

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
INTISARI	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Keaslian Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian-Penelitian Sejenis yang Relevan	6
2.2 Arah Penelitian	15
BAB III. LANDASAN TEORI	
3.1 <i>Pres Dies</i>	17
3.6.1 <i>Simple Dies</i>	17
3.6.2 <i>Multi Operational Dies</i>	24
3.2 Proses Pengerjaan Logam Pelat (<i>Sheet Metal Forming</i>)	19

3.3	Proses Pemotongan (<i>Cutting Operations</i>)	19
3.4	<i>Shearing, Blanking</i> dan <i>Punching</i>	20
3.5	Karakteristik Sisi Benda Kerja Hasil <i>Shearing</i> (<i>Part Edge Characteristics</i>).....	22
3.6	Mesin Perkakas CNC.....	23
3.7	Konfigurasi kontrol CNC dengan Mach3.....	24
3.8	Proses Perencanaan Produk	25
3.9	Perancangan Mesin.....	26
3.10	Perhitungan Elemen Mesin Pada <i>Micro Punch CNC machine</i>	27
3.10.1	Perhitungan Daya Mesin dan Poros	27
3.10.2	<i>Shearing Force</i>	29
3.10.3	Perhitungan Gaya Penjepitan.....	30
3.10.4	Perhitungan <i>Clearance</i>	30
3.11	<i>Finite Element Method</i>	31
3.12	Abaqus	32

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1	Objek Penelitian	34
4.2	Diagram Alir Penelitian	35
4.3	Studi Literatur.....	35
4.4	Mekanisme Kerja.....	37
4.5	Desain Konsep <i>Micro Punch CNC Machine</i>	38
4.6	Analisis Gaya.....	38
4.7	Pemilihan Material dan Alat Penelitian.....	38
4.8	Desain <i>Micro Punch CNC Machine</i>	39
4.9	Modifikasi Desain.....	39
4.10	Simulasi <i>Finite Element Analysis</i> menggunakan Abaqus	39
4.10.1	<i>Importing Model</i>	39
4.10.2	Pemerian Properti Pada Material	40
4.10.3	Pengaturan <i>Section</i>	41
4.10.4	Pengaturan <i>Section Assignment</i>	41

4.10.5 Menentukan <i>Step</i>	42
4.10.6 Pengaturan <i>Output Requests</i>	43
4.10.7 Mendefinisikan <i>Interaction</i>	43
4.10.8 Pengaturan <i>Boundary Condition</i> (BCs).....	44
4.10.9 Pengaturan <i>Loads</i>	45
4.10.10 <i>Meshing</i>	45
4.10.11 <i>Job</i>	46
4.10.12 <i>Submit and Result</i>	46
4.11 Proses Manufaktur <i>Micro Punch CNC machine</i>	46
4.12 Pengujian Kecepatan Potong (<i>Punch Velocity</i>).....	47
4.13 Pengujian <i>Repeatability</i>	47
4.14 Pengujian Akurasi	48
4.15 Pengujian <i>Punching</i> Pada Benda Kerja.....	49

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Desain Konsep Micro Punch CNC Machine	51
5.2 Analisis Desain dengan Metode Analitis.....	52
5.2.1 Perhitungan <i>Shearing Force</i>	52
5.2.2 Perhitungan Daya <i>Stepper Motor</i>	54
5.2.3 Pemilihan <i>Ballscerw</i>	57
5.2.4 Perhitungan <i>Buckling load</i> pada <i>Ballscrew</i>	58
5.2.5 Perhitungan Putaran Kritis.....	60
5.2.6 Perhitungan Gaya Penjepitan.....	62
5.2.7 Perhitungan Panjang <i>Punch Tip</i>	62
5.2.8 Perhitungan Tebal <i>die</i> minimum.....	65
5.3 Desain <i>Micro Punch CNC Machine</i>	66
5.4 Modifikasi Desain <i>Micro Punch CNC Machine</i>	66
5.5 Analisis Momen pada Konstruksi <i>Micro Punch CNC Machine</i>	68
5.5.1 Momen pada <i>Holder</i> Motor X dan Y.....	70
5.5.2 Momen pada <i>Housing Chuck</i>	71
5.5.3 Momen pada <i>Holder</i> Motor sumbu Z.....	72

5.6	Analisis Desain dengan Abaqus	73
5.6.1	Kondisi Pembebanan pada Konstruksi	73
5.6.2	Studi Sensitivitas <i>Mesh</i>	74
5.7	Proses Manufaktur.....	79
5.8	Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	80
5.8.1	Pengaturan <i>Port</i> dan <i>Pin</i> Pada Artsoft Mach3.....	81
5.8.2	<i>Motor Outputs</i>	82
5.8.3	<i>Setting</i> Konfigurasi <i>Tunning Motor</i>	82
5.9	Keseluruhan Sistem Micro Punch CNC Machine.....	83
5.10	Pengujian Kecepatan Potong (<i>Punch Velocity</i>).....	85
5.10.1	Pengukuran <i>Punch Velocity</i> dengan Tachometer	85
5.10.2	Kalibrasi <i>Punch Velocity</i> dengan <i>Axis Calibration</i>	86
5.11	Pengujian <i>Repeatability</i>	91
5.12	Pengujian Akurasi.....	93
5.13	Pengujian <i>Punching</i> pada Benda Kerja	94
5.13.1	<i>Alignment</i> antara <i>Punch</i> dan <i>Die</i>	95
5.13.2	<i>Initial tool position and condition</i>	96
5.13.3	Hasil Pengujian dan Pembahasan	96
 BAB VI. PENUTUP		
6.1	Kesimpulan.....	101
6.2	Saran.....	102
 DAFTAR PUSTAKA		
		103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin <i>drop-hammer</i> dengan tinggi maksimum <i>hammer</i> adalah 5,5 m (Gotoh et al., 2000).....	6
Gambar 2.2. Kualitas permukaan sisi potong dari ring hasil <i>shearing</i> H.R., L.S., dan t (Gotoh et al., 2000).....	7
Gambar 2.3. <i>Prototype</i> mesin <i>punch</i> (Kibe et al., 2006).....	7
Gambar 2.4. Mesin <i>Press</i> mekanik (Tekiner et al., 2006)	8
Gambar 2.5. Pengaruh <i>clearance</i> yang diperkirakan dengan simulasi <i>finite element</i> (Husson et al., 2008)	9
Gambar 2.6. Lourdes Press 100 - OH (Grunbaum et al., 1996).....	9
Gambar 2.7. Pengaruh <i>clearance punch</i> dan <i>die</i> pada panjang permukaan <i>shear edge</i> dengan perbedaan kecepatan <i>blanking</i> (Grunbaum et al.,1996)	10
Gambar 2.8. CETIM's <i>Mechanical Presses</i> (Marouani et al., 2009).....	10
Gambar 2.9. Pengaruh kecepatan <i>punch</i> (Marouani et al., 2009)	11
Gambar 2.10. Mesin <i>Micro-blanking</i> (Xu, Jie Et al., 2012)	12
Gambar 2.11. Efek ukuran butir terhadap <i>micro-punching</i> (a) $c/d > 1$; (b) $c/d = 1$; (c) $c/d < 1$ (Xu, Jie Et al ., 2012)	12
Gambar 2.12. <i>Micro Punching Press</i> (Joo, Byung Yun et al., 2005)	13
Gambar 2.13. <i>Micro-hole</i> pada material kuningan CuZn37, (a) sisi atas, (b) sisi bawah, (c) dinding permukaan dan profil lubang (Joo, Byung Yun et al., 2005)	13
Gambar 2.14. <i>Micro-hole</i> pada material Stainless Steel AISI 316, (a) sisi atas, (b) sisi bawah, (c) dinding permukaan dan profil lubang (Joo, Byung Yun et al., 2005)	14
Gambar 2.15. <i>Dieset for shearing test</i> (Aoki et al., 2002)	15
Gambar 3.1. <i>Simple blanking</i> dan <i>punching die</i> (Marinov, 2008)	17
Gambar 3.2. <i>Compound blanking</i> dan <i>punching die</i> (Marinov, 2008)	18

Gambar 3.3. <i>Progressive Dies</i> (Marinov, 2008).....	18
Gambar 3.4. <i>Shearing</i> pada logam pelat di antara dua sisi potong (<i>cutting edges</i>) (Groover, 2010)	19
Gambar 3.5. (a) Skema ilustrasi Operasi <i>Shearing</i> , (b) lubang hasil <i>punch</i> , (c) <i>slug</i> (Kalpakjian, 2009)	20
Gambar 3.6. <i>Blanking</i> (kiri) dan <i>punching</i> (kanan) (Marinov, 2008).....	21
Gambar 3.7. Efek dari <i>clearance</i> (Kalpakjian, 2009)	21
Gambar 3.8. Karakteristik sisi benda kerja hasil <i>shearing</i> (Grunbaum, 1996).....	22
Gambar 3.9. <i>Interface software Artsoft Mach3</i>	25
Gambar 3.10. Poros (Sularso, 1987)	28
Gambar 3.11. Efek <i>clearance</i> (a) <i>clearance</i> terlalu kecil menyebabkan gaya terlalu besar dan (b) <i>clearance</i> terlalu besar menyebabkan <i>burr</i> yang berlebihan, simbol v dan F menunjukkan gerakan dan gaya yang digunakan (Groover, 2010)	31
Gambar 3.12. Tahapan analisis FEM menggunakan Abaqus (Abaqus, 2012)	32
Gambar 4.1. Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 4.2. <i>Shearing</i> pada lembaran pelat logam, v dan F : gerakan dan gaya Yang digunakan, c : <i>clearance</i>	37
Gambar 4.3. <i>Import Assembly part</i> pada Abaqus.....	40
Gambar 4.4. Pengaturan <i>section</i> pada Abaqus.....	42
Gambar 4.5. <i>Section Assignment</i> pada Abaqus	42
Gambar 4.6. Pengaturan <i>step</i> pada Abaqus.....	43
Gambar 4.7. Pengaturan <i>Output request</i> pada Abaqus	43
Gambar 4.8. Pengaturan <i>Interaction</i> pada Abaqus.....	44
Gambar 4.9. Pengaturan <i>Boundary condition</i> (BCs) pada Abaqus.....	45
Gambar 4.10. Pengaturan <i>loads</i> pada Abaqus.....	45
Gambar 4.11. Pengaturan <i>mesh</i> pada Abaqus	46
Gambar 4.12. <i>Detail view</i> dari sisi potong material hasil <i>punching</i>	49
Gambar 5.1. Poros <i>ballscrew</i> , d : <i>nominal diameter</i> , dm : <i>pitch circle diameter</i> , d_r : <i>root diameter</i> , D_w/D_b : <i>ball diameter</i> , ℓ : kisar (NSK Ltd.)	59

Gambar 5.2. Skema gambar contoh ukuran <i>punch</i> diameter <i>die</i> 790 μm untuk <i>clearance</i> 2,5%	64
Gambar 5.3. a) Skema gambar contoh ukuran <i>die</i> dengan diameter lubang 790 μm , b) <i>Tapper</i> pada <i>die</i> dengan diameter 8,5 mm dan kedalaman 3,5 mm.....	65
Gambar 5.4. Desain Awal <i>Micro Punch CNC Machine</i>	66
Gambar 5.5. Modifikasi Desain <i>Micro Punch CNC Machine</i>	67
Gambar 5.6. <i>Micro Punch CNC Machine</i>	68
Gambar 5.7. Momen yang bekerja pada Konstruksi <i>Micro Punch CNC</i> <i>machine</i>	69
Gambar 5.8. Momen yang bekerja pada <i>holder motor</i>	70
Gambar 5.9. Momen yang bekerja pada <i>Holder chuck</i>	71
Gambar 5.10. Momen yang bekerja pada <i>holder motor</i>	72
Gambar 5.11. Studi konvergensi <i>mesh</i> (Hutton, 2004)	74
Gambar 5.12. Studi sensitivitas <i>mesh</i>	75
Gambar 5.13. <i>Von mises stress</i> pada <i>Micro Punch CNC machine</i>	76
Gambar 5.14. Distribusi regangan pada <i>Micro Punch CNC machine</i>	77
Gambar 5.15. <i>Displacement</i> pada <i>Micro Punch CNC machine</i>	78
Gambar 5.16. <i>Displacement</i> pada <i>Punch tool</i>	78
Gambar 5.17. Tampilan <i>mach3</i> untuk pemilihan <i>port and pin</i> yang digunakan.....	81
Gambar 5.18. Tampilan <i>mach3</i> untuk pemilihan <i>Motor Outputs</i> yang digunakan.....	82
Gambar 5.19. Contoh tampilan saat <i>setting</i> kecepatan pada sumbu Z dengan kecepatan 100 mm/min	83
Gambar 5.20. Ilustrasi rangkaian sistem kontrol <i>Micro Punch CNC Machine</i>	85
Gambar 5.21. Tampilan <i>software</i> Artsoft Mach3	87
Gambar 5.22. Kalibrasi kecepatan	89
Gambar 5.23. Grafik perbandingan data hasil pengujian <i>punch velocity</i> sebelum Dan sesudah kalibrasi.....	90
Gambar 5.24. Pengukuran <i>repeatability</i> pada sumbu X	91
Gambar 5.25. <i>Punch and die Clearance</i>	94
Gambar 5.26. Mengatur posisi <i>alignment</i> dengan <i>Dino-Lite Digital Microscope</i>	95

Gambar 5.27. (1) Contoh <i>punch</i> yang digunakan (2) <i>die</i> dengan diameter lubang 790 μm	96
Gambar 5.28. Permukaan sisi potong <i>copper</i> hasil eksperimen, t: ketebalan material, v: <i>punch velocity</i>	97
Gambar 5.29. Variasi <i>punch-die clearance</i> dengan v: 100 mm/min.....	98
Gambar 5.30. Variasi <i>punch-die clearance</i> dengan v: 2600 mm/min.....	99
Gambar 5.31. Grafik perbandingan hasil pada v: 100 mm/min and v: 2600 mm/min	99

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan sisi potong (Grunbaum, 1996)	23
Tabel 3.2. Nilai konstanta penjepitan (C_s).....	30
Tabel 4.1 Jadwal penelitian untuk seluruh kegiatan	34
Tabel 4.2 Target spesifikasi Micro Punch CNC Machine	36
Tabel 4.3 Rincian <i>component part list</i> dari <i>Micro Punch CNC machine</i>	41
Tabel 4.4 Rincian <i>mechanical properties</i> material yang digunakan	41
Tabel 4.5 Contoh cara pengambilan data untuk <i>repeatability</i> eretan mesin	48
Tabel 4.6 Perbandingan Analisis kualitas karakteristik sisi potong	50
Tabel 5.1 Daftar perbandingan teknik <i>prototype micro Punch CNC machine</i>	52
Tabel 5.2 Hasil perhitungan <i>shear strength</i> dan gaya yang dibutuhkan	53
Tabel 5.3 Spesifikasi <i>stepper motor</i> (Promoco, 2016).....	54
Tabel 5.4 Proses permesinan dan kerja bangku pembuatan <i>Micro Punch CNC machine</i>	79
Tabel 5.5 Pengukuran <i>punch velocity</i> dengan <i>Tachometer</i>	87
Tabel 5.6 Hasil pengujian kalibrasi jarak perpindahan dengan <i>dial indikator</i>	88
Tabel 5.7 Hasil pengujian <i>punch velocity</i> setelah kalibrasi	90
Tabel 5.8 Tabel pengujian <i>repeatability</i>	93
Tabel 5.9 Tabel pengujian akurasi	94
Tabel 5.10 Variasi karakteristik sisi potong terhadap <i>clearance</i>	96
Tabel 5.11 <i>Mechanical properties</i> dari <i>punch</i> dan <i>die</i>	97
Tabel 5.12 Variasi nilai karakteristik sisi potong terhadap <i>clearance</i>	99

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	=	<i>Ampere</i>
C	=	<i>celcius</i>
<i>c</i>	=	<i>clearance</i>
cal	=	kalori
CNC	=	<i>computer numerically controlled</i>
CPU	=	<i>computer processing unit</i>
D_b	=	<i>diameter of ball</i> (mm)
DC	=	<i>direct current</i>
dd	=	<i>diameter die</i> (mm)
D_m	=	<i>pitch circle diameter</i> (mm)
dp	=	<i>diameter punch</i> (mm)
d_r	=	<i>root diameter of screw</i> (mm)
E	=	modulus elastisitas (MPa)
F	=	gaya (N)
F_b	=	<i>gaya punching</i> (N)
FEA	=	<i>finite element analysis</i>
F_m	=	gaya motor (N)
F_p	=	gaya penjepitan (N)
F_s	=	<i>shearing strength</i> (MPa)
F_{tot}	=	Gaya total (N)
g	=	gaya gravitasi (9,81 m/s ²)

H	=	tebal <i>die</i> (mm)
H _b	=	<i>burr height</i> (mm)
HRC	=	<i>Rockwell C hardness</i>
HSS	=	<i>high speed steel</i>
I/O	=	<i>input/output</i>
kg	=	kilogram
<i>ℓ</i>	=	<i>lead / kisar</i> (mm)
L	=	panjang <i>shear</i> (mm)
LED	=	<i>light emitting diode</i>
L _{tx}	=	jarak antara <i>support bearing</i> sumbu X
L _{ty}	=	jarak antara <i>support bearing</i> sumbu Y
L _{tz}	=	jarak antara <i>support bearing</i> sumbu Z
m	=	meter
mm	=	milimeter
min	=	menit
MPa	=	megapascal
N	=	newton
N _f	=	<i>mounting type</i>
P	=	power (KW)
Pa	=	pascal
RPM	=	<i>rotation per minute</i>
s _e	=	<i>Rollover</i> (mm)
s _s	=	<i>shear zone</i> (mm)
t	=	ketebalan material (mm)

T	=	torsi (N)
T_a	=	torsi motor penggerak
TS	=	<i>tensile strength</i> (MPa)
v	=	<i>punch speed</i> (mm/min)
V	=	volt
W	=	gaya berat (N)
τ_u	=	<i>shear strength</i> dari material
η_1	=	efisiensi mekanik