

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
<i>TITTLE PAGE</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR NOTASI	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perkembangan dan Aplikasi Material Komposit	6
2.2 Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Komposit	9
2.2.1 Uji Tarik dan Tekan pada Komposit Hasil Metode <i>Compression Moulding</i>	10
2.2.2 Pengukuran Densitas Komposit	11
2.3 Aplikasi 3D-Printing pada Manufaktur Komposit	12
2.3.1 Pembuatan Inti <i>Core</i> Komposit Menggunakan 3D-Printing	13
2.3.2 Pembuatan Komposit Metode VARTM Menggunakan Cetakan 3D-Printing	14
2.3.3 Pengujian Efektivitas Cetakan Komposit Hasil 3D-Printing	16
2.4 Pembuatan Komposit dengan Metode <i>Bladder Compression Moulding</i>	19

2.5	Analisis Geometri Produk Komposit	22
BAB III LANDASAN TEORI		24
3.1	Komposit	24
3.1.1	Pengikat (<i>Matrix</i>)	25
3.1.2	Penguat (<i>Reinforcement</i>)	28
3.1.3	Sifat Mekanis Komposit	34
3.1.4	Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Komposit	35
3.1.5	<i>The Rule of Mixture (ROM)</i>	36
3.1.5.1	Fraksi Volume	38
3.1.5.2	Kekuatan Tarik Komposit	38
3.1.5.3	Modulus Elastisitas	39
3.1.6	Metode Manufaktur Komposit	39
3.1.6.1	Cetakan Terbuka (<i>Open Mould Process</i>)	39
3.1.6.2	Cetakan Tertutup (<i>Close Mold Process</i>)	41
3.2	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP)</i>	42
3.3	Metode <i>Compression Moulding</i>	45
3.4	Robot Lengan (<i>Arm Robot</i>)	46
3.5	CAD (<i>Computer Aided Design</i>)	48
3.6	FDM 3D-Printing	49
3.6.1	Prinsip Kerja FDM 3D-Printing	49
3.6.2	Parameter Cetak 3D-Printing FDM	51
3.6.3	Filament PLA	52
3.7	Uji Tarik	52
3.7.1	<i>Universal Testing Machine</i>	53
3.7.2	Standar Uji Tarik	53
BAB IV METODE PENELITIAN		56
4.1	Deskripsi Penelitian	56
4.2	Diagram Alir Penelitian	58
4.3	Lokasi Penelitian	59
4.4	Bahan Penelitian	59
4.5	Uji Tarik	65
4.5.1	Spesimen	65

4.5.2 Perhitungan Kebutuhan Material	66
4.5.3 Pembuatan Spesimen	67
4.6 Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komponen Lengan Robot	68
4.6.1 <i>Modelling 3D</i> Desain Robot Lengan	68
4.6.2 Pembuatan Cetakan Produk Komposit	74
4.7 Perhitungan Kebutuhan Material	77
4.8 Tahapan Manufaktur Produk Komposit	79
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	81
5.1 Pemodelan Komponen Lengan Robot	81
5.2 Uji Tarik	81
5.2.1 Desain Cetakan Spesimen Uji Tarik	82
5.2.2 Pembuatan Cetakan Spesimen Uji Tarik	83
5.2.3 Pembuatan Spesimen Uji Tarik	84
5.2.4 Data Uji Tarik (<i>Mechanical Properties</i>)	89
5.2.4.1 Variabel A (100% Serat Acak)	90
5.2.4.2 Variabel B (50% Serat Acak & 50% Serat Panjang)	93
5.3 Perancangan Cetakan dan Pembuatan Komponen Lengan Robot	99
5.3.1 Percobaan Pertama	99
5.3.1.1 Desain Cetakan Pertama	99
5.3.1.2 3D Printing Cetakan Pertama	101
5.3.1.3 <i>Finishing</i> dan <i>Assembly</i> Cetakan Pertama	102
5.3.1.4 Pembuatan Komposit Menggunakan Cetakan Pertama	103
5.3.2 Percobaan Kedua	106
5.3.2.1 Desain Cetakan Kedua	106
5.3.2.2 <i>3D-Printing</i> Cetakan Kedua	108
5.3.2.3 <i>Finishing</i> dan <i>Assembly</i> Cetakan Kedua	109
5.3.2.4 Pembuatan Komposit Menggunakan Cetakan Kedua	109
5.3.3 Percobaan Ketiga	114
5.3.3.1 Desain Cetakan Ketiga	114
5.3.3.2 <i>3D-Printing</i> Cetakan Ketiga	115
5.3.3.3 <i>Finishing</i> dan <i>Assembly</i> Cetakan Ketiga	116
5.3.3.4 Pembuatan Komposit Menggunakan Cetakan Ketiga	117



5.4	Pengukuran Dimensi	123
5.5	Pengukuran Densitas (Fraksi Volume Aktual)	126
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		129
6.1	Kesimpulan	129
6.2	Saran	130
DAFTAR PUSTAKA		131
LAMPIRAN		134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jumlah Publikasi Jurnal Sejak 2013 dengan Pencarian “Composite Material” pada Situs Sciencedirect	6
Gambar 2.2	Trend Penggunaan Material Komposit Karbon pada Pesawat Terbang	7
Gambar 2.3	Analisis Tegangan pada <i>Leaf Spring</i> dengan Material	8
Gambar 2.4	Perbaningan Nilai <i>Natural Frequencies</i> pada <i>Leaf Spring</i>	8
Gambar 2.5	Cetakan Spesimen Uji Tarik dan Tekan	10
Gambar 2.6	Kurva Uji Tarik dan Tekan Spesimen	11
Gambar 2.7	Hasil Pengujian Densitas	12
Gambar 2.8	Proses <i>Vacuum Bagging</i> dan Hasil Akhir Produk	13
Gambar 2.9	Cetakan Helm Hasil 3D-Printing	14
Gambar 2.10	Hasil Produk Helm Serat Karbon Percobaan Pertama, Percobaan Kedua, dan Percobaan Ketiga.	15
Gambar 2.11	Konversi Hasil <i>3D-Scanning</i> ke <i>Solid Body</i>	17
Gambar 2.12	<i>Defect</i> pada Permukaan Produk dan Cetakan berupa <i>Chipping</i> dan <i>Cracking</i> .	18
Gambar 2.13	Pengujian Kestabilan Dimensi Cetakan	18
Gambar 2.14	Skema Pembentukan Komposit Metode <i>Bladder Compression Moulding</i>	19
Gambar 2.15	Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik pada Berbagai Metode Pembuatan Komposit	20
Gambar 2.16	Skema Pembuatan Tabung Gas	21
Gambar 2.17	Pengaruh <i>Soft Mold</i> pada Proses <i>Vacuum Infussion</i>	22
Gambar 2.18	Hasil Perbandingan Kualitas Geometri	23
Gambar 3.1	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks	26
Gambar 3.2	Klasifikasi Komposit Berdasarkan <i>Reinforcement</i>	28
Gambar 3.3	<i>Continuous Fiber Composite</i>	29
Gambar 3.4	<i>Discontinuous Fiber Composite</i>	30
Gambar 3.5	<i>Woven Fiber Composite</i>	30

Gambar 3.6	<i>Hybrid Fiber Composite</i>	31
Gambar 3.7	Komposit Partikel	31
Gambar 3.8	Struktur <i>Laminated Composite</i>	33
Gambar 3.9	Struktur <i>Sandwich Composite</i>	33
Gambar 3.10	Nilai <i>Specific Strength & Specific Stiffness</i> Berbagai Jenis Material	35
Gambar 3.11	Kurva <i>Rule of Mixtures</i>	
Gambar 3.12	Metode <i>Hand Lay-up</i>	40
Gambar 3.13	Metode <i>Vacuum Bagging</i>	41
Gambar 3.14	Struktur dan Tampilan CFRP	42
Gambar 3.15	Susunan Anyaman Serat Karbon	43
Gambar 3.16	Perbandingan Sifat Mekanis pada 3 Jenis Resin	44
Gambar 3.17	Perbandingan Nilai Resin dari Berbagai Aspek	44
Gambar 3.18	Ilustrasi Metode <i>Compression Moulding</i>	45
Gambar 3.19	Model 3D Lengan Robot	46
Gambar 3.20	Hubungan Antar <i>Axis</i> pada <i>Link</i>	47
Gambar 3.21	Hubungan Antar <i>Axis</i> pada <i>Link</i> dan Ilustrasi Pergerakan Relatif pada <i>Revolute</i> dan <i>Prismatic Joints</i>	48
Gambar 3.22	Mekanisme Kerja FDM 3D-Print	50
Gambar 3.23	Skema Uji Tarik	53
Gambar 3.24	Kurva Tegangan-Regangan Hasil Uji Tarik	54
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 4.2	<i>Chopped Carbon</i> dan <i>Continuous Carbon Fiber</i>	59
Gambar 4.3	Filament PLA+ <i>3D-Printing</i>	60
Gambar 4.4	Resin Epoksi	60
Gambar 4.5	Miracle Gloss <i>Release Agent</i>	61
Gambar 4.6	<i>Software</i> Autodesk Inventor	62
Gambar 4.7	<i>Software</i> Ultimaker Cura	62
Gambar 4.8	FDM <i>3D-Print</i> Anycubic Kobra Max	60
Gambar 4.9	Timbangan Digital	63
Gambar 4.10	Klem C (kiri) dan Ragum	64

Gambar 4.11	Letak dan Model 3D Kinematic Link	69
Gambar 4.12	Fitur <i>Mold Design</i> pada Autodesk Inventor	70
Gambar 4.13	Import Desain Produk	70
Gambar 4.14	Penentuan Orientasi Cetakan	71
Gambar 4.15	Penentuan Dimensi Cetakan	71
Gambar 4.16	<i>Patching Surface</i>	72
Gambar 4.17	<i>Runoff Surface</i>	72
Gambar 4.18	<i>Generate Core and Cavity</i>	73
Gambar 4.19	Contoh Optimasi Desain Cetakan	74
Gambar 4.20	Pengaturan Parameter <i>Print</i> pada UltimakerCurra	74
Gambar 4.21	Contoh Hasil <i>Slice</i> pada <i>Software</i> UltimakerCurra.	75
Gambar 4.22	Skema Proses <i>Compression Moulding</i>	78
Gambar 5.1	Dimensi <i>Kinematic Link</i> .	81
Gambar 5.2	Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Tarik	82
Gambar 5.3	Model 3D Cetakan Spesimen Uji Tarik	83
Gambar 5.4	Hasil <i>Slice</i> Cetakan Spesimen Uji Tarik	84
Gambar 5.5	Cetakan Spesimen Uji Tarik setelah <i>Finishing</i>	84
Gambar 5.6	Cetakan yang Telah Terisi Material	85
Gambar 5.7	Proses Pengepressan Cetakan Spesimen	86
Gambar 5.8	Proses Pengeluaran Spesimen dari Cetakan (<i>demolding</i>)	86
Gambar 5.9	Spesimen A Uji Tarik (100% Serat Acak)	87
Gambar 5.10	Spesimen B Uji Tarik (50% Serat Acak & 50% Serat Panjang)	87
Gambar 5.11	Kegagalan Uji Tarik	88
Gambar 5.12	Spesimen A Baru (100% Serat Acak)	88
Gambar 5.13	Spesimen B Baru (50% Serat Acak-50% Serat Panjang)	88
Gambar 5.14	Spesimen A Setelah Uji Tarik	89
Gambar 5.15	Spesimen B Setelah Uji Tarik	89
Gambar 5.16	Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 1 Variabel A	90
Gambar 5.17	Modulus Elastisitas Spesimen 1 Variabel A.	90
Gambar 5.18	Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 2 Variabel A	91

Gambar 5.19	Modulus Elastisitas Spesimen 2 Variabel A.	91
Gambar 5.20	Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 3 Variabel A	92
Gambar 5.21	Modulus Elastisitas Spesimen 3 Variabel A	92
Gambar 5.22	Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 1 Variabel B	93
Gambar 5.23	Modulus Elastisitas Spesimen 1 Variabel B	93
Gambar 5.24	Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 2 Variabel B	94
Gambar 5.25	Modulus Elastisitas Spesimen 2 Variabel B	94
Gambar 5.26	Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 3 Variabel B	95
Gambar 5.27	Modulus Elastisitas Spesimen 3 Variabel B	95
Gambar 5.28	Perbandingan Kekuatan Spesimen A dan B	96
Gambar 5.29	Batas Atas dan Bawah Teori <i>Rule of Mixtures</i>	97
Gambar 5.30	Cetakan Pertama <i>Kinematic Link</i>	99
Gambar 5.31	<i>Mold Cavity</i> Cetakan Pertama	100
Gambar 5.32	Dimensi Cetakan Pertama	100
Gambar 5.33	Hasil <i>Slice</i> pada Desain Cetakan Pertama	102
Gambar 5.34	Cetakan Pertama Setelah <i>Finishing</i> dan <i>Assembly</i> .	103
Gambar 5.35	Aplikasi <i>Release Agent</i> pada Cetakan Pertama	103
Gambar 5.36	Pengisian Cetakan Pertama dengan Serat dan Resin	104
Gambar 5.37	Proses Pengepressan Cetakan Pertama	105
Gambar 5.38	Kegagalan pada Cetakan Pertama	105
Gambar 5.39	Ilustrasi Kegagalan pada Cetakan Pertama	106
Gambar 5.40	Cetakan Kedua	106
Gambar 5.41	<i>Mold Core</i> dan <i>Hole core</i>	107
Gambar 5.42	Dimensi Cetakan Kedua	108
Gambar 5.43	Hasil <i>slice</i> pada Cetakan Kedua	108
Gambar 5.44	Cetakan Setelah <i>Finishing</i> dan <i>Assembly</i>	109
Gambar 5.45	Aplikasi <i>Release Agent</i> pada Cetakan Kedua	110
Gambar 5.46	Proses Pengepressan pada Cetakan Kedua	110
Gambar 5.47	Kondisi Cetakan Setelah <i>Curing</i>	111
Gambar 5.48	Proses <i>Demolding</i> Komposit pada Cetakan Kedua	112
Gambar 5.49	Kondisi Cetakan Setelah Digunakan	112

Gambar 5.50	<i>Kinematic Link</i> Setelah Proses <i>Finishing</i>	113
Gambar 5.51	Hasil Akhir Komposit Menggunakan Cetakan Kedua	114
Gambar 5.52	Desain Cetakan Ketiga	114
Gambar 5.53	Dimensi Cetakan Ketiga	115
Gambar 5.54	Hasil <i>Slice</i> Cetakan Ketiga	116
Gambar 5.55	Hasil <i>Finishing</i> dan <i>Assembly</i> pada Cetakan Ketiga	117
Gambar 5.56	Aplikasi <i>Release Agent</i> pada Cetakan Ketiga	117
Gambar 5.57	Penimbangan Massa Serat Acak dan Panjang	118
Gambar 5.58	Proses Pengepressan Menggunakan Ragum	118
Gambar 5.59	Penambahan Klem C pada Cetakan Ketiga	119
Gambar 5.60	Kondisi Produk Komposit Setelah <i>Demolding</i>	119
Gambar 5.61	Kondisi <i>Crack</i> pada Cetakan Ketiga.	120
Gambar 5.62	Komposit Hasil Cetakan Ketiga Setelah <i>Trimming</i>	120
Gambar 5.63	Proses <i>Coating</i> dan Aplikasi Cat <i>Clear Coat</i>	121
Gambar 5.64	Hasil Akhir Produk Komposit <i>Kinematic Link</i>	121
Gambar 5.65	Alat Press Hidrolik	122
Gambar 5.66	Pembuatan Ulang Komposit dengan Cetakan yang Sama	122
Gambar 5.67	Titik Pengukuran Dimensi	123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Pengujian Tarik dan Tekan	11
Tabel 2.2	Perbandingan Densitas Aktual dengan Densitas Teoritis	12
Tabel 2.3	Perbandingan Berat Helm Karbon dengan Helm Pasaran	16
Tabel 2.4	Kekuatan Tarik Spesimen BCM	20
Tabel 3.1	Standar Uji Komposit	54
Tabel 5.1	Data Hasil Uji Tarik	96
Tabel 5.2	Data Hasil Pengukuran Dimensi Aktual	123
Tabel 5.3	Dimensi Desain	124

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Teknik <i>Kinematic Link</i>	134
Lampiran 2. Gambar Teknik Cetakan <i>Kinematic Link (Boom View)</i>	135
Lampiran 3. Gambar Teknik Cetakan <i>Kinematic Link (Assembly View)</i>	136
Lampiran 4. Gambar Teknik Cetakan <i>Kinematic Link (Section View)</i>	137
Lampiran 5. Gambar Teknik Cetakan <i>Kinematic Link (Part View)</i>	138
Lampiran 6. Gambar Teknik Spesimen Uji Tarik ISO 527-4	139
Lampiran 7. Cetakan ISO 527-4	140

DAFTAR NOTASI

Simbol	Deskripsi	Satuan
A	Luas penampang	mm^2
E_c	Modulus elastisitas komposit	GPa
E_f	Modulus elastisitas serat	GPa
E_m	Modulus elastisitas matriks	GPa
F	Beban	N
v_f	Fraksi volume serat	
v_m	Fraksi volume matriks	
ρ	Massa jenis	kg/m^3
ρ_c	Massa jenis komposit	g/cm^3
ρ_f	Massa jenis serat	g/cm^3
ρ_m	Massa jenis matriks	g/cm^3
σ_c	Kekuatan tarik komposit	MPa
σ_f	Kekuatan tarik serat	MPa
σ_m	Kekuatan tarik matriks	MPa
σ_t	Tegangan tarik	Kg/mm^2
d	Tebal spesimen	mm
w	Lebar spesimen	mm
OD	Diameter luar spesimen	mm
ID	Diameter dalam spesimen	mm
L	Panjang spesimen	mm