)	11.77151377	9.116359495
F'H6&9 beban permukaan ijin (kg/mm)	22.11710996	15.85922894
F'[illegible]	0.831270608	0.719681602
F'[illegible]	4.820859751	3.864444158
F'[illegible]	2.576752509	3.358755937
F'[illegible]	7.577426915	7.134352113
F'[illegible]	11.77151377	9.116359495
F'[illegible]	22.11710996	15.85922894
b1&b2 lebar sisi (mm)	30.29721602	39.3692617
b2&b7 lebar sisi (mm)	1.741403435	2.443933476
b3&b4 lebar sisi (mm)	37.64800921	29.52482065
b4&b8 lebar sisi (mm)	4.267482145	4.633294661
b5&b6 lebar sisi (mm)	31.74329345	38.07258079
b6&b9 lebar sisi (mm)	5.631637173	7.295086341
b1&b2 lebar sisi (mm)	31	40
b2&b7 lebar sisi (mm)	31	40
6<=b1/m<=10	6.2	8
6<=b2/m<=10	6.2	8
d01/b1>=1,3333	4.35483871	3
d02/b2>=1,3333	4.032258065	2.25

Perhitungan Poros

Bahan Poros	S30 C	S 30 C
σb teg tarik poros (kg/mm2)	48	48
Sf1	6	6
Sf2	1.3	1.3
Kt	1.5	1.5
Cb	2	2

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

σ_{a1} teg.geser ijin poros (kg/mm2)	6.153846154	6.153846154
d_{s1} diameter poros min. (mm)	16.16830795	16.16830795
d_{s2} diameter poros min. (mm)	10.9265461	10.18539577
d_{s3} diameter poros min. (mm)	25.34473556	24.54825281
d_{s4} diameter poros min. (mm)	17.12797791	15.46443023
d_{s5} diameter poros min. (mm)	39.72930391	37.27147689
d_{s6} diameter poros min. (mm)	26.84907239	23.47955915
d_{s1} diameter poros 1 yg dipilih (mm)	20	20
d_{s2} diameter poros 2 yg dipilih (mm)	15	15
d_{s3} diameter poros 3 yg dipilih (mm)	30	30
d_{s4} diameter poros 4 yg dipilih (mm)	25	30
d_{s5} diameter poros 5 yg dipilih (mm)	40	40
d_{s6} diameter poros 6 yg dipilih (mm)	45	45

Perhitungan Bantalan Peluru

Lh umur bantalan	50000	50000
T1 (N.mm)	16660	16660
T2 (N.mm)	5141.975309	4165
T3 (N.mm)	64171.85185	58310
T4 (N.mm)	19806.12711	14577.5
T5 (N.mm)	247180.4664	204085
T6 (N.mm)	76290.26741	51021.25
Ft1 gaya tangensial (N)	246.8148148	277.6666667
Ft2 gaya tangensial (N)	82.27160494	92.55555556
Ft3 gaya tangensial (N)	950.6941015	971.8333333
Ft4 gaya tangensial (N)	316.8980338	323.9444444
Ft5 gaya tangensial (N)	3661.932835	3401.416667
Ft6 gaya tangensial (N)	1220.644278	1133.805556
Fr1 gaya radial (N)	89.83324597	101.0624017
Fr2 gaya radial (N)	29.94441532	33.68746724
Fr3 gaya radial (N)	346.0243548	353.718406
Fr4 gaya radial (N)	115.3414516	117.9061353
Fr5 gaya radial (N)	1332.834552	1238.014421
Fr6 gaya radial (N)	444.278184	412.6714737
fw faktor beban	1	1
F1 beban ekivalen (N)	89.83324597	101.0624017
F2 beban ekivalen (N)	29.94441532	33.68746724

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

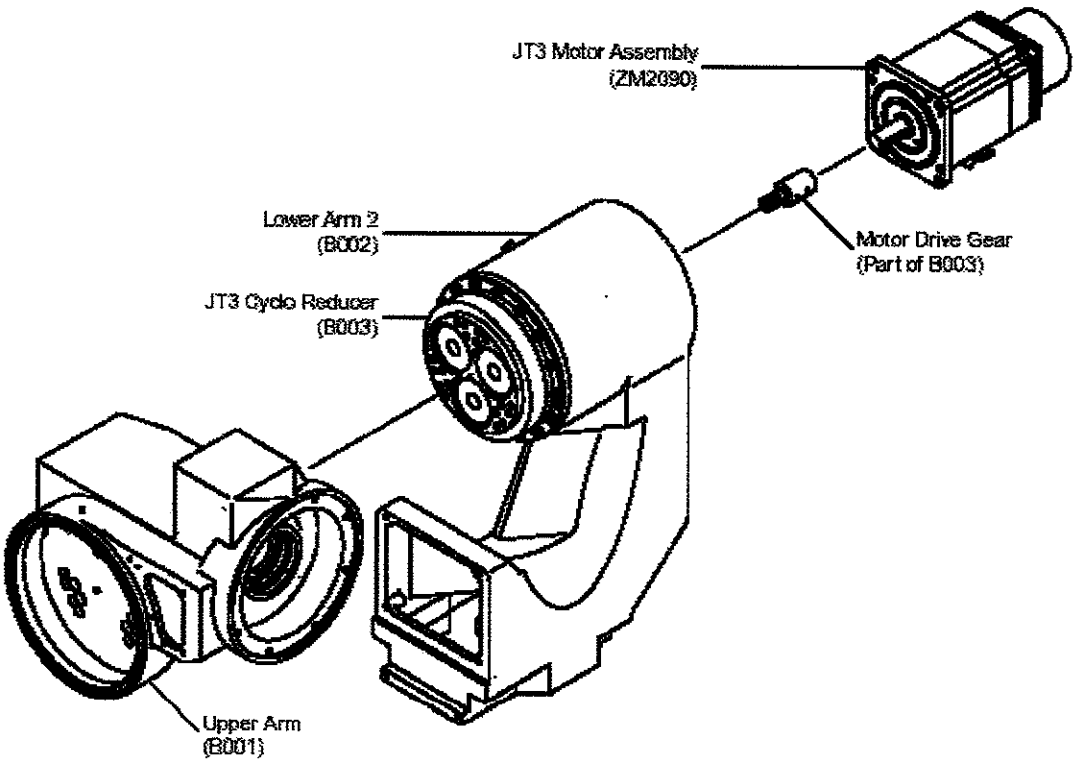
F3 beban ekivalen (N)	346.0243548	353.718406
F4 beban ekivalen (N)	115.3414516	117.9061353
F5 beban ekivalen (N)	1332.834552	1238.014421
F6 beban ekivalen (N)	444.278184	412.6714737
C1 bil.dukung dinamik (N)	1810.777376	2037.124548
C2 bil.dukung dinamik (N)	619.2771515	747.3818948
C3 bil.dukung dinamik (N)	4449.502377	4696.016473
C4 bil.dukung dinamik (N)	1521.708408	1722.878306
C5 bil.dukung dinamik (N)	10933.46519	10825.34239
C6 bil.dukung dinamik (N)	3739.192497	3971.610334
Bantalan 1		
Bantalan 2	6302	6302
Bantalan 3		
Bantalan 4	6305	6306
Bantalan 5		
Bantalan 6	6309	6309
C1 bil.dukung dinamik (N)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
C2 bil.dukung dinamik (N)	895	895
C3 bil.dukung dinamik (N)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
C4 bil.dukung dinamik (N)	1610	2090
C5 bil.dukung dinamik (N)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
C6 bil.dukung dinamik (N)	4150	4150
Lh1 umur bantalan (jam)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Lh2 umur bantalan (jam)	150932.9081	85864.05438
Lh3 umur bantalan (jam)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Lh4 umur bantalan (jam)	59217.9422	89257.56916
Lh5 umur bantalan (jam)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Lh6 umur bantalan (jam)	68356.65829	57044.58148

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.D.3. Perhitungan Transmisi joint 3,4

Untuk lebih memudahkan dan mempercepat proses perhitungan penulis menggunakan program *microsoft Exel* untuk perhitungan *joint 3,4*, yang mempunyai sisem transmisi sama yakni *planetary gear* 3 tingkat, hanya dimensi atau ukuran masing-masing *joint* berbeda disesuaikan dengan motor listrik dan torsi masing-masing.

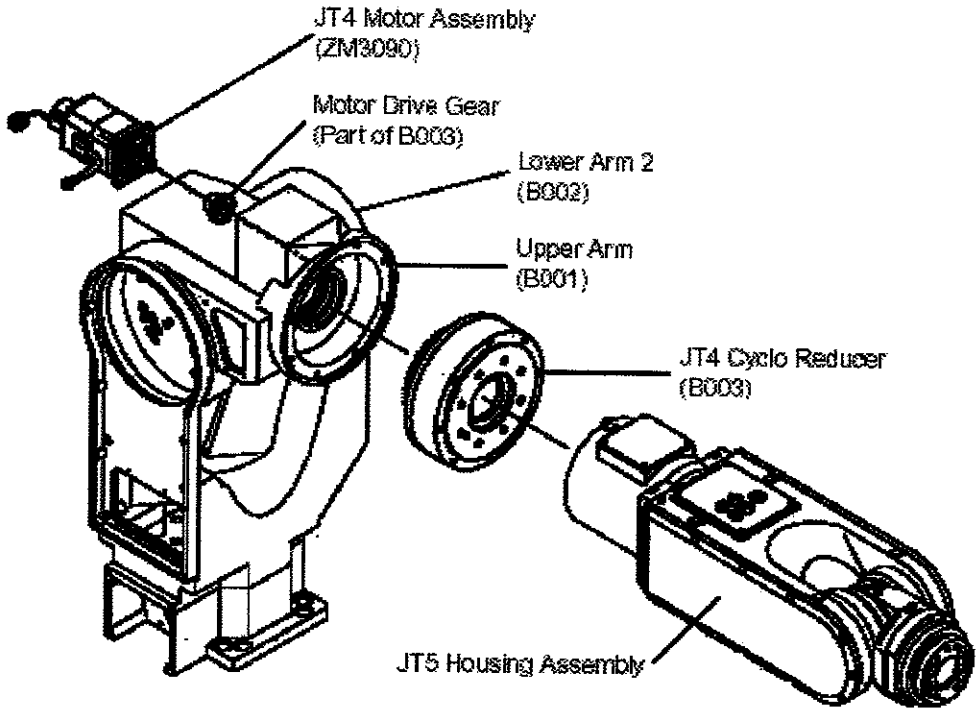
Sketsa gambar sisem transmisi *joint* 3 tersebut dapat terlihat dibawah ini :



Gambar III.D.3. Sistem transmisi joint 3

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Sketsa gambar sisem transmisi *joint* 4 tersebut dapat terlihat dibawah ini :



Gambar III.D.4. Sistem transmisi joint 4

Tabel III.D.2. Perhitungan transmisi joint 3,4

Keterangan	JT3	JT4
Torsi max. dinamika (Nm)	993.5720	204.7800
Fc	1.25	1.25
T torsi rencana (N.m)	1,241.9650	255.9750
P daya rencana (W)	3468.22055	1072.225573

Spesifikasi Motor Listrik

Motor Model No.	P60B13200LCX23	P50B08100VCXS9
P daya motor listrik (kW)	3.1	1
n kecepatan putaran max. (rpm)	3000	4000
T torsi (N.mm)	9800	3190
T torsi (kg.mm)	1000	3250

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan Reduction Unit

n out (rad/sec)	160	240
n out (rpm)	26.6666667	40
i rasio	112.5	100
Cek T rencana (N.m)	1102.5	319
α_n sudut tekan (derajat)	20	20
m modul	5	5
do3 (mm)	200	200
z3	40	40
z1	18	20
z2	11	10
cek i setiap *planetary gear*	3.22222222	3
cek i	33.4554184	27
Cek T_{out} torsi output (N.m)	327.8631	86.13
do1 (mm)	90	100
do2 (mm)	55	50
ck kelonggaran puncak (mm)	1.25	1.25
dk1 diameter kepala (mm)	100	110
dk2 diameter kepala (mm)	65	60
dk3 diameter kepala (mm)	190	190
df1 diameter kaki (mm)	77.5	87.5
df2 diameter kaki (mm)	42.5	37.5
df3 diameter kaki (mm)	212.5	212.5
Y1 faktor bentuk	0.308	0.32
Y2 faktor bentuk	0.226	0.201
Y3 faktor bentuk	0.389	0.389
n1 kec. gear 1 (rpm)	3000	4000
n2 kec. gear 2 (rpm)	4909.09091	8000
n3 kec. gear 3 (rpm)	931.034483	1333.333333
n4 kec. gear 4 (rpm)	1523.51097	2666.666667
n5 kec. gear 5 (rpm)	288.941736	444.4444444
n6 kec. gear 6 (rpm)	472.81375	888.8888889
v1 kec. keliling gear 1 (m/s)	14.1371669	20.94395102
v2 kec. keliling gear 2 (m/s)	14.1371669	20.94395102
v3 kec. keliling gear 3 (m/s)	4.38739664	6.981317008
v4 kec. keliling gear 4 (m/s)	4.38739664	6.981317008
v5 kec. keliling gear 5 (m/s)	1.36160585	2.327105669

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

v6 kec. keliling gear 6 (m/s)	1.36160585	2.327105669
T1 torsi gear 1 (kg.mm)	1000	3250
T2 torsi gear 2 (kg.mm)	203.703704	541.6666667
T3 torsi gear 3 (kg.mm)	3222.22222	9750
T4 torsi gear 4 (kg.mm)	656.378601	1625
T5 torsi gear 5 (kg.mm)	10382.716	29250
T6 torsi gear 6 (kg.mm)	2114.99771	4875
ft1 gaya tangensial gear 1 (kg)	22.2222222	65
ft2 gaya tangensial gear 2 (kg)	7.40740741	21.66666667
ft3 gaya tangensial gear 3 (kg)	71.6049383	195
ft4 gaya tangensial gear 4 (kg)	23.8683128	65
ft5 gaya tangensial gear 5 (kg)	230.727023	585
ft6 gaya tangensial gear 6 (kg)	76.9090078	195
fv1 faktor dinamis gear 1	0.29795651	0.22268449
fv2 faktor dinamis gear 2	0.29795651	0.22268449
fv3 faktor dinamis gear 3	0.40609705	0.300561539
fv4 faktor dinamis gear 4	0.40609705	0.300561539
fv5 faktor dinamis gear 5	0.68782006	0.563157592
fv6 faktor dinamis gear 6	0.68782006	0.563157592
Bahan Roda Gigi 1	S 35 C	SNC 2
Bahan Roda Gigi 2	S 35 C	SNC 2
Bahan Roda Gigi 7	S 15 CK	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 3	SNC 2	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 4	SNC 2	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 8	S 15 CK	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 5	SNC 3	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 6	SNC 3	SNC 21
Bahan Roda Gigi 9	S 15 CK	S 15 CK
σ_{a1} teg.lentur ijin (kg/mm2)	26	60
σ_{a2} teg.lentur ijin (kg/mm2)	26	60
σ_{a7} teg.lentur ijin (kg/mm2)	30	30
σ_{a3} teg.lentur ijin (kg/mm2)	60	30
σ_{a4} teg.lentur ijin (kg/mm2)	60	30
σ_{a8} teg.lentur ijin (kg/mm2)	30	30
σ_{a5} teg.lentur ijin (kg/mm2)	60	30
σ_{a6} teg.lentur ijin (kg/mm2)	60	40

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2008 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

σ_{-1} limit lentur ijin (kg/mm2)	30	30
Hb_1 kekerasan Brinnel	150	300
Hb_2 kekerasan Brinnel	150	300
Hb_7 kekerasan Brinnel	400	400
Hb_3 kekerasan Brinnel	250	400
Hb_4 kekerasan Brinnel	250	400
Hb_8 kekerasan Brinnel	400	400
Hb_5 kekerasan Brinnel	300	400
Hb_6 kekerasan Brinnel	300	600
Hb_9 kekerasan Brinnel	400	400
kH1 faktor teg kontak	0.027	0.13
kH2 faktor teg kontak	0.1077	0.168
kH3 faktor teg kontak	0.086	0.311
kH4 faktor teg kontak	0.1357	0.311
kH5 faktor teg kontak	0.13	0.348
kH6 faktor teg kontak	0.168	0.348
F'b1 beban lentur ijin (kg/mm)	11.9301787	21.37771107
F'b2 beban lentur ijin (kg/mm)	8.75396229	13.42787476
F'b7 beban lentur ijin (kg/mm)	17.3857624	12.99364001
F'b3 beban lentur ijin (kg/mm)	37.5233677	14.42695387
F'b4 beban lentur ijin (kg/mm)	27.5333802	9.061930397
F'b8 beban lentur ijin (kg/mm)	23.695763	17.53776579
F'b5 beban lentur ijin (kg/mm)	63.5545736	27.03156441
F'b6 beban lentur ijin (kg/mm)	46.6342001	22.63893519
F'b9 beban lentur ijin (kg/mm)	40.1343005	32.86024548
$F'_{H1\&2}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	0.54926742	1.929932249
$F'_{H2\&7}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	2.76854179	2.992879549
$F'_{H3\&4}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	2.38448987	6.231642573
$F'_{H4\&8}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	4.75436134	7.477971087
$F'_{H5\&6}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	6.10499598	13.06525613
$F'_{H6\&9}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	9.96934487	15.67830736
$F'_{min1\&2}$	0.54926742	1.929932249
$F'_{min2\&7}$	2.76854179	2.992879549
$F'_{min3\&4}$	2.38448987	6.231642573
$F'_{min4\&8}$	4.75436134	7.477971087
$F'_{min5\&6}$	6.10499598	13.06525613
$F'_{min6\&9}$	9.96934487	15.67830736

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b_1&b_2 lebar sisi (mm)	40.4579292	33.67993878
b_2&b_7 lebar sisi (mm)	2.67556279	7.23940483
b_3&b_4 lebar sisi (mm)	30.029458	31.29191023
b_4&b_8 lebar sisi (mm)	5.02029843	8.692197287
b5&b6 lebar sisi (mm)	37.7931491	44.77524162
b6&b9 lebar sisi (mm)	7.71454983	12.43756712
b1&b2 lebar sisi (mm)	41	34
b2&b7 lebar sisi (mm)	41	34
6<=b1/m<=10	8.2	6.8
6<=b2/m<=10	8.2	6.8
d01/b1>=1,3333	2.19512195	2.941176471
d02/b2>=1,3333	1.34146341	1.470588235

Perhitungan Poros

Bahan Poros	S30C	S30C
σ_b teg.tarik poros (kg/mm2)	48	48
Sf1	6	6
Sf2	2	1.3
Kt	1.5	1.5
Cb	2	1.2
σ_{a1} teg.geser ijin poros (kg/mm2)	4	6.153846154
d_{s1} diameter poros min. (mm)	15.639054	16.92491394
d_{s2} diameter poros min. (mm)	9.20188472	9.31413909
d_{s3} diameter poros min. (mm)	23.099131	24.40994986
d_{s4} diameter poros min. (mm)	13.5913298	13.4333131
d_{s5} diameter poros min. (mm)	34.1177832	35.2052397
d_{s6} diameter poros min. (mm)	20.0746099	19.37419005
d1 diameter poros 1 yg dipilih (mm)	20	20
d2 diameter poros 2 yg dipilih (mm)	15	15
d3 diameter poros 3 yg dipilih (mm)	25	25
d4 diameter poros 4 yg dipilih (mm)	25	15
d5 diameter poros 5 yg dipilih (mm)	35	40
d6 diameter poros 6 yg dipilih (mm)	40	20

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan Bantalan Peluru

L h umur bantalan	50000	50000
T1 (N.mm)	9800	3190
T2 (N.mm)	1996.2963	531.6666667
T3 (N.mm)	31577.7778	9570
T4 (N.mm)	6432.51029	1595
T5 (N.mm)	101750.617	28710
T6 (N.mm)	20726.9776	4785
Ft1 gaya tangensial (N)	217.777778	63.8
Ft2 gaya tangensial (N)	72.5925926	21.26666667
Ft3 gaya tangensial (N)	701.728395	191.4
Ft4 gaya tangensial (N)	233.909465	63.8
Ft5 gaya tangensial (N)	2261.12483	574.2
Ft6 gaya tangensial (N)	753.708276	191.4
Fr1 gaya radial (N)	79.2646288	23.22130095
Fr2 gaya radial (N)	26.4215429	7.740433649
Fr3 gaya radial (N)	255.408248	69.66390284
Fr4 gaya radial (N)	85.1360828	23.22130095
Fr5 gaya radial (N)	822.982134	208.9917085
Fr6 gaya radial (N)	274.327378	69.66390284
fw faktor beban	1	1
F1 beban ekivalen (N)	79.2646288	23.22130095
F2 beban ekivalen (N)	26.4215429	7.740433649
F3 beban ekivalen (N)	255.408248	69.66390284
F4 beban ekivalen (N)	85.1360828	23.22130095
F5 beban ekivalen (N)	822.982134	208.9917085
F6 beban ekivalen (N)	274.327378	69.66390284
C1 bil.dukung dinamik (N)	1648.77072	531.6350785
C2 bil.dukung dinamik (N)	647.637944	223.2727421
C3 bil.dukung dinamik (N)	3596.91846	1105.845527
C4 bil.dukung dinamik (N)	1412.87132	464.4260189
C5 bil.dukung dinamik (N)	7846.95059	2300.25139
C6 bil.dukung dinamik (N)	3082.28602	966.045049
Bantalan 1		
Bantalan 2	6302	6002
Bantalan 3		
Bantalan 4	6305	6202

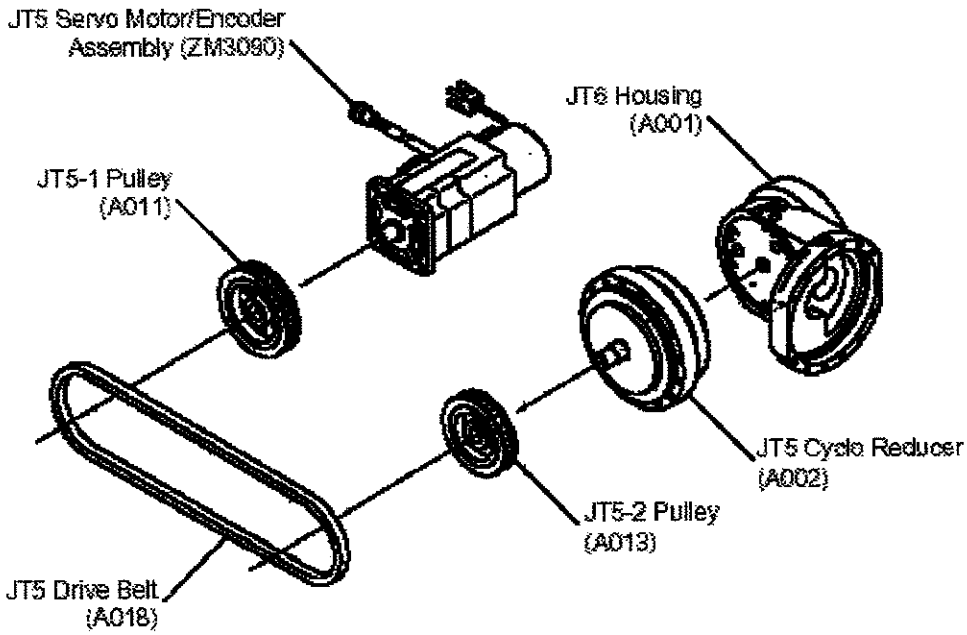
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Bantalan 5		
Bantalan 6	6308	6204
C1 bil.dukung dinamik (N)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
C2 bil dukung dinamik (N)	895	440
C3 bil dukung dinamik (N)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
C4 bil dukung dinamik (N)	1610	600
C5 bil dukung dinamik (N)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Co bil dukung dinamik (N)	3200	1000
Lh1 umur bantalan (jam)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Lh2 umur bantalan (jam)	131959.984	382666.9153
Lh3 umur bantalan (jam)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Lh4 umur bantalan (jam)	73984.3393	107813.744
Lh5 umur bantalan (jam)	tanpa bantalan	tanpa bantalan
Lh6 umur bantalan (jam)	55950.1339	55459.74484

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.D.4. Perancangan Transmisi Joint 5

Untuk sistem transmisi *joint* 5, digunakan sistem transmisi *belt* dikombinasikan dengan *planetary gear* dengan pertimbangan bahwa letak motor listrik sebagai penggerak *joint* 5 harus berada pada posisi yang tidak memberatkan kerja *joint* 5. Momen torsi yang terjadi pada *joint* 5 sangat tergantung pada berat *link* dan titik pusat massa *link*, selain itu untuk keperluan desain, jika letak motor listrik pada *joint* 5 akan sangat tidak efisien karena dimensi *link* 5 akan relatif besar. Untuk memecahkan masalah ini salah satu pemecahannya adalah dengan menggunakan sistem transmisi *belt* dan *pulley* dikombinasikan dengan *planetary gear* seperti terlihat dalam gambar III.D.5. dibawah ini.



Gambar III.D.5. Transmisi Joint 5

Dari gambar diatas terdapat 2 buah *pulley*, 1 buah *belt* dan 1 buah *planetary gear*. Dengan pertimbangan bahwa untuk mendapatkan tingkat ketelitian gerak lengan robot, putaran tetap, perbandingan transmisi tetap dan agar tidak terjadi slip pada *pulley*, maka kita menggunakan transmisi sabuk gilir yang dapat mentransmisikan daya sampai dengan 60 kW.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan belt & pulley

Untuk transmisi sabuk gilir terdapat tiga gaya yang sangat penting dalam perhitungan, yaitu gaya tarik efektif F_e (kg), gaya sentrifugal F_c (kg), dan tegangan awal F_o (kg). besarnya gaya tarik pada sisi kendor sama dengan gaya pada *pulley* penggerak, yakni[19] :

$$F_1 = F_e + F_2 \approx F_e + F_c$$

Jika daya yang ditransmisikan adalah P (kW), kecepatan sabuk v (m/s), berat persatuan panjang sabuk w (kg/m), dan konstanta yang tergantung pada ukuran dan tipe sabuk adalah C, maka F_e dan F_c dapat ditulis sebagai

$$F_e = 102\ P/v$$
$$F_c = (w/9{,}8)v^2$$

Pada pemilihan sabuk gilir, faktor koreksi f_c (dan faktor koreksi tambahan f'_c untuk kondisi khusus) perlu ditambahkan untuk menghitung daya rencana P_d.

$$P_d = f_c P \text{ atau } P_d = (f_c + f'_c)P$$

- Dari data motor listrik P50B08100VCXS9
  Daya motor = I kW
  Putaran motor, $n_{motor} = n_1 = 4000$ rpm
  Perbandingan putaran, $i = n_1/n_2 = 4000/2500 = 1{,}6$
  Jarak sumbu poros, C = 320 mm
- Faktor koreksi, $f_c = 1{,}2$; faktor koreksi tambahan, $f'_c = 0{,}1$
  Maka Daya rencana P_d adalah
  $P_d = (f_c + f'_c)P = (1{,}2 + 0{,}1)1\ kW = 1{,}3\ kW$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Momen rencana, T_1 dan T_2 :

$$T_1 = 9{,}74 \times 10^5 . \frac{P_d}{n_1} = 9{,}74 \times 10^5 . \frac{1{,}3}{4000} = 316{,}55 \text{ kg.mm}$$

$$T_2 = 9{,}74 \times 10^5 . \frac{P_d}{n_2} = 9{,}74 \times 10^5 . \frac{1{,}3}{2500} = 506{,}48 \text{ kg.mm}$$

- Menentukan bahan poros.

  Untuk poros pada kedua pulley menggunakan bahan S 45 C dengan σ_B = 58 kg/mm^2, s_{f1} = 6 , s_{f2} = 2 dan tegangan geser yang diijinkan :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_{f1} \times S_{f2}} = \frac{58}{6 \times 2} = 4{,}83 \text{ kg/mm}^2$$

beban tumbukan, K_t = 1,5, untuk lenturan, C_b = 2

- Diameter poros d_{s1}, d_{s2}

$$d_{s1} = \left[\frac{5{,}1}{\tau_a} . K_t . C_b . T_1 \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{5{,}1}{4{,}83} \times 1{,}5 \times 2 \times 316{,}55 \right]^{\frac{1}{3}} = 10{,}009 \approx 15 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = \left[\frac{5{,}1}{\tau_a} . K_t . C_b . T_2 \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{5{,}1}{4{,}83} \times 1{,}5 \times 2 \times 506{,}48 \right]^{\frac{1}{3}} = 11{,}707 \approx 15 \text{ mm}$$

- Pemilihan penampang sabuk sesuai dengan diagram pemilihan sabuk gilir (lampiran) menggunakan penampang sabuk L, p = 9,525 mm
- Jumlah gigi pulley z_1, z_2 :

  z_1 = 15 buah

$$z_2 = z_1 . \frac{n_1}{n_2} = 15 . \frac{4000}{2500} = 24 \text{ buah}$$

- Diameter pulley

  Diameter lingkaran jarak bagi pulley kecil, d_p adalah

[19] Suga Kiyokatsu, Sularso, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, hal 182

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$d_p = \frac{p \times z_1}{\pi} = \frac{9{,}525 \times 15}{3{,}14} = 45{,}5 \text{ mm}$$

Diameter lingkaran jarak bagi pulley besar, D_p adalah

$$D_p = \frac{p \times z_2}{\pi} = \frac{9{,}525 \times 24}{3{,}14} = 72{,}8 \text{ mm}$$

Diameter naf pulley kecil, d_B :

$$d_B \geq \frac{5}{3} . d_{s1} + 10(mm)$$

$$d_B \geq \frac{5}{3} . 15 + 10$$

$$d_B \geq 35, \; d_B = 35$$

Diameter naf pulley besar, D_B :

$$D_B \geq \frac{5}{3} . d_{s2} + 10(mm)$$

$$D_B \geq \frac{5}{3} . 15 + 10(mm)$$

$$D_B \geq 35 \text{ mm}, \; D_B = 35 \text{ mm}$$

- Panjang keliling, L_p :

$$L_p = \frac{z_1 + z_2}{2} + 2\frac{C}{p} + \frac{[(z_1 - z_2)/6{,}28]^2}{C/p}$$

$$L_p = \frac{15 + 24}{2} + 2\frac{320}{9{,}525} + \frac{[(15 - 24)/6{,}28]^2}{320/9{,}525} = 86{,}753$$

- Nomor nominal dan panjang sabuk dalam perdagangan, L

  L = 86 No. 322L

- Jarak sumbu poros (dalam jarak bagi) C_p, C adalah

$$C_p = \frac{1}{4}\left\{\left(L - \frac{z_1 + z_2}{2}\right) + \sqrt{\left(L - \frac{z_1 + z_2}{2}\right)^2 - \frac{2}{9{,}86}(z_2 - z_1)^2}\right\}$$

$$C_p = \frac{1}{4}\left\{\left(86 - \frac{15 + 24}{2}\right) + \sqrt{\left(86 - \frac{15 + 24}{2}\right)^2 - \frac{2}{9{,}86}(24 - 15)^2}\right\} = 33{,}22$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$C = C_p \times p = 33{,}22 \times 9{,}525 = 316{,}41$ mm

- Daerah penyetelan[20]

  $\Delta C_I = 6$ mm, $\Delta C_t = 5$ mm

- Daya yang ditransmisikan persatuan lebar P_o

  Dari tabel sabuk gilir tipe L terlihat

  $z_1 = 20$, $P_o = 1{,}06$ kW untuk 1400 rpm

  $P_o = 1{,}21$ kW untuk 1600 rpm

  $Z_1 = 22$, $P_o = 1{,}17$ kW untuk 1400 rpm

  $P_o = 1{,}31$ kW untuk 1600 rpm

  Taksiran yang lebih mendekati adalah

  $Z_1 = 15$, $P_o = 0{,}785$ kW untuk 1400 rpm

  $P_o = 0{,}96$ kW untuk 1600 rpm

  Sehingga, $P_o = 0{,}96 + 0{,}175 \times 2400/200 = 3{,}06$ kW

- Sudut kontak (θ), jumlah gigi terkait (JGT), Faktor koreksi JGT, (f_t)

$$\theta = 180^o - \frac{57(D_p - d_p)}{C}$$

$$\theta = 180^o - \frac{57(72{,}8 - 45{,}5)}{316{,}41} = 175{,}082^o$$

$$JGT = \frac{\theta}{360}.z_1 = \frac{175{,}082^o}{360}.15 = 7{,}295 > 6$$, sehingga $f_t = 1{,}00$

- Faktor lebar gigi, f_w adalah :

$$f_w = \frac{P_d}{P_o.f_t} = \frac{1{,}3}{3{,}06 \times 1{,}00} = 0{,}425 \Rightarrow 0{,}5$$

- Lebar gigi sabuk dipasaran, W_b

[20] Lampiran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

W_b = 0,5 x 25,4 =12,7 mm

Lebar gigi pulley, $W_w = W_b \times 1,3 = 12,7 \times 1,3 = 16,51$ mm

Perhitungan planetary gear

Tabel III.D.3. Perhitungan Joint 5

Keterangan	JT5
Torsi max. dinamika (Nm)	248.7090
Fc	1.25
T torsi rencana (N.m)	310.8863
P daya rencana (W)	1302.237279
Spesifikasi Pulley besar	
Model No.	322 L
P daya motor listrik (kW)	1
n kecepatan putaran pulley besar	2500
T torsi pulley besar (N.mm)	4,964
T torsi pulley besar (kg.mm)	506.48
Perhitungan Reduction Unit	
n out (derajat/sec)	240
n out (rpm)	40
i rasio	62.5
Cek T rencana (N.m)	310.219
α_o sudut tekan (derajat)	20
m modul	3
do3 (mm)	120
z3	40
z1	20
z2	10
cek i setiap *planetary gear*	3
cek I	27
Cek T_{out} torsi output (N.m)	134.014608
do1 (mm)	60
do2 (mm)	30
ck kelonggaran puncak (mm)	0.75

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dk1 diameter kepala (mm)	66
dk2 diameter kepala (mm)	36
dk3 diameter kepala (mm)	114
df1 diameter kaki (mm)	52.5
df2 diameter kaki (mm)	22.5
df3 diameter kaki (mm)	127.5
Y1 faktor bentuk	0.32
Y2 faktor bentuk	0.201
Y3 faktor bentuk	0.389
n1 kec. gear 1 (rpm)	2500
n2 kec. gear 2 (rpm)	5000
n3 kec. gear 3 (rpm)	833.3333333
n4 kec. gear 4 (rpm)	1666.666667
n5 kec. gear 5 (rpm)	277.7777778
n6 kec. gear 6 (rpm)	555.5555556
v1 kec. keliling gear 1 (m/s)	7.853981634
v2 kec. keliling gear 2 (m/s)	7.853981634
v3 kec. keliling gear 3 (m/s)	2.617993878
v4 kec. keliling gear 4 (m/s)	2.617993878
v5 kec. keliling gear 5 (m/s)	0.872664626
v6 kec. keliling gear 6 (m/s)	0.872664626
T1 torsi gear 1 (kg.mm)	506.48
T2 torsi gear 2 (kg.mm)	84.41333333
T3 torsi gear 3 (kg.mm)	1519.44
T4 torsi gear 4 (kg.mm)	253.24
T5 torsi gear 5 (kg.mm)	4558.32
T6 torsi gear 6 (kg.mm)	759.72
ft1 gaya tangensial gear 1 (kg)	16.88266667
ft2 gaya tangensial gear 2 (kg)	5.627555556
ft3 gaya tangensial gear 3 (kg)	50.648
ft4 gaya tangensial gear 4 (kg)	16.88266667
ft5 gaya tangensial gear 5 (kg)	151.944
ft6 gaya tangensial gear 6 (kg)	50.648
fv1 faktor dinamis gear 1	0.433088491
fv2 faktor dinamis gear 2	0.433088491
fv3 faktor dinamis gear 3	0.533998446
fv4 faktor dinamis gear 4	0.533998446

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

fv5 faktor dinamis gear 5	0.774660419
fv6 faktor dinamis gear 6	0.774660419
Bahan Roda Gigi 1	S 45 C
Bahan Roda Gigi 2	S 45 C
Bahan Roda Gigi 7	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 3	SNC 2
Bahan Roda Gigi 4	SNC 2
Bahan Roda Gigi 8	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 5	SNC 2
Bahan Roda Gigi 6	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 9	S 15 CK
σ_{a1} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a2} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a7} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a3} teg lentur ijin (kg/mm2)	60
σ_{a4} teg lentur ijin (kg/mm2)	60
σ_{a8} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a5} teg lentur ijin (kg/mm2)	60
σ_{a6} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a9} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
H_{B1} kekerasan Brinnel	200
H_{B2} kekerasan Brinnel	200
H_{B7} kekerasan Brinnel	400
H_{B3} kekerasan Brinnel	300
H_{B4} kekerasan Brinnel	300
H_{B8} kekerasan Brinnel	400
H_{B5} kekerasan Brinnel	300
H_{B6} kekerasan Brinnel	400
H_{B9} kekerasan Brinnel	400
kH1 faktor teg kontak	0.053
kH2 faktor teg kontak	0.1072
kH3 faktor teg kontak	0.13
kH4 faktor teg kontak	0.168
kH5 faktor teg kontak	0.168
kH6 faktor teg kontak	0.311
F'b1 beban lentur ijin (kg/mm)	12.47294854

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

F'b2 beban lentur ijin (kg/mm)	7.834570802
F'b7 beban lentur ijin (kg/mm)	15.16242807
F'b3 beban lentur ijin (kg/mm)	30.75831048
F'b4 beban lentur ijin (kg/mm)	19.32006377
F'b8 beban lentur ijin (kg/mm)	18.69528559
F'b5 beban lentur ijin (kg/mm)	44.62044011
F'b6 beban lentur ijin (kg/mm)	14.01360697
F'b9 beban lentur ijin (kg/mm)	27.12086125
F'H1&2 beban permukaan ijin (kg/mm)	0.918147601
F'H2&7 beban permukaan ijin (kg/mm)	2.228500139
F'H3&4 beban permukaan ijin (kg/mm)	2.776791919
F'H4&8 beban permukaan ijin (kg/mm)	4.306163468
F'H5&6 beban permukaan ijin (kg/mm)	5.205718013
F'H6&9 beban permukaan ijin (kg/mm)	11.56413073
F'mm1&2	0.918147601
F'mm2&7	2.228500139
F'mm3&4	2.776791919
F'mm4&8	4.306163468
F'mm5&6	5.205718013
F'mm6&9	11.56413073
b1&b2 lebar sisi (mm)	18.38774795
b2&b7 lebar sisi (mm)	2.525265965
b3&b4 lebar sisi (mm)	18.23975346
b4&b8 lebar sisi (mm)	3.920581927
b5&b6 lebar sisi (mm)	29.18790446
b6&b9 lebar sisi (mm)	4.379749866
b1&b2 lebar sisi (mm)	19
b2&b7 lebar sisi (mm)	19
6<=b1/m<=10	6.333333333
6<=b2/m<=10	6.333333333
d01/b1>=1,3333	3.157894737
d02/b2>=1,3333	1.578947368

Perhitungan Poros

Bahan Poros	S30C
G1 teg tarik poros (kg/mm2)	48

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Sf1	6
Sf2	1.3
Kt	1.5
Cb	2
σ_{a1} teg.geser ijin poros (kg/mm2)	6.153846154
d_{s1} diameter poros min. (mm)	10.79863923
d_{s2} diameter poros min. (mm)	5.942720188
d_{s3} diameter poros min. (mm)	15.57433279
d_{s4} diameter poros min. (mm)	8.570885638
d_{s5} diameter poros min. (mm)	22.46207478
d_{s6} diameter poros min. (mm)	12.36135613
d_{s1} diameter poros 1 yg dipilih (mm)	11
d_{s2} diameter poros 2 yg dipilih (mm)	10
d_{s3} diameter poros 3 yg dipilih (mm)	16
d_{s4} diameter poros 4 yg dipilih (mm)	10
d_{s5} diameter poros 5 yg dipilih (mm)	23
d_{s6} diameter poros 6 yg dipilih (mm)	13

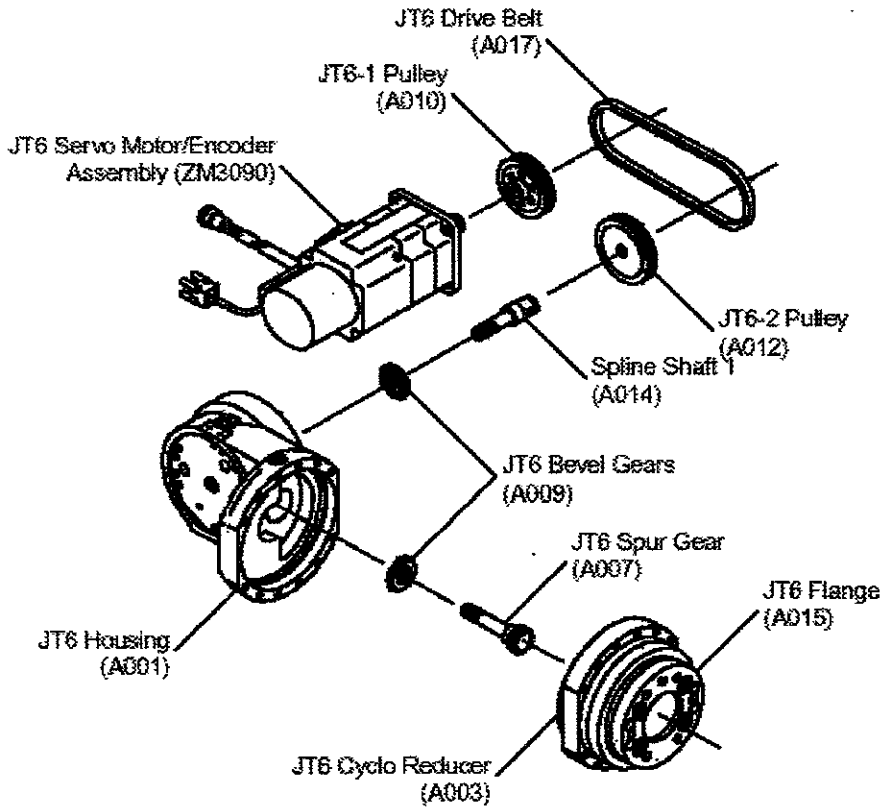
Pemilihan Bantalan Luncur

P_{a2} tekanan bantalan 2 ijin(kg/mm^2)	2,6
P_{a4} tekanan bantalan 4 ijin(kg/mm^2)	2,6
P_{a6} tekanan bantalan 6 ijin(kg/mm^2)	1,045
Bantalan 2	Perunggu timah hitam
Bantalan 4	Perunggu timah hitam
Bantalan 6	perunggu

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.D.5. Perancangan Transmisi Joint 6

Untuk sistem transmisi *joint* 6, digunakan sistem transmisi *belt* dikombinasikan dengan *reduction gear* dan *bevel gear* dengan pertimbangan bahwa letak motor listrik sebagai penggerak *joint* 6 harus berada pada posisi yang tidak memberatkan kerja *joint* 6. Momen torsi yang terjadi pada *joint* 6 sangat tergantung pada berat *link* dan titik pusat massa *link*, selain itu untuk keperluan desain, jika letak motor listrik pada *joint* 6 akan sangat tidak efisien karena dimensi *link* 6 akan relatif besar. Untuk memecahkan masalah ini salah satu pemecahannya adalah dengan menggunakan sistem transmisi *belt* dan *pulley* dikombinasikan dengan *bevel gear* dan *planetary gear* seperti terlihat dalam gambar III.D.6. dibawah ini.



Gambar III.D.6. Transmisi Joint 6

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari gambar diatas terdapat 2 buah *pulley*, 1 buah *belt* dan 1 buah *planetary gear*. Dengan pertimbangan bahwa untuk mendapatkan tingkat ketelitian gerak lengan robot, putaran tetap, perbandingan transmisi tetap dan agar tidak terjadi slip pada pulley, maka kita menggunakan transmisi sabuk gilir yang dapat mentransmisikan daya sampai dengan 60 kW.

Perhitungan belt & pulley

Untuk transmisi sabuk gilir terdapat tiga gaya yang sangat penting dalam perhitungan, yaitu gaya tarik efektif F_e (kg), gaya sentrifugal F_c (kg), dan tegangan awal F_o (kg). besarnya gaya tarik pada sisi kendor sama dengan gaya pada *pulley* penggerak, yakni[21] :

$$F_1 = F_e + F_2 \approx F_e + F_c$$

Jika daya yang ditransmisikan adalah P (kW), kecepatan sabuk v (m/s), berat persatuan panjang sabuk w (kg/m), dan konstanta yang tergantung pada ukuran dan tipe sabuk adalah C, maka F_e dan F_c dapat ditulis sebagai

$$F_e = 102\ P/v$$
$$F_c = (w/9{,}8)v^2$$

Pada pemilihan sabuk gilir, faktor koreksi f_c (dan faktor koreksi tambahan f'_c untuk kondisi khusus) perlu ditambahkan untuk menghitung daya rencana P_d.

$$P_d = f_c P \text{ atau } P_d = (f_c + f'_c)P$$

[21] Suga Kiyokatsu, Sularso, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, hal 182

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Dari data motor listrik P50B08100VCXS9

  Daya motor = I kW

  Putaran motor, $n_{motor} = n_1 = 4000$ rpm

  Perbandingan putaran, $i = n_1/n_2 = 4000/2500 = 1,6$

  Jarak sumbu poros, C = 230 mm

- Faktor koreksi, $f_c = 1,2$; faktor koreksi tambahan, $f'_c = 0,1$

  Maka Daya rencana P_d adalah

  $P_d = (f_c + f'_c)P = (1,2 + 0,1)1$ kW = 1,3 kW

- Momen rencana, T_1 dan T_2 :

$$T_1 = 9,74 \times 10^5 . \frac{P_d}{n_1} = 9,74 \times 10^5 . \frac{1,3}{4000} = 316,55 \text{ kg.mm}$$

$$T_2 = 9,74 \times 10^5 . \frac{P_d}{n_2} = 9,74 \times 10^5 . \frac{1,3}{2500} = 506,48 \text{ kg.mm}$$

- Menentukan bahan poros.

  Untuk poros pada kedua pulley menggunakan bahan S 45 C dengan $\sigma_B = 58$ kg/mm^2, $s_{f1} = 6$, $s_{f2} = 2$ dan tegangan geser yang diijinkan :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_{f1} \times S_{f2}} = \frac{58}{6 \times 2} = 4,83 \text{ kg/mm}^2$$

beban tumbukan, $K_t = 1,5$, untuk lenturan, $C_b = 2$

- Diameter poros d_{s1}, d_{s2}

$$d_{s1} = \left[\frac{5,1}{\tau_a} . K_t . C_b . T_1 \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{5,1}{4,83} \times 1,5 \times 2 \times 316,55 \right]^{\frac{1}{3}} = 10,009 \approx 15 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = \left[\frac{5,1}{\tau_a} . K_t . C_b . T_2 \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{5,1}{4,83} \times 1,5 \times 2 \times 506,48 \right]^{\frac{1}{3}} = 11,707 \approx 15 \text{ mm}$$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Pemilihan penampang sabuk sesuai dengan diagram pemilihan sabuk gilir (lampiran) menggunakan penampang sabuk L, p = 9,525 mm
- Jumlah gigi pulley z_1, z_2 :

  $z_1 = 15$ buah

  $$z_2 = z_1 . \frac{n_1}{n_2} = 15 . \frac{4000}{2500} = 24 \text{ buah}$$

- Diameter pulley

  Diameter lingkaran jarak bagi pulley kecil, d_p adalah

  $$d_p = \frac{p \times z_1}{\pi} = \frac{9{,}525 \times 15}{3{,}14} = 45{,}5 \text{ mm}$$

  Diameter lingkaran jarak bagi pulley besar, D_p adalah

  $$D_p = \frac{p \times z_2}{\pi} = \frac{9{,}525 \times 24}{3{,}14} = 72{,}8 \text{ mm}$$

  Diameter naf pulley kecil, d_B :

  $$d_B \geq \frac{5}{3} . d_{s1} + 10(mm)$$

  $$d_B \geq \frac{5}{3} . 15 + 10$$

  $d_B \geq 35$, $d_B = 35$

  Diameter naf pulley besar, D_B:

  $$D_B \geq \frac{5}{3} . d_{s2} + 10(mm)$$

  $$D_B \geq \frac{5}{3} . 15 + 10(mm)$$

  $D_B \geq 35$ mm, $D_B = 35$ mm

- Panjang keliling, L_p :

  $$L_p = \frac{z_1 + z_2}{2} + 2\frac{C}{p} + \frac{[(z_1 - z_2)/6{,}28]^2}{C/p}$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$L_p = \frac{15+24}{2} + 2\frac{230}{9,525} + \frac{[(15-24)/6,28]^2}{230/9,525} = 67,885$$

- Nomor nominal dan panjang sabuk dalam perdagangan, L

  L = 68 No. 255 L

- Jarak sumbu poros (dalam jarak bagi) C_p, C adalah

$$C_p = \frac{1}{4}\left\{\left(L - \frac{z_1+z_2}{2}\right) + \sqrt{\left(L - \frac{z_1+z_2}{2}\right)^2 - \frac{2}{9,86}(z_2-z_1)^2}\right\}$$

$$C_p = \frac{1}{4}\left\{\left(68 - \frac{15+24}{2}\right) + \sqrt{\left(68 - \frac{15+24}{2}\right)^2 - \frac{2}{9,86}(24-15)^2}\right\} = 24,2$$

  $C = C_p \times p = 24,2 \times 9,525 = 230,58$ mm

- Daerah penyetelan[22]

  $\Delta C_I = 5$ mm, $\Delta C_t = 5$ mm

- Daya yang ditransmisikan persatuan lebar P_o

  Dari tabel sabuk gilir tipe L terlihat

  $z_1 = 20$, $P_o = 1,06$ kW untuk 1400 rpm

  $P_o = 1,21$ kW untuk 1600 rpm

  $Z_1 = 22$, $P_o = 1,17$ kW untuk 1400 rpm

  $P_o = 1,31$ kW untuk 1600 rpm

  Taksiran yang lebih mendekati adalah

  $Z_1 = 15$, $P_o = 0,785$ kW untuk 1400 rpm

  $P_o = 0,96$ kW untuk 1600 rpm

  Sehingga, $P_o = 0,96+0,175 \times 2400/200 = 3,06$ kW

[22] Lampiran

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Sudut kontak (θ), jumlah gigi terkait (JGT), Faktor koreksi JGT, (f_t)

$$\theta = 180^o - \frac{57(D_p - d_p)}{C}$$

$$\theta = 180^o - \frac{57(72,8 - 45,5)}{230,58} = 173,25^o$$

$$JGT = \frac{\theta}{360}.z_1 = \frac{173,25^o}{360}.15 = 7,219 > 6$$, sehingga $f_t = 1,00$

- Faktor lebar gigi, f_w adalah :

$$f_w = \frac{P_d}{P_o.f_t} = \frac{1,3}{3,06 \times 1,00} = 0,425 => 0,5$$

- Lebar gigi sabuk dipasaran, W_b

  Wb = 0,5 x 25,4 =12,7 mm

  Lebar gigi pulley, $W_w = W_b$ x 1,3 = 12,7 x 1,3 = 16,51 mm

Perhitungan bevel gear

Setelah menghitung transmisi *belt & pulley* kemudian kita hitung *bevel gear* yang akan meneruskan gaya ke transmisi *planetary gear*.

- Menentukan variabel utama perhitungan awal.

  T_1 = 50,648 kg.cm, n_1 = 2500 rpm

  Daya yang dipindahkan,

$$N = \frac{\tau_1 \times n_1}{71620} = \frac{50,648 \times 2500}{71620} = 1,768 \text{ Hp} = 1,318 \text{ kW}$$

  rasio putaran, i = 1

  sudut poros, $\Sigma = 90^o$

  sisi kerucut, R = 35 mm

  faktor koreksi, f_c = 1,2

  Daya yang direncanakan,

  P = f_c x N = 1,2 x 1,318 kW = 1,582 kW

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Sudut kerucut jarak bagi,[23]

$$\delta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{1}{i}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{1}\right)$$

$$= 45^o$$

$$\delta_2 = 90^o - \delta_1 = 90^o - 45^o$$

$$= 45^o$$

Diameter lingkaran jarak bagi ujung luar,

$$d_1 = 2R.\text{Sin}\delta_1 = 2(35)\sin 45^o$$

$$= 49{,}497 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2R.\text{Sin}\delta_2 = 2(50)\sin 45^o$$

$$= 49{,}497 \text{ mm}$$

- Modul roda gigi, m = 5, sudut kontak = 20^0

Jumlah gigi bevel 1, $z_1 = \left(\frac{d_1}{m}\right) = \left(\frac{49{,}497}{5}\right) = 9{,}899 = 10$ buah

Jumlah gigi bevel 2, $z_1 = \left(\frac{d_2}{m}\right) = \left(\frac{49{,}497}{5}\right) = 9{,}899 = 10$ buah

Sehingga ukuran roda gigi,

- Sudut kerucut jarak bagi,

$$\delta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{z_1}{z_2}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10}{10}\right) = 45^o$$

$$\delta_2 = 90^o - \delta_1 = 90^o - 45^o = 45^o$$

Diameter lingkaran jarak bagi,

$$d_1 = 2R.\text{Sin}\delta_1 = 2(35)\sin 45^o$$

$$= 49{,}497 \text{ mm}$$

[23] Suga Kiyokatsu, Sularso, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, hal 269

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$d_2 = 2R.Sin\delta_2 = 2(35)\sin 45^0$

$= 49{,}497$ mm

- Kecepatan keliling

$$v = \frac{\pi \times d_2 \times n_2}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 49{,}497 \times 2500}{60000} = 6{,}48 \text{ m/s}$$

Gaya tangensial,

$$F_t = \frac{102 \times P}{v} = \frac{102 \times 1{,}582}{6{,}48} = 24{,}9 \text{ kg}$$

- Kelonggaran puncak

$C_k = 0{,}188 \text{ x } m = 0{,}188 \text{ x } 5 = 0{,}94$ mm

Kelonggaran belakang diasumsikan $C_o = 0$

- Faktor perubahan kepala,

$$x_1 = 0{,}46\left[1 - \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2\right] = 0{,}46\left[1 - \left(\frac{15}{15}\right)^2\right] = 0$$

$x_2 = - x_1 = 0$

- Tinggi kepala roda gigi,

$h_{k1} = (1+x_1).m = (1+0).5 = 5$ mm

$h_{k2} = (1-x_1).m = (1-0).5 = 5$ mm

Tinggi kaki,

$h_{f1} = (1 - x_1).m + c_k = (1 - 0).5 + 0{,}94 = 5{,}94$ mm

$h_{f2} = (1 + x_1).m + c_k = (1 + 0).5 + 0{,}94 = 5{,}94$ mm

- Kedalaman gigi penuh,

$H = 2m + c_k = 2(5) + 0{,}94 = 10{,}94$ mm

- Sudut kepala,

$$\theta_{k1} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{k1}}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5}{35}\right) = 8{,}13^\circ$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\theta_{k2} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{k2}}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5}{35}\right) = 8{,}13^{\circ}$$

- Sudut kaki,

$$\theta_{f1} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{f1}}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5{,}94}{35}\right) = 9{,}632^{\circ}$$

$$\theta_{f2} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{f2}}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5{,}94}{35}\right) = 9{,}632^{\circ}$$

- Sudut kerucut kepala,

$\delta_{k1} = \delta_1 + \theta_{k1} = 45^{\circ} + 8{,}13^{\circ} = 53{,}13^{\circ}$

$\delta_{k2} = \delta_2 + \theta_{k2} = 45^{\circ} + 8{,}13^{\circ} = 53{,}13^{\circ}$

- sudut kerucut kaki,

$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1} = 45^{\circ} - 9{,}632^{\circ} = 35{,}368^{\circ}$

$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2} = 45^{\circ} - 9{,}632^{\circ} = 35{,}368^{\circ}$

- Diameter lingkaran kepala,

$d_{k1} = d_1 + 2h_{k1}\cos\delta_1 = 49{,}497 + 2(5).\cos 45^{\circ} = 56{,}57$ mm

$d_{k2} = d_2 + 2h_{k2}\cos\delta_2 = 49{,}497 + 2(5).\cos 45^{\circ} = 56{,}57$ mm

Jarak puncak sampai ke puncak gigi luar

$$X_1 = \left(\frac{d_2}{2}\right) - h_{k1}\sin\delta_1 = \left(\frac{49{,}497}{2}\right) - 5.\sin 45^{\circ} = 21{,}21\,\text{mm}$$

$$X_2 = \left(\frac{d_1}{2}\right) - h_{k2}\sin\delta_2 = \left(\frac{49{,}497}{2}\right) - 5.\sin 45^{\circ} = 21{,}21\,\text{mm}$$

- Tebal lingkar gigi,

$s_1 = (0{,}5\pi + 2x_1\tan\alpha_o).m = (0{,}5\pi + 2(0)\tan 20^{\circ}).5 = 7{,}854$ mm

$s_2 = \pi.m - s_1 = \pi.5 - 7{,}854$ mm $= 7{,}854$ mm

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Bahan pembuatan roda gigi bevel kecil menggunakan bahan S 45 C,

  σ_{B1} = 70 kg/mm^2, σ_{b1} = 20 kg/mm^2 dengan perlakuan sementasi dengan celup dingin, HRC = 30, HB = 330.

  Bahan pembuatan roda gigi bevel besar menggunakan bahan S 45 C,

  σ_{B2} = 70 kg/mm^2, σ_{b2} = 20 kg/mm^2 dengan perlakuan celup dingin dan temper, HRC = 30, HB = 330.

  Guna pengujian kekuatan roda gigi bevel, maka diambil parameter sebagai berikut [24]:

  Faktor dinamis, Kv = 0,85

  Faktor geometri, J_1 = 0,18 dan J_2 =0,18

  Faktor beban lebih, Ko = 1,5

  Faktor distribusi beban, Km = 1,25

  Faktor ukuran, $K_s = \sqrt[4]{\left(\frac{m}{2{,}24}\right)} = \sqrt[4]{\left(\frac{5}{2{,}24}\right)} = 1{,}22$

- Beban lentur yang diijinkan,

$$F'_{b1} = \frac{\sigma_{a1}.m.K_v.J_1}{(K_o K_s K_m)} = \frac{14{,}4 \times 5 \times 0{,}85 \times 0{,}18}{(1{,}5 \times 1{,}22 \times 1{,}25)} = 4{,}816\,\text{kg/mm}$$

$$F'_{b2} = \frac{\sigma_{a2}.m.K_v.J_2}{(K_o K_s K_m)} = \frac{14{,}4 \times 5 \times 0{,}85 \times 0{,}18}{(1{,}5 \times 1{,}22 \times 1{,}25)} = 4{,}816\,\text{kg/mm}$$

- Beban permukaan,

$$F'_H = \sigma_c^{\,2}.\frac{d_1}{C_p^{\,2}}\frac{C_v.I}{C_o C_m C_f}$$

Dari data tegangan kontak kedua bevel gear diambil yang terkecil yakni σ_c = 102 kg/mm^2. C_p merupakan koefisien elastis bahan roda gigi, dalam hal ini baja, maka C_p = 74,2. Sedangkan $C_v = K_v$, $C_o = K_o$, dan $C_m = K_m$, dan I adalah

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

faktor geometri jumlah gigi kedua roda gigi = 10 dan 20 buah sehingga I = 0,062. Beban permukaan gigi adalah

$$F'_H = 102^2 . \frac{49,497}{74,2^2} \frac{0,85 \times 0,062}{1,5 \times 1,25 \times 1,22} = 2,155 \text{ kg/mm}$$

- Dari harga F'_{b1}, F'_{b2} dan F'_H dipilih yang terkecil, $F'_{min} = 2,155$ kg/mm

  Lebar sisi roda gigi ,

$$b = \frac{F_t}{F'_{min}} = \frac{24,9}{2,155} = 11,55 \text{ mm}$$

  lebar sisi roda gigi harus tidak lebih dari 1/3 R atau kurang dari 10 kali modul ujung luar gigi,

  karena 11,55 mm < 1/3(35), maka roda gigi aman.

Tabel III.D.4. Spesifikasi Bevel gear pada joint 6

No	Spesifikasi	Bevel Kecil	Bevel Besar
1.	Modul	5	5
2.	Sudut tekan (α_o)	20°	20°
3.	Jumlah gigi (z)	10 buah	10 buah
4.	Sudut kerucut jarak bagi (δ)	45°	45°
5.	Lebar sisi (b)	11,55 mm	11,55 mm
6.	Diameter lingkaran jarak bagi (d)	49,497 mm	49,497 mm
7.	Diameter lingkaran kepala (dk)	56,57 mm	56,57 mm
8.	Jarak dari puncak ke puncak luar (X)	21,21 mm	21,21 mm
9.	Sudut kerucut kepala (δ_k)	53,13°	53,13°
10.	Sudut kerucut kaki (δ_f)	35,368°	35,368°
11.	Bahan roda gigi dengan perlakuan panas	S 45 C dengan perlakuan celup dingin dan temper	S 45 C dengan perlakuan celup dingin dan temper.

[24] Lampiran

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk perancangan poros selanjutnya menggunakan data yang telah diperoleh sebelumnya, yaitu :

$n_1 = 2500$ rpm,

$$n_2 = \frac{z_1}{z_2} n_1 = \frac{10}{10} .2500 = 2500 \text{ rpm}$$

daya yang ditransmisikan, P = 1,582 kW = 2,12 Hp

torsi pada bevel gear kecil,

$$T_1 = \frac{71620 \times P}{n_1} = \frac{71620 \times 2{,}12}{2500} = 60{,}7337 \text{ kg.cm}$$

poros roda gigi 1

- Daya yang ditransmisikan, P = 1,582 kW

  Putaran roda gigi, $n_1 = 2500$ rpm

  Torsi untuk perencanaan, $T_1 = 60{,}7337$ kg.cm = 607,337 kg.mm

- bahan poros untuk roda gigi 1 menggunakan SNC 22 dengan,σ_B = 100 kg/mm^2, dengan pengerasan kulit serta menggunakan alur pasak. Faktor keamanan yang diambil S_{f1} = 6 dan S_{f2} = 2, sehingga tegangan geser yang diijinkan,

  $$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(S_{f1} \times S_{f2})} = \frac{100}{(6 \times 2)} = 8{,}33 \text{ kg/mm}^2$$

  faktor koreksi $K_t = 1{,}5$ dan $C_b = 2$

- Diameter poros,

  $$d_{s1} = \left[\frac{5{,}1}{\tau_a} . K_t C_b T_1 \right]^{1/3} = \left[\frac{5{,}1}{8{,}33} . 1{,}5 \times 2 \times 607{,}337 \right]^{1/3} = 10{,}37 \approx 11 \text{ mm}$$

  Ukuran bantalan yang memenuhi adalah 15 mm, sehingga poros bertingkat dengan diameter 11 mm dan 15 mm, tipe NU 202 dengan diameter luar 35 mm dan lebar bantalan 11 mm.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Poros roda gigi 2

- Daya yang ditransmisikan, P = 1,582 kW = 2,12 Hp

  Putaran roda gigi, n_2 = 2500 rpm

  Torsi untuk perencanaan,

$$T_2 = \frac{71620 \times P}{n_2} = \frac{71620 \times 2{,}12}{2500} = 60{,}7337 \text{ kg.cm} = 607{,}337 \text{ kg.mm}$$

- bahan poros untuk roda gigi 2 menggunakan SNC 22 dengan,σ_B = 100 kg/mm^2, dengan pengerasan kulit serta menggunakan alur pasak. Faktor keamanan yang diambil S_{f1} = 6 dan S_{f2} = 2, sehingga tegangan geser yang diijinkan,

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(S_{f1} \times S_{f2})} = \frac{100}{(6 \times 2)} = 8{,}33 \text{ kg/mm}^2$$

  faktor koreksi K_t = 1,5 dan C_b = 2

- Diameter poros,

$$d_{s1} = \left[\frac{5{,}1}{\tau_a} K_t C_b T_1\right]^{1/3} = \left[\frac{5{,}1}{8{,}33} .(1{,}5 \times 2 \times 607{,}337\right]^{1/3} = 10{,}37 \approx 11 \text{ mm}$$

  Ukuran bantalan yang memenuhi adalah 15 mm, sehingga poros bertingkat dengan diameter 11 mm dan 15 mm, tipe NU 202 dengan diameter luar 35 mm dan lebar bantalan 11 mm.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan Planetary Gear

Tabel III.D.5. Perhitungan Joint 6

Keterangan	JT6
Torsi max. dinamika (Nm)	116.6850
fc	1.25
T torsi rencana (N.m)	145.8563
P daya rencana (W)	865.528411

Spesifikasi Motor Listrik

Motor Model No.	P50B08100VCXS9
P daya motor listrik (kW)	
n kecepatan putaran max. (rpm)	2500
T torsi (N.mm)	5,952
T torsi (kg.mm)	607

Perhitungan Reduction Unit

n out (derajat/sec)	340
n out (rpm)	56.66666667
i rasio	44.11764706
Cek T rencana (N.m)	262.5882353
α_0 sudut tekan (derajat)	20
m modul	3
do3 (mm)	120
z3	40
z1	20
z2	10
cek i setiap *planetary gear*	3
cek i	27
Cek T_{out} torsi output (N.m)	160.704
do1 (mm)	60
do2 (mm)	30
ck kelonggaran puncak (mm)	0.75
dk1 diameter kepala (mm)	66

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dk2 diameter kepala (mm)	36
dk3 diameter kepala (mm)	114
df1 diameter kaki (mm)	52.5
df2 diameter kaki (mm)	22.5
df3 diameter kaki (mm)	127.5
Y1 faktor bentuk	0.32
Y2 faktor bentuk	0.201
Y3 faktor bentuk	0.389
n1 kec. gear 1 (rpm)	2500
n2 kec. gear 2 (rpm)	5000
n3 kec. gear 3 (rpm)	833.3333333
n4 kec. gear 4 (rpm)	1666.666667
n5 kec. gear 5 (rpm)	277.7777778
n6 kec. gear 6 (rpm)	555.5555556
v1 kec. keliling gear 1 (m/s)	7.853981634
v2 kec. keliling gear 2 (m/s)	7.853981634
v3 kec. keliling gear 3 (m/s)	2.617993878
v4 kec. keliling gear 4 (m/s)	2.617993878
v5 kec. keliling gear 5 (m/s)	0.872664626
v6 kec. keliling gear 6 (m/s)	0.872664626
T1 torsi gear 1 (kg.mm)	607.337
T2 torsi gear 2 (kg.mm)	101.2228333
T3 torsi gear 3 (kg.mm)	1822.011
T4 torsi gear 4 (kg.mm)	303.6685
T5 torsi gear 5 (kg.mm)	5466.033
T6 torsi gear 6 (kg.mm)	911.0055
ft1 gaya tangensial gear 1 (kg)	20.24456667
ft2 gaya tangensial gear 2 (kg)	6.748188889
ft3 gaya tangensial gear 3 (kg)	60.7337
ft4 gaya tangensial gear 4 (kg)	20.24456667
ft5 gaya tangensial gear 5 (kg)	182.2011
ft6 gaya tangensial gear 6 (kg)	60.7337
fv1 faktor dinamis gear 1	0.433088491
fv2 faktor dinamis gear 2	0.433088491
fv3 faktor dinamis gear 3	0.533998446

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

fv4 faktor dinamis gear 4	0.533998446
fv5 faktor dinamis gear 5	0.774660419
fv6 faktor dinamis gear 6	0.774660419
Bahan Roda Gigi 1	S 45 C
Bahan Roda Gigi 2	S 45 C
Bahan Roda Gigi 7	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 3	SNC 2
Bahan Roda Gigi 4	SNC 2
Bahan Roda Gigi 8	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 5	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 6	S 15 CK
Bahan Roda Gigi 9	S 15 CK
σ_{a1} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a2} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a7} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a3} teg lentur ijin (kg/mm2)	60
σ_{a4} teg lentur ijin (kg/mm2)	60
σ_{a8} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a5} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a6} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
σ_{a9} teg lentur ijin (kg/mm2)	30
H_{B1} kekerasan Brinnel	200
H_{B2} kekerasan Brinnel	200
H_{B7} kekerasan Brinnel	400
H_{B3} kekerasan Brinnel	300
H_{B4} kekerasan Brinnel	300
H_{B8} kekerasan Brinnel	400
H_{B5} kekerasan Brinnel	400
H_{B6} kekerasan Brinnel	400
H_{B9} kekerasan Brinnel	400
kH1 faktor teg kontak	0.053
kH2 faktor teg kontak	0.1072
kH3 faktor teg kontak	0.13
kH4 faktor teg kontak	0.168

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KH5 faktor teg kontak	0.311
KH6 faktor teg kontak	0.311
F'b1 beban lentur ijin (kg/mm)	12.47294854
F'b2 beban lentur ijin (kg/mm)	7.834570802
F'b7 beban lentur ijin (kg/mm)	15.16242807
F'b3 beban lentur ijin (kg/mm)	30.75831048
F'b4 beban lentur ijin (kg/mm)	19.32006377
F'b8 beban lentur ijin (kg/mm)	18.69528559
F'b5 beban lentur ijin (kg/mm)	22.31022005
F'b6 beban lentur ijin (kg/mm)	14.01360697
F'b9 beban lentur ijin (kg/mm)	27.12086125
$F'_{H1\&2}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	0.918147601
$F'_{H2\&7}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	2.228500139
$F'_{H3\&4}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	2.776791919
$F'_{H4\&8}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	4.306163468
$F'_{H5\&6}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	9.636775607
$F'_{H6\&9}$ beban permukaan ijin (kg/mm)	11.56413073
$F'_{min1\&2}$	0.918147601
$F'_{min2\&7}$	2.228500139
$F'_{min3\&4}$	2.776791919
$F'_{min4\&8}$	4.306163468
$F'_{min5\&6}$	9.636775607
$F'_{min6\&9}$	11.56413073
$b_1\&b_2$ lebar sisi (mm)	22.04935965
$b_2\&b_7$ lebar sisi (mm)	3.028130342
$b_3\&b_4$ lebar sisi (mm)	21.87189454
$b_4\&b_8$ lebar sisi (mm)	4.701300083
b5&b6 lebar sisi (mm)	18.90685302
b6&b9 lebar sisi (mm)	5.251903617
b1&b2 lebar sisi (mm)	23
b2&b7 lebar sisi (mm)	23
6<=b1/m<=10	7.666666667
6<=b2/m<=10	7.666666667
d01/b1>=1,3333	2.608695652
d02/b2>=1,3333	1.304347826

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan Poros

Bahan Poros	S30C
σ_b teg.tarik poros (kg/mm2)	48
Sf1	6
Sf2	1.3
Kt	1.5
Cb	2
σ_{a1} teg.geser ijin poros (kg/mm2)	6.153846154
d_{s1} diameter poros min. (mm)	11.47250297
d_{s2} diameter poros min. (mm)	6.313561693
d_{s3} diameter poros min. (mm)	16.54621247
d_{s4} diameter poros min. (mm)	9.105731639
d_{s5} diameter poros min. (mm)	23.86376783
d_{s6} diameter poros min. (mm)	13.13273754
d_{s1} diameter poros 1 yg dipilih (mm)	12
d_{s2} diameter poros 2 yg dipilih (mm)	10
d_{s3} diameter poros 3 yg dipilih (mm)	18
d_{s4} diameter poros 4 yg dipilih (mm)	10
d_{s5} diameter poros 5 yg dipilih (mm)	24
d_{s6} diameter poros 6 yg dipilih (mm)	15

Pemilihan Bantalan Luncur

P_{a2} tekanan bantalan 2 ijin(kg/mm^2)	1,78
P_{a4} tekanan bantalan 4 ijin(kg/mm^2)	1,78
P_{a6} tekanan bantalan 6 ijin(kg/mm^2)	2,35
Bantalan 2	Perunggu
Bantalan 4	Perunggu
Bantalan 6	Perunggu timah hitam

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV

ANALISIS STRUKTUR ROBOT FS30L

Kekuatan struktur sebuah robot sangat menentukan kehandalan robot tersebut untuk melakukan berbagai pekerjaan, karena meskipun sebuah robot memiliki sumber tenaga besar dan sistem transmisi yang baik jika tidak didukung oleh desain struktur yang baik robot tersebut tidak akan mampu bekerja secara efisien, efektif dan akurat. Dengan banyaknya kompetitor di dunia industri robot dewasa ini, desain struktur sebuah robot merupakan salah satu faktor penting apakah sebuah produsen robot mampu bersaing. Para produsen robot dewasa ini saling bersaing untuk menciptakan robot dengan *work envelopes* yang luas namun dengan berat yang seringan mungkin untuk dapat digerakkan dengan sumber tenaga seperti motor listrik, hidrolik maupun pneumatik yang sekecil mungkin. Meskipun para perancang robot berusaha membuat robot dengan berat dan dimensi sekecil mungkin, faktor kekuatan struktur sangatlah diperhatikan karena sangat berpengaruh terhadap umur, ketelitian, dan kemampuan menahan beban sebuah robot.

Faktor yang dijadikan bahan pertimbangan dalam hal mendesain sebuah struktur dari robot adalah bahan yang digunakan, pengaruh lingkungan operasional seperti ; suhu kerja, kelembaban, ketahanan terhadap api, kotoran, minyak, dan sebagainya.

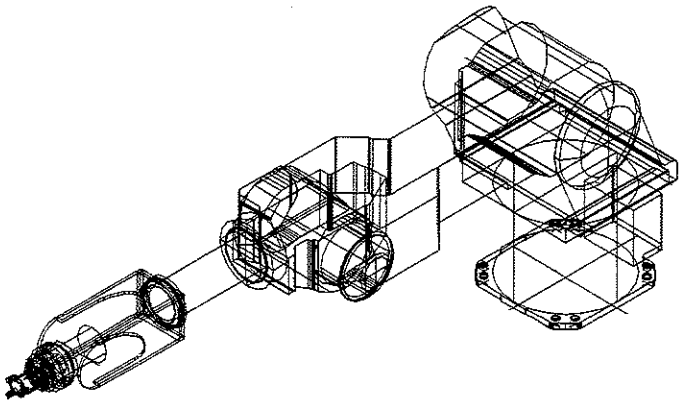
Untuk jenis robot *material handling*, pemilihan bahan yang dipakai ditentukan dari berbagai aspek seperti, beban *payload*, jangkauan maksimum, serta kecepatan dan percepatan robot dalam bergerak menentukan kualitas kerja robot. Untuk robot dengan beban *payload* kecil sampai menengah dapat menggunakan bahan yang ringan namun cukup kuat seperti paduan Alumunium yang telah mengalami pengerasan kulit.

Untuk robot Kawasaki FS30L penulis menggunakan bahan paduan Alumunium 2014-T4 komposisi Al-Cu-Mg, dengan penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan[21]. Paduan Alumunium telah dikenal sejak dulu sebagai bahan yang kuat dan ringan sehingga sering digunakan untuk bahan pembuatan pesawat terbang.

[21] Surdia Tata, Saito Shinroku, Pengetahuan Bahan Teknik, PT. Pradnya Paramita Jakarta, 1992 hal. 136

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Desain struktur robot Kawasaki FS30L seperti pada umumnya robot-robot lain di industri, menggunakan sistem *monococue,* yakni bodi robot berfungsi sebagai rangka yang akan menahan beban tiap *link*-nya.



Gambar IV.1. Posisi Robot untuk Momen Maksimum

Pada masing-masing *link* akan mengalami gaya geser, momen lengkung, momen puntir, gaya tekan/tarik sesuai dengan keadaan dan posisi geraknya. Seperti terlihat pada hasil perhitungan Bab sebelumnya momen torsi terjadi pada saat lengan robot berada pada posisi jangkauan terjauh horizontal dan pada posisi ini dijadikan acuan untuk merancang robot, dimulai dari *link* 5 sampai pada *base* dengan pertimbangan bahwa berat *link* dan beban *link* merupakan beban bagi *link* sebelumnya.

IV.1. Kekuatan Struktur Link-5

Ditentukan terlebih dahulu parameter bahan struktur, dimensi umum *link*-5 dan reaksi yang terjadi. Untuk *Link*-5 sebagai berikut :

Bahan *Link*-5 menggunakan paduan Alumunium 2014 T 4

Kekuatan tarik, $\sigma_T = 49{,}0$ kgf/mm^2

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kekuatan geser, $\tau_G = 29{,}5$ kgf/mm^2

Angka keamanan, n = 2

Kekuatan tarik yang diijinkan, $\sigma_{Ta} = \frac{\sigma_T}{n} = 24{,}5$ kgf/mm^2

Kekuatan geser yang diijinkan, $\tau_{Ga} = \frac{\tau_G}{n} = 1{,}75$ kgf/mm^2

Pada posisi lengan robot horizontal (posisi 6), momen maksimum terjadi pada *joint* 5 yang berasal dari berat *link*-5, *link*-6, *gripper* dan material. Untuk memudahkan dalam perhitungan kita asumsikan *link*-5 berbentuk lurus dan penampang berbentuk *hollow circle* dengan mengambil diameter terkecil dari *link*.

F_4 = berat material = 1 kg

F_3 = berat gripper = 1,735 kg

F_2 = berat link-6 = 0,167 kg

F_1 = berat link-5 = 2,324 kg

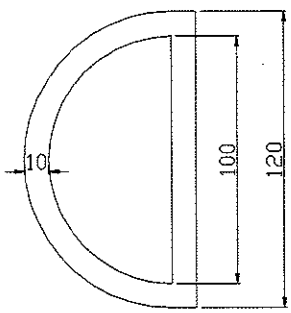
M_5 = momen joint 5 = 759,72 x 3 = 2279,16 kg.mm

R_5 = reaksi tumpuan joint 5 = 5,226 kg

r_0 = 60 mm (jari-jari lingkaran luar)

r_I = 50 mm (jari-jari lingkaran dalam)

c = 50 + 5 = 55 mm (sumbu netral)



Gambar IV.2. Penampang link 5

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Momen Inersia , $I = \frac{\pi.(r_0^4 - r_1^4)}{4} = 5{,}27.10^6 \text{ mm}^4$

Karena penampang berbentuk setengah lingkaran maka momen inersia,

$I = 5{,}27.10^6/2 = 2{,}635.10^6 \text{ mm}^4$

Tegangan lengkung pada link 5 (tarik/tekan sejajar sumbu), σ_5

$$\sigma_{L5} = \frac{M_5.9{,}807.c}{I} = 0{,}466 \text{ kgf/mm}^2$$

$\sigma_{L5} << \sigma_{Ta}$, sehingga struktur aman terhadap momen lengkung.

Reaksi geseran maksimum terjadi antara F1 dan R5.

Luas penampang, $A = \frac{\pi.(r_0^2 - r_i^2)}{2} + 2r_i.10 = 2727 \text{ mm}^2$

Tegangan geser, $\tau_{G5} = \frac{R_5.9{,}807}{A} = 0{,}0188 \text{ kgf/mm}^2$

$\tau_{G5} << \tau_{ga}$, sehingga struktur aman terhadap reaksi geseran.

IV.2. Kekuatan Struktur Link-4

Link-4 tersusun menjadi 2 bagian utama yang melakukan gerak rotasi dengan sumbu putar sejajar dengan panjang lengan. Kedua bagian tersebut terbuat dari bahan yang sama yakni Alumunium paduan 2014 T 4

Kekuatan tarik, $\sigma_T = 49{,}0 \text{ kgf/mm}^2$

Kekuatan geser, $\tau_G = 29{,}5 \text{ kgf/mm}^2$

Angka keamanan, n = 2

Kekuatan tarik yang diijinkan, $\sigma_{Ta} = \frac{\sigma_T}{n} = 24{,}5 \text{ kgf/mm}^2$

Kekuatan geser yang diijinkan, $\tau_{Ga} = \frac{\tau_G}{n} = 1{,}75 \text{ kgf/mm}^2$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

F_6 = berat material = 1 kg

F_5 = berat gripper = 1,735 kg

F_4 = berat link-6 = 0,167 kg

F_3 = berat link-5 = 2,324 kg

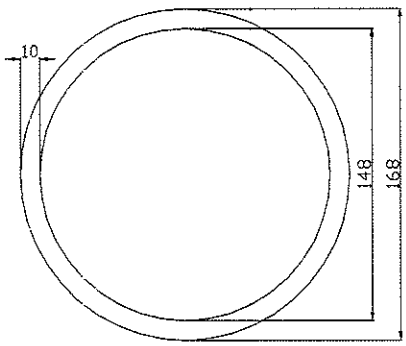
F_2 = berat link-4 (bagian II) = 0,167 kg

F_1 = berat link-4 (bagian I) = 2,324 kg

M_4 = momen joint 4 = 4875 x 3 = 14625 kg.mm

R_4 = reaksi tumpuan joint 4 = 27,529 kg

- Bagian pertama (I)diasumsikan berbentuk silinder berlubang dengan ;



Gambar IV.3. Penampang link-4(bagian I)

Jari-jari lingkaran luar,r_0 = 84

Jari-jari lingkaran dalam, r_I = 74

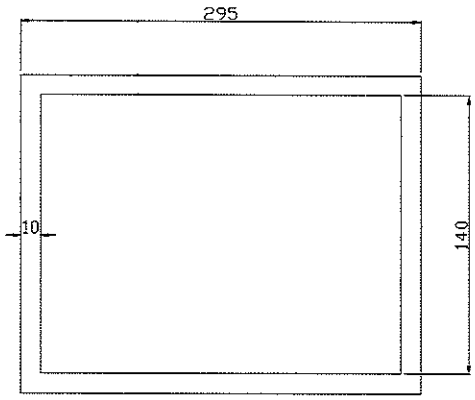
Sumbu netral, c = 79

Momen Inersia , $I_1 = \frac{\pi.\left(r_0^4 - r_1^4\right)}{4} = 1{,}56.10^7 \ \text{mm}^4$

Luas penampang, $A = \frac{\pi.\left(r_0^2 - r_i^2\right)}{2} = 4963{,}72 \ \text{mm}^2$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Bagian kedua (II) diasumsikan berbentuk balok berlubang dengan ;



Gambar IV.4. Penampang link-4(bagian II)

Lebar penampang, b = 295 mm

Tinggi penampang, h = 160 mm

t = 10 mm

Sumbu netral, c = h/2 = 80 mm

Luas penampang, A = 8700 mm^2

Momen inersia, $I_2 = \frac{\left(b.h^3 - (b-t)(h-t)^3\right)}{12} = 2{,}05.10^7 \ mm^3$

Momen inersia total, $I = I_1 + I_2 = 3{,}61.10^7 \ mm^3$

Tegangan lengkung pada link 4 (tarik/tekan sejajar sumbu), σ_4

$$\sigma_{L4} = \frac{M_4 . 9{,}807 . c}{I} = 0{,}314 \ kgf/mm^2$$

$\sigma_{L4} << \sigma_{Ta}$, sehingga struktur aman terhadap momen lengkung.

Tegangan geser, $\tau_G = \frac{R_4 . 9{,}807}{A} = 0{,}054 \ kgf/mm^2$

$\tau_{G4} << \tau_{ga}$, sehingga struktur aman terhadap reaksi geseran.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.3. Kekuatan struktur Link-3

Pada *Link* 3 terdapat 2 buah transmisi dan 2 buah motor listrik yang masing-masing menggerakkan *link* 4 dan *link* 3 itu sendiri. Dengan adanya kedua motor dan transmisi tersebut maka dimensi *link* 3 relatif lebih besar.

Link 3 terbuat dari bahan yang sama yakni Alumunium paduan 2014 T 4,

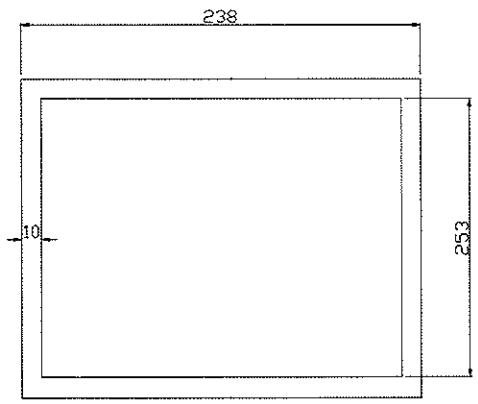
Kekuatan tarik, $\sigma_T = 49{,}0$ kgf/mm^2

Kekuatan geser, $\tau_G = 29{,}5$ kgf/mm^2

Angka keamanan, $n = 2$

Kekuatan tarik yang diijinkan, $\sigma_{Ta} = \frac{\sigma_T}{n} = 24{,}5$ kgf/mm^2

Kekuatan geser yang diijinkan, $\tau_{Ga} = \frac{\tau_G}{n} = 1{,}75$ kgf/mm^2



Gambar IV.5. Penampang Link-3

Diasumsikan penampang *link*-3 berbentuk balok berlubang,

Lebar penampang, $b = 238$ mm

Tinggi penampang, $h = 273$ mm

$t = 10$ mm

Sumbu netral, $c = h/2 = 136{,}5$ mm

Luas penampang, $A = 9820$ mm^2

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Momen inersia, $I_2 = \frac{\left(bh^3 - (b-t)(h-t)^3\right)}{12} = 5{,}79.10^7 \text{ mm}^3$

F_7 = berat material = 1 kg

F_6 = berat gripper = 1,735 kg

F_5 = berat link-6 = 0,167 kg

F_4 = berat link-5 = 2,324 kg

F_3 = berat link-4 (bagian II) = 0,167 kg

F_2 = berat link-4 (bagian I) = 2,324 kg

F_1 = berat link-3 = 61,257 kg

M_3 = momen joint 3 = 2115 x 3 = 6345 kg.mm

R_3 = reaksi tumpuan joint 3 = 88,786 kg

Tegangan lengkung pada link 3 (tarik/tekan sejajar sumbu), σ_3

$$\sigma_{L3} = \frac{M_3 . 9{,}807 . c}{I} = 0{,}147 \text{ kgf/mm}^2$$

$\sigma_{L3} << \sigma_{Ta}$, sehingga struktur aman terhadap momen lengkung.

Tegangan geser, $\tau_G = \frac{R_3 . 9{,}807}{A} = 0{,}089 \text{ kgf/mm}^2$

$\tau_{G3} << \tau_{ga}$, sehingga struktur aman terhadap reaksi geseran.

IV.4. Kekuatan struktur Link-2

Link 2 menggunakan bahan yang sama dengan link sebelumnya yakni paduan Alumunium 2014 T 4 ;

Kekuatan tarik, $\sigma_T = 49{,}0 \text{ kgf/mm}^2$

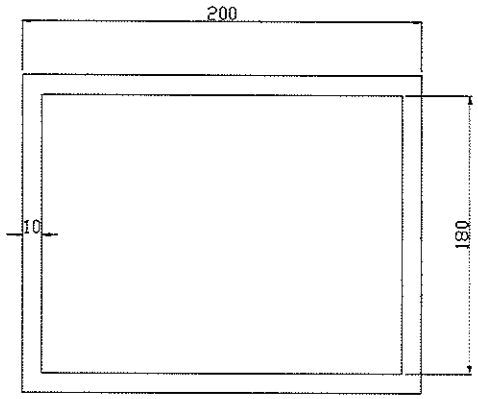
Kekuatan geser, $\tau_G = 29{,}5 \text{ kgf/mm}^2$

Angka keamanan, n = 2

Kekuatan tarik yang diijinkan, $\sigma_{Ta} = \frac{\sigma_T}{n} = 24{,}5 \text{ kgf/mm}^2$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kekuatan geser yang diijinkan, $\tau_{Ga} = \frac{\tau_G}{n} = 1{,}75 \text{ kgf/mm}^2$



Gambar IV.6. Penampang Link-2

Diasumsikan bentuk *Link* 2 adalah balok berlubang diambil ukuran terkecil

Lebar penampang, b = 200 mm

Tinggi penampang, h = 200 mm

t = 10 mm

Sumbu netral, c = h/2 = 100 mm

Luas penampang, A = 7600 mm^2

Momen inersia, $I = \frac{\left(b.h^3 - (b-t)(h-t)^3\right)}{12} = 2{,}47.10^7 \text{ mm}^3$

F_8 = berat material = 1 kg

F_7 = berat gripper = 1,735 kg

F_6 = berat link-6 = 0,167 kg

F_5 = berat link-5 = 2,324 kg

F_4 = berat link-4 (bagian II) = 0,167 kg

F_3 = berat link-4 (bagian I) = 2,324 kg

F_2 = berat link-3 = 61,257 kg

F_1 = berat link-2 = 150,285 kg

M_2 = momen joint 3 = 5206,25 x 3 = 15618,75 kg.mm

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

R_2 = reaksi tumpuan joint 2 = 239,071 kg

Tegangan lengkung pada link 2 (tarik/tekan sejajar sumbu), σ_2

$$\sigma_{L2} = \frac{M_2 . 9{,}807 . c}{I} = 0{,}62 \text{ kgf/mm}^2$$

$\sigma_{L2} << \sigma_{Ta}$, sehingga struktur aman terhadap momen lengkung.

Tegangan geser, $\tau_G = \frac{R_2 . 9{,}807}{A} = 0{,}308 \text{ kgf/mm}^2$

$\tau_{G2} << \tau_{ga}$, sehingga struktur aman terhadap reaksi geseran

IV.5. Kekuatan struktur Link-1

Untuk *link* 1 bahan yang dipergunakan sama dengan sebelumnya yakni paduan Alumunium 2014 T 4;

Kekuatan tarik, $\sigma_T = 49{,}0 \text{ kgf/mm}^2$

Kekuatan geser, $\tau_G = 29{,}5 \text{ kgf/mm}^2$

Angka keamanan, n = 2

Kekuatan tarik yang diijinkan, $\sigma_{Ta} = \frac{\sigma_T}{n} = 24{,}5 \text{ kgf/mm}^2$

Kekuatan geser yang diijinkan, $\tau_{Ga} = \frac{\tau_G}{n} = 1{,}75 \text{ kgf/mm}^2$

Gaya geser maksimum yang dialami *joint* 1 terjadi ketika posisi lengan robot lurus vertikal sehingga gaya gesernya merupakan penjumlahan dari berat material, *gripper*, *link* 6, *link* 5, *link* 4, *link* 3 serta *link* 2.

F_8 = berat material = 1 kg

F_7 = berat gripper = 1,735 kg

F_6 = berat link-6 = 0,167 kg

F_5 = berat link-5 = 2,324 kg

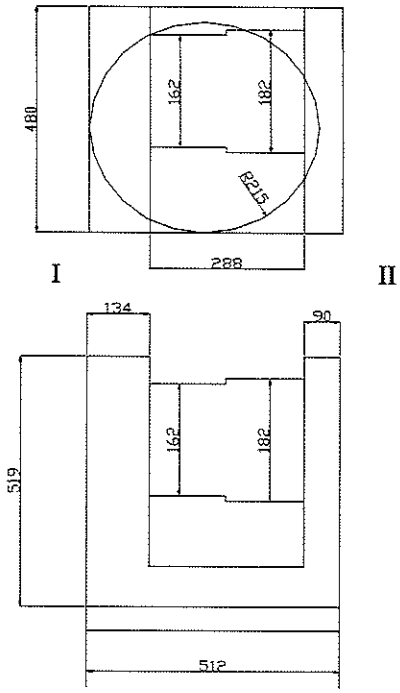
F_4 = berat link-4 (bagian II) = 0,167 kg

F_3 = berat link-4 (bagian I) = 2,324 kg

F_2 = berat link-3 = 61,257 kg

F_1 = berat link-2 = 150,285 kg

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar IV.7. penampang link-1

Gaya yang bekerja pada *joint* 1 adalah gaya geser ganda

Luas penampang, AI = $\pi/4.\ (162)^2 = 20611,99\ mm^2$

Luas penampang, AII = $\pi/4.\ (182)^2 = 26015,53\ mm^2$

Gaya geser maksimum, $F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 = 239,071$ kg

Tegangan geser yang terjadi pada *joint* 1 adalah,

$$\tau_G = \frac{F.9,807}{AI + AII} = 0,05 \text{ kgf/mm}^2$$

Tegangan geser yang dialami masing-masing bagian I dan bagian II adalah,

$$\tau_{GI} = \frac{AII.\tau_G}{AI + AII} = 0,028 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\tau_{GII} = \frac{AI.\tau_G}{AI + AII} = 0,022 \text{ kgf/mm}^2$$

sehingga dari perhitungan diatas ($\tau_{GI,II} << \tau_{Ga}$) disimpulkan bahwa struktur aman terhadap tegangan geser maksimum.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.6. Perhitungan Defleksi tiap Link

Perhitungan defleksi dari struktur lengan robot dilakukan guna mengetahui tingkat ketelitian dari sebuah robot, meskipun penyimpangan ini dalam hal tertentu dapat diatasi dengan adanya sistem sensor robot itu sendiri.

Untuk menghitung defleksi lengan robot dapat digunakan persamaan momen area, dengan terlebih dulu mengetahui gaya-gaya yang bkerja pada lengan robot, yakni :

F_8 = berat material = 1 kg

F_7 = berat gripper = 1,735 kg

F_6 = berat link-6 = 0,167 kg

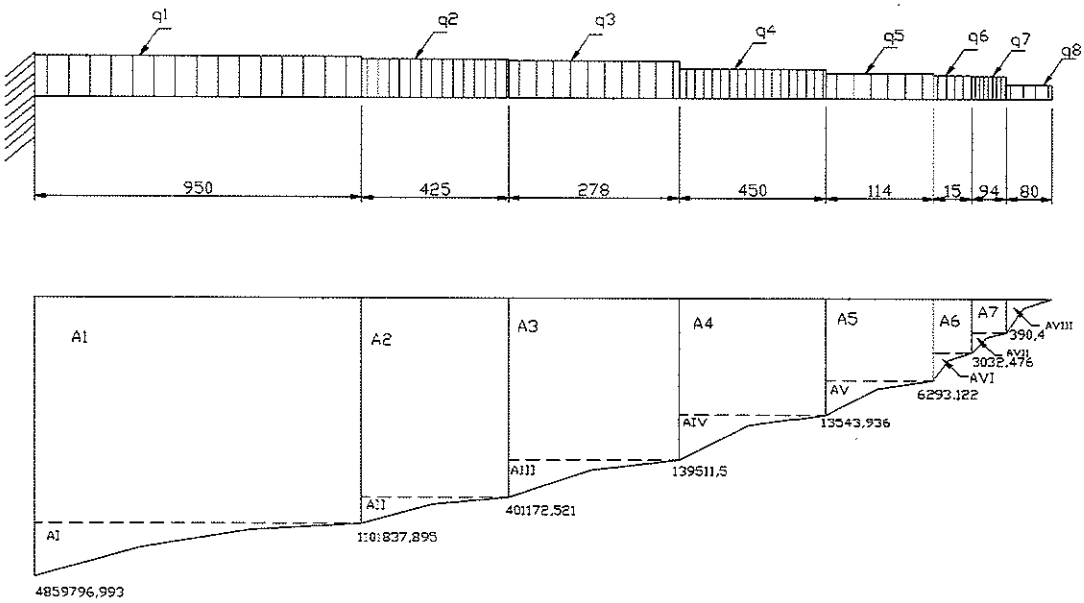
F_5 = berat link-5 = 2,324 kg

F_4 = berat link-4 (bagian II) = 0,167 kg

F_3 = berat link-4 (bagian I) = 2,324 kg

F_2 = berat link-3 = 61,257 kg

F_1 = berat link-2 = 150,285 kg



Gambar IV.8. Diagram Gaya Beban pada Lengan Robot

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
UNIVERSITAS GADJAH MADA | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Modulus Elastisitas bahan Paduan Aluminium 2014 T4,E

E = 73 Gpa

Momen Inersia batang didapat dari perhitungan sebelumnya, dibantu dengan menggunakan AutoCad untuk mencari momen inersia Gripper.

$I_8 = 1{,}25 \times 10^5$ mm^4 $q_8 = 0{,}122$

$I_7 = 2 \times 10^8$ mm^4 $q_7 = 0{,}18$

$I_6 = 4{,}9 \times 10^6$ mm^4 $q_6 = 0{,}11$

$I_5 = 2{,}635 \times 10^6$ mm^4 $q_5 = 0{,}2$

$I_4 = 2{,}05 \times 10^7$ mm^4 $q_4 = 0{,}00364$

$I_3 = 1{,}56 \times 10^7$ mm^4 $q_3 = 0{,}082$

$I_2 = 5{,}79 \times 10^7$ mm^4 $q_2 = 1{,}41$

$I_1 = 2{,}47 \times 10^7$ mm^4 $q_1 = 1{,}55$

Dengan menggunakan teori *moment area*,

Luasan momen/EI_i , A_i

Titik pusat luasan momen, Xi (diukur dari ujung material)

$A_1 = 5{,}83 \times 10^{-4}$ Nmm^2 $X_1 = 1931$

$A_2 = 4{,}02 \times 10^{-5}$ Nmm^2 $X_2 = 1243{,}5$

$A_3 = 3{,}4 \times 10^{-5}$ Nmm^2 $X_3 = 892$

$A_4 = 4{,}09 \times 10^{-6}$ Nmm^2 $X_4 = 528$

$A_5 = 3{,}73 \times 10^{-6}$ Nmm^2 $X_5 = 246$

$A_6 = 1{,}27 \times 10^{-7}$ Nmm^2 $X_6 = 181{,}5$

$A_7 = 2 \times 10^{-9}$ Nmm^2 $X_7 = 127$

$A_I = 6{,}61 \times 10^{-4}$ Nmm^2 $X_I = 2168{,}5$

$A_{II} = 2{,}35 \times 10^{-5}$ Nmm^2 $X_{II} = 1349{,}75$

$A_{III} = 2{,}12 \times 10^{-5}$ Nmm^2 $X_{III} = 961{,}5$

$A_{IV} = 1{,}27 \times 10^{-5}$ Nmm^2 $X_{IV} = 640{,}5$

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS
GADJAH MADA

$A_{IV} = 1,27 \times 10^{-5}\ Nmm^2$ $X_{IV} = 840,5$

$A_V = 1,43 \times 10^{-6}\ Nmm^2$ $X_V = 274,5$

$A_{VI} = 4,5 \times 10^{-8}\ Nmm^2$ $X_{VI} = 185,25$

$A_{VII} = 5 \times 10^{-9}\ Nmm^2$ $X_{VII} = 150,5$

$A_{VIII} = 1,14 \times 10^{-6}\ Nmm^2$ $X_{VIII} = 60$

$$X_{tot} = \frac{X_1A_1 + X_2A_2 + ... + X_7A_7 + X_IA_I + X_{II}A_{II} + ... + X_{VIII}A_{VIII}}{A_1 + A_2 + ... + A_7 + A_I + A_{III} + ... + A_{VIII}}$$

$$X_{tot} = \frac{2,7}{1,39 \cdot 10^{-3}} = 1942,21\ mm$$

sehingga, defleksi yang terjadi pada ujung material, δ_{max}

$\delta_{max} = A_{tot} \times X_{tot}$

$= 1,39 \cdot 10^{-3} \times 1942,21\ mm$

$= 2,7\ mm \approx 0,0027\ m$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V

OPERASIONAL DAN PERAWATAN ROBOT FS30L

Perawatan dalam suatu sistem robot merupakan hal mutlak yang tidak mungkin dihindari meskipun hal ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Beberapa metode perawatan yang ada di industri sekarang ini berkembang cukup cepat, seiring dengan banyaknya metode tes kemampuan komponen mesin dan penelitian-penelitian tentang bahan.

Industri Robot Kawasaki melakukan *preventive maintenance* untuk produk-produknya, meskipun cara ini memerlukan biaya yang besar.

Dalam bab ini penulis akan memberikan informasi tentang perawatan robot, khususnya untuk komponen mekanik Kawasaki FS30L. Informasi tersebut adalah tentang pelumasan dan jadwal pengecekan dan perawatan robot FS30L secara keseluruhan yang dianjurkan oleh produsen robot ini, yakni Kawasaki.

Perawatan robot ini dimaksudkan untuk memastikan kemampuan kerja robot dan menjaga umur komponen-komponennya agar bertahan lebih lama. Jika prosedur perawatan tersebut tidak dilakukan, maka umur komponen-komponen robot tersebut akan menjadi pendek dan membutuhkan *down time* yang sebenarnya dapat dihindari.

Perawatan harus dilakukan dalam interval 5000 jam, dengan *overhauls* secara menyeluruh dalam 20.000 jam. *Hour meter* yang ada pada kontroller digunakan untuk memonitor waktu interval perawatan tersebut, waktu yang tertera pada *hour meter* merupakan total waktu kerja robot (motor power ON).

V.1. Jadwal Pengecekan

Jadwal pengecekan secara umum menggambarkan pengecekan-pengecekan dan perawatan yang diperlukan oleh robot, seperti terlihat dalam tabel V.1. dibawah ini.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel V.1. Preventative Maintenance Schedule[22]

Items \ Maintenance Period	Daily Checks	5,000 Hours	10,000 Hours	15,000 Hours	20,000 Hours
1. Flaws on Robot	*	*	*	*	
2. Check Cables and Hoses	*	*	*	*	
3. Movement and Abnormal Noises	*	*	*	*	
4. Positioning Accuracy of Robot	*	*	*	*	
5. Replenish Grease in Gears and Cyclo Reduction Units		*		*	
6. Replace Grease in Gears and Cyclo Reduction Units			*		
7. Check Timing Belts			*		
8. Check Machine Cables			*		
9. Check Bolt Tightness			*		
10. Complete Overhaul					*

[22] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.1.1 Pengecekan perhari

Pengecekan-pengecekan tertentu perlu dilakukan setiap harinya guna mendukung *preventive maintenance* yang terlihat dalam tabel V.2. dibawah ini :

Tabel V.2. Daily Maintenance Checks[23]

Item to Check	Points to Inspect	Required Maintenance
1. Robot Damage	1. Check robot for any obvious mechanical damage caused by interference with fixtures, etc. Carefully inspect the wrist.	Repair or replace as necessary.
	2. Inspect all covers on robot for mounting integrity, and any damage caused by interference.	Secure all covers, and repair or replace as needed. Remove damaged cover(s) and inspect for any concealed damage to cables, hoses, encoders, or motors.
2. Cables	1. Check both electrical harnesses for rubbing, clamps, chafing, or abrasion against the mechanical unit. Also check for kinks, twists, or irregular bends in the electrical harnesses.	Readjust or replace harness if the defect warrants replacement.
	2. Check rubber hoses and air lines for defects.	Readjust clamps, or repair or replace rubber hoses or air lines.
3. Robot Motion	1. Does each axis move smoothly?	Check the drive system for proper lubrication. Refer to 5.2.2 for specific instructions.
	2. Does any axis make abnormal noise or system vibration?	Check the drive system.
	3. Does robot overshoot taught point locations?	Check the drive system.
	4. Do servo motors generate an unusually large amount of heat? Normal surface temperature should be lower than 80° C (176° F).	Check for binding or dragging.
4. Position Accuracy	1. Compare new position with original position. When robot motion stops, check for repeatability.	Check servo drive for errors. Check and adjust backlash if necessary.

[23] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2020 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.1.2 Pengecekan tambahan per 5000 jam (satu tahun)

Pengecekan per 5000 jam ini diperuntukkan untuk dilakukan setelah 5000 jam dan 15000 jam operasional, seperti terlihat pada tabel V.3. di bawah ini :

Tabel V. 3. 5,000 Hour Maintenance Checks[24]

Item to Check	Points to Inspect	Required Maintenance
1. Mechanical Unit	1. Component mounting screws	Check torque and integrity
	2. Connectors	Check torque and integrity
2. R-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 125 cc of Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.2.1.
3. O-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 125 cc of Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.2.2.
4. D-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 45 cc of Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.2.3.
6. S-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 150 cc of Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.2.4.
7. B-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 10 cc of Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.2.5.
8. T-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 10 cc of Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.2.6.
	2. Bevel gears	Add 20 cc of Shell Sun Light Grease No. 1. Refer to 5.2.2.7.

[24] www.kawasakirobot.com

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.1.3 Pengecekan tambahan per 10.000 jam (2 tahun)

Pengecekan tambahan ini dilakukan setiap 10.000 jam, seperti terlihat pada tabel V.4. dibawah ini.

Tabel V. 4. 10,000 Hour Maintenance Checks[25]

Item to Check	Points to Inspect	Required Maintenance
1. Mechanical Unit	1. Component mounting screws	Check torque and integrity.
	2. Connectors	Check torque and integrity.
	3. Timing Belts	Check for proper tension and deflection. Refer to 5.2.4.
2. R-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 1250 cc Moly White RE No. 00 Refer to 5.2.3.1.
3. O-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 1250 cc Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.3.2.
4. B-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 450 cc Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.3.3.
6. S-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 1000 cc Moly White RE No. 00. Refer to 5.2.3.4.
7. B-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 100 cc Moly White RE No. 00. Refer ro 5.2.3.5.
8. T-axis	1. Cyclo reduction gear	Add 100 cc Moly White RE No. 00. Refer ro 5.2.3.6.
	2. Bevel gears	Add 20 cc of Shell Sun Light Grease No. 1. Refer to 5.2.3.7.

[25] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.2. Pelumasan

Pelumasan merupakan proses perawatan untuk bagian mekanik robot yang mengalami gesekan dengan bagian lain terutama untuk bantalan. Pelumas yang digunakan Kawasaki robot FS30L adalah tercantum dalam tabel V.5. di bawah ini.

Tabel V.5. FS30L lubricants[26]

KRI Part Number	Part Name	Remarks	Quantity
60499-1012	Grease	Moly White RE No. 00	1.0 kg
60499-1013	Grease	Shell Sun Light Grease No. 1	1.0 kg

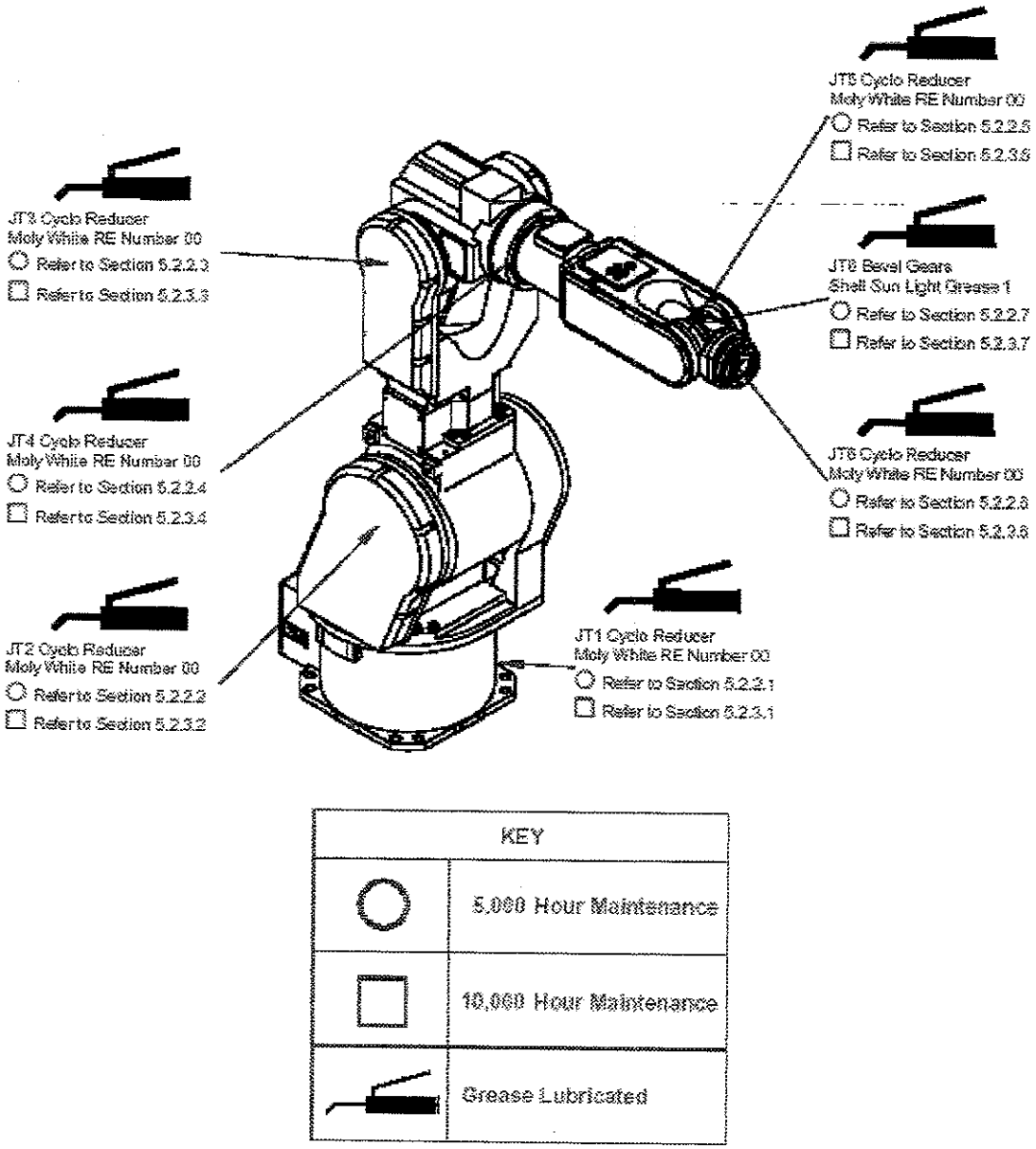
Note: 1 kg = 2.205 lb

[26] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.2.1 Application Chart pelumasan

Gambar V.1. memperlihatkan tempat, frekuensi, dan tipe pelumas yang digunakan pada berbagai lokasi dari bagian mekanik robot.

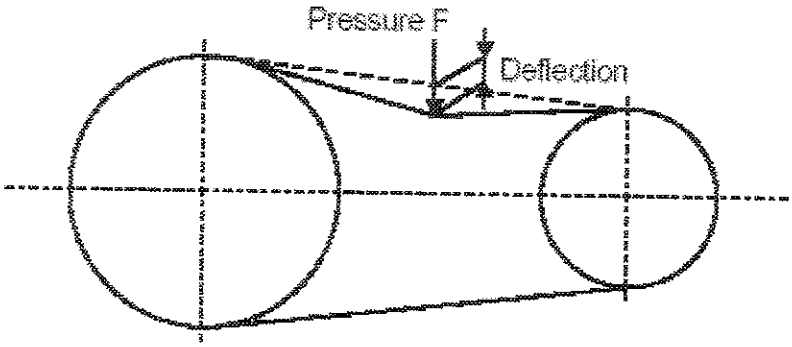


Gambar V. 1. Lubricant Application Chart[27]

[27] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.2. 2. Pengecekan Tegangan Timing Belt



FS30 - FS45 Belt Tension Specifications		
Axis	JT5	JT6
Force F	9.5 – 12.0 N 0.97 – 1.22 kg-f 2.14 – 2.70 lb-f	9.5 – 12.0 N 0.97 – 1.22 kg-f 2.14 – 2.70 lb-f
Deflection δ	4.9 mm 0.19 in	3.3 mm 0.13 in

Gambar V.2. Belt Tension Spesification[28]

V. 2. 3. Pengencangan Baut

Periksa semua baut untuk kekencangan yang sesuai. Beberapa hal yang harus diperiksa adalah sebagai berikut :

- Servo motor *mounting bolts.*
- *Motor bracket mounting bolts.*
- *Reduction unit mounting bolts.*
- *Connecting bolts* antara *upper arms* 1 dan 2.
- *Tool mounting bolts.*
- *Base mounting bolts.*

[28] www.kawasakirobot.com

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lihat tabel V.6 untuk harga torsi yang sesuai.

Maximum Bolt Tightening Torque Values					
M3	1.47 N-m	15 kg-cm		13.0 in-lb	1.08 ft-lb
M4	3.43 N-m	35 kg-cm		30.4 in-lb	2.53 ft-lb
M5	6.86 N-m	70 kg-cm		60.7 in-lb	5.06 ft-lb
M6	11.76 N-m	120 kg-cm		104.1in-lb	8.67 ft-lb
M8	29.40 N-m	300 kg-cm	3.0 kg-m		21.7 ft-lb
M10	56.88 N-m	580 kg-cm	5.8 kg-m		42.0 ft-lb
M12	98.00 N-m	1,000 kg-cm	10.0 kg-m		72.3 ft-lb
M14	156.80 N-m	1,600 kg-cm	16.0 kg-m		115.8 ft-lb
M16	235.20 N-m	2,400 kg-cm	24.0 kg-m		173.5 ft-lb
M20	431.20 N-m	4,400 kg-cm	44.0 kg-m		318.3 ft-lb
M24	784.50 N-m	8,000 kg-cm	80.0 kg-m		578.6 ft-lb

Tabel V. 6. Tightening Torque Values[29]

V.3. Overhaul setelah 20.000 jam (4 tahun) waktu operasional

Pada 20.000 jam, unit mekanik harus dibongkar, dibersihkan, diperiksa, dan mengganti bagian-bagian tertentu yang perlu.

[29] www.kawasakirobot.com

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan dalam merancang ulang robot Kawasaki FS30L untuk aplikasi *polishing* berdasarkan data yang diperoleh dari berbagai sumber, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan robot dewasa ini mengalami peningkatan yang sangat cepat seiring dengan meningkatnya kebutuhan konsumen akan produk yang sangat beragam dengan volume yang besar. Fleksibilitas dan keterbukaan robot untuk berhubungan dengan komputer, harga robot serta *software* yang relatif menurun sesuai tuntutan untuk mendukung sistem *fabrikasi*, telah membawa abad ke-21 ini sebagai "*the Age of the Robot*" dan industri otomotif merupakan penggeraknya.

2. Robot Kawasaki FS30L merupakan salah satu robot dari seri-F enam derajat kebebasan dengan kemampuan *payload* sedang, akurasi dan kecepatan yang tinggi untuk *material handling*. Keunggulan robot seri-F adalah kemudahan mengganti lengan robot untuk mendapatkan *work envelopes* yang dibutuhkan. FS30L sangat sesuai dan dapat dipergunakan untuk aplikasi *polishing* pada umumnya yang hanya membutuhkan beban sedang.
3. Perancangan ulang robot Kawasaki FS30L untuk aplikasi *polishing* dilakukan terlebih dahulu perhitungan Kinematika dan Dinamika menggunakan persamaan *Newton Euler*. Dari perhitungan Dinamika didapat torsi maksimum yang dialami tiap-tiap *joint* robot sebagai berikut :

   $\tau_1 = 1291$ N.m

   $\tau_2 = 1183$ N.m

   $\tau_3 = 993{,}572$ N.m

   $\tau_4 = 204{,}78$ N.m

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$\tau_5 = 248,709$ N.m

$\tau_6 = 116,685$ N.m

4. Berdasarkan data yang diperoleh melalui internet, didapat spesifikasi dari motor listrik yang digunakan pada robot FS30L ini, yang dkemudian dijadikan acuan untuk menghitung sistem transmisi berdasarkan perhitungan torsi maksimum pada tiap *joint* sebelumnya.

   Joint 1,2 : AC Brushless Servomotor tipe P80B22450RCX2A

   Joint 3 : AC Brushless Servomotor tipe P60B13200LCX23

   Joint 4,5,6 : AC Brushless Servomotor tipe P50B08100VCXS9

5. Dengan acuan daya motor dan torsi maksimum serta pertimbangan efisiensi ruang, panjang lengan, mekanisme gerak lengan, dapat dirancang sistem transmisi robot sebagai berikut :

   Joint 1 : menggunakan 3 tingkat sistem transmisi *planetary gear* yang menggunakan sebuah *sun gear*, 3 buah *pinion gear*, dan sebuah *ring gear* pada tiap tingkat sistem transmisi.

   Joint 2 : menggunakan 3 tingkat sistem transmisi *planetary gear* yang menggunakan sebuah *sun gear*, 3 buah *pinion gear*, dan sebuah *ring gear* pada tiap tingkat sistem transmisi.

   Joint 3 : menggunakan 3 tingkat sistem transmisi *planetary gear* yang menggunakan sebuah *sun gear*, 3 buah *pinion gear*, dan sebuah *ring gear* pada tiap tingkat sistem transmisi.

   Joint 4 : menggunakan dua buah *spurs gear* dengan rasio 1 dilanjutkan dengan 3 tingkat sistem transmisi *planetary gear* yang menggunakan sebuah *sun gear*, 3 buah *pinion gear*, dan sebuah *ring gear* pada tiap tingkat sistem transmisi.

   Joint 5 : menggunakan sistem transmisi *belt* dan *pulley* dilanjutkan dengan menggunakan 3 tingkat sistem transmisi *planetary gear* yang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menggunakan sebuah *sun gear*, 3 buah *pinion gear*, dan sebuah *ring gear* pada tiap tingkat sistem transmisi.

Joint 6 : menggunakan *belt* dan *Pulley* dilanjutkan dengan dua buah *bevel gear* dengan rasio putaran = 1, kemudian dilanjutkan dengan menggunakan 3 tingkat sistem transmisi *planetary gear* yang menggunakan sebuah *sun gear*, 3 buah *pinion gear*, dan sebuah *ring gear* pada tiap tingkat sistem transmisi.

6. Dari perhitungan kekuatan struktur robot diketahui robot dapat menahan reaksi berupa; tarik/tekan, geser, momen lengkung pada kondisi kritisnya yang bergantung pula pada jenis bahan yang dipilih. Perhitungan defleksi maksimum juga dilakukan untuk mengetahui penyimpangan ujung *gripper* pada kondisi kritisnya, dan didapatkan hasil penyimpangan maksimum pada ujung material sebesar 2,7 mm.

7. Perawatan robot dilakukan untuk memastikan kemampuan kerja robot dan menjaga agar umur komponen-komponen robot menjadi lebih lama serta *down time* dapat dihindari. Perawatan dilakukan tiap hari, tiap 5000 jam, 10000 jam, 15.000 jam dan *overhaul* yang dilakukan pada 20.000 jam. *Hour meter* pada *controller* dijadikan acuan waktu untuk melakukan proses perawatan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

B. Saran

Setelah menyelesaikan perancangan ulang robot Kawasaki FS30L dengan segala keterbatasan yang ada, penyusun memberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk melakukan perancangan ulang yang baik, dengan tujuan untuk membuat sebuah rancangan robot yang optimal, perlu dibuat sebuah metode ilmiah yang komprehensip dan harus selalu dilakukan evaluasi guna mengetahui tingkat kemajuan serta keberhasilan dari penelitian-penelitian yang ada.
2. Untuk membuat sebuah metode ilmiah dan penelitian-penelitian yang bermutu, perlu diadakan studi banding ke berbagai perusahaan yang memiliki Robot industri. Seminar mengenai Robot industri dengan mengundang pakar-pakar dan ahli dalam bidang robot harus dikembangkan guna mengembangkan wawasan dalam bidang robot.
3. Penyusun mengharapkan adanya penelitian yang mengedepankan optimasi pada sistem transmisi guna menyempurnakan perancangan ulang Robot, agar didapat sistem transmisi yang efisien dengan massa yang ringan, bentuk yang kompak.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

Ashby M.F., *Material Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press, 1992.

Ashfahl C.R., *Robots and Manufacturing Automation*, John Willey & Sons Inc.

Beer F.P., Johnston E.R., Jr, *Mechanics of Materials*, SI Metric Edition, 3rd printing, Mc Graw Hill Ryerson Ltd, 1988.

Budynas R.G., *Advanced Strength and Applied Stress Analysis*, McGraw Hill Kogakusha, Ltd.

Dieter G.E., *Mechanical Metallurgy*, 3rd Edition, University of Maryland.

Fu K.S., Gonzales R.C., Lee C.S.G., *Robotics (Control, Sensing, Vision and Intelligence)*, 1988.

Winter H., Niemann G., *Elemen Mesin*, Jilid 1 dan 2, edisi kedua yang direvisi, Penerbit Erlangga, 1992.

Yoran K., *Robotics for Engineer*, Mc. Graw – Hill Inc., Singapore, 1987.

Masterson J.W., Poe E.C., Fardo S.W., *Robotics*, Reston Publishing Company, Inc. Reston, Virginia A Prentice-Hall Company, 1985.

Mair, Gordon M., *Industrial Robotics*, Prentice Hall, 1988.

Mechanical Engineering Gadjah Mada University, *Mekatronika Robot Industri*, 2000.

Mechanical Engineering Gadjah Mada University, *Robot Industri*, Edisi 1,2,dan 3.

Mehta N.K., *Machine Tool Design*, Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1983.

Groover M.P., *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems.*

Rosheim M.E., *Robot Wrist Actuator*, John Wiley & Sons Inc.

Rudenko N., *Mesin Pemindah Bahan*, Penerbit Erlangga, 1992.

Sato. G.T., Hartanto N.S., *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, Cetakan keenam, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Suga K., Sularso, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1983.

Surdia T., Saito S., *Pengetahuan Bahan Teknik*, cetakan kedua, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.

Situs Internet :

1. www.khi.co.jp
2. www.kri-us.com
3. www.rfa-taktos.com
4. www.kawasakirobot.com
5. www2.et.byu.edu/~ered/robotics
   Wright J.R., Journal – *Foundry Management & Technology*, 2000.
   Weimer G., Journal – *Material Handling Management*, Vol 55, 2000.
6. www.deantoni.it
7. www.arobotics.com

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 6.2 Harga modul standar (JIS B 1701–1973)

Seri ke–1	Seri ke–2	Seri ke–3	Seri ke–1	Seri ke–2	Seri ke–3
0,1				3,5	
	0,15		4		3,75
0,2				4,5	
	0,25		5		
0,3				5,5	
	0,35		6		
0,4				7	6,5
	0,45		8		
0,5				9	
	0,55		10		
0,6				11	
	0,7	0,65	12		
	0,75			14	
0,8			16		
	0,9			18	
1			20		
1,25				22	
1,5			25		
	1,75			28	
2			32		
	2,25			36	
2,5			40		
	2,75			45	
3			50		
		3,25			

Tabel 5.1 Faktor koreksi

Mesin yang digerakkan		Penggerak					
		Momen puntir puncak 200%			Momen puntir puncak >200%		
		Motor arus bolak-balik (momen normal, sangkar bajing, sinkron), motor arus searah (lilitan shunt)			Motor arus bolak-balik (momen tinggi, fasa tunggal, lilitan seri), motor arus searah (lilitan kompon, lilitan seri), mesin torak, kopling tak tetap		
		Jumlah jam kerja tiap hari			Jumlah jam kerja tiap hari		
		3–5 jam	8–10 jam	16–24 jam	3–5 jam	8–10 jam	16–24 jam
Variasi beban sangat kecil	Pengaduk zat cair, kipas angin, blower (sampai 7,5 kW) pompa sentrifugal, konveyor tugas ringan	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4
Variasi beban kecil	Konveyor sabuk (pasir, batu bara), pengaduk, kipas angin (lebih dari 7,5 kW), mesin torak, peluncur, mesin perkakas, mesin percetakan.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Variasi beban sedang	Konveyor (ember, sekrup), pompa torak, kompresor, gilingan palu, pengocok, roots-blower, mesin tekstil, mesin kayu	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Variasi beban	Penghancur, gilingan bola atau batang, pengangkat, mesin pabrik karet (rol, kalender)	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Jumlah gigi z	Y	Jumlah gigi z	Y
10	0,201	25	0,339
11	0,226	27	0,349
12	0,245	30	0,358
13	0,261	34	0,371
14	0,276	38	0,383
15	0,289	43	0,396
16	0,295	50	0,408
17	0,302	60	0,421
18	0,308	75	0,434
19	0,314	100	0,446
20	0,320	150	0,459
21	0,327	300	0,471
23	0,333	Batang gigi	0,484

Tabel 6.6 Faktor dinamis f_v

Kecepatan rendah	$v = 0{,}5$–10 m/s	$f_v = \dfrac{3}{3+v}$
Kecepatan sedang	$v = 5$–20 m/s	$f_v = \dfrac{6}{6+v}$
Kecepatan	$v = 20$–50 m/s	$f_v = \dfrac{5{,}5}{5{,}5+\sqrt{v}}$

Tabel 6.8 Faktor tegangan kontak pada bahan roda gigi.

Bahan roda gigi (Kekerasan H_B)		k_H (kg/mm²)	Bahan roda gigi (Kekerasan H_B)		k_H (kg/mm²)
Pinyon	Roda gigi besar		Pinyon	Roda gigi besar	
Baja (150)	Baja (150)	0,027	Baja (400)	Baja (400)	0,311
" (200)	" (150)	0,039	" (500)	" (400)	0,329
" (250)	" (150)	0,053	" (600)	" (400)	0,348
" (200)	" (200)	0,053	" (500)	" (500)	0,389
" (250)	" (200)	0,069	" (600)	" (600)	0,569
" (300)	" (200)	0,086	" (150)	Besi cor	0,039
" (250)	" (250)	0,086	" (200)	"	0,079
" (300)	" (250)	0,107	" (250)	"	0,130
" (350)	" (250)	0,130	" (300)	"	0,139
" (300)	" (300)	0,130	" (150)	Perunggu fosfor	0,041
" (350)	" (300)	0,154	" (200)	"	0,082
" (400)	" (300)	0,168	" (250)	"	0,135
" (350)	" (350)	0,182	Besi cor	Besi cor	0,188
" (400)	" (350)	0,210	Besi cor nikel	Besi cor nikel	0,186
" (500)	" (350)	0,226	Besi cor nikel	Perunggu fosfor	0,155

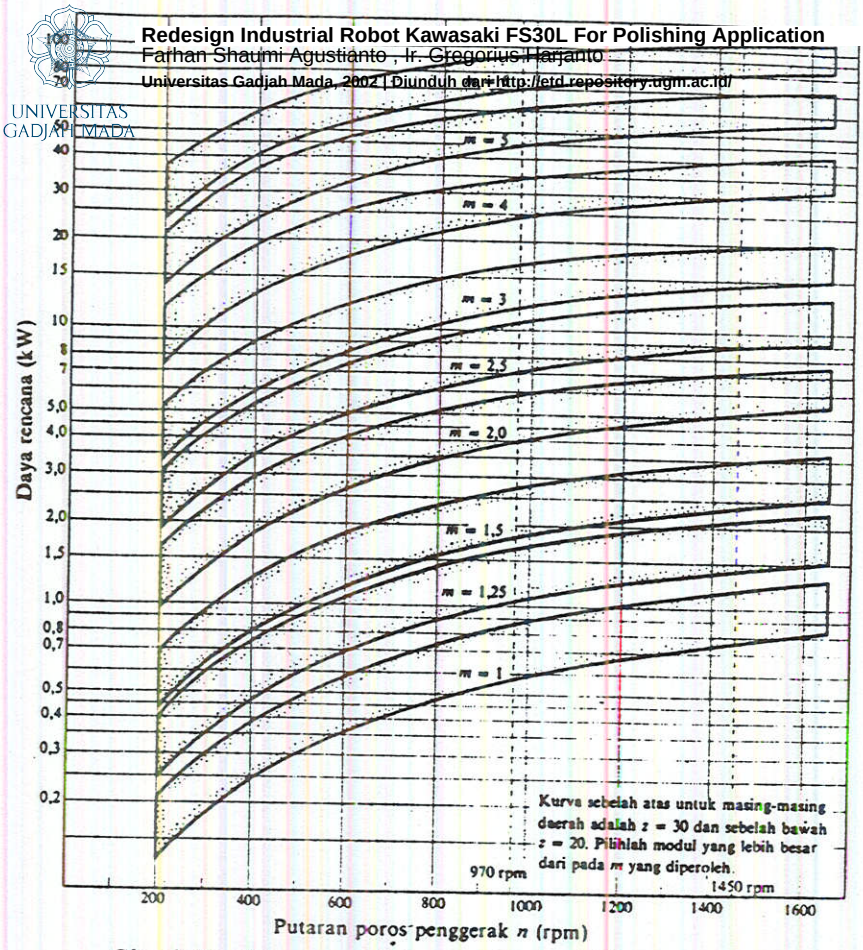
Sudut tekanan $\alpha = 20°$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 6.7 Tegangan lentur yang diizinkan σ_a pada bahan roda gigi.

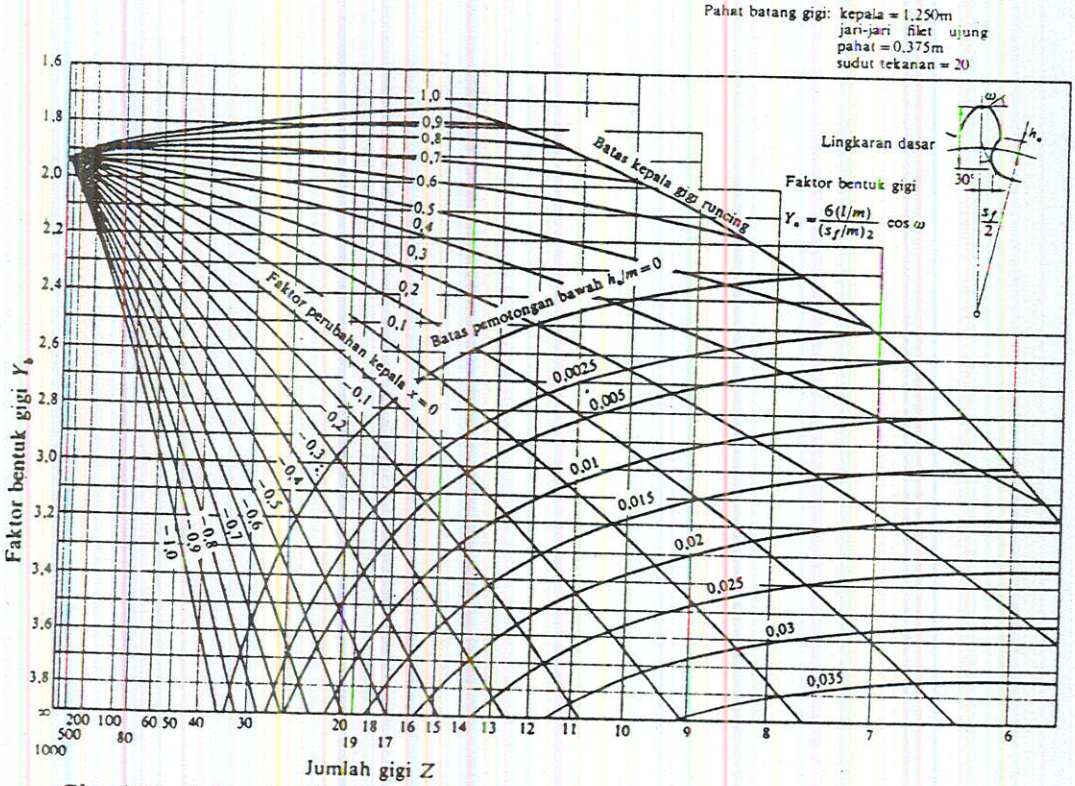
Kelompok bahan	Lambang bahan	Kekuatan tarik σ_B (kg/mm²)	Kekerasan (Brinell) H_B	Tegangan lentur yang diizinkan σ_a (kg/mm²)
Besi cor	FC 15 FC 20 FC 25 FC 30	15 20 25 30	140–160 160–180 180–240 190–240	7 9 11 13
Baja cor	SC 42 SC 46 SC 49	42 46 49	140 160 190	12 19 20
Baja karbon untuk konstruksi mesin	S 25 C S 35 C S 45 C	45 52 58	123–183 149–207 167–229	21 26 30
Baja paduan dengan pengerasan kulit	S 15 CK	50	400 (dicelup dingin dalam minyak)	30
	SNC 21 SNC 22	80 100	600 (dicelup dingin dalam air)	35–40 40–55
Baja khrom nikel	SNC 1 SNC 2 SNC 3	75 85 95	212–255 248–302 269–321	35–40 40–60 40–60
Perunggu Logam delta Perunggu fosfor (coran) Perunggu nikel (coran)		18 35–60 19–30 64–90	85 – 80–100 180–260	5 10–20 5–7 20–30
Damar phenol, dll.				3 5

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gbr. 6.24 Diagram pemilihan modul roda gigi lurus (lenturan).

($z_v = 20$, $h \approx 10$ m)



Gbr. 6.26 Faktor bentuk gigi untuk roda gigi lurus.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 1.1 Baja karbon untuk konstruksi mesin dan baja batang yang difinis dingin untuk poros.

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/mm²)	Keterangan
Baja karbon konstruksi mesin (JIS G 4501)	S30C	Penormalan	48	
	S35C	〃	52	
	S40C	〃	55	
	S45C	〃	58	
	S50C	〃	62	
	S55C	〃	66	
Batang baja yang difinis dingin	S35C-D	–	53	ditarik dingin, digerinda, dibubut, atau gabungan antara hal-hal tersebut
	S45C-D	–	60	
	S55C-D	–	72	

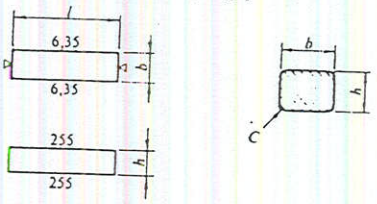
Tabel 1.2 Baja paduan untuk poros.

Standar dan macam	Lambamg	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/mm²)
Baja khrom nikel (JIS G 4102)	SNC 2	–	85
	SNC 3	–	95
	SNC21	Pengerasan kulit	80
	SNC22	〃	100
Baja khrom nikel molibden (JIS G 4103)	SNCM 1	–	85
	SNCM 2	–	95
	SNCM 7	–	100
	SNCM 8	–	105
	SNCM22	Pengerasan kulit	90
	SNCM23	〃	100
	SNCM25	〃	120
Baja khrom (JIS G 4104)	SCr 3	–	90
	SCr 4	–	95
	SCr 5	–	100
	SCr21	Pengerasan kulit	80
	SCr22	〃	85
Baja khrom molibden (JIS G 4105)	SCM 2	–	85
	SCM 3	–	95
	SCM 4	–	100
	SCM 5	–	105
	SCM21	Pengerasan kulit	85
	SCM22	〃	95
	SCM23	〃	100

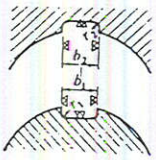
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

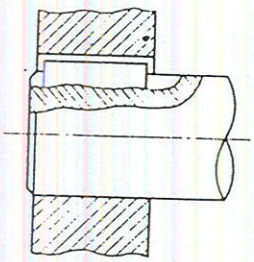
Tabel 1.8 Ukuran pasak dan alur pasak.

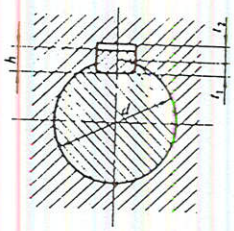
Penampang pasak



Penampang alur pasak







Ukuran-ukuran utama

(Satuan: mm)

Ukuran nominal pasak $b \times h$	Ukuran standar b, b_1, dan b_2	Ukuran standar h		C	l*	Ukuran Standar t_1	Ukuran standar t_2			r_1 dan r_2	Referensi	
		Pasak prismatis Pasak luncur	Pasak tirus				Pasak prismatis	Pasak luncur	Pasak tirus		Diameter poros yang dapat dipakai d**	
2 × 2	2	2		0,16–0,25	6–20	1,2	1,0		0,5	0,08–0,16	Lebih dari	6–8
3 × 3	3	3			6–36	1,8	1,4		0,9		-	8–10
4 × 4	4	4			8–45	2,5	1,8		1,2		-	10–12
5 × 5	5	5			10 56	3,0	2,3		1,7		-	12–17
6 × 6	6	6			14 70	3,5	2,8		2,2		-	17–22
(7 × 7)	7	7	7,2	0,25 0,40	16 80	4,0	3,0	3,5	3,0	0,16–0,25	-	20–25
8 × 7	8	7			18–90	4,0	3,3		2,4		-	22–30
10 × 8	10	8		0,40–0,60	22–110	5,0	3,3		2,4	0,25–0,40	-	30–38
12 × 8	12	8			28–140	5,0	(3,3)		(2,4)		-	38–44
14 × 9	14	9			36–160	5,5	3,8		2,9		-	44–50
(15 × 10)	15	10	10,2		40–180	5,0	5,0	5,5	5,0		-	50–55
16 × 10	16	10			45–180	6,0	4,3		3,4		-	50–58
18 × 11	18	11			50–200	7,0	4,4		3,4		-	58–65
20 × 12	20	12		0,60–0,80	56–220	7,5	4,9		3,9	0,40–0,60	-	65–75
22 × 14	22	14			63–250	9,0	5,4		4,4		-	75–85
(24 × 16)	24	16	16,2		70–280	8,0	8,0	8,5	8,0		-	80–90
25 × 14	25	14			70–280	9,0	5,4		4,4		-	85–95
28 × 16	28	16			80–320	10,0	6,4		5,4		-	95–110
32 × 18	32	18			90–360	11,0	7,4		6,4		-	110–130

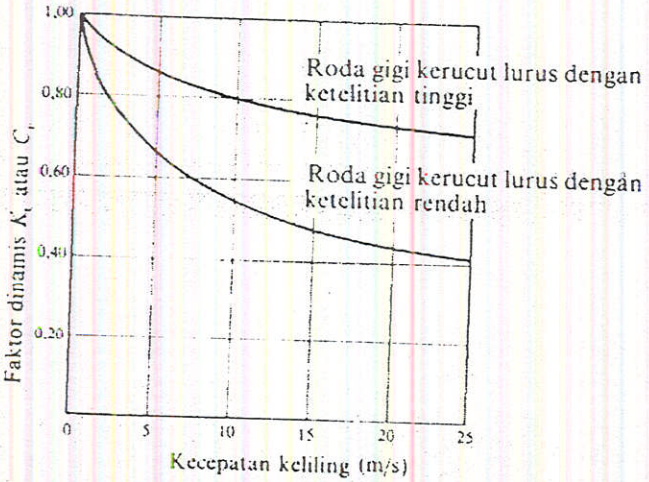
* l harus dipilih dari angka-angka berikut sesuai dengan daerah yang bersangkutan dalam tabel.
6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 6.16 Tegangan lentur yang diizinkan dan tegangan kontak yang diizinkan (roda gigi kerucut).

Bahan	Perlakuan panas	Kekerasan permukaan minimum		Tegangan lentur yang diizinkan (kg/mm^2)	Tegangan kontak yang diizinkan (kg/mm^2)
		H_B	$H_R C$		
Baja	Celup dingin sementasi	625	60	22,7	189
	Celup dingin sementasi	575	55	22,7	151
	Celup dingin frekwensi tinggi	500	50	10,2	144
	Celup dingin dan temper	440		18,9	144
	Celup dingin dan temper	300		14,4	102
	Celup dingin dan temper	180		10,2	92
Besi cor	Pegecoran	200		5,3	49
	Pengecoran	175		3,1	38
	Pengecoran	---		2,0	23



Gbr. 6.36 Faktor dinamis roda gigi kerucut.

Tabel 6.17 Faktor beban lebih K_o, C_o.

Sisi penggerak	Sisi yang digerakkan		
	Tanpa tumbukan	Tumbukan sedang	Tumbukan berat
Tanpa tumbukan	1,00	1,25	1,75
Tumbukan sedang	1,25	1,50	2,00
Tumbukan berat	1,50	1,75	2,25

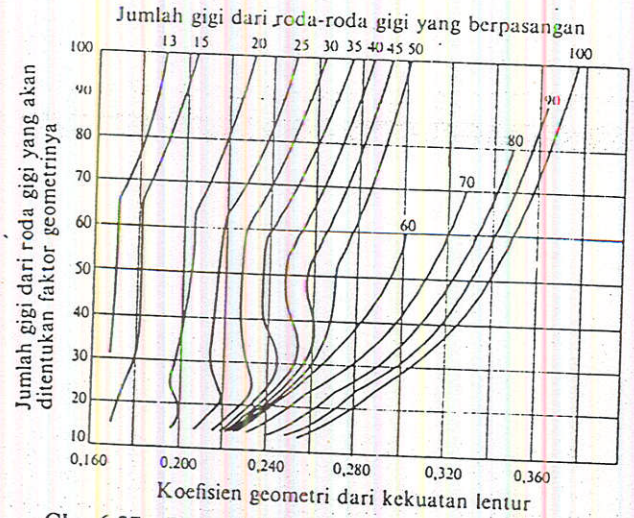
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 6.18 Faktor pembagian beban K_m, C_m.

	Pinyon dan roda gigi kedua-duanya memakai bantalan dua ujung	Salah satu dari pinyon atau roda gigi memakai bantalan satu ujung	Pinyon dan roda gigi kedua-duanya memakai bantalan satu ujung
Roda gigi reduksi umum	1,00–1,10	1,10–1,25	1,25–1,40
Otomobil	1,00–1,10	1,10–1,25	—
Kapal terbang	1,00–1,25	1,10–1,40	1,25–1,50

Tabel 6.19 Koefisien elastis C_p ($\sqrt{kg/mm}$).

Bahan roda gigi / Bahan pinyon	Baja $E = 2{,}27 \times 10^{-4}$ (kg/mm²)	Besi cor $E = 1{,}44 \times 10^{-4}$ (kg/mm²)
Baja	74,2	64,9
Besi cor	64,9	59,6



Gbr. 6.37 Roda gigi kerucut lurus dengan sudut tekanan 20° dan sudut poros 90°.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 6.20 Tegangan lentur yang diizinkan σ_{ba} (kg/mm²).

Bahan roda gigi cacing	Pembebanan satu arah	Pembebanan dua arah
Besi cor	8,5	5,5
Perunggu untuk roda gigi	17	11
Perunggu antimon	10,5	7
Damar sintetis	3	2

Tabel 6.21 Faktor bentuk roda gigi cacing Y.

Sudut tekanan normal	Faktor bentuk
14,5°	0,100
20°	0,125
25°	0,150
30°	0,175

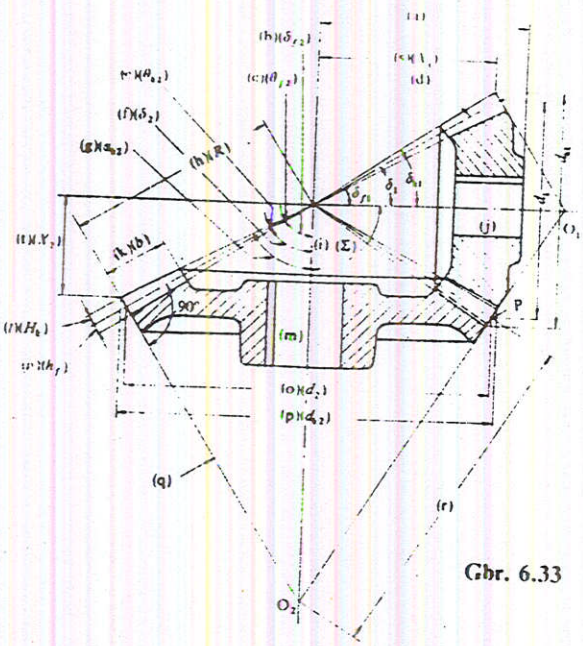
Tabel 6.22 Faktor tahan aus K_c.

Cacing	Roda gigi cacing	K_c (kg/mm²)
Baja (kekerasan H_B 250)	Perunggu fosfor	0,042
Baja celup dingin	Besi cor	0,035
"	Perunggu fosfor	0,056
"	Perunggu fosfor yang dicil	0,085
"	Perunggu antimon	0,085
"	Damar sintetis	0,087
Besi cor	Perunggu fosfor	0,106

Tabel 6.23 Faktor sudut kisar K_γ.

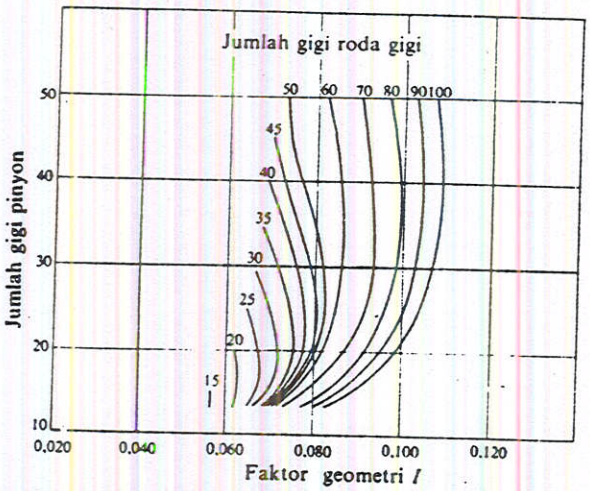
Sudut kisar	K_γ
$\gamma < 10°$	1
$\gamma = 10° \; 25°$	1,25
$\gamma > 25°$	1,50

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



(a) Jarak sisi belakang
(b) Sudut kerucut kaki
(c) Sudut kaki
(d) Kerucut jarak bagi
(e) Sudut kepala
(f) Sudut kerucut jarak bagi
(g) Sudut kerucut kepala
(h) Sisi kerucut
(i) Sudut poros
(j) Lubang poros
(k) Lebar muka
(l) Kepala
(m) Lubang poros
(n) Kaki
(o) Diameter lingkaran jarak bagi
(p) Diameter lingkaran kepala
(q) Kerucut belakang
(r) Jarak kerucut belakang
(s)(t) Jarak dari puncak kerucut sampai puncak luar gigi

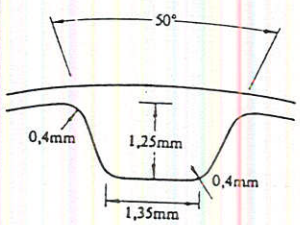
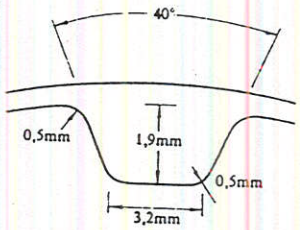
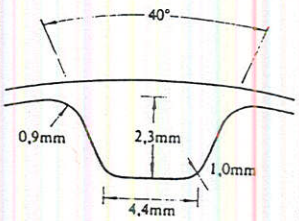
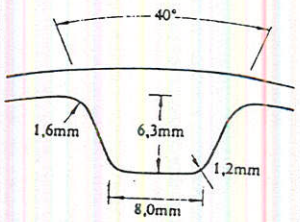
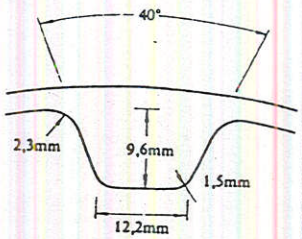
Gbr. 6.33 Nama bagian-bagian roda gigi kerucut.



Gbr. 6.38 Roda gigi kerucut lurus dengan sudut tekanan 20° dan sudut poros 90°.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.10 (a) Tipe, ukuran dan pemakaian sabuk gilir.

Penampang	Jarak bagi (mm)	Ukuran	Pemakaian-pemakaian penting
XL	5,08		Mesin kantor Mesin jahit Instrumen Komputer
L	9,525		Mesin tekstil Mesin kompak tugas ringan
H	12,70		Mesin perkakas Pompa Mesin tekstil
XH	22,225		Kipas angin Mesin kertas Mesin tekstil Alat-alat besar
XXH	31,75		Mesin tugas berat Mesin dengan momen puntir besar

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.10(b) Nomor nominal, jumlah gigi, dan panjang, untuk sabuk gilir standar.

[Penampang L]

Lebar sabuk standar

Nomor nominal	Lebar sabuk (inch)	Lebar sabuk (mm)
050	0,50	12,7
075	0,75	19,0
100	1,00	25,4
150	1,50	38,1

Variasi beban besar

Nomor nominal	Jumlah gigi	Panjang jarak bagi sabuk (mm)
124 L	33	314,32
150 L	40	381,00
165 L	44	408,10
173 L	46	438,15
187 L	50	476,25
210 L	56	533,40
225 L	60	571,50
240 L	64	609,60
255 L	68	647,70
270 L	72	685,80
285 L	76	723,90
300 L	80	762,00
322 L	86	819,15
337 L	90	857,25
345 L	92	876,30
367 L	98	933,45
375 L	100	952,50
390 L	104	990,00
420 L	112	1066,80
427 L	114	1084,58
450 L	120	1143,00
480 L	128	1219,20
510 L	136	1295,40
540 L	144	1371,60
600 L	160	1524,10
630 L	168	1600,20

Lebar sabuk standar

Nomor nominal	Lebar sabuk (inch)	Lebar sabuk (mm)
075	0,75	19,0
100	1,00	25,4
150	1,50	38,1
200	2,00	50,8
300	3,00	76,2

Panjang sabuk standar

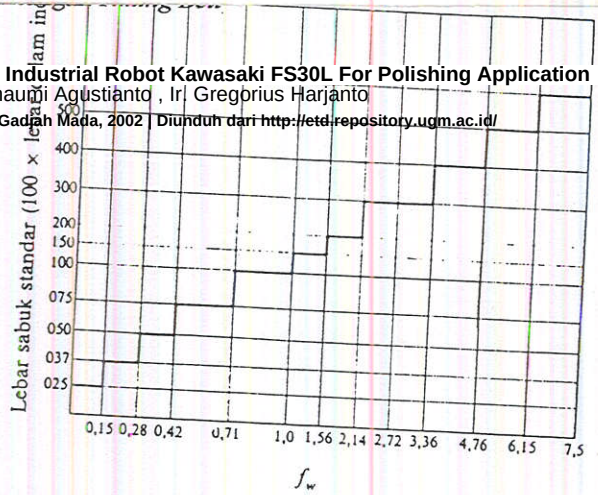
Nomor nominal	Jumlah gigi	Panjang jarak bagi sabuk (mm)
240 H	48	609,60
270 H	54	685,80
300 H	60	762,00
310 H	62	787,40
315 H	63	800,10
320 H	64	812,80
330 H	66	838,20
350 H	70	889,00
360 H	72	914,40
375 H	75	952,50
390 H	78	990,60
410 H	82	1041,40
420 H	84	1066,80
430 H	86	1092,20
450 H	90	1143,00
465 H	93	1181,10
480 H	96	1219,20
490 H	98	1244,60
510 H	102	1295,40
540 H	108	1371,60
560 H	112	1422,40
570 H	114	1447,80
600 H	120	1524,00
630 H	126	1600,20
650 H	130	1651,00
660 H	132	1676,40
680 H	136	1727,20

Tabel 5.11 Faktor koreksi yang harus ditambahkan untuk meningkatkan putaran dan persyaratan kerja luar biasa.

Perbandingan peningkatan Putaran	f'_c
1–1,25	0
1,25–1,75	0,1
1,75–2,5	0,2
2,5–3,5	0,3
3,5–	0,4

Persyaratan kerja	f'_c
Lebih dari 10 jam kerja/hari	0,1
Lebih dari 20 jam kerja/hari	0,2
Untuk semua penganggur	0,2
Kerja terputus-putus atau musiman (kurang dari 500 jam tiap tahun)	−0,2

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gbr. 5.15 Lebar sabuk gilir standar.

Tabel 5.12 Kapasitas daya yang ditransmisikan setiap inch (25,4 mm) lebar sabuk gilir, P_0 (kW).

[Penampang L]

Putaran puli kecil (rpm)	Jumlah gigi: 20	22	24	26	28	30
	Diameter puli (mm): 60,64	66,70	72,77	78,83	84,89	90,96
200	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23
400	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46
600	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69
800	0,61	0,68	0,73	0,80	0,85	0,91
1000	0,76	0,84	0,91	0,99	1,06	1,14
1200	0,91	1,00	1,10	1,18	1,27	1,36
1400	1,06	1,17	1,27	1,38	1,48	1,58
1600	1,21	1,31	1,45	1,56	1,68	1,79

[Penampang H]

Putaran puli kecil (rpm)	Jumlah gigi: 20	22	24	26	28	30
	Diameter puli (mm): 80,85	88,94	97,02	105,11	113,19	121,28
200	0,52	0,57	0,62	0,67	0,73	0,78
400	1,04	1,14	1,25	1,35	1,46	1,56
600	1,56	1,71	1,86	2,02	2,17	2,33
800	2,07	2,27	2,48	2,68	2,88	3,10
1000	2,58	2,84	3,10	3,35	3,60	3,85
1200	3,10	3,40	3,70	4,00	4,32	4,61
1400	3,60	3,95	4,30	4,66	5,02	5,36
1600	4,11	4,51	4,90	5,31	5,70	6,10

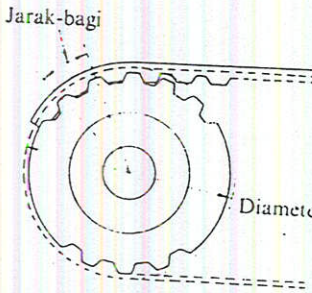
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

... pitch minimum yang diizinkan.

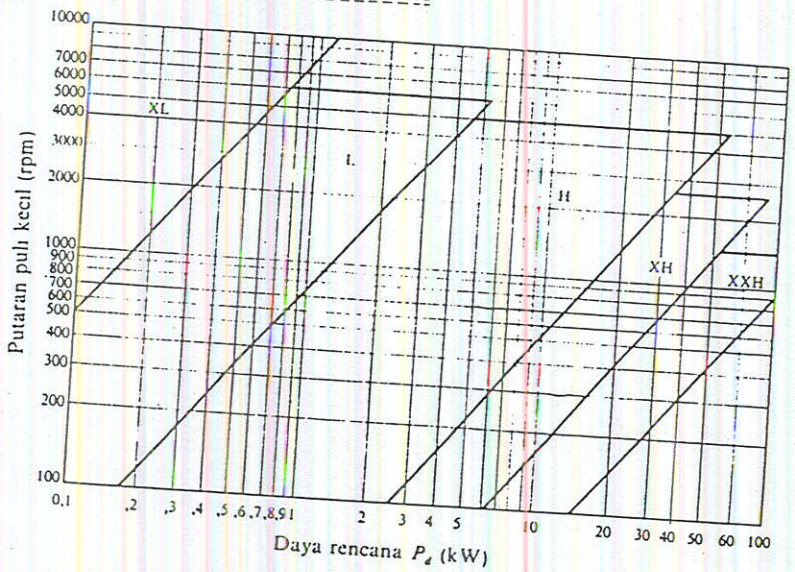
Putaran puli kecil (rpm)	Penampang sabuk				
	XL	L	H	XH	XXH
3500	12	16	20		
1750	10	14	18	26	26
1160	10	12	16	24	24
870				22	22

Tabel 5.14 Faktor koreksi untuk berbagai J.G.T. (Jumlah Gigi yang Terkait).

J.G.T.	f_i
6–	1,0
5–6	0,8
4–5	0,6
3–4	0,4
2–3	0,2



Gbr. 5.13 Sabuk gilir.



Gbr. 5.14 Diagram pemilihan sabuk gilir.

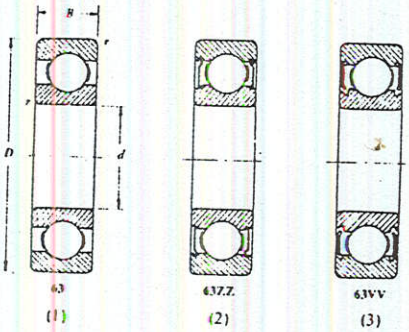
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.15 ΔC_i **dan** ΔC_t **untuk sabuk gilir.** (Satuan: mm)

Nomor nominal	XL		L		H		XH		XXH	
	ΔC_i	ΔC_t	ΔC_i	ΔC_t	ΔC_i	ΔC_t	ΔC_i	ΔC_t	ΔC_i	ΔC_t
60–300	3	3	5	5	6	6				
301–1000	4	3	6	5	7	6	20	10	30	10

Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

C_0/F_a		12	13	14,5	20	25
$F_a/VF_r \leqq e$	X	1				
	Y	0				
$F_a/VF_r > e$	X	0,56				
	Y	1,26	1,49	1,64	1,76	1,85
e		0,35	0,29	0,27	0,25	0,24



(1) (2) (3)

Nomor bantalan			Ukuran luar (mm)				Kapasitas nominal dinamis spesifik C (kg)	Kapasitas nominal statis spesifik C_0 (kg)
Jenis terbuka	Dua sekat	Dua sekat tanpa kontak	d	D	B	r		
6000			10	26	8	0,5	360	196
6001	6001ZZ	6001VV	12	28	8	0,5	400	229
6002	02ZZ	02VV	15	32	9	0,5	440	263
6003	6003ZZ	6003VV	17	35	10	0,5	470	296
6004	04ZZ	04VV	20	42	12	1	735	465
6005	05ZZ	05VV	25	47	12	1	790	530
6006	6006ZZ	6006VV	30	55	13	1,5	1030	740
6007	07ZZ	07VV	35	62	14	1,5	1250	915
6008	08ZZ	08VV	40	68	15	1,5	1310	1010
6009	6009ZZ	6009VV	45	75	16	1,5	1640	1320
6010	10ZZ	10VV	50	80	16	1,5	1710	1430
6200	6200ZZ	6200VV	10	30	9	1	400	236
6201	01ZZ	01VV	12	32	10	1	535	305
6202	02ZZ	02VV	15	35	11	1	600	360
6203	6203ZZ	6203VV	17	40	12	1	750	460
6204	04ZZ	04VV	20	47	14	1,5	1000	635
6205	05ZZ	05VV	25	52	15	1,5	1100	730
6206	6206ZZ	6206VV	30	62	16	1,5	1530	1050
6207	07ZZ	07VV	35	72	17	2	2010	1430
6208	08ZZ	08VV	40	80	18	2	2380	1650
6209	6209ZZ	6209VV	45	85	19	2	2570	1880
6210	10ZZ	10VV	50	90	20	2	2750	2100
6300	6300ZZ	6300VV	10	35	11	1	635	365
6301	01ZZ	01VV	12	37	12	1,5	760	450
6302	02ZZ	02VV	15	42	13	1,5	895	545
6303	6303ZZ	6303VV	17	47	14	1,5	1070	660
6304	04ZZ	04VV	20	52	15	2	1250	785
6305	05ZZ	05VV	25	62	17	2	1610	1080
6306	6306ZZ	6306VV	30	72	19	2	2090	1440
6307	07ZZ	07VV	35	80	20	2,5	2620	1840
6308	08ZZ	08VV	40	90	23	2,5	3200	2300
6309	6309ZZ	6309VV	45	100	25	2,5	4150	3100
6310	10ZZ	10VV	50	110	27	3	4850	3650

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.1 Sifat-sifat bahan bantalan luncur.

Bahan bantalan	Kekerasan H_B	Tekanan maksimum yang diperbolehkan (kg/mm^2)	Temperatur maks. yang diperbolehkan (°C)
Besi cor	160–180	0,3–0,6	150
Perunggu	50–100	0,7--2,0	200
Kuningan	80–150	0,7–2,0	200
Perunggu fosfor	100–200	1,5–6,0	250
Logam putih berdasar Sn	20–30	0,6–1,0	150
Logam putih berdasar Pb	15–20	0,6–0,8	150
Paduan Cadmium	30–40	1,0–1,4	250
Kelmet	20–30	1,0–1,8	170
Paduan Aluminium	45–50	2,8	100–150
Perunggu timah hitam	40–80	2,0–3,2	220–250

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Redesign Industrial Robot Kawasaki FS30L For Polishing Application
Farhan Shaumi Agustianto , Ir. Gregorius Harjanto
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 2.25 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Cu-Mg.

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm^2)	Kekuatan mulur (kgf/mm^2)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm^2)	Kekerasan Brinell	Batas lelah (kgf/mm^2)
17S (2017)	O	18,3	7,0	—	12,7	45	7,7
	T4	43,6	28,1	—	26,7	105	12,7
A17S (A2017)	T4	30,2	16,9	27	19,7	70	9,5
R317	Setelah dianil	42,9	24,6	22	—	100	—
24S (2024)	O	18,9	7,7	22	12,7	42	—
	T4	47,8	32,3	22	28,8	120	—
	T36	51,3	40,1	—	29,5	130	—
14S (2014)	O	19,0	9,8	18	12,7	45	—
	T4	39,4	28,0	25	23,9	100	—
	T4	49,0	42,0	13	29,5	135	—

Sumber : Surdia Tata, Saito Shinroku, *Pengetahuan Bahan Teknik* , PT. Pradnya Paramita Jakarta, 1992, hal.137