



TESIS - TM 142501

**RANCANG BANGUN CETAKAN *DEEP DRAWING*  
*CUP* SILINDRIS UNTUK SELONGSONG PELURU  
KALIBER 20 MILIMETER**

IDIAR  
NRP 2114201004

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA & SISTEM MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



THESIS - TM 142501

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF DEEP DRAWING  
TOOLS FORM A CYLINDRICAL CUP TO 20 MILLIMETER  
CALIBER BULLET CASINGS**

IDIAR  
NRP 2114201004

Advisor  
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

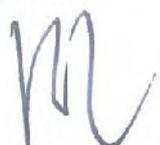
MASTER PROGRAMME  
FIELD STUDY OF MANUFACTURING SYSTEM  
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
IDIAR  
NRP. 2114 201 004

Tanggal Ujian : 28 Juni 2016  
Periode Wisuda : September 2016

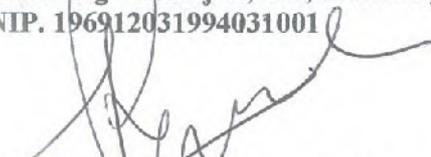
Disetujui oleh:

  
1. Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.  
NIP. 195811061986011001

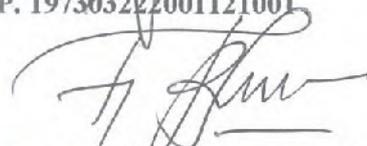
(Pembimbing 1) 

  
2. Bambang Pramujati, ST., M.Sc.Eng., Ph.D  
NIP. 196912031994031001

(Penguji)

  
3. Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197303222001121001

(Penguji)

  
4. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA  
NIP. 196508101991021001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,

  
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D  
NIP. 196012021987011001

## RANCANG BANGUN CETAKAN *DEEP DRAWING CUP* SILINDRIS UNTUK SELONGSONG PELURU KALIBER 20 MM

**Nama Mahasiswa :** Idiar  
**NRP :** 2114201004  
**Jurusan :** Teknik Mesin FTI-ITS  
**Pembimbing :** Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

### ABSTRAK

Pembuatan selongsong peluru diawali dengan pembentukan *cup* silindris melalui proses *deep drawing*. Langkah selanjutnya adalah proses penipisan (*ironing*) dinding *cup* silindris tersebut secara bertahap sampai menjadi bentuk selongsong. Untuk mendapatkan *cup* silindris sebagai material awal dalam pembuatan selongsong peluru, maka dirancang dan dibuat cetakan *deep drawing*. Rancangan proses *deep drawing* dibantu dengan perhitungan gaya dan spesifikasi *deep drawing* serta simulasi FE menggunakan *software PAM-STAMP 2G v2011*. Hasil simulasi digunakan sebagai acuan untuk merancang cetakan. Hal tersebut dimaksudkan agar didapat spesifikasi cetakan dan proses yang tepat untuk menghindari kemungkinan terjadinya cacat produk saat aplikasi proses *deep drawing*.

Dari simulasi FE yang telah dilakukan, dapat diketahui ukuran diameter *blank* hasil dari perhitungan *software PAM-INVERSE* adalah sebesar 62 mm, dapat membentuk *cup* silindris yang mendekati ukuran tinggi yang diinginkan. Tebal minimal pada sisi radius bagian dalam *cup* silindris hasil simulasi memberikan nilai sebesar 3.264 mm. Selanjutnya hasil simulasi digunakan sebagai acuan dalam perancangan cetakan *deep drawing*.

Rancangan dilengkapi dengan sistem *blank holder* menggunakan pegas tekan dengan total gaya tekan sebesar 1836 N. Peletakan *blank* sebelum di proses dan posisi *die* terhadap pelat bawah menggunakan sistem sangkar. *Die set* menggunakan empat tiang pengarah secara diagonal. Beberapa komponen utama cetakan seperti: *punch, die*, pelat atas, pelat bawah dibuat dan beberapa komponen standar dibeli di pasar. Agar komponen presisi, maka proses manufaktur dilakukan pada mesin CNC *milling* dan CNC *turning* dengan parameter proses sesuai dengan material komponen. Setelah itu, komponen-komponen tersebut dirakit menjadi sebuah cetakan dan digunakan untuk uji coba pembentukan *cup* silindris.

Uji coba pembentukan *cup* silindris dilakukan dengan 10 buah *blank* pada mesin *press* hidrolik kapasitas 80 ton. Hasil uji coba menunjukkan bahwa 7 buah *blank* dapat dibentuk menjadi *cup* silindris dan 3 buah *blank* membentuk *cup* silindris tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dimana sisi bagian atas *cup* tidak rata. Dari pemeriksaan ternyata ukuran ketebalan dinding, ukuran geometri *cup*, dan lokasi terjadinya penipisan *cup* silindris hasil uji coba pembentukan

mendekati hasil dari simulasi FE. Sehingga dapat dikatakan bahwa cetakan yang dirancang dan dibuat dapat memenuhi spesifikasi dan dapat digunakan untuk membentuk *cup* silindris.

Kata kunci: selongsong peluru, *cup* silindris, simulasi FE, *deep drawing*

## **DIE SET DESIGN FOR DEEP DRAWING CUP CYLINDRICAL SHELL-CALIBER 20 MILIMETERS**

**By** : **Idiar**  
**Student Identity Number** : **2114201004**  
**Supervisor** : **Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen  
Batan, M.Eng**

### **ABSTRACT**

Making shell begins with formation of a cylindrical cup through a deep drawing process. The next step is the process of thinning (ironing) wall of the cylindrical cup gradually to form be a shell of bullet. To obtain a cylindrical cup as starting materials in the manufacture of bullet casings, then designed and made molds deep drawing. The design process is assisted by the deep drawing force calculations and specifications of deep drawing and finite element (FE) simulations using software PAM-STAMP 2G v2011. The simulation results are used as a reference for designing the mold. It is intended that the specification obtained mold and the proper process to avoid potential product defects when deep drawing process applications.

From FE simulations have been done, it can be seen from the results of blank diameter calculation software PAM-Inverse is equal to 62 mm, can form a cylindrical cup closer to the size desired height. The minimum thickness of the inner radius of the cylindrical cup simulation results give a value of 3.264 mm. Furthermore, the simulation results are used as a reference in designing the mold deep drawing.

The design of the system is equipped with a blank holder using a spring press with total compressive force of 1836 N. Laying blank before in the process and the position of the die to the bottom plate using cage systems. Die set using the four pillars of the steering diagonally. Some of the major components such as mold: punch, die, the top plate, bottom plate made and some standard components purchased in the market. In order for precision components, the manufacturing process is done on a CNC milling machine and CNC turning the process parameters in accordance with material components. After that, the components are assembled into a mold and used to test the formation of a cylindrical cup.

The trial forming cylindrical cup made with 10 pieces of blank on a hydraulic press machine capacity of 80 tons. The trial results showed that 7 pieces of blank can be formed into a cylindrical cup and 3 pieces of blank form cylindrical cup does not meet the specifications set forth in which the upper side of the cup uneven. From the examination turned out to measure the wall thickness, geometry cup size, and location of the depletion of the cylindrical cup forming test results close to the results of the simulation FE. So it can be said that the

molds are designed and manufactured to meet the specifications and can be used to form a cylindrical cup.

Keywords: shell casings, cylindrical cup, FE simulations, deep drawing

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Asumsi Penelitian.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Selongsong Peluru.....	7
2.3 Material CuZn33.....	7
2.4 Pengertian <i>Deep Drawing</i> .....	8
2.5 Proses <i>Deep Drawing</i> .....	8
2.6 Spesifikasi <i>Deep Drawing</i> .....	10
2.7 Penentuan Gaya Dan Spesifikasi <i>Deep Drawing</i> .....	14
2.8 Komponen <i>Press Tool</i> .....	17
2.8.1 <i>Punch</i> .....	17
2.8.2 <i>Die</i> .....	18
2.8.3 <i>Tiang Pengarah</i> .....	19
2.9 Proses Permesinan.....	21
2.9.1 Proses Frais ( <i>Milling</i> ).....	21

2.9.2 Proses Bubut ( <i>Turning</i> ).....	22
2.9.3 Proses Gurdi ( <i>Drilling</i> ).....	22
2.10 <i>Software PAM-STAMP 2G</i> .....	23
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tahapan Penelitian .....	27
3.2 Langkah-Langkah Penelitian .....	29
3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan.....	29
3.2.2 Perumusan Masalah dan Penetapan Tujuan Penelitian.....	29
3.2.3 Analisa Proses <i>Deep Drawing Cup</i> Silindris.....	29
3.2.4 Perancangan Cetakan <i>Deep Drawing Cup</i> Silindris.....	30
3.2.5 Pembuatan dan Perakitan Cetakan <i>Deep Drawing Cup</i> Silindris.....	30
3.2.6 Uji Pembentukan <i>Cup</i> Silindris Pada Cetakan <i>Deep</i> <i>Drawing</i> .....	30
3.2.7 Kesimpulan dan Saran.....	30
<b>BAB 4 ANALISA PROSES DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	
4.1 Tahapan Penelitian .....	31
4.1.1 Perhitungan Variabel Proses <i>Deep Drawing Cup</i> Silindris ...	31
4.1.2 Simulasi Proses <i>Deep Drawing Cup</i> Silindris.....	33
<b>BAB 5 PERANCANGAN CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	
5.1 Rancangan Cetakan <i>Deep Drawing Cup</i> Silindris.....	45
5.2 Perhitungan Kekuatan Komponen.....	48
5.2.1 Pembuatan Rancangan Akhir & Detail Gambar Teknik .....	52
<b>BAB 6 PEMBUATAN DAN PERAKITAN CETAKAN DEEP DRAWING</b>	
6.1 Pembuatan Komponen.....	55
6.2 Perakitan Komponen.....	66
6.3 Uji Pembentukan <i>Cup</i> Silindris Pada Cetakan <i>Deep Drawing</i> .....	68
6.3.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	69
6.3.2 Langkah-Langkah Uji Pembentukan <i>Cup</i> Silindris.....	69
6.3.3 Hasil Uji Pembentukan <i>Cup</i> Silindris.....	71
6.3.4 Analisa Hasil Uji Pembentukan <i>Cup</i> Silindris.....	71

6.3.5 Pembahasan Hasil Perbandingan .....	76
<b>BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
7.1 Kesimpulan.....	79
7.2 Saran.....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Mechanical Propertis CuZn33</i> .....	8
Tabel 2.2	Kecepatan Maksimal Proses <i>Deep Drawing</i> .....	13
Tabel 2.3	Nilai $\beta_{\max}$ .....	15
Tabel 2.4	Daftar <i>Clearance</i> Untuk Proses <i>Deep Drawing</i> .....	16
Tabel 2.5	Konstanta <i>Die</i> .....	19
Tabel 4.1	Data Simulasi Awal .....	37
Tabel 5.1	Rancangan Bagian .....	46
Tabel 5.2	Rancangan Bagian (lanjutan) .....	47
Tabel 5.3	Daftar Komponen Cetakan <i>Deep Drawing</i> .....	47
Tabel 5.4	Daftar Komponen Cetakan <i>Deep Drawing</i> (lanjutan).....	48
Tabel 5.5	Berat Total Konstruksi Pelat Atas .....	49
Tabel 5.6	Berat Total Konstruksi Pelat Atas (lanjutan).....	50
Tabel 6.1	Tahapan Proses Pembuatan Pelat Bawah.....	56
Tabel 6.2	Tahapan Proses Pembuatan Pelat Atas.....	57
Tabel 6.3	Tahapan Proses Pembuatan Pelat Atas (lanjutan).....	58
Tabel 6.4	Tahapan Proses Pembuatan <i>Blank Holder</i> .....	59
Tabel 6.5	Tahapan Proses Pembuatan <i>Blank Holder</i> (lanjutan).....	60
Tabel 6.6	Tahapan Proses Pembuatan <i>Die</i> .....	61
Tabel 6.7	Tahapan Proses Pembuatan <i>Punch Holder</i> .....	62
Tabel 6.8	Tahapan Proses Pembuatan <i>Punch</i> .....	63
Tabel 6.9	Tahapan Proses Pembuatan <i>Shank</i> .....	64
Tabel 6.10	Tahapan Proses Pembuatan Pegas.....	65
Tabel 6.11	Langkah Perakitan Komponen .....	66
Tabel 6.12	Langkah Perakitan Komponen (lanjutan) .....	67
Tabel 6.13	Langkah Perakitan Komponen (lanjutan) .....	68
Tabel 6.14	Hasil Pengukuran Geometri <i>Cup</i> Hasil Uji Coba .....	74
Tabel 6.15	Hasil Pengukuran Geometri <i>Cup</i> Hasil Uji Coba (lanjutan).....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rangka Mesin <i>Press</i> Hidrolik.....	2
Gambar 2.1	Bagian-Bagian Selongsong Peluru.....	7
Gambar 2.2	<i>Lay-out</i> Proses <i>Deep Drawing</i> .....	8
Gambar 2.3	Tahapan Proses <i>Deep Drawing</i> .....	9
Gambar 2.4	Skema Proses <i>Deep Drawing</i> Bentuk <i>Cup</i> .....	14
Gambar 2.5	Skema Perhitungan Diameter <i>Blank</i> .....	15
Gambar 2.6	Skema Spesifikasi <i>Deep Drawing</i> .....	17
Gambar 2.7	Panjang <i>Punch</i> Dengan Pengarah.....	18
Gambar 2.8	Tiang Dan <i>Bush</i> Pengarah.....	19
Gambar 2.9	Diameter Tiang Pengarah.....	20
Gambar 2.10	<i>Proses Inverse</i> .....	24
Gambar 2.11	<i>Parametric Modeling</i> .....	24
Gambar 2.12	Studi Kelayakan.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian (lanjutan).....	28
Gambar 4.1	<i>Cup</i> Silindris.....	31
Gambar 4.2	Model <i>Part</i> Dalam Bentuk <i>Surface</i> .....	34
Gambar 4.3	Model <i>Part</i> Simulasi.....	34
Gambar 4.4	Data Material Untuk Simulasi.....	35
Gambar 4.5	<i>Tool</i> Simulasi.....	36
Gambar 4.6	Hasil Simulasi Awal.....	37
Gambar 4.7	Produk dalam bentuk <i>surface</i> .....	39
Gambar 4.8	Tampilan awal.....	39
Gambar 4.9	Tampilan lokasi penyimpanan <i>file</i> .....	40
Gambar 4.10	Tahap dalam <i>import file</i> .....	41
Gambar 4.11	Model produk yang telah di- <i>import</i> .....	41
Gambar 4.12	Parameter proses <i>inverse (flattening)</i> .....	42
Gambar 4.13	Tampilan jenis <i>host solver</i> .....	42
Gambar 4.14	Bentangan produk.....	43

Gambar 4.15	Hasil Simulasi Ulang.....	43
Gambar 5.1	Data Acuan Perancangan.....	45
Gambar 5.2	Ukuran Pegas Terpilih.....	52
Gambar 5.3	Bentuk Tiga Dimensi Rancangan Akhir.....	53
Gambar 6.1	Pelat Bawah.....	55
Gambar 6.2	Pelat Atas.....	57
Gambar 6.3	<i>Blank Holder</i> .....	59
Gambar 6.4	<i>Die</i> .....	60
Gambar 6.5	<i>Punch Holder</i> .....	61
Gambar 6.6	<i>Punch</i> .....	63
Gambar 6.7	<i>Shank</i> .....	64
Gambar 6.8	Pengarah Pegas.....	65
Gambar 6.9	Proses Pembersihan <i>Bed</i> Dan Pemasangan Cetakan <i>Deep</i> <i>Drawing</i> Di Mesin <i>Press</i> Hidrolik 80 ton .....	69
Gambar 6.10	Posisi <i>Blank</i> Sebelum Dilakukan Proses Pembentukan .....	70
Gambar 6.11	<i>Blank</i> Diameter 62 mm dan 67 mm .....	71
Gambar 6.12	<i>Cup</i> Silindris Hasil Uji Pembentukan .....	71
Gambar 6.13	Hasil Simulasi Awal vs Hasil Uji Pembentukan .....	72
Gambar 6.14	Hasil Simulasi Lanjutan vs Hasil Uji Pembentukan .....	73
Gambar 6.15	Hasil Pengukuran Geometri <i>Cup</i> Hasil Simulasi .....	74
Gambar 6.16	Tinggi <i>Cup</i> Silindris Hasil Uji Pembentukan .....	77
Gambar 6.17	Posisi Peletakan <i>Blank</i> Pada <i>Die</i> .....	77

## DAFTAR SIMBOL

E	= <i>Young's Modulus</i>	N/mm <sup>2</sup>
UTS	= <i>Ultimate Tensile Strength</i>	N/mm <sup>2</sup>
d <sub>p</sub>	= <i>Diameter punch</i>	mm
r <sub>p</sub>	= <i>Radius punch</i>	mm
r <sub>D</sub>	= <i>Radius die</i>	mm
u <sub>D</sub>	= <i>Clearance</i>	mm
d <sub>0</sub>	= <i>Diameter blank</i>	mm
d <sub>e</sub>	= <i>Diameter efektif blank</i>	mm
β	= <i>Draw ratio</i> sebenarnya	-
s <sub>0</sub>	= <i>Tebal blank</i>	mm
F <sub>d</sub>	= <i>Gaya drawing</i>	kN
F <sub>BH</sub>	= <i>Gaya blank holder</i>	kN
A <sub>BH</sub>	= <i>Luas bidang kontak blank holder</i>	mm <sup>2</sup>
P <sub>BH</sub>	= <i>Tekanan blank holder</i>	N/mm <sup>2</sup>
d <sub>tp</sub>	= <i>Diameter tiang pengarah</i>	mm
A <sub>baut</sub>	= <i>Luas penampang baut</i>	mm <sup>2</sup>
a, b	= <i>Pembukaan dimensi die</i>	mm
C <sub>d</sub>	= <i>Nilai konstanta material</i>	-
e	= <i>Lebar dinding die</i>	mm
H <sub>d</sub>	= <i>Tinggi die</i>	mm
I	= <i>Momen inersia</i>	mm <sup>4</sup>
k	= <i>Konstanta pegas</i>	N/mm <sup>2</sup>

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Gambar Susunan & Gambar Bagian
Lampiran 2	Standar Tiang Pengarah
Lampiran 3	Standar <i>Bush</i> Pengarah
Lampiran 4	Standar Pegas
Lampiran 5	Tabel-Tabel Parameter Proses Permesinan



---

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Selongsong merupakan bagian utama dalam membentuk sebuah konstruksi peluru yang utuh. Hal tersebut dikarenakan selongsong berfungsi sebagai dudukan bagi komponen-komponen pembentuk sebuah konstruksi peluru seperti proyektil, primer dan mesiu. Proses pembuatan selongsong secara umum terbagi dalam 2 jenis yaitu *deep drawing* dan *ironing*. Proses *deep drawing* digunakan untuk pembuatan material awal berupa *cup* silindris, sedangkan proses *ironing* merupakan langkah lanjutan yang didalamnya terdapat beberapa tahapan proses untuk merubah *cup* silindris menjadi bentuk selongsong.

*Deep drawing* merupakan proses pembentukan lembaran logam menjadi produk berbentuk *cup* dengan kedalaman tertentu. Cara kerja proses ini yaitu material logam berupa pelat atau lembaran diletakkan di atas *die* dan dijepit oleh *blank holder*, setelah itu ditekan oleh *punch* sehingga material dapat mengalir dan mengikuti bentuk rongga *die* (Tschaetsch, 2005). Hasil akhir produk *deep drawing* sangat dipengaruhi oleh penentuan spesifikasi proses yang tepat pada tahap perancangan awal. Spesifikasi *deep drawing* yang ditentukan secara sembarang dapat menyebabkan beberapa jenis cacat seperti retak, kerut, pecah serta penipisan dinding produk. Dimensi dari spesifikasi yang sesuai terhadap tuntutan kebutuhan produk yang ada dapat diketahui dengan melakukan pendekatan simulasi *finite element* (FE) menggunakan *software*.

Atrian dan Sanie (2013) melakukan studi eksperimen dan simulasi FE menggunakan *software ANSYS* terhadap proses *deep drawing* pada lembaran lapisan baja/kuningan. Beberapa tes dilakukan untuk melakukan investigasi pengaruh dari beberapa variabel seperti urutan susunan lapisan, pelumasan, gaya *blank holder* dan diameter *blank* komposit pada kurva *load-displacement* dan bentuk akhir dari komponen yang diproduksi. Investigasi distribusi regangan dan tegangan pada *cup* hasil *deep drawing* telah dilakukan dan hasil simulasi FE



menunjukkan bahwa metode numerik dapat memprediksi beberapa lokasi terjadinya sobekan sama seperti yang terjadi pada uji eksperimen.

Candra dkk., (2015) memprediksi *the maximum varying blank holder force* (VHBF) untuk mencegah terjadinya retak pada produk *deep drawing* yang berbentuk *cup* silindris. Jenis material produk yang dipakai yaitu SPCD dengan tebal 0.2 mm. Diameter produk *cup* silindris sebesar 40 mm. Simulasi FE menggunakan *Autoform V3.1*. Analisa hasil perhitungan VHBF dibandingkan terhadap hasil simulasi FE yaitu bagaimana pengaruhnya terhadap pencegahan terjadinya retak. Nilai VHBF maksimum secara analitis, tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi FE. Penggunaan VHBF lebih efektif untuk mencegah proses peretakan serta dapat meningkatkan sifat mampu bentuk ( *formability*) pada produk tersebut, jika dibandingkan terhadap penggunaan gaya *blank holder* yang konstan.

Berdasarkan kebutuhan untuk proses pembuatan selongsong peluru tersebut, pada tahun 2016 di Laboratorium Manufaktur Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya sudah dibuat rangka mesin *press* hidrolis dan komponen-komponen pendukungnya seperti *bed*, *ram*, pengarah *ram*, hidrolis beserta dengan sistem pompanya seperti terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Rangka mesin *press* hidrolis



Tahap selanjutnya yaitu untuk mendapatkan *cup* silindris sebagai bentuk awal dalam proses pembuatan selongsong peluru, maka akan dirancang dan dibuat cetakan *deep drawing*. Perancangan cetakan terbagi dalam 2 tahapan yaitu tahap analisa perhitungan manual dan tahap simulasi FE menggunakan *software PAM-STAMP 2G v2011*. Hasil simulasi FE berupa spesifikasi *deep drawing* yang tepat untuk menghindari kemungkinan terjadinya cacat produk. Spesifikasi tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam merancang cetakan *deep drawing*. Setelah itu, langkah selanjutnya adalah proses pembuatan cetakan *deep drawing* untuk produk *cup* silindris. Setelah pembuatan cetakan, dilakukan uji coba pembentukan *cup* silindris dengan proses *deep drawing*, sebagai material dasar pembentukan selongsong peluru kaliber 20 mm.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan permasalahan yang dapat ditetapkan berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang cetakan *deep drawing* untuk produk *cup* silindris selongsong peluru kaliber 20 mm.
2. Bagaimana membuat cetakan *deep drawing* untuk produk *cup* silindris selongsong peluru kaliber 20 mm.
3. Bagaimana hasil uji coba cetakan untuk membuat *cup* silindris yang telah ditetapkan.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang ditetapkan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan untuk selongsong peluru adalah CuZn33.
2. Konsep rancangan cetakan *deep drawing cup* silindris yang dibuat berdasarkan spesifikasi *ram, bed*, silinder hidrolis yang sudah tersedia.
3. Perhitungan manual yang dibahas pada rancangan cetakan *deep drawing* hanya pada dimensi tiang pengarah, tinggi *die*, panjang maksimal *punch*, kekuatan baut pengikat dan dimensi pegas *blank holder*.



4. Simulasi dilakukan hanya pada perubahan diameter *blank*.
5. Sistem penekanan *blank holder* menggunakan pegas.
6. Komponen standar dan aksesoris pada cetakan *deep drawing* tidak dibahas.
7. Beberapa komponen utama dibuat dengan mesin CNC *milling* dan *turning*, sedangkan komponen standar didapat dari pasaran.
8. Tidak membahas biaya dan waktu permesinan.

#### **1.4 Asumsi Penelitian**

Asumsi-asumsi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan memiliki kehomogenan sifat mekanik.
2. Kecepatan *punch* saat proses simulasi dianggap konstan.

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan konsep rancangan cetakan *deep drawing* yang tepat untuk membentuk *cup* silindris dengan proses *deep drawing*.
2. Mendapatkan konstruksi cetakan *deep drawing* yang dapat membentuk *cup* silindris dengan menggunakan mesin *press* hidrolik beserta komponen pelengkap yang sudah tersedia.
3. Mendapatkan *cup* silindris sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah *database* simulasi tentang faktor perubahan diameter *blank* pada proses *deep drawing* produk *cup* silindris.
2. Sebagai referensi bagi penelitian sejenis dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang proses *deep drawing* pada produk *cup* silindris.



---

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan beberapa hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan tema penelitian yang akan dibahas sekarang ini yaitu sebagai berikut:

Agnihotri dan Dwivedi (2015) mengembangkan sebuah teknik untuk meningkatkan *drawability* pada material *Aluminium* paduan AA1200 yang berbentuk *cup* silindris. Pengaruh dari geometri *punch* dan *die* termasuk radius *punch* dan *die*, pada *limiting drawing ratio* (LDR), gaya *drawing* yang berhubungan dengan *punch stroke* dan regangan pada dinding *cup* telah diteliti secara numerik untuk desain proses optimal. *Software* simulasi FE komersial yaitu *ANSYS 14.0* digunakan untuk menentukan LDR optimum. Sebuah persiapan eksperimen dibuat sesuai sudut setengah kerucut sebesar  $18^\circ$ . Lembaran paduan AA1200 digunakan dalam eksperimen dan analisis FE. Pengaruh dari ketebalan *blank* original sebesar 2 mm pada variasi LDR dan *punch load* diinvestigasi secara numerik. Proses ini berhasil menghasilkan *cup* silindris dengan *drawing ratio* sebesar 2.64.

Secgin dan Savas (2010) melakukan investigasi pengaruh dari bentuk *die* dan *blank holder* dengan menggunakan enam bentuk yang berbeda. Material *blank* yang digunakan yaitu baja karbon rendah tipe DIN 10130-99-DC05 dengan tebal 1 mm. Mereka mengukur distribusi gaya *blank holder*, gaya pembentukan pada kedalaman *drawing* yang berbeda sebagaimana penipisan yang terjadi pada dinding *cup* untuk masing-masing pasangan dari geometri *punch* dan *die*. Studi eksperimen menunjukkan bahwa sudut *blank* dan permukaan *die* ( $\alpha$ ) mempengaruhi distribusi gaya *blank holder* dan gaya pembentukan. Gaya *blank holder* menurun dari 10.3 kN pada  $\alpha = 0^\circ$  menjadi 3.0 kN dengan  $\alpha = 2.5^\circ$  dan peningkatan nilai  $\alpha$  selanjutnya terlihat gaya *blank holder* cenderung konstan. Nilai  $\alpha$  semakin meningkat menyebabkan penurunan *punch force*, dengan nilai



minimum pada  $\alpha = 12.5^\circ$ . Peningkatan nilai  $\alpha$  cenderung menurunkan ketebalan dinding *cup*.

Chamekh dkk., (2010) membuat sebuah metamodel berdasarkan jaringan syaraf tiruan yang akan digabungkan dengan sebuah prosedur optimasi agar dapat memprediksi bentuk *blank* awal pada *cup* persegi panjang. Desain *blank* awal merupakan langkah penting dalam proses desain *deep drawing*. Oleh karena itu, sebuah pendekatan yang mudah dalam memprediksi bentuk *blank* awal ini diperlukan agar dapat mengurangi pemborosan bahan dan mengatasi waktu yang lama jika menggunakan pendekatan klasik. Metamodel dibuat menggunakan *software* simulasi FE yaitu *ABAQUS*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk yang diinginkan sesuai dengan yang dihitung dengan menggunakan bentuk *blank* yang dioptimalkan.

Bal dan Ozek (2009) melakukan percobaan sebuah *deep drawing die* dengan menetapkan lima sudut dan radius *die/blank holder* yang berbeda. Hasil percobaan menunjukkan bahwa radius *punch* dan *die/blank holder* adalah cara efektif untuk mendapatkan *drawability* yang dalam pada lembaran logam *DIN EN 10130-91*. Hasilnya, LDR bisa mencapai 2.3 pada radius *punch* dan *die/blank holder* 10 mm untuk  $\alpha = 12.5^\circ$ . LDR meningkat dengan meningkatnya radius *punch*, dan sudut *die/blank holder* karena meningkatnya tegangan radial dan tegangan longitudinal arah melingkar. Hal ini disebabkan oleh aliran mudah lembaran logam ke dalam rongga *die*. Percobaan menunjukkan bahwa radius *punch* dan sudut *die/blank holder* merupakan faktor utama untuk LDR.

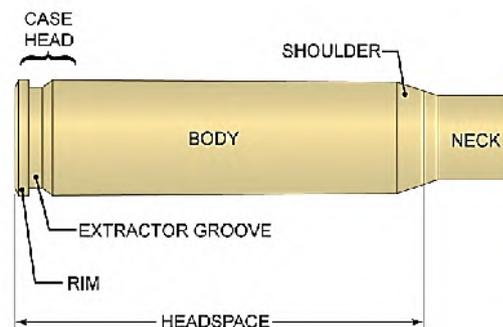
Hendrawan (2009) melakukan penelitian untuk menganalisa kerusakan yang terjadi pada proses *deep drawing* produk otomotif tutup *shock absorber* dengan metode elemen hingga yang menggunakan paket *software ABAQUS 65-3 SE*. Parameter-parameter yang diteliti adalah pengaruh variasi *die* radius dan *die clearance* terhadap kemungkinan terjadinya cacat pecah (*tearing*) atau cacat kerut (*wrinkling*). Hasil simulasi yang divalidasi dengan hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor radius dan *clearance* yang tidak tepat dalam desain perancangan *dies* dapat menyebabkan kedua cacat tersebut. Pada simulasi radius 5 mm mengalami penipisan pelat yang paling besar, hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil radius *die* akan mengakibatkan penipisan material (*ironing*)



dimana pada tahap ini cenderung terjadi cacat pecah. Sedangkan, pada simulasi menunjukkan bahwa *die clearance* yang semakin besar akan mengakibatkan cacat kerut.

## 2.2 Selongsong Peluru

Seluruh komponen dari peluru seperti *projectile*, selongsong, dan serbuk mesiu sering disebut satu kesatuan sebagai *cartridge*. Bagian utama dari *cartridge* adalah selongsong yang merupakan tempat penyimpan bubuk mesiu dan tempat peletakan *projectile* sebelum ditembakkan dari *barrel* senapan. Dimensi selongsong peluru dibedakan sesuai dengan jenis dan besar dari *caliber projectile* yang ditembakkan dan harus memenuhi spesifikasi *chamber* dari senapan yang digunakan. Selongsong peluru menyediakan tempat yang kokoh yang menyatukan *primer*, *propellant*, dan *projectile*. Pada bagian belakang selongsong peluru terdapat *rim* yang berisi *primer*. *Primer* merupakan penyulut bubuk mesiu yang berada di dalam *body* selongsong sehingga memicu ledakan untuk melontarkan selongsong. Gambar bagian-bagian dari selongsong peluru ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian-bagian selongsong peluru ([www.cartridgecollectors.org](http://www.cartridgecollectors.org))

## 2.3 Material CuZn33

Bahan yang digunakan untuk pembuatan selongsong peluru adalah kuningan CuZn33. CuZn33 merupakan tembaga paduan dengan *zinc* sebanyak 33%. Penambahan unsur *zinc* pada paduan memberikan keuntungan pada peningkatan kekuatan material. Detail dari CuZn33 adalah sebagai berikut:



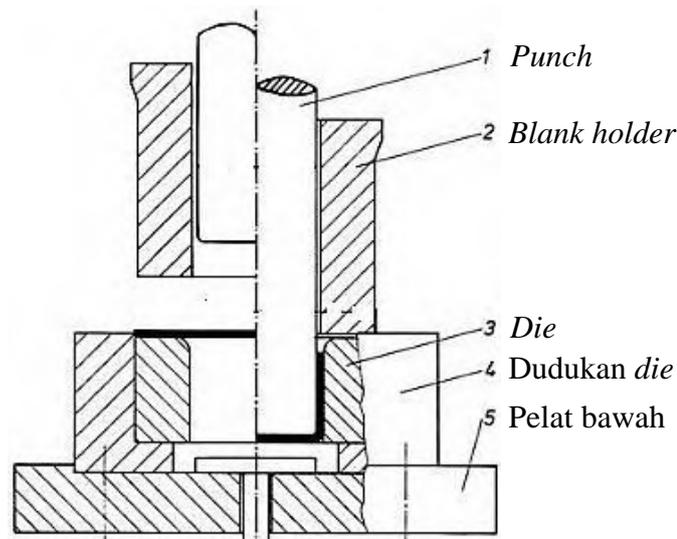
Tabel 2.1 *Mechanical Properties CuZn33*

Karakteristik Material	Nilai
<i>Young's Modulus</i> , E (Gpa)	100
<i>Yield Strength</i> (MPa)	130
<i>Tensile Strength</i> , UTS (MPa)	484
<i>Strain Hardening Exponent</i> , n	0.39
<i>Strength Coefficient</i> , K (MPa)	698

Sumber: Dhaiban dkk., 2013

## 2.4 Pengertian *Deep Drawing*

*Deep drawing* adalah proses pembentukan lembaran logam (*blank*) menjadi bagian yang berongga. Proses tersebut melibatkan pembentukan oleh gaya tekan dan tarik. Deformasi berlangsung menggunakan: sebuah *die*, *punch* dan *blank holder* seperti pada Gambar 2.2. Dalam prosesnya, *punch* menarik material melalui celah yang dibentuk oleh *punch* dan *die*, lalu membentuk material tersebut menjadi sebuah *cup*.



Gambar 2.2 *Lay-out* proses *deep drawing* (Tschaetsch, 2005)

## 2.5 Proses *Deep Drawing*

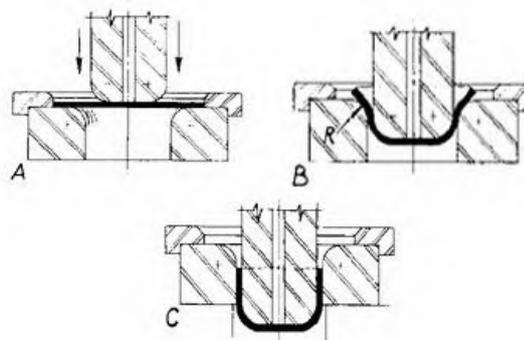
Pengertian dari *sheet metal* adalah lembaran logam dengan ketebalan maksimal 6 mm, lembaran logam di pasaran dijual dalam bentuk lembaran dan



gulungan. Terdapat berbagai tipe dari lembaran logam yang digunakan, pemilihan dari jenis lembaran tersebut tergantung dari:

1. *Strain rate* yang diperlukan.
2. Benda yang akan dibuat.
3. Material yang diinginkan.
4. Ketebalan benda yang akan dibuat.
5. Kedalaman benda.

Pada umumnya berbagai jenis material logam dalam bentuk lembaran dapat digunakan untuk proses *deep drawing* seperti *stainless steel*, *aluminium*, tembaga, kuningan, perak, emas, baja maupun titanium. Gambar tahapan proses *deep drawing* yaitu:



Gambar 2.3 Tahapan proses *deep drawing* (Ostergaard, 1967)

Berikut adalah macam-macam proses yang terjadi pada proses *deep drawing* :

a) Kontak awal

Pada Gambar 2.3.A, *punch* bergerak dari atas ke bawah, *blank* dipegang oleh *blank holder* agar tidak bergeser ke samping, kontak awal terjadi ketika bagian-bagian dari cetakan saling menyentuh *blank* saat kontak awal terjadi belum terjadi gaya dan gesekan dalam proses *drawing*.

b) *Bending*

Selanjutnya *blank* mengalami proses *bending* seperti pada Gambar 2.3.B, *punch* terus menekan ke bawah sehingga posisi *punch* lebih



dalam melebihi jari-jari dari *die*, sedangkan posisi *die* tetap tidak bergerak. Kombinasi gaya tekan dari *punch* dan gaya penahan dari *die* menyebabkan material mengalami peregangan sepanjang jari-jari *die*, sedangkan daerah terluar dari *blank* mengalami kompresi arah radial. *Bending* merupakan proses pertama yang terjadi pada rangkaian pembentukan proses *deep drawing*, keberhasilan proses *bending* ditentukan oleh aliran material saat proses terjadi.

c) *Straightening*

Saat *punch* sudah melewati radius *die*, gerakan *punch* ke bawah akan menghasilkan pelurusan sepanjang dinding *die* dapat dilihat pada Gambar 2.3.C, *blank* akan mengalami peregangan sepanjang dinding *die*. Dari proses pelurusan sepanjang dinding *die* diharapkan mampu menghasilkan bentuk silinder sesuai dengan bentuk *die* dan *punch*.

d) *Compression*

Proses *compression* terjadi ketika *punch* bergerak ke bawah, akhirnya *blank* tertarik untuk mengikuti gerakan *punch*. Daerah *blank* yang masih berada pada *blank holder* akan mengalami *compression* arah radial mengikuti bentuk dari *die*.

e) *Tension*

Tegangan tarik terbesar terjadi pada bagian bawah *cup* produk hasil *deep drawing*. Bagian ini adalah bagian yang paling mudah mengalami cacat sobek, pembentukan bagian bawah *cup* merupakan proses terakhir pada proses *deep drawing*.

## 2.6 Spesifikasi *Deep Drawing*

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses *deep drawing*. Spesifikasi yang mempengaruhi proses *deep drawing* antara lain:

a) Gesekan

Saat proses *deep drawing* berlangsung gesekan terjadi antara permukaan *punch*, *die* dengan *blank*, gesekan akan mempengaruhi hasil dari produk yang dihasilkan sekaligus mempengaruhi besarnya gaya yang dibutuhkan untuk proses



pembentukan, semakin besar gaya gesek maka gaya untuk proses *deep drawing* juga meningkat, beberapa faktor yang mempengaruhi gesekan antara lain :

1. Pelumasan

Proses pelumasan adalah salah satu cara mengontrol kondisi lapisan tribologi pada proses *deep drawing*, dengan pelumasan diharapkan mampu menurunkan koefisien gesek permukaan material yang bersinggungan.

2. Gaya *blank holder*

Gaya *blank holder* yang tinggi akan meningkatkan gesekan yang terjadi, bila gaya *blank holder* terlalu tinggi dapat mengakibatkan aliran material tidak sempurna sehingga produk dapat mengalami cacat.

3. Kekasaran permukaan *blank*

Kekasaran permukaan *blank* mempengaruhi besarnya gesekan yang terjadi, semakin kasar permukaan *blank* maka gesekan yang terjadi juga semakin besar. Hal ini disebabkan koefisien gesek yang terjadi semakin besar seiring dengan peningkatan kekasaran permukaan.

4. Kekasaran permukaan *punch, die* dan *blank holder*

Seperti halnya permukaan *blank* semakin kasar permukaan *punch, die* dan *blank holder* koefisien gesek yang dihasilkan semakin besar sehingga gesekan yang terjadi juga semakin besar.

b) *Bending & straightening*

Pada proses *deep drawing* setelah *blank holder* dan *punch* menempel pada permukaan *blank* saat kondisi *blank* masih lurus selanjutnya terjadi proses pembengkokan material (*bending*) dan pelurusan *sheet* sepanjang sisi samping dalam *die* (*straightening*). Spesifikasi yang mempengaruhi proses ini adalah:

1. Radius *punch*

Radius *punch* disesuaikan dengan besarnya radius *die*, radius *punch* yang tajam akan memperbesar gaya *bending* yang dibutuhkan untuk proses *deep drawing*.



## 2. Radius *die*

Radius *die* disesuaikan dengan produk yang pada nantinya akan dihasilkan, radius *die* berpengaruh terhadap gaya pembentukan, bila besarnya radius *die* mendekati besarnya tebal lembaran logam maka gaya *bending* yang terjadi semakin kecil sebaliknya apabila besarnya radius *die* semakin meningkat maka gaya *bending* yang terjadi semakin besar.

## c) Penekanan

Proses penekanan terjadi setelah proses *straightening*, proses ini merupakan proses terakhir yang menentukan bentuk dari bagian bawah produk *deep drawing*, besarnya gaya tekan yang dilakukan dipengaruhi oleh :

### 1. Keuletan logam

Semakin ulet *blank* semakin besar kemampuan *blank* untuk dibentuk ke dalam bentuk yang beranekaragam dan tidak mudah terjadi sobek (*cracking*) pada saat proses penekanan, keuletan logam yang kecil mengakibatkan *blank* mudah sobek.

### 2. *Drawability*

*Drawability* adalah kemampuan bahan untuk dilakukan proses *deep drawing*, sedangkan nilainya ditentukan oleh LDR batas maksimum adalah batas dimana bila material mengalami proses penarikan dan melebihi nilai limit akan terjadi cacat sobek (*cracking*).

### 3. Ketebalan *blank*

Ketebalan *blank* mempengaruhi besar dari gaya penekanan yang dibutuhkan, semakin tebal *blank* akan dibutuhkan gaya penekanan yang besar sebaliknya bila *blank* semakin tipis maka dibutuhkan gaya yang kecil untuk menekan *blank*.

### 4. Tegangan maksimum material

Material *blank* yang mempunyai tegangan maksimum besar mempunyai kekuatan menahan tegangan yang lebih besar sehingga produk tidak mudah mengalami cacat material dengan tegangan maksimum kecil mudah cacat seperti sobek dan berkerut.



d) Diameter *blank*

Diameter *blank* tergantung dari bentuk produk yang akan dibuat, apabila material kurang dari kebutuhan dapat menyebabkan bentuk produk tidak sesuai dengan yang diinginkan, namun bila material *blank* terlalu berlebih dari kebutuhan dapat menyebabkan terjadinya cacat pada produk seperti kerutan pada pinggiran serta sobek pada daerah yang mengalami *bending*.

e) *Clearance*

*Clearance* atau kelonggaran adalah celah antara *punch* dan *die* untuk memudahkan gerakan *blank* saat proses *deep drawing* berlangsung. Nilai *clearance* terlalu kecil atau kurang dari tebal *blank* maka dapat mengalami penipisan (*ironing*) dan bila besar *clearance* melebihi toleransi 20% dapat mengakibatkan terjadinya kerutan.

f) *Strain ratio*

*Strain ratio* adalah ketahanan *blank* untuk mengalami peregangan, bila lembaran memiliki perbandingan regangan yang tinggi maka kemungkinan terjadinya sobekan akan lebih kecil.

g) Kecepatan proses *deep drawing*

*Deep drawing* dengan jenis *punch* berada diatas dengan *nest* dapat diberi kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan jenis *die* yang menggunakan *blank holder*, kecepatan yang tidak sesuai dapat menyebabkan retak bahkan sobek pada material, masing-masing jenis material mempunyai karakteristik berbeda sehingga kecepatan maksimal masing-masing material juga berbeda.

Tabel 2.2 Kecepatan Maksimal Proses *Deep Drawing*

Material	Kecepatan (m/s)
<i>Brass</i>	1.02
<i>Copper</i>	0.762

Sumber: Semiatin, 2006



## 2.7 Penentuan Gaya Dan Spesifikasi *Deep Drawing*

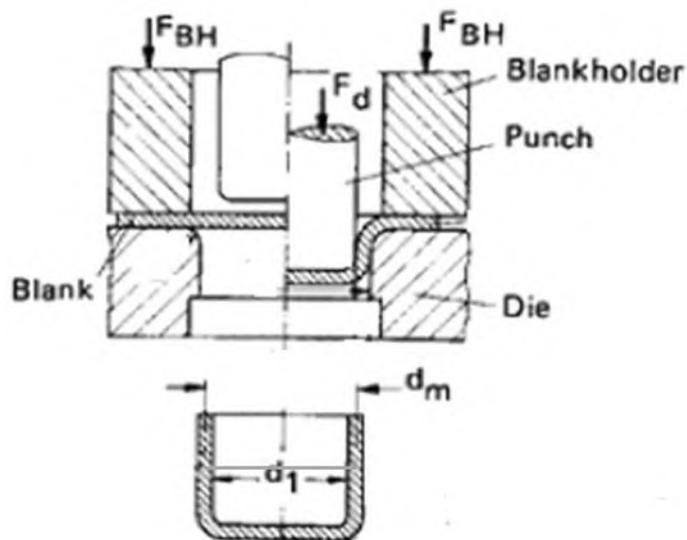
### 2.7.1 Gaya *Drawing* ( $F_d$ )

Sebuah persamaan yang disarankan oleh Siebel dan Beisswanger (Lange, 1985) untuk menentukan gaya *drawing* ( $F_d$ ) maksimum dengan menggunakan efisiensi deformasi ( $\eta_{def}$ ) yaitu:

$$F_d = \pi \cdot d_m \cdot s_0 \cdot \left[ 1.1 \frac{\sigma_{f,m,l}}{\eta_{def}} \cdot \left( \ln \cdot \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right) \right] \quad (2.1)$$

Efisiensi deformasi ditentukan dalam batas  $\eta_{def} = 0.5 - 0.7$ . Tegangan alir rata-rata pada *flange* ( $\sigma_{f,m,l}$ ) ditentukan melalui pendekatan dari UTS yaitu:

$$\sigma_{f,m,l} \approx 1.3 \cdot UTS \quad (2.2)$$



Gambar 2.4 Skema proses *deep drawing* bentuk *cup* (Lange, 1985)

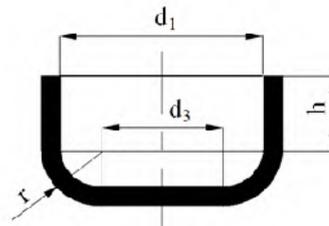
### 2.7.2 Diameter *Blank* ( $d_0$ )

Perhitungan diameter *blank* disesuaikan dengan bentuk produk yang akan dibentuk. Diameter *blank* bentuk *cup* silindris yang akan dibuat dapat dihitung dengan persamaan 2.3 dan 2.4 (Lange, 1985) sebagai berikut:

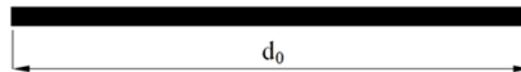


$$d_0 = \sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (1.57 \cdot r \cdot d_3 + 2 \cdot r^2 + h \cdot d_1)} \text{ atau} \quad (2.3)$$

$$d_0 = \sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_1(h + 0.57 \cdot r) - 0.56 \cdot r^2} \quad (2.4)$$



(a) *Cup* silindris sebelum dibentang



(b) *Cup* silindris setelah dibentang

Gambar 2.5 Skema perhitungan diameter *blank* (Lange, 1985)

### 2.7.3 *Drawing Ratio* ( $\beta$ )

Nilai  $\beta$  tidak boleh melebihi nilai dari *limiting drawing ratio* ( $\beta_{\max}$ ) untuk mencegah terjadinya *crack* pada sisi bagian bawah *cup* yang dibentuk. *Drawing ratio* dapat dihitung dengan persamaan 2.5 (Lange, 1985) yaitu:

$$\beta = \frac{d_0}{d_1} \quad (2.5)$$

Tabel berikut ini merupakan nilai pendekatan  $\beta_{\max}$  dari beberapa jenis material yaitu:

Tabel 2.3 Nilai  $\beta_{\max}$

Material	$\beta_{\max}$
<i>Steel</i>	1.8 – 2.2
<i>Aluminium, copper, Al Cu Mg</i>	2.1
<i>Brass</i>	1.7 – 2.2

Sumber: Lange, 1985



#### 2.7.4 Die Clearance ( $u_D$ )

Ukuran *die clearance* ( $u_D$ ) yang digunakan untuk proses *deep drawing* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.4 Daftar *Clearance* Untuk Beberapa Jenis Proses *Deep Drawing*

Tebal <i>Blank</i> (mm)	Hubungan Ketebalan Terhadap <i>Clearance</i> :		
	<i>Cupping</i>	<i>Redrawing</i>	<i>Sizing Draws</i>
Up to 0.38	$1.07-1.09 \cdot s_0$	$1.08-1.10 \cdot s_0$	$1.04-1.05 \cdot s_0$
0.41 – 1.27	$1.08-1.10 \cdot s_0$	$1.09-1.12 \cdot s_0$	$1.05-1.06 \cdot s_0$
1.29 – 3.18	$1.10-1.12 \cdot s_0$	$1.12-1.14 \cdot s_0$	$1.07-1.09 \cdot s_0$
3.2 dan di atasnya	$1.12-1.14 \cdot s_0$	$1.15-1.20 \cdot s_0$	$1.08-1.10 \cdot s_0$

Sumber: Semiatin, 2006

#### 2.7.5 Radius *Die* ( $r_D$ )

Oehler dan Kaiser telah mengembangkan persamaan berikut ini secara empiris (Lange, 1985) untuk menghitung radius *die* ( $r_D$ ) yaitu:

$$r_D = 0.035 \cdot [50 + (d_0 - d_1)] \cdot \sqrt{s_0} \quad (2.6)$$

dimana:

$s_0$  = tebal *blank* (mm)

$d_1$  = diameter dalam *cup* silindris (mm)

#### 2.7.6 Gaya *Blank Holder* ( $F_{BH}$ )

a. Luas daerah *blank holder* ( $A_{BH}$ )

$$A_{BH} = (d_0^2 - d_e^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad (2.7)$$

b. Diameter efektif pada *blank holder* ( $d_e$ )

$$d_e = d_1 + 2 \cdot u_D + 2 \cdot r_D \quad (2.8)$$



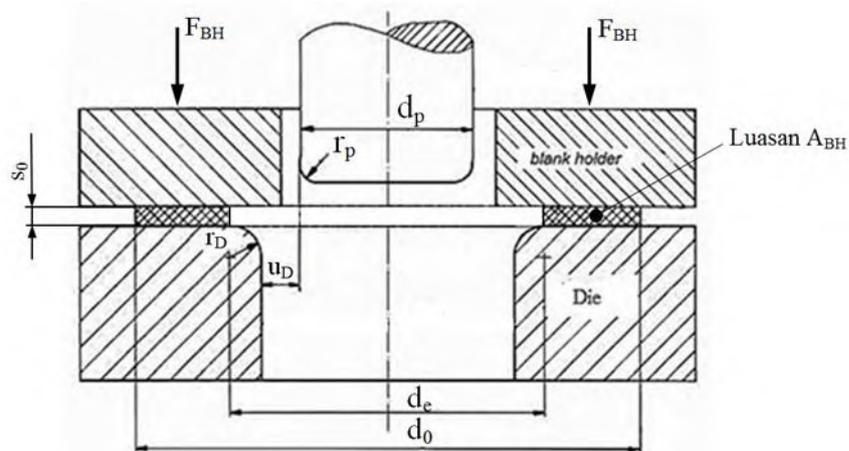
c. Tekanan *blank holder* ( $P_{BH}$ )

$$P_{BH} = 10^{-3} \cdot c \cdot \left[ (\beta - 1)^3 + \frac{0.005 \cdot d_0}{s_0} \right] \cdot UTS \quad (2.9)$$

dimana faktor  $c$  berada pada rentang  $2 \div 3$ .

Sehingga besar gaya *blank holder* dapat dihitung dengan persamaan 2.10 (Lange, 1985) yaitu:

$$F_{BH} = A_{BH} \cdot P_{BH} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6 Skema spesifikasi *deep drawing* (Tschaetsch, 2005)

## 2.8 Komponen *Press Tool*

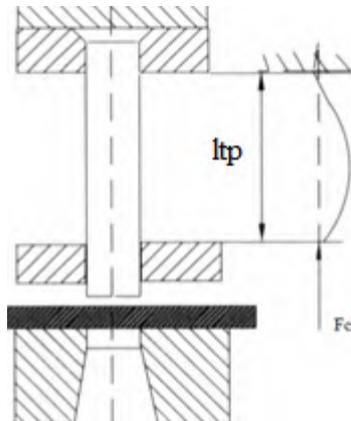
Dalam perkakas tekan (*press tool*) terdapat komponen utama yaitu *punch* dan *die* serta beberapa komponen pendamping lainnya. Berikut ini merupakan penjelasan dari komponen-komponen penyusun konstruksi *press tool*.

### 2.8.1 *Punch*

*Punch* merupakan salah satu bagian utama sebagai komponen pemotong atau pembentuk yang terletak pada bagian atas *press tool*. *Punch* digunakan untuk



menekan benda kerja ke arah *die*. Perhitungan maksimal *buckling load* yang dapat ditahan oleh *punch* dilakukan dengan cara seperti di bawah ini:



Gambar 2.7 Panjang *punch* dengan pengaruh (Boljanovic, 2004)

Gaya kritis ( $F_{cr}$ ) untuk *punch* yang menggunakan pengaruh dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$F_{cr} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{tp}^2} \quad (2.11)$$

### 2.8.2 Die

*Die* merupakan komponen utama pada *die set* yang berfungsi untuk membentuk material (*blank*) sehingga memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Tebal *die* ( $H_d$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini (Boljanovic, 2004) yaitu:

$$H_d = (10 + 5 \cdot s_0 + 0.7 \cdot \sqrt{a + b}) \cdot C_d \quad (2.12)$$

Dimana:

- $H_d$  = tebal *die* (mm)
- $a$  = Panjang *die* (mm)
- $b$  = lebar *die* (mm)
- $C_d$  = konstanta *die*



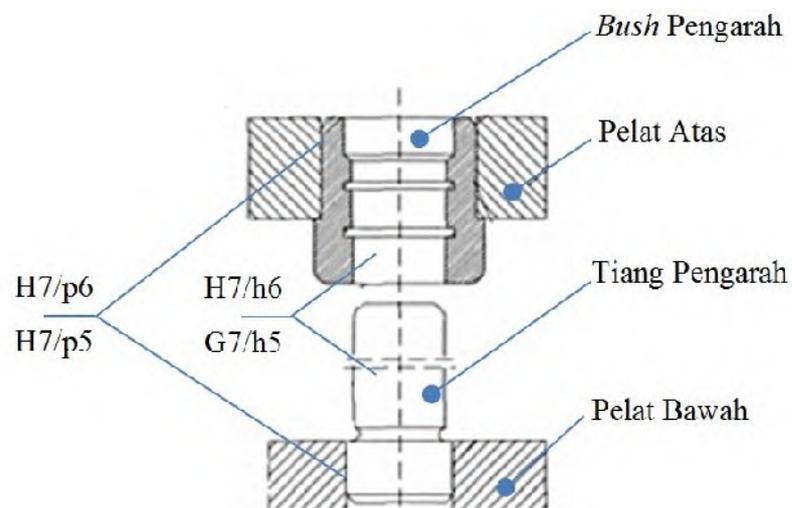
Tabel 2.5 Konstanta *die* ( $C_d$ )

UTS (MPa)	117	245	392	784
$C_d$	0.6	0.8	1.0	1.3

Sumber: Boljanovic, 2004

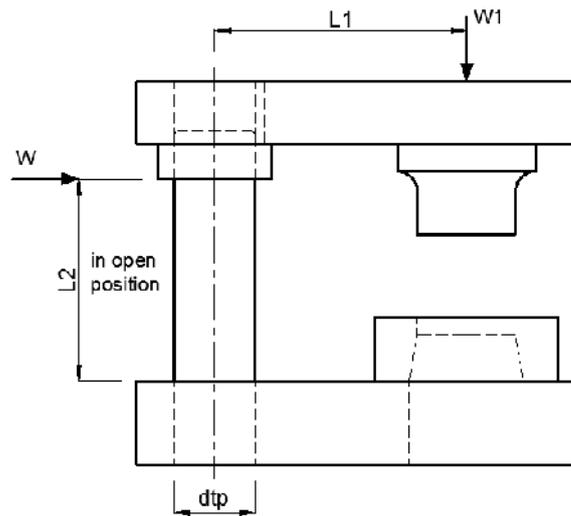
### 2.8.3 Tiang Pengarah

Tiang pengarah digunakan sebagai komponen pengarah untuk menjaga agar *punch* dan *die* tetap sejajar pada saat cetakan bekerja. Menurut Suchy (2006) panjang dari tiang pengarah harus lebih pendek 6.5 mm dari tinggi *die set* saat posisi tertutup. Dalam penggunaannya tiang pengarah selalu berpasangan dengan *bush pengarah* dengan suaian *sliding fit*. Bagian kepala tiang pengarah yang terpasang pada pelat bawah memiliki suaian *press fit*. Contoh dari pemasangan tiang pengarah dan *bush pengarah* yaitu:



Gambar 2.8 Tiang pengarah dan *bush* pengarah (Boljanovic, 2004)

Diameter minimal tiang pengarah dapat dihitung menggunakan cara seperti di bawah ini yaitu:



Gambar 2.9 Diameter tiang pengarah (Joshi, 2010)

Berikut ini persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besar gaya *bending* (W) yang terjadi pada tiang pengarah (Joshi, 2010) yaitu:

$$W = \frac{W_1 \cdot L_1}{4L_2} \quad (2.13)$$

Dimana:

W = gaya *bending* pada tiang pengarah (kg)

$W_1$  = berat total pelat atas (kg)

$L_1$  = jarak antara garis sumbu tiang pengarah dan garis sumbu gravitasi dari pelat atas (mm)

$L_2$  = jarak antara permukaan pelat bawah dan *bush* pengarah saat cetakan pada posisi *ram* diatas (mm)

$d_{tp}$  = diameter tiang pengarah (mm)

Jika menggunakan empat buah tiang pengarah secara diagonal maka dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Joshi, 2010):



$$d_{tp} = \sqrt[4]{\frac{W \cdot L_2^3}{122.4}} \quad (2.14)$$

## 2.9 Proses Permesinan

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Proses pemotongan dengan menggunakan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas dalam istilah teknik sering disebut dengan nama proses permesinan.

### 2.9.1 Proses Frais (*Milling*)

Prinsip dasar dari mesin frais adalah terlepasnya logam (geram) oleh gerakan pahat yang berputar. Mesin ini dapat melakukan berbagai macam pekerjaan seperti: memotong, membuat roda gigi, menghaluskan permukaan, dan lain-lain. Parameter-parameter dari proses frais yang biasa digunakan (Rochim, 1993) adalah sebagai berikut:

- Kecepatan potong (m/menit)

$$V_c = \frac{\pi \cdot d_{cu} \cdot n_{spindle}}{1000} \quad (2.15)$$

- Putaran poros utama/*spindle* (putaran/menit)

$$n_{spindle} = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d_{cu}} \quad (2.16)$$

- Kecepatan makan (mm/menit)

$$V_f = f_{zcu} \cdot z_{cu} \cdot n_{spindle} \quad (2.17)$$

Dengan:

$d_{cu}$  = diameter *cutter* (mm)

$n_{spindle}$  = putaran poros utama (rpm)

$f_{zcu}$  = gerak makan per gigi *cutter* (mm/gigi)

$z_{cu}$  = jumlah gigi *cutter* (buah)



$V_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

$V_c$  = kecepatan potong (m/menit)

### 2.9.2 Proses Bubut (*Turning*)

Prinsip kerja mesin bubut adalah benda kerja yang berputar, sedangkan pisau bubut bergerak memanjang dan melintang. Dari kerja ini dihasilkan sayatan dan benda kerja yang umumnya simetris. Parameter-parameter dari proses bubut yang biasa digunakan (Rochim, 1993) adalah sebagai berikut:

- Kecepatan potong (m/menit)

$$V_c = \frac{\pi \cdot d_{po} \cdot n_{spindle}}{1000} \quad (2.18)$$

- Putaran poros utama/*spindle* (putaran/menit)

$$n_{spindle} = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d_{po}} \quad (2.19)$$

- Kecepatan makan (mm/menit)

$$V_f = f_{pahat} \cdot n_{spindle} \quad (2.20)$$

Dengan:

$d_{po}$  = diameter poros (mm)

$n_{spindle}$  = putaran poros utama (rpm)

$f_{pahat}$  = gerak makan pahat (mm/rev)

$V_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

$V_c$  = kecepatan potong (m/menit)

### 2.9.3 Proses Gurdi (*Drilling*)

Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor. Pada mesin gurdi, pahat gurdi mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong karena diputar poros utama mesin gurdi.



Parameter-parameter dari proses bubut yang biasa digunakan (Rochim, 1993) adalah sebagai berikut:

- Kecepatan potong (m/menit)

$$V_c = \frac{\pi \cdot d_b \cdot n_{\text{spindle}}}{1000} \quad (2.21)$$

- Kecepatan makan (mm/menit)

$$V_f = f_{zbo} \cdot n_{\text{spindle}} \quad (2.22)$$

Dengan:

$d_b$  = diameter mata bor (mm)

$n_{\text{spindle}}$  = putaran poros utama (rpm)

$f_{zbo}$  = gerak makan per gigi mata bor (mm/gigi)

$V_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

$V_c$  = kecepatan potong (m/menit)

### 2.10 Software PAM-STAMP 2G

*Software* ini tersedia sebagai sebuah paket ‘profesional’, dimana pengguna dapat mengakses sejumlah opsi penting dengan menggunakan pendekatan sebuah lisensi yang fleksibel. Opsi-opsi yang termasuk di dalam *PAM-STAMP 2G v2011* yaitu sebagai berikut:

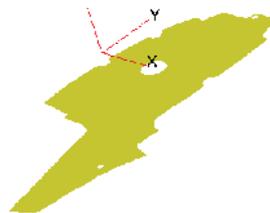
#### a) PAM-STAMP INVERSE

Opsi ini dirancang untuk membuat:

- Estimasi bentuk *blank* dari produk yang dibuat dengan tujuan mengetahui gambaran pembiayaan yang akan muncul.
- Studi kelayakan terhadap geometri produk yang akan dibuat lebih cepat sebelum proses mendesain *die*



Produk sebelum dibentang

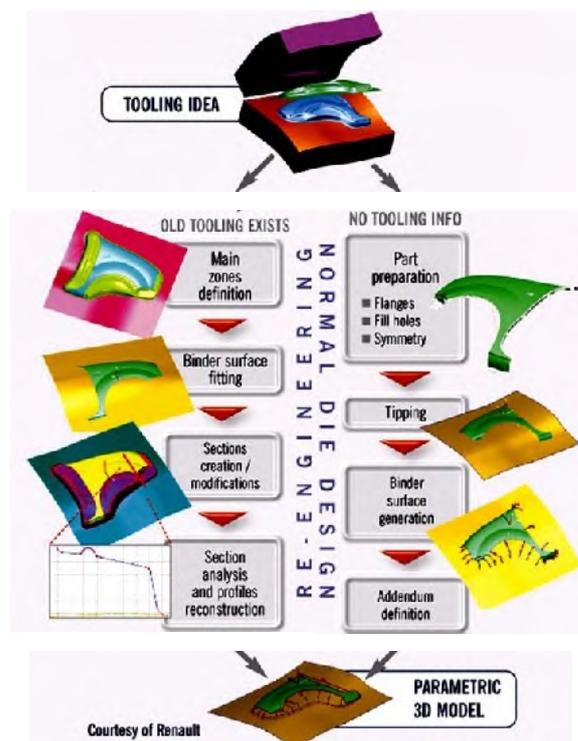


Produk setelah dibentang

Gambar 2.10 Proses *Inverse* (*PAM-STAMP 2G User's Guide, 2011*)

b) *PAM-DIEMAKER*

Digunakan untuk mendesain *die*. *PAM-DIEMAKER* memperbolehkan pengguna untuk mendesain dan melakukan optimasi *binder surface* dan perubahan *die* dalam waktu singkat



Gambar 2.11 *Parametric modeling* (*PAM-STAMP 2G User's Guide, 2011*)



c) *PAM-QUICKSTAMP*

Digunakan untuk analisa kelayakan. *PAM-QUICKSTAMP* memperbolehkan perancang *die* untuk memeriksa dan mengevaluasi parameter geometri *die* yang berbeda seperti *binder surface* dan perubahan *die*, termasuk dinding *die*. *PAM-QUICKSTAMP* menyediakan evaluasi *formability* dengan cepat dan menghadirkan integrasi optimal diantara *accuracy*, *time*, dan *computing resources*.



Gambar 2.12 Studi kelayakan (*PAM-STAMP 2G User's Guide, 2011*)

d) *DELTAMESH*

Digunakan sebagai modul untuk melakukan *meshing*. Integrasi lengkap *DELTAMESH* di dalam *PAM-STAMP 2G* menawarkan kemampuan *meshing* secara otomatis dengan *software*. Pengguna akan memperoleh *mesh* dengan kualitas tinggi dengan *DELTAMESH* untuk memulai proses desain. Hasil simulasi yang bagus mensyaratkan *mesh* yang baik. Langkah yang teratur untuk *import/joining/meshing* dapat dilakukan secara otomatis atau interaktif:

- Dapat membaca *format IGES/VDA*.
- Menggabungkan *surface* dengan *thin surface*, *hole*, *gap* atau *overlap tolerance*.



---

e) *PAM-AUTOSTAMP*

Digunakan untuk validasi dan optimisasi pada proses *sheet metal forming*. Ruang lingkup proses yang dapat dimodelkan yaitu:

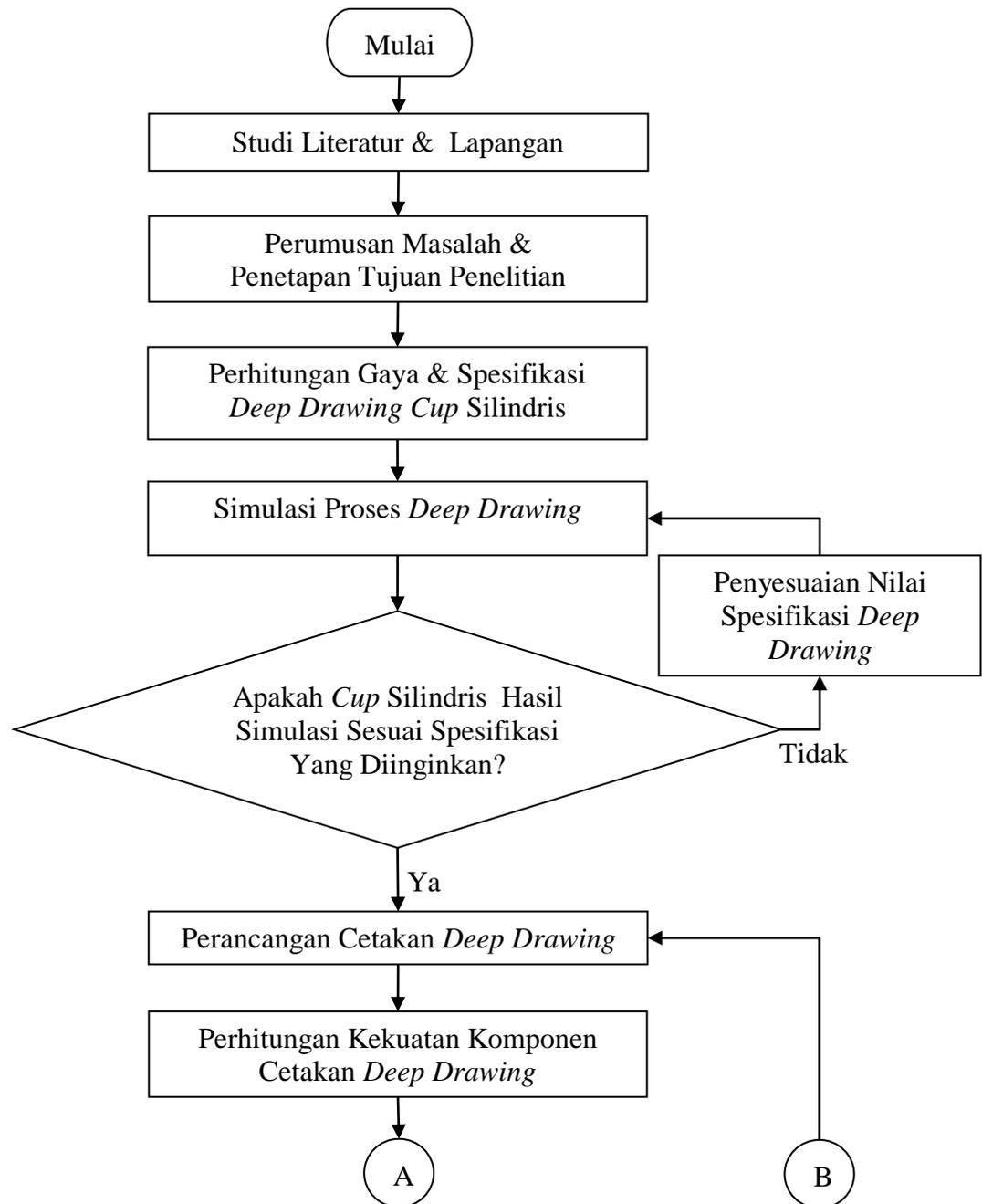
- *Roll hemming*
- *Hydro forming*
- *Stretch forming*
- *Standard forming*



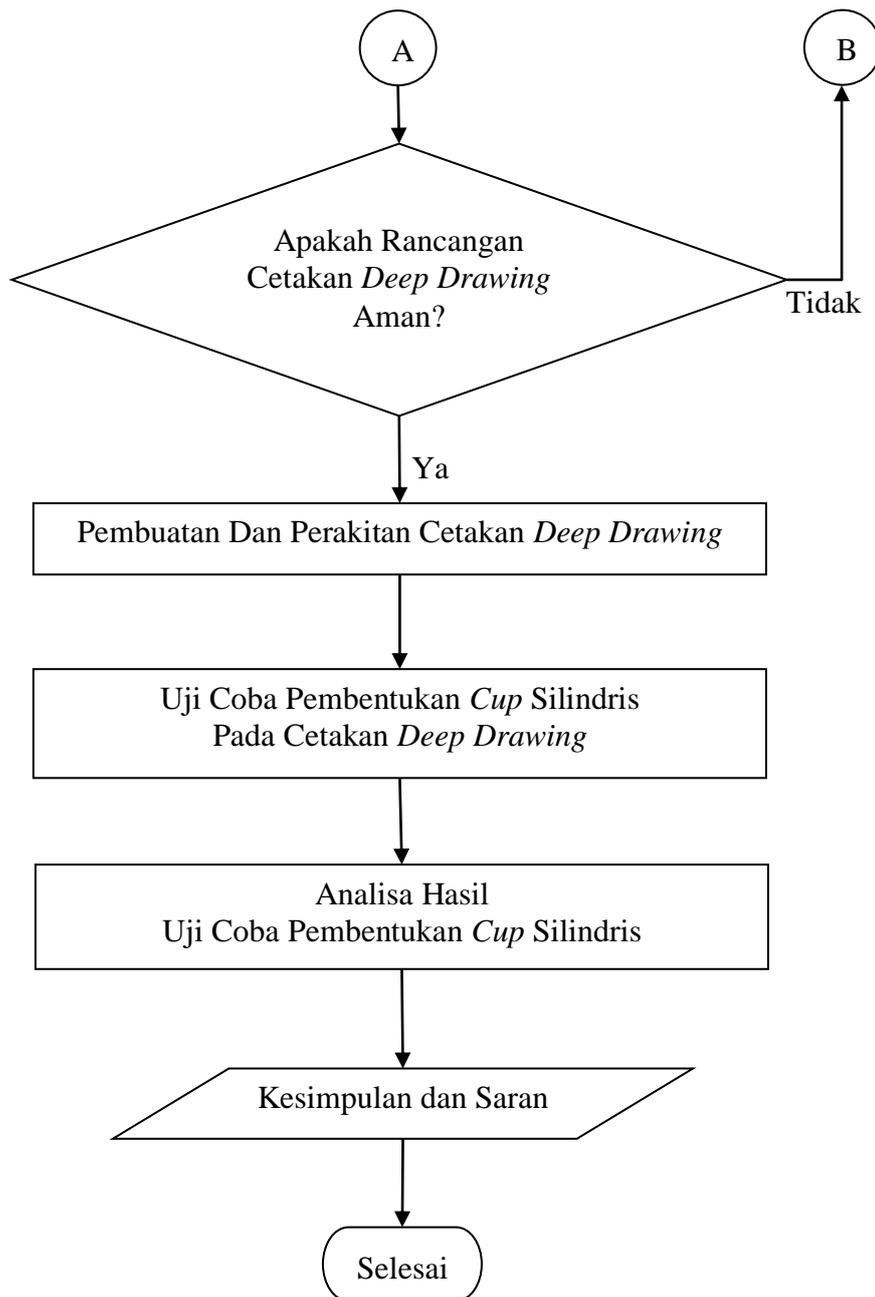
## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ditetapkan diawal supaya penelitian yang akan dilakukan dapat terarah dan mengena pada tujuan penelitian.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian (lanjutan)



### **3.2. Langkah-Langkah Penelitian**

Tahapan-tahapan dalam proses rancang bangun cetakan *deep drawing* untuk produk *cup* silindris yaitu sebagai berikut:

#### **3.2.1. Studi Literatur dan Lapangan**

Adapun hal-hal yang telah dilakukan dalam langkah studi literatur ini adalah mempelajari hal-hal yang tentang:

- a. Spesifikasi selongsong peluru kaliber 20 mm.
- b. Tahapan proses pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm.
- c. Bahan selongsong peluru kaliber 20 mm.
- d. Proses *deep drawing* untuk produk *cup* silindris.
- e. Simulasi *finite element* (FE) pada proses *deep drawing cup* silindris.

Berikut hal-hal yang dilakukan dalam studi lapangan yaitu melakukan observasi pada:

- a. Konstruksi cetakan *deep drawing*.
- b. Komponen standar cetakan *deep drawing* yang ada di pasaran.
- c. Spesifikasi mesin *press* yang tersedia.

#### **3.2.2. Perumusan Masalah dan Penetapan Tujuan Penelitian**

Setelah melakukan langkah studi literatur dan lapangan maka tahap selanjutnya yaitu merumuskan masalah yang akan dibahas serta melakukan penetapan tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini.

#### **3.2.3. Analisa Proses *Deep Drawing Cup* Silindris**

Tahap analisa proses ini secara umum dibagi menjadi 2 (dua) tahap yaitu:

1. Rancangan proses *deep drawing cup* silindris.
2. Simulasi proses *deep drawing cup* silindris.

Tujuan yang ingin dicapai pada tahap ini yaitu untuk mengetahui sejauh mana spesifikasi proses *deep drawing* hasil perhitungan awal secara manual dapat membentuk geometri dan dimensi *cup* silindris sesuai dengan spesifikasi yang



telah ditetapkan. Nilai-nilai spesifikasi proses *deep drawing* tersebut akan disimulasikan dengan menggunakan *software PAMSTAMP 2g v2011*.

#### **3.2.4. Perancangan Cetakan *Deep Drawing Cup* Silindris**

Proses perancangan cetakan *deep drawing* dilakukan berdasarkan hasil analisa proses *deep drawing*. Selain itu, hal lain yang menjadi acuan juga dalam proses perancangan adalah bentuk dan dimensi dari komponen-komponen pendukung yang telah dibuat sebelumnya seperti rangka, *bed*, *ram* dan pengarah *ram*. Pembuatan gambar susunan dan gambar bagian secara detail, lengkap dengan ukuran dan toleransinya dilakukan berdasarkan data rancangan yang telah ada.

#### **3.2.5. Pembuatan dan Perakitan Cetakan *Deep Drawing Cup* Silindris**

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan komponen-komponen utama (pelat atas, pelat bawah, *die*, *punch*, *shank*) berdasarkan gambar detail yang telah dibuat. Setelah semua komponen dibuat, dilakukan proses perakitan terhadap *bush* dan tiang pengarah, poros pemegang pegas, pegas dan pelat *blank holder*.

#### **3.2.6. Uji Coba Pembentukan *Cup* Silindris Pada Cetakan *Deep drawing***

Cetakan *deep drawing* yang sudah dirakit akan dilakukan uji coba pembentukan *cup* silindris. Uji coba pembentukan ini dilakukan di mesin *press* yang menggunakan sistem penggerak hidrolis. Uji coba pembentukan ini bertujuan untuk mengetahui apakah cetakan *deep drawing* yang telah dibuat tersebut dapat berfungsi untuk membentuk *cup* silindris untuk selongsong peluru kaliber 20 mm.

#### **3.2.7. Kesimpulan dan Saran**

Tahapan ini adalah hasil pembuatan dan pengujian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan dan saran untuk perbaikan dan pengembangan pada tahap selanjutnya.



## BAB 4

### ANALISA PROSES *DEEP DRAWING CUP* SILINDRIS

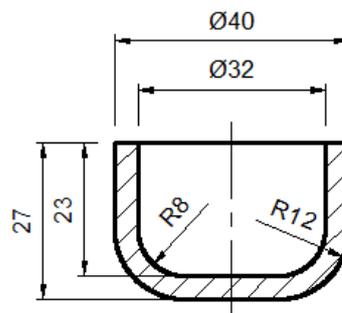
#### 4.1 Tahapan Analisa Proses *Deep Drawing Cup* Silindris

Tahapan analisa proses ini secara umum dibagi menjadi 2 (dua) tahap yaitu:

1. Perhitungan gaya dan spesifikasi proses *deep drawing cup* silindris.
2. Simulasi proses *deep drawing cup* silindris.

##### 4.1.1 Perhitungan Gaya & Spesifikasi Proses *Deep Drawing*

Tujuan dari tahap ini adalah untuk menghitung gaya dan spesifikasi yang akan digunakan untuk simulasi awal proses *deep drawing*. Adapun bentuk dan ukuran *cup* silindris yang akan dibuat yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.1 *Cup* silindris

Berikut ini tahapan perhitungan nilai spesifikasi proses dari *cup* silindris tersebut yaitu:

- Ukuran  $d_0$

Diketahui:  $d_1 = 32$  mm,  $d_3 = 16$  mm,  $h = 15$  mm,  $r = 12$  mm (keterangan notasi dapat dilihat pada Gambar 2.5), maka:

$$d_0 = \sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (1.57 \cdot r \cdot d_3 + 2 \cdot r^2 + h \cdot d_1)}$$

$$d_0 = \sqrt{16^2 + 4 \cdot (1.57 \cdot 12 \cdot 16 + 2 \cdot 12^2 + 15 \cdot 32)}$$

$$d_0 = 67.33 \text{ mm} \approx 67 \text{ mm}$$



- Nilai  $\beta$

$$\beta = \frac{d_0}{d_1} = \frac{67}{32} = 2.09$$

Nilai  $\beta$  masih dalam rentang nilai  $\beta_{\max}$  untuk material *brass* yaitu  $1.7 \div 2.2$ , sehingga proses *deep drawing* dapat dilakukan dalam satu kali proses atau satu tahap proses saja.

- Ukuran  $r_D$

Diketahui nilai  $s_0 = 4$  mm, maka:

$$r_D = 0.035 \cdot [50 + (d_0 - d_1)] \cdot \sqrt{s_0}$$

$$r_D = 0.035 \cdot [50 + (67 - 32)] \cdot \sqrt{4}$$

$$r_D = 5.95 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

- Ukuran  $u_D$

$$u_D = 1.12 \cdot s_0 = 1.12 \cdot 4 = 4.48 \text{ mm}$$

- Nilai  $F_{BH}$

- Ukuran  $d_e$

$$d_e = d_1 + 2 \cdot u_D + 2 \cdot r_D = 32 + 2 \cdot 4.48 + 2 \cdot 6 = 52.50 \text{ mm}$$

- Nilai  $A_{BH}$

$$A_{BH} = (d_0^2 - d_e^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (67^2 - 52.50^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 1360.20 \text{ mm}^2$$

- Nilai  $P_{BH}$



$$P_{BH} = 10^{-3} \cdot c \cdot \left[ (\beta - 1)^3 + \frac{0.005 \cdot d_0}{s_0} \right] \cdot UTS$$

$$P_{BH} = 10^{-3} \cdot 3 \cdot \left[ (2.09 - 1)^3 + \frac{0.005 \cdot 67}{4} \right] \cdot 331$$

$$P_{BH} = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

$$- F_{BH} = A_{BH} \cdot P_{BH} = 1360.20 \times 1.35 \text{ N/mm}^2 = 1836 \text{ N}$$

- Nilai  $F_d$

Diketahui:

- $\sigma_{f,m,l} = 1.3 \cdot UTS = 1.3 \cdot 331 = 430.3 \text{ N/mm}^2$
- Efisiensi deformasi yang digunakan = 0.6
- $d_m = d_1 + s_0 = 32 + 4 = 36 \text{ mm}$

$$F_d = \pi \cdot d_m \cdot s_0 \cdot \left[ 1.1 \frac{\sigma_{f,m,l}}{\eta_{def}} \cdot \left( \ln \cdot \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right) \right]$$

$$F_d = \pi \cdot 36 \cdot 4 \cdot \left[ 1.1 \frac{430.3}{0.6} \cdot \left( \ln \cdot \frac{62}{32} - 0.25 \right) \right]$$

$$F_d = 146603 \text{ N} \approx 14.6 \text{ Ton}$$

#### 4.1.2 Simulasi Proses *Deep Drawing Cup* Silindris

Tujuan dari simulasi proses ini adalah untuk mengetahui hasil pembentukan *cup* silindris berdasarkan nilai/ukuran spesifikasi proses yang tepat. Ada tiga tahap yang dilakukan dalam langkah simulasi proses *deep drawing* ini yaitu sebagai berikut:

- a. Rancangan umum simulasi.
- b. Simulasi Awal.
- c. Simulasi Akhir.

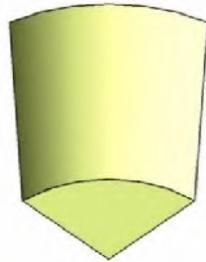
##### 4.1.2.1 Rancangan Umum Simulasi

Pemodelan *part* yang digunakan untuk simulasi dibuat menggunakan *software CATIA V5R20*, sedangkan analisa proses menggunakan *software PAM-STAMP 2G v2011* dengan fitur *PAM-AUTOSTAMP*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam simulasi proses *deep drawing cup* silindris yaitu sebagai berikut:

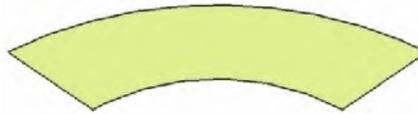


1) Pemodelan *punch/die* dan *blank holder*

Model-model ini didesain dalam bentuk *surface* menggunakan *software CATIA V5R20* dan disimpan dalam format file *\*.igs* agar dapat dimasukkan ke dalam *software PAM-STAMP 2G v2011*. Model *punch/die* merupakan satu file yang sama.



(a) *Punch/Die*



(b) *Blank holder*

Gambar 4.2 Model *part* dalam bentuk *surface*

Langkah selanjutnya yaitu mendefinisikan model *punch/die* dan *blank holder* pada *PAM-AUTOSTAMP* menjadi tiga *part* untuk simulasi yaitu *punch*, *die* dan *blank holder*.



(a) *Die*



(b) *Punch*

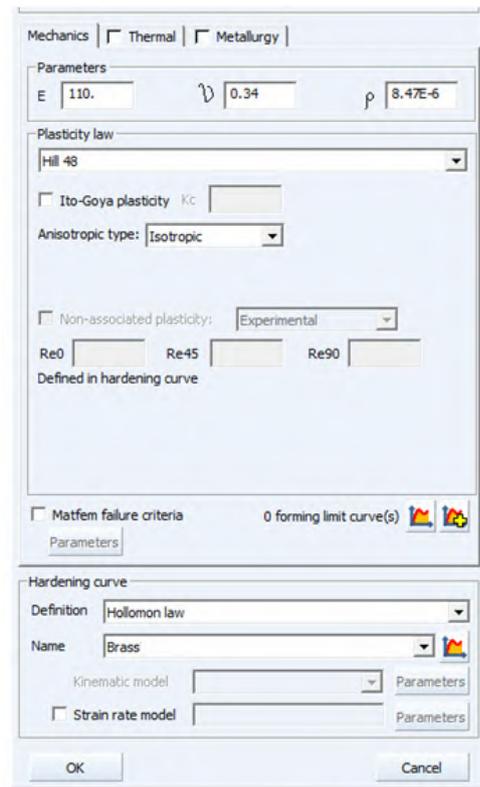


(c) *Blank holder*

Gambar 4.3 Model *part* simulasi

2) Pemodelan material (*blank*)

Pemodelan material pada *software PAM-STAMP 2G v2011* dilakukan apabila jenis material yang akan digunakan tidak tersedia pada *database*. Dalam memodelkan jenis material baru yaitu dengan memasukkan beberapa data *mechanical properties* sesuai jenis material tersebut seperti pada tampilan menu *input material* sebagai berikut:



Gambar 4.4 Data material untuk simulasi

Gharib, dkk. (2006) memodelkan kurva *hardening* material *Brass* jenis CuZn30 menggunakan persamaan hukum Hollomon yaitu:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n \quad (3.1)$$

dimana:

$\sigma$  = *equivalent (effective) stress* (kN/mm<sup>2</sup>)

$K$  = konstanta material (kN/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = *equivalent (effective) strain*

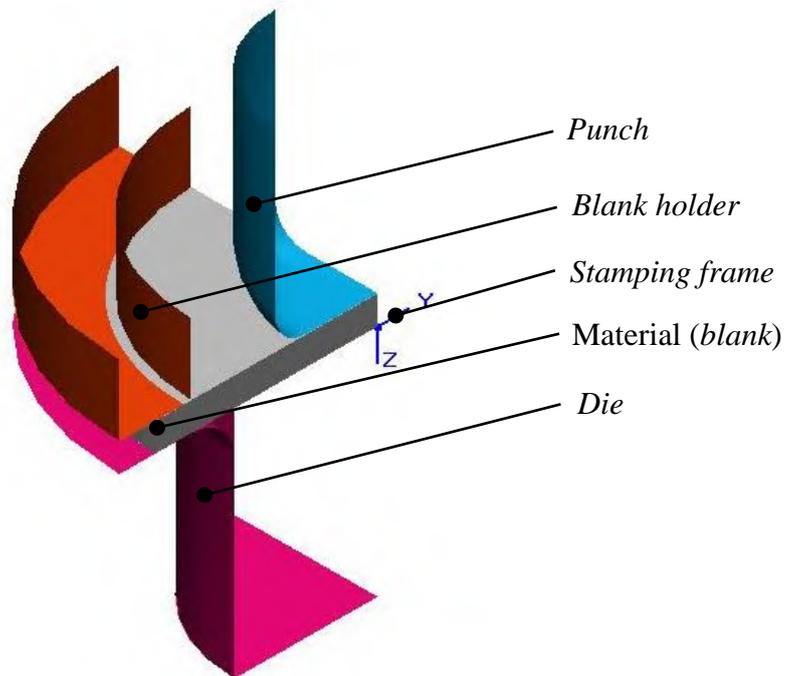
$n$  = indeks *strain hardening*

Hukum kriteria luluh (*yield criteria*) Hill's 1948 digunakan sebagai model plastisitas untuk bahan *aluminium alloy* dimana *yield stress* bahan tersebut hampir sama dengan *brass* (Banabic, 2000).



### 3) Pemodelan *tool* simulasi

Pada langkah ini masing-masing dari model *punch*, *die*, *blank holder* dan *blank* yang telah ada akan didefinisikan sesuai dengan bentuk dan posisi, ukuran akhir beserta toleransinya, dan arah dari pergerakan proses (*stamping frame*).



Gambar 4.5 *Tool* simulasi

### 4) Menentukan proses simulasi

Jenis variabel dan parameter proses yang ditentukan yaitu jenis proses *deep drawing* yang digunakan, gaya *blank holder*, *plane* pembatas, dan kecepatan *punch*.

### 5) Menentukan *host solver*

Jenis *host solver* yang digunakan disesuaikan dengan spesifikasi sistem operasi komputer yang digunakan yaitu 64 *bit*. Pada saat *host solver* dijalankan terjadi proses kalkulasi oleh perangkat lunak *PAM-AUTOSTAMP* untuk mendapat hasil simulasi yang diinginkan berdasarkan data yang telah dimasukkan sebelumnya.



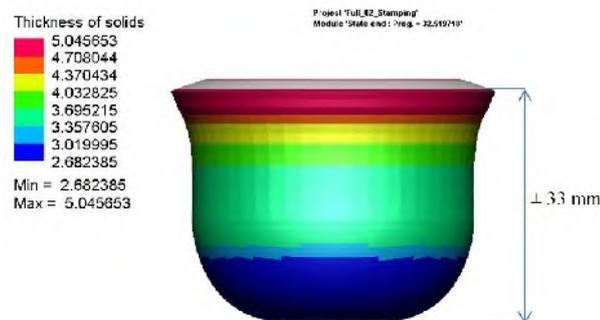
#### 4.1.2.2 Simulasi Awal

Beberapa data utama spesifikasi proses *deep drawing* yang akan digunakan pada simulasi awal menggunakan data hasil perhitungan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah ukuran dari spesifikasi proses tersebut dapat digunakan untuk membentuk *cup* silindris sesuai spesifikasi yang ada atau tidak.

Tabel 4.1 Data Simulasi Awal

Spesifikasi Proses <i>Deep Drawing</i>	Nilai
$d_0$ (mm)	67
$s_0$ (mm)	4
$r_D$ (mm)	6
$r_p$ (mm)	8
$u_D$ (mm)	4.48
$F_{BH}$ (kN)	1.836
Koefisien gesek ( <i>vegetable oil</i> )	0.19
<i>Punch speed</i> (mm/s)	10
<i>Blank holder speed</i> (mm/s)	10

Hasil simulasi awal yang telah dilakukan berdasarkan data yang ada tersebut dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini yaitu:



Gambar 4.6 Hasil simulasi awal



Berdasarkan hasil simulasi diatas dapat diketahui bahwa *cup* silindris yang dihasilkan oleh proses simulasi awal masih terdapat beberapa permasalahan sebagai berikut yaitu:

- Tinggi *cup* silindris yang dihasilkan melebihi ukuran tinggi yang diinginkan.
- Terjadi penipisan pada sisi radius bagian dalam dari *cup* silindris dengan tebal minimal yang terdapat pada bagian tersebut sebesar 2.682 mm.

#### 4.1.2.3 Simulasi Lanjutan

Simulasi lanjutan dilakukan untuk mengetahui hasil simulasi dengan perubahan nilai dari spesifikasi proses tertentu yang digunakan pada simulasi awal. Perubahan nilai pada spesifikasi proses tertentu tersebut diharapkan dapat meminimalkan permasalahan yang terjadi sebelumnya sehingga *cup* silindris dapat dibentuk sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

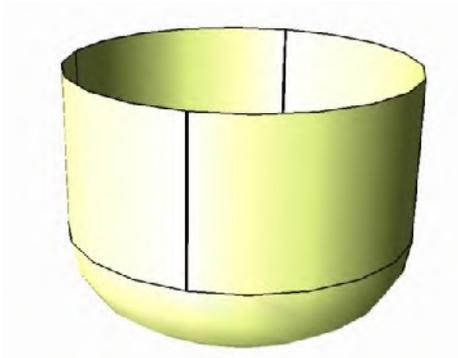
Adapun langkah-langkah dalam simulasi lanjutan yang akan dilakukan untuk meminimalkan permasalahan yang terjadi pada simulasi awal adalah sebagai berikut yaitu:

- 1) Mendapatkan ukuran  $d_0$  dengan melakukan simulasi menggunakan salah satu fitur dari *PAM-STAMP 2G v2011* yaitu *PAM-INVERSE*.

*Software PAM-STAMP 2G v2011* dengan fitur *PAM-INVERSE* dapat melakukan estimasi bentuk dan ukuran dari produk yang akan dibuat dalam bentuk bentangan. Untuk mendapatkan hasil yang tepat, maka penentuan sifat material, ukuran produk dalam bentuk *surface* dan *meshing* harus dilakukan dengan benar. Langkah-langkah dalam melakukan simulasi *inverse* yaitu sebagai berikut:

- a) Pemodelan produk dalam bentuk *surface*

Pemodelan produk ini sebenarnya dapat dilakukan langsung pada *software PAM-STAMP 2G v2011*, namun pada penelitian ini pemodelan dilakukan pada *software CATIA V5R20*.



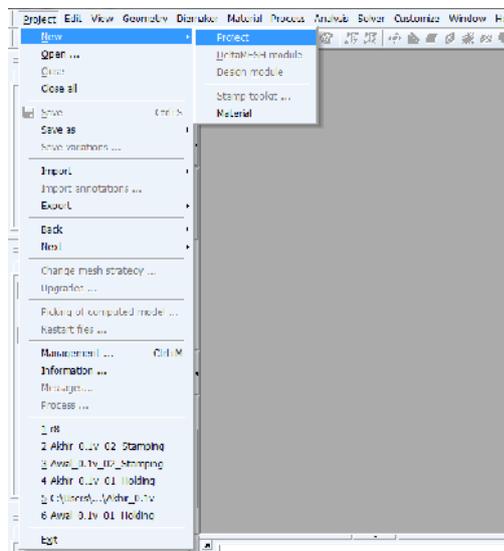
Gambar 4.7 Produk dalam bentuk *surface*

*File* pada *software CATIA V5R20* disimpan dalam bentuk ekstension *\*.igs* agar gambar produk tersebut dapat dimasukkan ke dalam *software PAM-STAMP 2G v2011*.

b) Pembuatan *project* baru menggunakan *fitur inverse*

Langkah selanjutnya adalah menjalankan *software PAM-STAMP 2G v2011* lalu membuat *project* baru dengan fitur *inverse*. Langkah-langkah yang dilakukan seperti di bawah ini yaitu:

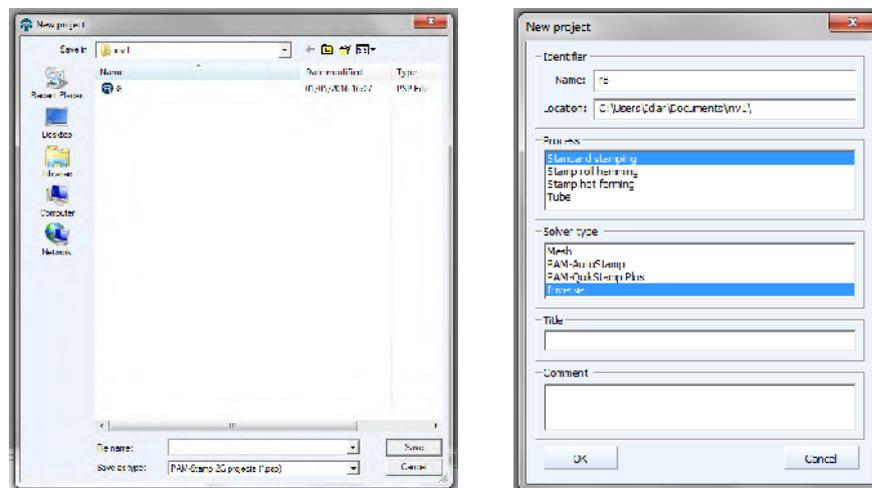
- Buka *software PAM-STAMP 2G v2011*
- Klik *Project*, pilih *New* dan setelah pilih *Project*



Gambar 4.8 Tampilan awal



Setelah langkah-langkah tersebut dikerjakan maka akan muncul tampilan seperti berikut ini:



a. Lokasi penyimpanan *file*

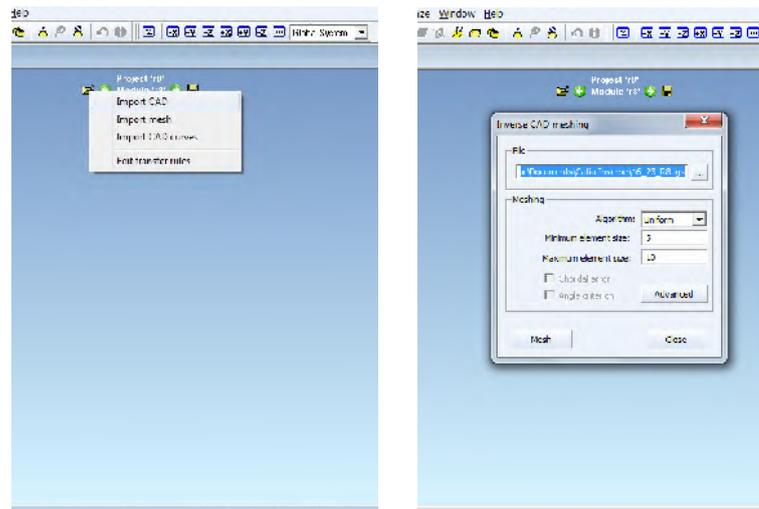
b. Setting untuk fitur *inverse*

Gambar 4.9 Tampilan lokasi penyimpanan *file*

Pada tahap ini yang dilakukan yaitu membuat nama *file* dan letakkan pada direktori yang diinginkan. Selain itu, *setting* untuk fitur *inverse* dilakukan dengan cara memilih *Standard stamping* lalu *Inverse*. Pada kondisi ini, *software PAM-STAMP 2G* sudah bekerja pada fitur *inverse* sehingga dapat digunakan sesuai dengan fungsi-fungsi yang ada.

c) *Import* model produk dalam bentuk *surface*

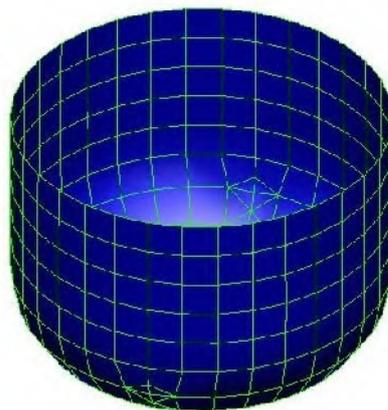
Setelah kondisi *software PAM-STAMP 2G v2011* sudah bekerja pada fitur *inverse*, maka langkah berikutnya adalah memasukkan model produk seperti pada gambar dibawah ini yaitu:



a. Tampilan *import file*                      b. Menu *import file*

Gambar 4.10 Tahap dalam *import file*

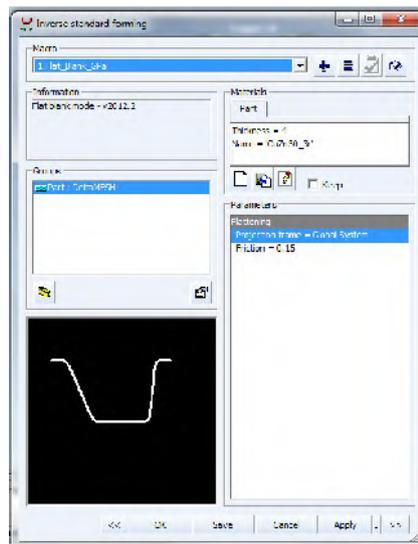
Klik gambar folder terbuka setelah itu pilih *Import CAD*, lalu menentukan ukuran elemen minimum dan maksimum. Ukuran kedua elemen ini mempengaruhi proses bentangan yang dilakukan berhasil atau tidak.



Gambar 4.11 Model produk yang telah di-*import*

d) Pendefinisian parameter proses *inverse*

Setelah model produk dimasukkan ke dalam *PAM-INVERSE* dengan ukuran elemen minimum dan maksimum sebesar 1 mm dan 2 mm, maka langkah selanjutnya mendefinisikan parameter proses yaitu sebagai berikut:

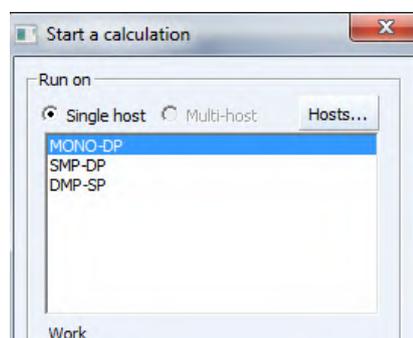


Gambar 4.12 Parameter proses *inverse (flattening)*

Adapun data yang harus dimasukkan yaitu ketebalan material = 4 mm, jenis material *Brass*, *projection frame = global system*, *part = DeltaMESH*.

e) Penentuan *host solver*

Langkah terakhir adalah menentukan jenis *host solver* yang akan digunakan untuk simulasi yaitu:

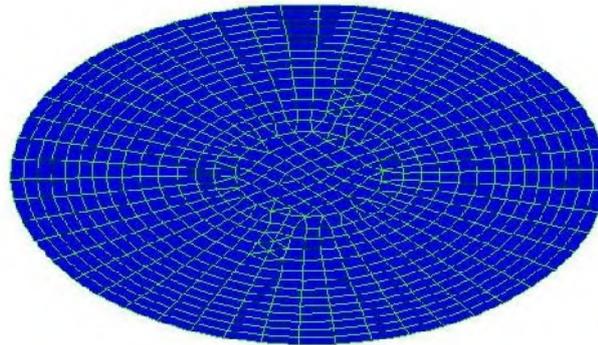


Gambar 4.13 Tampilan jenis *host solver*

Jenis *host solver* yang digunakan pada fitur *inverse* hanya *single host* untuk mengkalkulasi secara analisis bentangan dari model produk yang telah dibuat. Setelah *host solver* dijalankan maka didapatkan bentangan



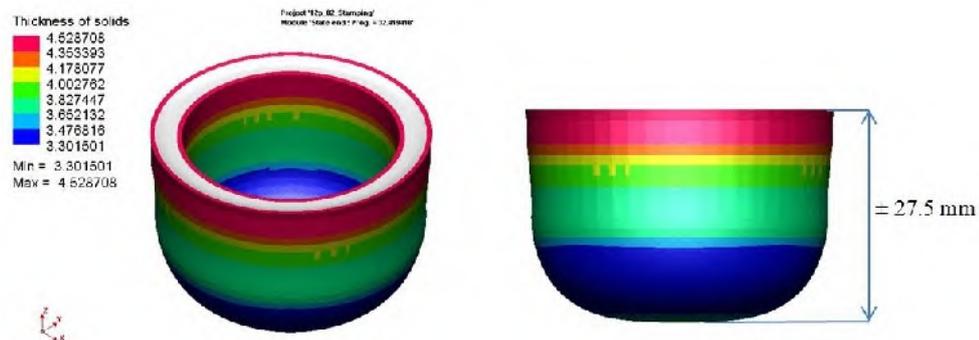
dari model produk dengan diameter sebesar 61.5 mm dibulatkan menjadi 62 mm yaitu:



Gambar 4.14 Bentangan produk

- 2) Melakukan simulasi ulang dengan menggunakan ukuran  $d_0$  sesuai hasil perhitungan *PAM-INVERSE*.

Data yang digunakan sama persis seperti simulasi awal hanya ukuran  $d_0$  saja yang berubah menjadi 62 mm. Hasil simulasi yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.15 Hasil simulasi ulang

Data hasil simulasi ulang dan perbandingan tinggi *cup* silindris antara hasil simulasi awal dan hasil simulasi lanjutan menunjukkan hal-hal sebagai berikut yaitu:



- Penipisan yang terjadi pada bagian sisi radius bagian *cup* silindris dalam dapat diminimalkan dengan tebal minimum sebelumnya 2.682 mm menjadi 3.301 mm.
- Ukuran tinggi *cup* silindris yang dihasilkan pada simulasi lanjutan mendekati ukuran tinggi *cup* sebenarnya yaitu  $\pm 27.5$  mm.



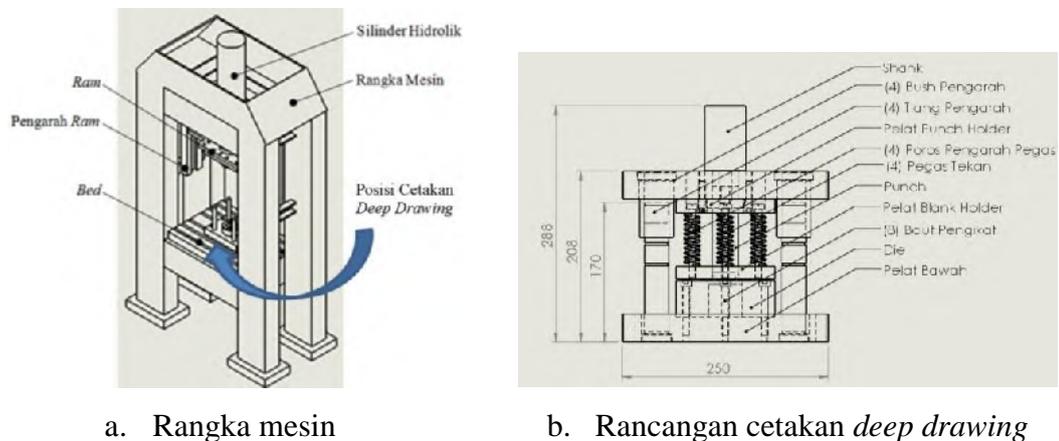
## BAB 5

### PERANCANGAN CETAKAN *DEEP DRAWING*

#### *CUP SILINDRIS*

##### 5.1 Rancangan Cetakan *Deep Drawing Cup* Silindris

Rancangan dibuat mengacu pada bentuk dan ukuran komponen-komponen pendukung yang sudah tersedia atau dibuat sebelumnya. Komponen-komponen tersebut yaitu *bed*, *ram*, pengarah *ram* dan rangka mesin *press* beserta silinder hidroliknya. Rancangan yang dibuat tanpa diberi ukuran detail, tetapi hanya bentuk dan dimensi dasar produk.



a. Rangka mesin

b. Rancangan cetakan *deep drawing*

Gambar 5.1 Data acuan perancangan

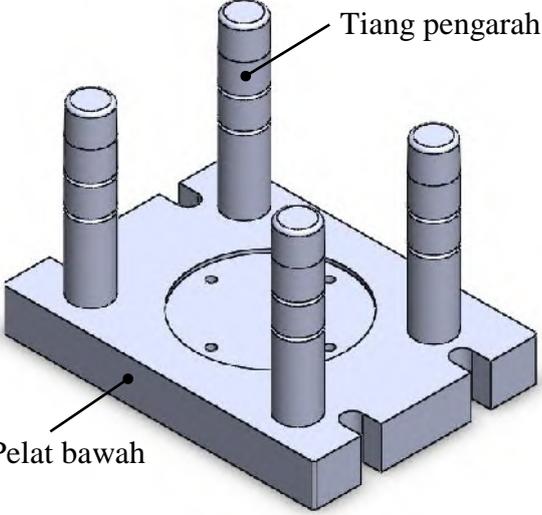
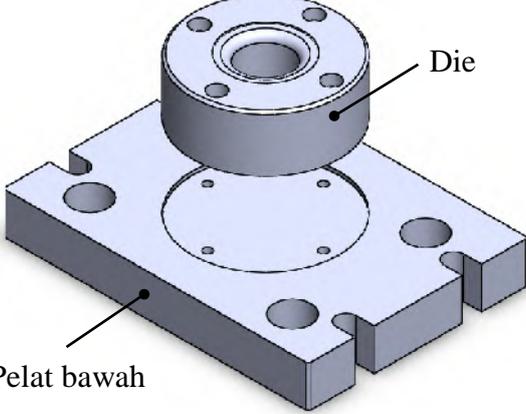
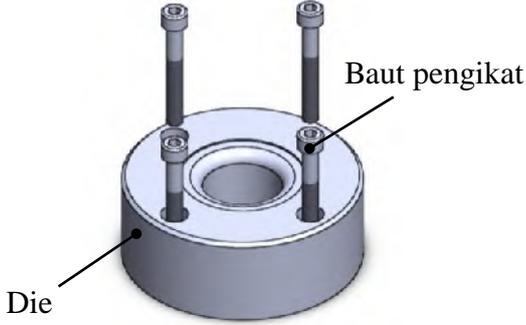
Berikut ini ukuran-ukuran yang dimiliki oleh komponen pendukung utama yang sudah tersedia yaitu:

- *Bed* = 45 x 450 x 500 mm
- *Ram* = 20 x 200 x 300 mm
- Panjang *stroke* hidrolik =  $\pm$  400 mm

Berdasarkan data tersebut maka langkah selanjutnya adalah membuat rancangan untuk masing-masing bagian dari cetakan. Rancangan bagian disesuaikan dengan ukuran-ukuran dari komponen pendukung utama yang sudah tersedia. Adapun rancangan bagian dari cetakan yang telah dibuat yaitu:

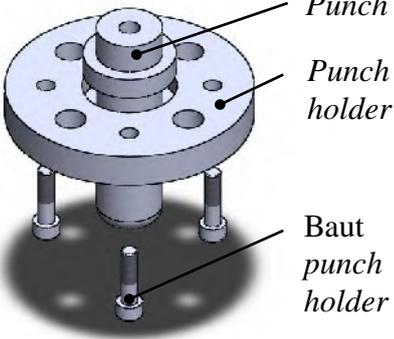
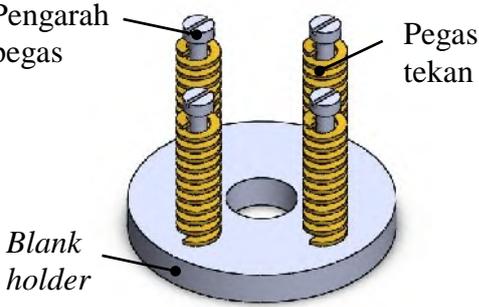


Tabel 5.1 Rancangan Bagian

Nama Bagian	Gambar Rancangan
<p><i>Die set :</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Menggunakan model 4 tiang pengarah.</li><li>• Tiang pengarah memiliki suaian sesak terhadap pelat bawah.</li><li>• Ukuran dasar yaitu 34 x 180 x 250 mm</li><li>• Tinggi tiang pengarah 170 mm</li></ul>	 <p>Tiang pengarah</p> <p>Pelat bawah</p>
<p><i>Pengarah die:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pengarah dan penapat <i>die</i> terhadap pelat bawah menggunakan sistem kolom.</li></ul>	 <p>Die</p> <p>Pelat bawah</p>
<p><i>Sistem pengikatan:</i></p> <p><i>Die:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Die</i> diikat terhadap pelat bawah menggunakan 4 buah baut inbus M10.</li></ul>	 <p>Baut pengikat</p> <p>Die</p>



Tabel 5.2 Rancangan Bagian (lanjutan)

Nama Bagian	Gambar Rancangan
<p><i>Punch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Punch</i> dipegang oleh pelat <i>punch holder</i> terhadap pelat atas.</li> <li>• Pengikatan <i>punch</i> menggunakan baut inbus M10.</li> </ul>	
<p><i>Blank holder:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menggunakan 4 buah pegas tekan.</li> <li>• Poros berfungsi sebagaiudukan dan pengarah pegas, sekaligus pemegang pelat <i>blank holder</i>.</li> </ul>	

Pada rancangan bagian diatas terdapat dua jenis komponen cetakan *deep drawing* ini yaitu komponen standar dan tidak standar. Komponen standar tidak dilakukan proses pembuatan tetapi langsung dibeli di agen yang menjual komponen tersebut. Komponen tidak standar dilakukan proses pembuatan sesuai dengan kaidah proses permesinannya.

Tabel 5.3 Daftar Komponen Cetakan *Deep Drawing*

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Keterangan
Pelat Atas	1	buah	34 x 180 x 250 mm (dibuat)
Pelat Bawah	1	buah	34 x 180 x 250 mm (dibuat)
<i>Punch Holder</i>	1	buah	Ø 120 x 17 mm (dibuat)
<i>Blank Holder</i>	1	buah	Ø 120 x 15 mm (dibuat)
<i>Die</i>	1	buah	Ø 120 x 46 mm (dibuat)
<i>Punch</i>	1	buah	Ø 45 x 112 mm (dibuat)



Tabel 5.4 Daftar Komponen Cetakan *Deep Drawing* (lanjutan)

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Keterangan
Pengarah Pegas	4	buah	Ø 14 x 91 mm (dibuat)
<i>Shank</i>	1	buah	Ø 50 x 120 mm (dibuat)
Tiang Pengarah	4	buah	Komponen Standar
<i>Bush</i> Pengarah	4	buah	Komponen Standar
Baut M10 x 60	4	buah	Komponen Standar
Pegas SWF 20-70	4	buah	Komponen Standar

## 5.2 Perhitungan Kekuatan Komponen

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui ukuran yang aman pada masing-masing komponen utama dari cetakan *deep drawing*. Jenis komponen yang akan dihitung kekuatannya sesuai dengan fungsi yang ada yaitu sebagai berikut:

### 1) *Punch*

Material *punch* yang digunakan untuk proses *deep drawing* yaitu SKD11 dengan spesifikasi yaitu:

$$\text{Modulus Young (E)} = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ultimate Tensile Strength (UTS)} = 650 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Yield strength} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Momen inersia (I)} = \frac{\pi \cdot 32^4}{64} = 51445.76 \text{ mm}^4$$

Perhitungan berikut ini dilakukan untuk mengetahui apakah *punch* terjadi *buckling* saat proses pembentukan terjadi. Diketahui nilai  $l_p = 64 \text{ mm}$ . Besar gaya kritis ( $F_{cr}$ ) untuk *punch* yang menggunakan pengarah (Boljanovic, 2004) yaitu:

$$F_{cr} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{tp}^2}$$

$$F_{cr} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 200000 \cdot 51445.76}{64^2}$$

$$F_{cr} = 31702163 \text{ N}$$



Nilai  $F_{cr}$  hasil perhitungan sebesar 31702163 N, sedangkan gaya terbesar yang terjadi pada *punch* sebesar 146603 N. Berdasarkan hal tersebut *punch* dapat dikatakan aman dimana gaya terbesar yang terjadi pada *punch* jauh berada dibawah nilai  $F_{cr}$ .

## 2) Die

Material yang digunakan untuk *die* sama dengan material pada *punch* yaitu SKD11. Ukuran diameter lubang *die* sebesar 40 mm dan nilai  $C_d$  dengan UTS = 331 N/mm<sup>2</sup> yaitu sebesar 1. Ketebalan *die* ( $H_d$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini (Boljanovic, 2004):

$$H_d = (10 + 5 \cdot s_0 + 0.7 \cdot \sqrt{a + b}) \cdot C_d$$

$$H_d = (10 + 5 \cdot 4 + 0.7 \cdot \sqrt{40 + 40}) \cdot C_d$$

$$H_d = 36.26 \text{ mm} \approx 37 \text{ mm}$$

Lebar minimal dinding *die* yaitu:

$$e = \left(\frac{10}{12}\right) + 0.8 \cdot 37 = 30.43 \text{ mm} \approx 31 \text{ mm}$$

## 3) Tiang Pengarah

Ukuran diameter minimal pada *die set* dengan empat buah tiang pengarah dapat dihitung menggunakan persamaan seperti yang ada di bawah ini (Joshi, 2010).

Tabel 5.5 Berat Total Konstruksi Pelat Atas

Nama Komponen	Berat (kg)	Jumlah (buah)	Berat Total (kg)
Pelat atas	10,812	1	10,81
Pegas tekan	0,015	4	0,06
<i>Blank holder</i>	1,062	1	1,06
Pengarah Pegas	0,081	4	0,32



Tabel 5.6 Berat Total Konstruksi Pelat Atas (lanjutan)

Nama Komponen	Berat (kg)	Jumlah (buah)	Berat Total (kg)
<i>Punch</i>	0,842	1	0,84
<i>Bush Pengarah</i>	0,204	4	0,81
<i>Shank</i>	1,369	1	1,36
<i>Punch holder</i>	1,191	1	1,19
Total			16.45

Sumber: Hasil Perhitungan *Software*

Diketahui nilai  $W_1 = \pm 16.5$  kg,  $L_1 = 83$  mm,  $L_2 = 140$  mm (notasi dan keterangan dapat dilihat pada Gambar 2.10) maka didapatlah nilai  $W = 2.44$  kg, sehingga diameter minimal tiang pengarah dapat dihitung sesuai dengan persamaan 2.14 yaitu sebagai berikut:

$$d_{tp} = \sqrt[4]{\frac{W \cdot L_2^3}{122.4}}$$

$$d_{tp} = \sqrt[4]{\frac{2.44 \cdot 140^3}{122.4}}$$

$$d_{tp} = 15.29 \text{ mm}$$

Aplikasi pada rancangan cetakan *deep drawing* ukuran diameter tiang pengarah sebesar 30 mm sehingga desain tiang pengarah dapat dikatakan aman.

#### 4) Baut Pengikat *Die*

Baut yang digunakan dalam desain mengacu pada *Misumi Standard Components For Press Die* (2007) dengan jenis *Cap screw* bahan *SCM435* yang memiliki kekuatan tarik ( $\sigma_{t-ijin}$ ) = 120 kgf/mm<sup>2</sup> dengan *safety factor* sebesar 3. Maka kekuatan tarik ijin ( $\sigma_{t-ijin}$ ) pada baut adalah sebesar:

$$\sigma_{t-ijin} = \frac{120}{3} = 40 \text{ kgf/mm}^2$$



Besar tegangan tarik pada baut tidak boleh melebihi batas kekuatan tarik baut sehingga baut yang digunakan aman. Beban yang ditimbulkan akibat kompresi *punch* saat melakukan proses *deep drawing* adalah 14953 kgf. Dengan menggunakan baut M10 x 1.5 sebanyak 4 buah maka besarnya tegangan yang diterima pada tiap baut adalah sebagai berikut:

Diketahui:

Diameter baut = 10 mm,

Luas penampang baut ( $A_{\text{baut}}$ ) =  $\pi r^2 = \pi \cdot 5^2 = 78.5 \text{ mm}^2$

Jumlah baut ( $n_{\text{baut}}$ ) = 4 buah

Sehingga nilai tegangan yang terjadi pada masing-masing baut yaitu:

$$\sigma_{\text{baut}} = \frac{P}{n_{\text{baut}} \cdot A_{\text{baut}}} = \frac{14953}{4 \times 78.5} = 38.09 \text{ kgf/mm}^2$$

Besar tegangan kompresi *punch* yang diterima oleh setiap baut tidak melebihi batas  $\sigma_{\text{t-ijin}}$  sebesar 40 kgf/mm<sup>2</sup> sehingga desain dikatakan aman. Berdasarkan perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan dimensi baut minimal M10 desain untuk pengikatan *die* akan aman.

##### 5) Pegas *Blank Holder*

Diketahui:

- $F_{\text{BH}} = 1836 \text{ N}$
- Jumlah pegas = 4 buah
- Gaya pegas = 459 N
- Defleksi total =  $f_{\text{assy}} + f_{\text{kerja}}$   
Defleksi total = 1 mm + 33 mm  
Defleksi total = 34 mm

Dimana,



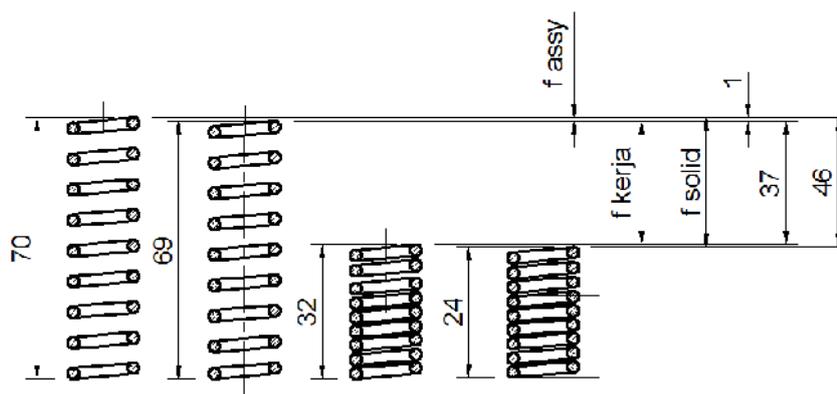
$$k = \frac{F_{\text{pegas}}}{f_{\text{defleksi}}} = \frac{459}{34} = 13.5 \text{ N/mm}^2$$

Diperoleh pegas standar Misumi SWF 25 – 70 dengan  $k = 14.0 \text{ N/mm}$ .

$$L_0 = 70 \text{ mm}$$

$$L_{\text{solid}} = 24 \text{ mm}$$

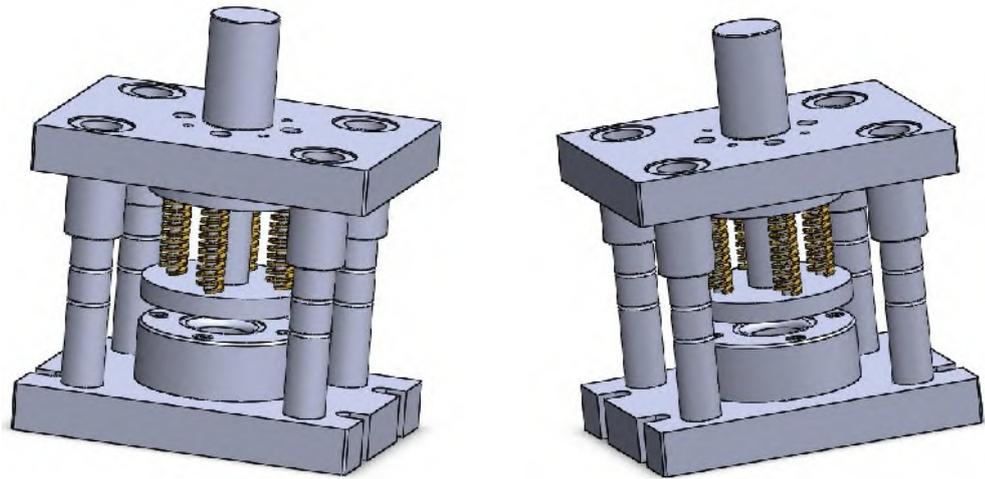
Gambar berikut ini menjelaskan tentang dimensi pegas yang akan digunakan pada *blank holder* yaitu:



Gambar 5.2 Ukuran pegas terpilih

### 5.1.2 Pembuatan Rancangan Akhir & Detail Gambar Teknik

Rancangan akhir merupakan rancangan dengan dimensi yang sebenarnya. Gambar rancangan akhir yang dibuat dapat dilihat pada Lampiran 1. Tahapan selanjutnya dari rancangan yang telah dibuat dilakukan pembuatan gambar bagian-bagian dari cetakan *deep drawing cup* silindris secara detail, lengkap dengan ukuran dan toleransinya. Gambar tiga dimensi dari rancangan akhir cetakan *deep drawing cup* silindris dapat dilihat pada gambar berikut ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 5.3 Bentuk tiga dimensi rancangan akhir



*Halaman Sengaja Dikosongkan*



## BAB 6

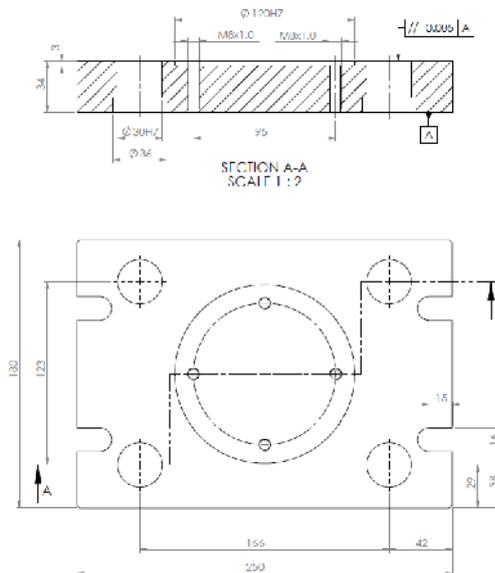
### PEMBUATAN DAN PERAKITAN CETAKAN

#### *DEEP DRAWING*

#### 6.1 Pembuatan Komponen

Jenis proses manufaktur yang akan dibahas pada bab ini adalah proses yang dilakukan pada komponen cetakan *deep drawing* diluar komponen standar. Berikut ini proses manufaktur yang telah dilakukan pada komponen dari cetakan *deep drawing* yang telah dibuat yaitu sebagai berikut:

##### 1. Pelat bawah



Gambar 6.1 Pelat bawah

Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *milling* merk MAHO seri 800E. Jenis proses permesinan pada pembuatan pelat bawah yaitu:

- *Milling*
- *Drilling*
- *Tapping*

Material pelat bawah yaitu S45C dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada



Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya.

Tabel 6.1 Tahapan Proses Pembuatan Pelat Bawah

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
1. <i>Facing</i> permukaan atas dan bawah	<i>Face Mill</i> Ø60 mm, $V_c = 75$ m/min, $V_f = 150$ mm/min, $n = 398$ rpm
2. Pengerjaan permukaan samping dan bentuk alur	<i>End Mill</i> Ø16 mm, $V_c = 60$ m/min, $V_f = 100$ mm/min, $n = 1194$ rpm
3. Pembuatan bakal lubang ( <i>drilling</i> ) untuk ulir dalam M8	<i>Drill</i> Ø6.8 mm, $V_c = 15.5$ m/min, $V_f = 60$ mm/min, $n = 710$ rpm
4. Pembuatan bakal lubang ( <i>drilling</i> ) untuk dudukan badan dan kepala tiang pengarah	- <i>Drill</i> Ø10 mm, $V_c = 15.7$ m/min, $V_f = 60$ mm/min, $n = 500$ rpm - <i>Drill</i> Ø24 mm, $V_c = 15.8$ m/min, $V_f = 40$ mm/min, $n = 210$ rpm
5. Pembuatan lubang akhir Ø30 mm untuk dudukan badan tiang pengarah	- <i>End Mill</i> Ø20 mm ( <i>roughing</i> ), $V_c = 50$ m/min, $V_f = 150$ mm/min, $n = 800$ rpm - <i>End Mill</i> Ø20 mm ( <i>finishing</i> ), $V_c = 22$ m/min, $V_f = 100$ mm/min, $n = 350$ rpm
6. Pembuatan lubang untuk dudukan <i>die</i>	- <i>End Mill</i> Ø20 mm ( <i>roughing</i> ), $V_c = 50$ m/min, $V_f = 150$ mm/min, $n = 800$ rpm - <i>End Mill</i> Ø20 mm ( <i>finishing</i> ), $V_c = 22$ m/min, $V_f = 100$ mm/min, $n = 350$ rpm
7. Pembuatan lubang Ø36 mm untuk dudukan kepala tiang pengarah	- <i>End Mill</i> Ø20 mm ( <i>roughing</i> ), $V_c = 50$ m/min, $V_f = 150$ mm/min, $n = 800$ rpm
8. Pembuatan ulir dalam pada	- <i>Tap</i> M8



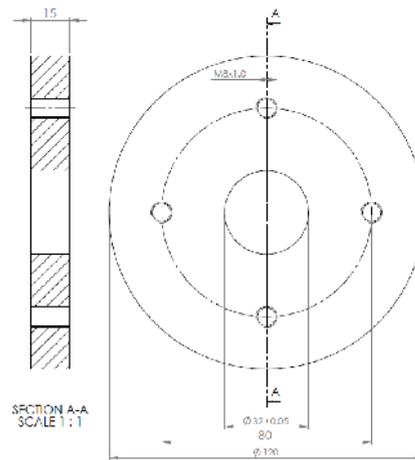


Tabel 6.3 Tahapan Proses Pembuatan Pelat Atas (lanjutan)

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
2. Pembuatan bakal lubang ( <i>drilling</i> ) untuk ulir dalam M8	<i>Drill</i> Ø6.8 mm, $V_c = 15.5$ m/min, $V_f = 60$ mm/min, $n = 710$ rpm
3. Pembuatan bakal lubang ( <i>drilling</i> ) untuk dudukan badan dan kepala tiang pengarah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Drill</i> Ø10 mm, <math>V_c = 15.7</math> m/min, <math>V_f = 60</math> mm/min, <math>n = 500</math> rpm</li> <li>- <i>Drill</i> Ø24 mm, <math>V_c = 15.8</math> m/min, <math>V_f = 40</math> mm/min, <math>n = 210</math> rpm</li> </ul>
4. Pembuatan lubang ( <i>drilling</i> ) untuk pengarah poros pegas	- <i>Drill</i> Ø15 mm, $V_c = 16.5$ m/min, $V_f = 50$ mm/min, $n = 350$ rpm
5. Pembuatan lubang akhir Ø42 mm untuk dudukan badan tiang pengarah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>End Mill</i> Ø20 mm (<i>roughing</i>), <math>V_c = 50</math> m/min, <math>V_f = 150</math> mm/min, <math>n = 800</math> rpm</li> <li>- <i>End Mill</i> Ø20 mm (<i>finishing</i>), <math>V_c = 22</math> m/min, <math>V_f = 100</math> mm/min, <math>n = 350</math> rpm</li> </ul>
6. Pembuatan lubang untuk pengarah poros pegas	- <i>Drill</i> Ø15 mm, $V_c = 16.5$ m/min, $V_f = 60$ mm/min, $n = 500$ rpm
7. Pembuatan lubang Ø48 mm untuk dudukan kepala tiang pengarah	- <i>End Mill</i> Ø20 mm ( <i>roughing</i> ), $V_c = 50$ m/min, $V_f = 150$ mm/min, $n = 800$ rpm
8. Pembuatan ulir dalam pada lubang <i>die</i>	- <i>Tap</i> M8



### 3. Blank Holder



Gambar 6.3 Blank holder

Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *turning* LEAD WELL LTC-20B. Jenis proses permesinan pada pembuatan *blank holder* yaitu:

- *Turning*
- *Drilling*
- *Tapping*

Material *blank holder* yaitu S45C dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya.

Tabel 6.4 Tahapan Proses Pembuatan *Blank Holder*

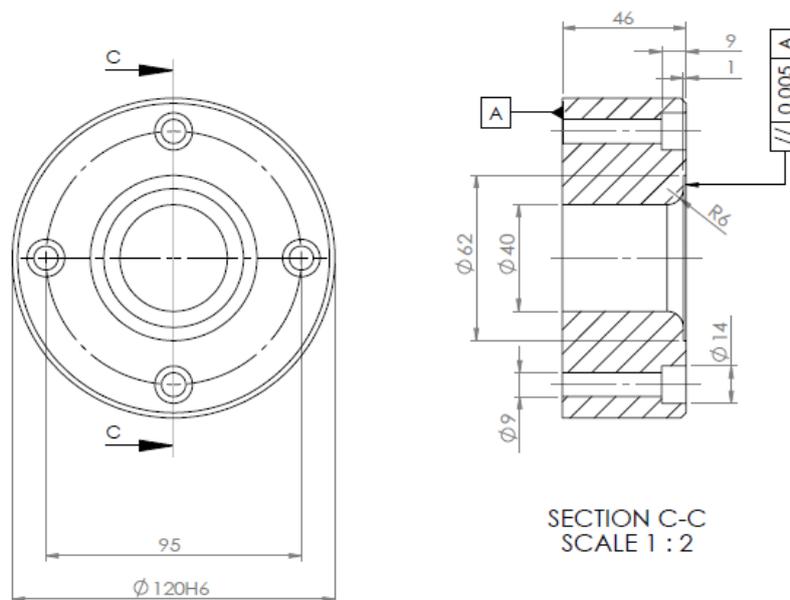
Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
Proses pembubutan sisi bagian luar	Pahat bubut eksternal standar, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Pembuatan lubang awal untuk $\text{Ø}32$ mm	- <i>Drill</i> $\text{Ø}10$ mm, $n = 500$ rpm, $V_f = 50$ mm/min - <i>Drill</i> $\text{Ø}25$ mm, $n = 200$ rpm, $V_f = 0.15$ mm/min



Tabel 6.5 Tahapan Proses Pembuatan *Blank Holder* (lanjutan)

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
Bubut internal untuk $\text{Ø}32$ mm	Pahat bubut internal, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Pembuatan lubang awal untuk ulir dalam M8	Drill $\text{Ø}6.8$ mm, $n = 710$ rpm, $V_f = 60$ mm/min
Pembuatan ulir dalam M8	Tap M8

#### 4. Die



Gambar 6.4 Die

Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *turning* LEAD WELL LTC-20B dan CNC *milling* merk MAHO seri 800E. Jenis proses permesinan pada pembuatan *die* yaitu:

- *Turning*
- *Drilling*
- *Milling*

Material *die* yaitu SKD 11 dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada

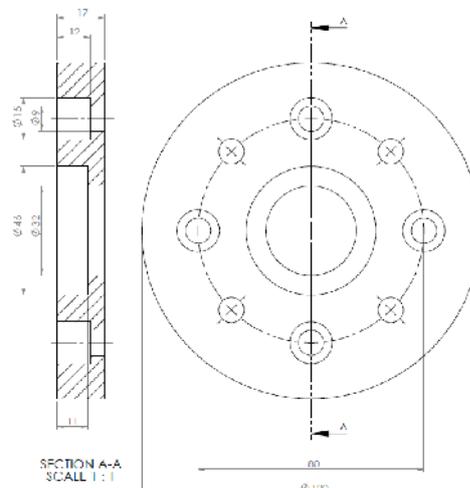


Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya.

Tabel 6.6 Tahapan Proses Pembuatan *Die*

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
<b>Turning:</b>	
Proses pembubutan sisi bagian luar	Pahat bubut eksternal standar, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Pembuatan lubang awal untuk $\text{Ø}40$ mm	- Drill $\text{Ø}10$ mm, $n = 500$ rpm, $V_f = 50$ mm/min - Drill $\text{Ø}25$ mm, $n = 200$ rpm, $V_f = 0.15$ mm/min
Bubut internal untuk $\text{Ø}40$ mm	Pahat bubut internal, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
<b>Milling:</b>	
Pembuatan lubang $\text{Ø}9$ mm	Drill $\text{Ø}9$ mm, $n = 550$ rpm, $V_f = 50$ mm/min
Pembuatan lubang kepala baut M8	End Mill $\text{Ø}8$ mm, $n = 1500$ rpm, $V_f = 120$ mm/min

### 5. Punch Holder



Gambar 6.5 *Punch holder*



Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *turning* LEAD WELL LTC-20B dan CNC *milling* merk MAHO seri 800E. Jenis proses permesinan pada pembuatan *punch holder* yaitu:

- *Turning*
- *Drilling*
- *Milling*

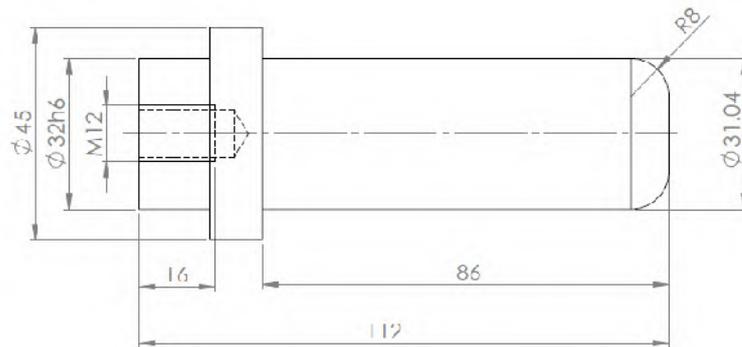
Material *punch holder* yaitu S45C dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya.

Tabel 6.7 Tahapan Proses Pembuatan *Punch Holder*

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
<b>Turning:</b>	
Proses pembubutan sisi bagian luar	Pahat bubut eksternal standar, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Pembuatan lubang awal untuk $\varnothing 32$ dan $\varnothing 46$ mm	- <i>Drill</i> $\varnothing 10$ mm, $n = 500$ rpm, $V_f = 50$ mm/min - <i>Drill</i> $\varnothing 25$ mm, $n = 200$ rpm, $V_f = 0.15$ mm/min
Bubut internal untuk $\varnothing 32$ dan $\varnothing 46$ mm	Pahat bubut internal, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
<b>Milling:</b>	
Pembuatan lubang $\varnothing 9$ mm	<i>Drill</i> $\varnothing 9$ mm, $n = 550$ rpm, $V_f = 50$ mm/min
Pembuatan lubang kepala poros pengarah pegas	<i>End Mill</i> $\varnothing 8$ mm, $n = 1500$ rpm, $V_f = 120$ mm/min



## 6. Punch



Gambar 6.6 *Punch*

Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *turning* LEAD WELL LTC-20B. Jenis proses permesinan pada pembuatan *punch* yaitu:

- *Turning*
- *Drilling*
- *Tapping*

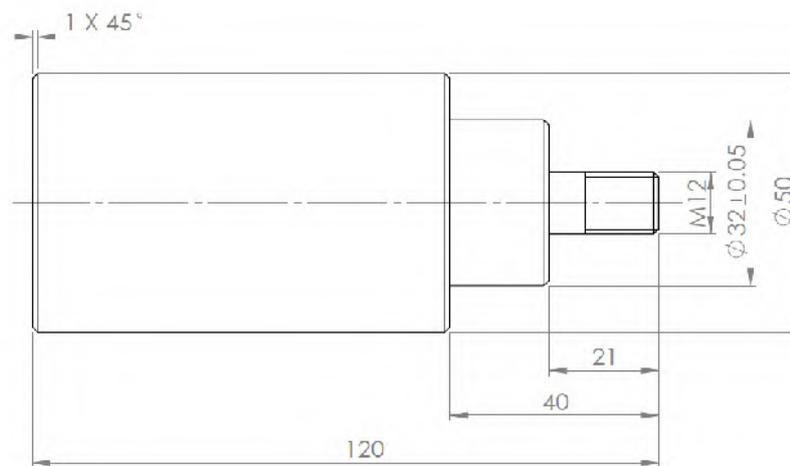
Material *punch* yaitu SKD 11 dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya.

Tabel 6.8 Tahapan Proses Pembuatan *Punch*

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
Proses pembubutan sisi bagian luar	Pahat bubut eksternal standar, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Pembuatan lubang awal untuk ulir dalam M12	<i>Drill</i> $\varnothing 10.5$ mm, $n = 475$ rpm, $V_f = 50$ mm/min
Pembuatan ulir dalam M12 (manual)	<i>Tap</i> M12



## 7. Shank



Gambar 6.7 *Shank*

Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *turning* LEAD WELL LTC-20B. Jenis proses permesinan pada pembuatan *shank* yaitu:

- *Turning*

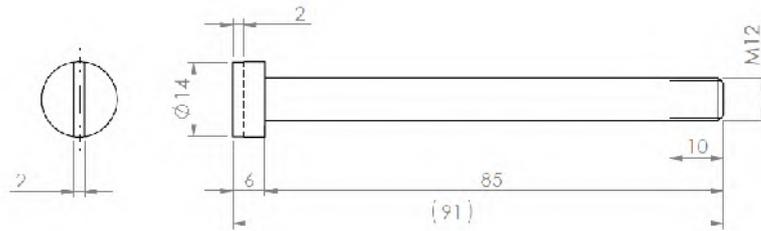
Material *shank* yaitu S45C dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya

Tabel 6.9 Tahapan Proses Pembuatan *Shank*

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
Proses pembubutan sisi bagian luar	Pahat bubut eksternal standar, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Proses bubut ulir M12	Pahat ulir luar M12, $V_c = 50$ m/min, $V_f = 1.75$ mm ( <i>pitch</i> )



## 8. Pengarah Pegas



Gambar 6.8 Pengarah pegas

Proses permesinan dilakukan pada mesin CNC *turning* LEAD WELL LTC-20B dan CNC *milling* merk MAHO seri 800E. Jenis proses permesinan pada pembuatan pengarah pegas yaitu:

- *Turning*
- *Milling*

Material pengarah pegas yaitu S45C dan jenis alat potong yang dipakai yaitu HSS. Kecepatan potong ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan tabel yang terdapat pada Lampiran 5. Putaran spindle ( $n_{\text{spindle}}$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) ditentukan berdasarkan rumus sesuai yang ada pada poin 2.9 bab sebelumnya

Tabel 6.10 Tahapan Proses Pembuatan Pengarah Pegas

Tahapan Proses	Alat Potong & Parameter Proses
<b>Turning:</b>	
Proses pembubutan sisi bagian luar	Pahat bubut eksternal standar, $V_c = 100$ m/min, $V_f = 40$ mm/min
Proses bubut ulir M12	Pahat ulir luar M12, $V_c = 50$ m/min, $V_f = 1.75$ mm ( <i>pitch</i> )
<b>Milling:</b>	
Pembuatan alur di kepala poros	<i>End Mill</i> $\varnothing 2$ mm, $n = 2500$ rpm, $V_f = 60$ mm/min



## 6.2 Perakitan Komponen

Tahapan proses perakitan komponen dilakukan sesuai dengan hubungan dan fungsi antara komponen satu terhadap komponen lainnya. Hal tersebut dilakukan agar semua komponen dapat terpasang dengan baik sehingga cetakan *deep drawing* dapat berfungsi seperti yang diinginkan. Perakitan komponen cetakan *deep drawing* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut yaitu:

Tabel 6.11 Langkah Perakitan Komponen

Langkah Perakitan	Hasil Rakitan
<p>Pemasangan tiang pengarah pada pelat bawah:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Landasan atau permukaan kepala dari tiang pengarah minimal sama dengan atau diatas permukaan sebelah bawah dari pelat.</li></ul>	
<p>Pemasangan <i>die</i> pada pelat bawah:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Permukaan <i>die</i> yang menempel pada sisi atas pelat bawah harus rata, setelah itu baru <i>die</i> diikat menggunakan menggunakan baut inbus M10.</li></ul>	



Tabel 6.12 Langkah Perakitan Komponen (lanjutan)

Langkah Perakitan	Hasil Rakitan
<p>Pemasangan <i>bush</i> pengarah pada pelat atas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Konstruksi <i>step</i> pada <i>bush</i> pengarah dipastikan menempel pada permukaan pelat atas.</li></ul>	
<p>Pemasangan <i>punch</i> pada pelat atas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Punch</i> dipasang pada pelat atas lalu dipegang oleh pelat <i>punch holder</i> sebagai pengarah dan pengikat pada pelat atas. Pelat <i>punch holder</i> diikat menggunakan 4 buah baut M10 terhadap pelat atas.</li></ul>	
<p>Pemasangan poros pengarah pegas pada pelat atas dan pelat <i>punch holder</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Poros pengarah pegas dipasang pada lubang yang tersedia pada pelat atas dan pelat <i>punch holder</i>. Pegas dimasukkan pada poros pengarah pegas.</li></ul>	



Tabel 6.13 Langkah Perakitan Komponen (lanjutan)

Langkah Perakitan	Hasil Rakitan
<p>Pemasangan pelat <i>blank holder</i> pada poros pengarah pegas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelat <i>blank holder</i> harus terikat rata terhadap poros pengarah pegas. Ulir luar pada masing-masing ujung poros pengarah pegas dalam kondisi masuk penuh terhadap pelat <i>blank holder</i>.</li> </ul>	
<p>Pemasangan poros <i>shank</i> pada pelat atas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poros <i>shank</i> masuk kedalam lubang pengarah yang ada pada pelat atas. Ujung dari poros <i>shank</i> diikat terhadap poros <i>punch</i> dengan menggunakan sambungan ulir.</li> </ul>	
<p>Pemasangan konstruksi pelat atas terhadap konstruksi pelat bawah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pergerakan naik-turun bagian pelat atas terhadap pelat bawah harus lancar (<i>sliding</i>).</li> </ul>	

### 6.3 Uji Coba Pembentukan *Cup Silindris* Pada Cetakan *Deep Drawing*

Uji coba pembentukan dilakukan di bengkel milik UD. Sumber Rejeki yang beralamat di Jalan Kolonel Soegiono RT12/RW04 Gang 1 Pandean daerah Waru kota Sidoarjo. Bengkel tersebut memiliki mesin *press* hidrolik dengan kapasitas sebesar 80 ton. Tujuan dilakukannya uji coba pembentukan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana cetakan yang telah dibuat dan dirakit dapat berfungsi



dalam membentuk *cup* silindris sesuai dengan spesifikasi *cup* hasil simulasi FE. Adapun tahapan yang dikerjakan dalam melakukan uji coba pembentukan *cup* silindris pada cetakan *deep drawing* yaitu sebagai berikut:

### 6.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Berikut ini merupakan peralatan, mesin, serta bahan yang harus disiapkan sebelum pelaksanaan uji coba pembentukan *cup* silindris yaitu:

- Mesin *press* hidrolik kapasitas 80 ton (kecepatan lengan *slide*  $\pm 10$  mm/s)
- Konstruksi cetakan *deep drawing*
- *Blank*
- Pelumas (minyak sayur)
- Jangka sorong
- Kunci L
- Penggaris



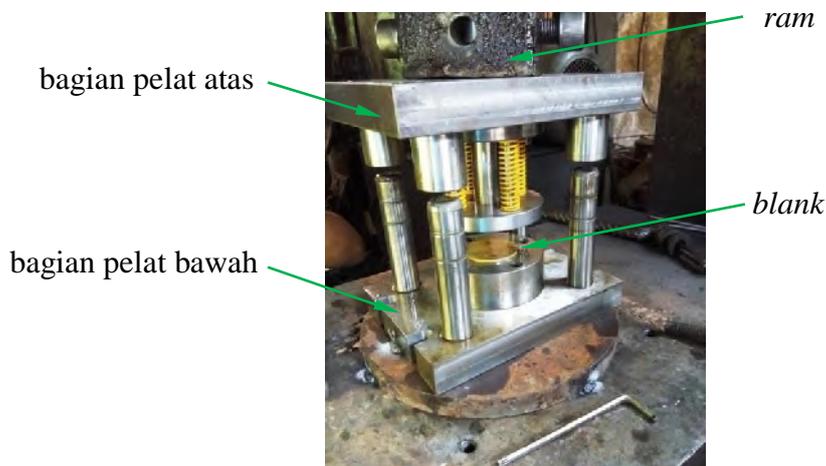
Gambar 6.9 Proses pembersihan *bed* dan pemasangan cetakan *deep drawing* di mesin *press* hidrolik 80 ton

### 6.3.2 Langkah-Langkah Uji Coba Pembentukan *Cup* Silindris

- Pemasangan konstruksi pelat atas dari cetakan *deep drawing* pada bagian *slide/ram* mesin *press* hidrolik. Poros *shank* diikat dengan baut dari arah samping pada lengan *slide* mesin *press* hidrolik.



- Tahap selanjutnya adalah meletakkan konstruksi pelat bawah pada permukaan *bed* mesin *press* hidrolik. Konstruksi pelat atas dan pelat bawah diberi pelumas berupa minyak sayur pada bagian-bagian yang saling kontak seperti: *punch*, pelat *blank holder*, *die*, tiang pengarah, *bush* pengarah.
- Bagian pelat atas yang sudah dipasang pada lengan *slide* digerakkan turun secara perlahan sampai posisi keempat buah *bush* pengarah masuk kedalam tiang pengarah.
- Pergerakan naik-turun bagian pelat atas yang sudah diikat pada lengan *slide* terhadap bagian pelat bawah harus lancar (*sliding*). Jika pergerakan tersebut sudah lancar maka bagian pelat bawah diikat kuat terhadap *bed* mesin *press* hidrolik. Proses pengikatan pelat bawah dapat dilakukan menggunakan sistem klem atau berupa sambungan lasan. Proses pengikatan dilakukan dalam kondisi *bush* pengarah masih masuk kedalam tiang pengarah.
- *Blank* dilumasi menggunakan minyak sayur lalu diletakkan pada bagian kolam pengarah di permukaan *die*. Lengan *slide* digerakkan turun dengan kedalaman langkah pembentukan sebesar 33 mm. Ukuran langkah pembentukan dilihat menggunakan penggaris, setelah mencapai ukuran 33 mm maka gerakan turun lengan *slide* dihentikan.



Gambar 6.10 Posisi *blank* sebelum dilakukan proses pembentukan

- Langkah terakhir yaitu menggerakkan lengan keatas sehingga cukup ruang untuk mengambil *cup* silindris yang telah dibentuk pada rongga *die*.



### 6.3.3 Hasil Uji Coba Pembentukan *Cup* Silindris

Ukuran *blank* yang akan digunakan pada uji coba pembentukan *cup* silindris yaitu 67 mm dan 62 mm. Ukuran *blank* tersebut masing-masing merupakan ukuran *blank* yang digunakan pada simulasi awal dan simulasi lanjutan.



Gambar 6.11 *Blank* diameter 62 mm dan 67 mm

Berikut ini hasil uji coba pembentukan *cup* silindris menggunakan dua jenis ukuran *blank* seperti diatas yaitu sebagai berikut:



a. *Cup* dengan  $\emptyset$  blank = 67 mm



b. *Cup* dengan  $\emptyset$  blank = 62 mm

Gambar 6.12 *Cup* silindris hasil uji coba pembentukan

### 6.3.4 Analisa Hasil Uji Coba Pembentukan *Cup* Silindris

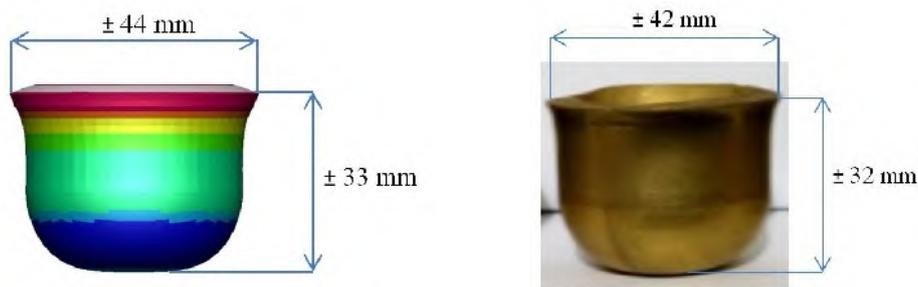
Hasil uji coba pembentukan *cup* silindris dibandingkan terhadap hasil simulasi FE pembentukan *cup* silindris. Hal tersebut untuk melihat sejauh mana



fungsi dari cetakan *deep drawing* yang telah dibuat dalam membentuk *cup* silindris.

#### 6.3.4.1 Perbandingan Hasil Uji Coba Terhadap Hasil Simulasi Awal

Spesifikasi *cup* hasil simulasi awal tidak digunakan sebagai data untuk perancangan cetakan *deep drawing*. Geometri dan dimensi *cup* hasil uji coba pembentukan tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi awal seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 6.13 Hasil simulasi awal vs hasil uji coba pembentukan

Proses uji coba pembentukan *cup* silindris menggunakan *blank* dengan diameter 67 mm sebanyak 3 buah. Masing-masing *cup* tersebut menunjukkan pada bagian sisi atas dari *cup* silindris terjadi penebalan seperti yang ada pada hasil simulasi seperti yang terlihat pada Gambar 6.4.a. Hal tersebut menyebabkan *cup* secara geometri tidak terbentuk dengan sempurna. Faktor utama dari permasalahan itu adalah ukuran diameter *blank* yang terlalu besar.

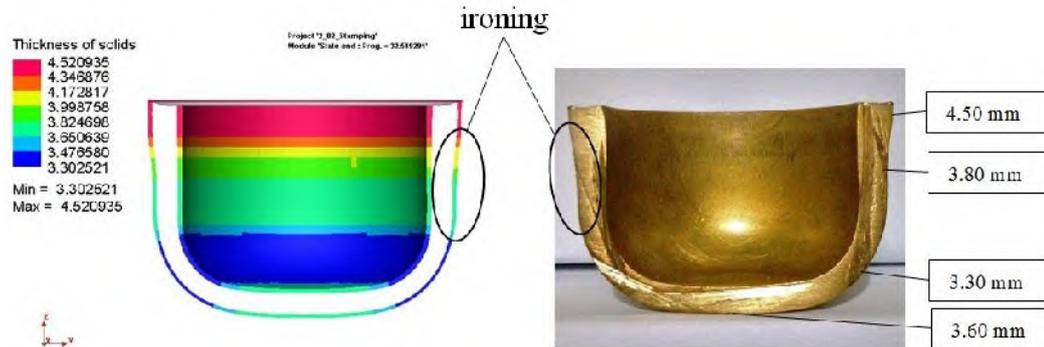
#### 6.3.4.2 Perbandingan Hasil Uji Coba Terhadap Hasil Simulasi Lanjutan

##### a. Ketebalan Dinding *Cup*

Spesifikasi *cup* hasil simulasi lanjutan merupakan acuan dalam perancangan cetakan *deep drawing*. Perbandingan geometri dan ukuran *cup* hasil uji coba pembentukan terhadap *cup* hasil simulasi lanjutan dapat dilihat pada Gambar 6.6. Ukuran *blank* yang digunakan dalam uji coba pembentukan adalah 62 mm. Jumlah *blank* yang dipakai dalam uji coba pembentukan yaitu 10 buah. Parameter perbandingan diperlukan sebagai indikator untuk mengetahui sejauh mana perbedaan hasil antara kedua jenis proses tersebut. Salah satu parameter



yang digunakan sebagai pembandingan antara kedua hasil proses tersebut adalah ketebalan dinding (Faraji dkk., 2010).

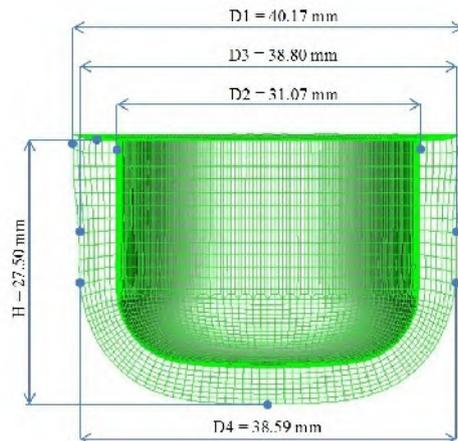


Gambar 6.14 Hasil simulasi lanjutan vs hasil uji coba pembentukan

Berdasarkan ukuran ketebalan dinding *cup* hasil uji coba pembentukan mendekati ukuran dari ketebalan dinding *cup* hasil simulasi lanjutan pada titik yang sama. Selain itu, lokasi terjadinya penipisan (*ironing*) pada dinding *cup* hasil uji coba pembentukan sama persis dengan prediksi dari hasil simulasi lanjutan. Simulasi FE yang telah dilakukan dapat memprediksi dengan tepat, baik secara ukuran maupun kemungkinan terjadinya cacat seperti penipisan dinding pada produk *cup* hasil percobaan di lapangan.

#### b. Pengukuran Geometri *Cup*

Faktor lain yang digunakan untuk mengetahui perbandingan hasil simulasi terhadap hasil uji coba pembentukan yaitu pengukuran geometri *cup* hasil coba uji pembentukan. Posisi pengukuran geometri *cup* hasil simulasi lanjutan yaitu sebagai berikut:



Gambar 6.15 Hasil pengukuran geometri *cup* hasil simulasi

Pengukuran geometri *cup* hasil uji coba pembentukan dilakukan mengikuti posisi pengukuran seperti pada Gambar 6.7. Titik-titik pada posisi pengukuran tersebut dianggap dapat mewakili ukuran geometri *cup* silindris secara umum. Hasil pengukuran geometri *cup* hasil uji coba pembentukan dapat dilihat pada tabel berikut ini yaitu:

Tabel 6.14 Hasil Pengukuran Geometri *Cup* Hasil Uji Coba

Proses Pembentukan ke-	Hasil Pengukuran dalam mm				
	H	D1	D2	D3	D4
	26.5 *(4%)	40.3 (0.3%)	31.2 (0.4%)	38.7 (0.3%)	38.5 (0.3%)
	26.4 (4%)	40.3 (0.3%)	31.2 (0.4%)	38.7 (0.3%)	38.5 (0.3%)
	26.5 (4%)	40.3 (0.3%)	31.2 (0.4%)	38.7 (0.3%)	38.5 (0.3%)



Tabel 6.15 Hasil Pengukuran Geometri *Cup* Hasil Uji Coba (lanjutan)

Proses Pembentukan ke-	Hasil Pengukuran dalam mm				
	H	D1	D2	D3	D4
	26.5 (4%)	40.2 (0.1%)	31.2 (0.4%)	38.7 (0.3%)	38.5 (0.3%)
	26.8 (3%)	40.2 (0.1%)	31.2 (0.4%)	38.7 (0.3%)	38.5 (0.3%)
	26.8 (3%)	40.2 (0.1%)	31.3 (0.7%)	38.6 (0.5%)	38.5 (0.3%)
	26.9 (2%)	40.4 (0.6%)	31.3 (0.7%)	38.8 (0%)	38.5 (0.3%)
	26.4 (4%)	40.3 (0.3%)	31.3 (0.7%)	38.7 (0.3%)	38.4 (0.7%)
	26.4 (4%)	40.3 (0.3%)	31.4 (1%)	38.8 (0%)	38.5 (0.3%)
	26.9 (2%)	40.4 (0.6%)	31.3 (0.7%)	38.6 (0.5%)	38.5 (0.3%)

\*( ) yaitu persentase penyimpangan ukuran geometri *cup* hasil uji pembentukan terhadap ukuran geometri *cup* hasil simulasi lanjutan.



Hasil pengukuran geometri *cup* hasil uji pembentukan menunjukkan tingkat perbedaan ukuran yang sangat kecil sekali terhadap hasil simulasi. Rentang penyimpangan yang terjadi pada masing-masing titik pengukuran pada *cup* hasil uji pembentukan yaitu:

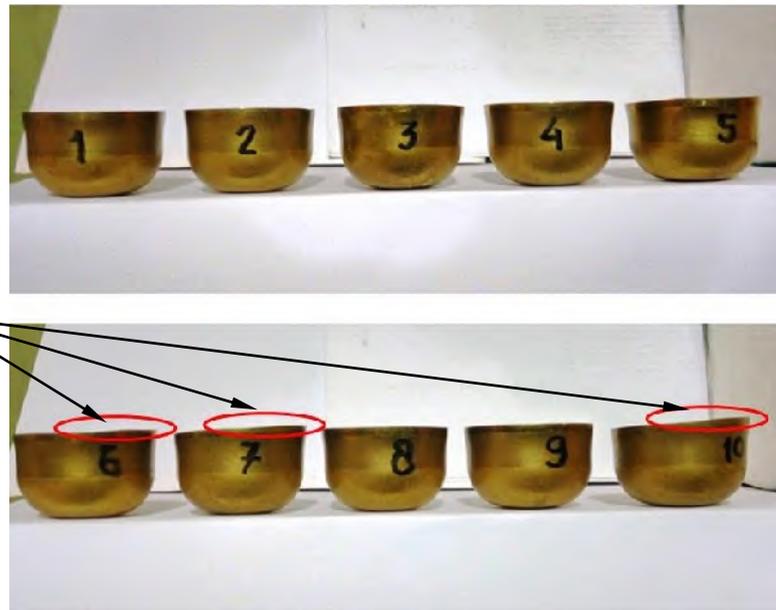
- Titik H = 2% sampai 4%
- Titik D1 = 0.1% sampai 0.6%
- Titik D2 = 0.4% sampai 1%
- Titik D3 = 0% sampai 0.5%
- Titik D4 = 0.3% sampai 0.7%

Berdasarkan persentase penyimpangan pengukuran geometri *cup* hasil uji pembentukan terhadap *cup* hasil simulasi dapat diketahui bahwa simulasi FE yang telah dilakukan dapat memprediksi bentuk geometri *cup* pada hasil percobaan dengan tepat.

### 6.3.5 Pembahasan Hasil Perbandingan

Berdasarkan perbandingan terhadap hasil uji pembentukan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

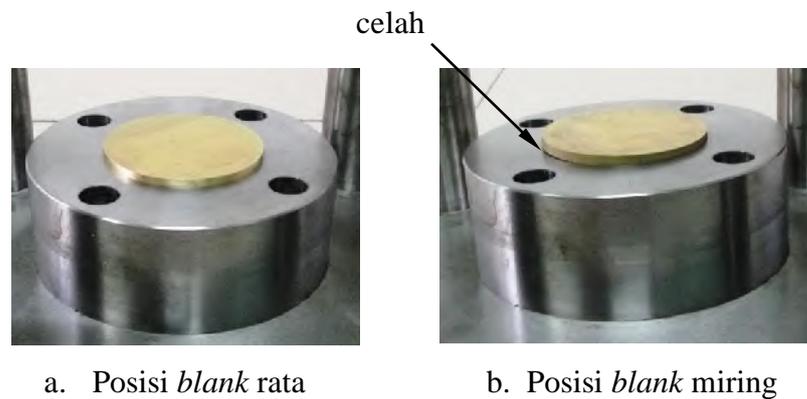
1. Hasil simulasi FE awal dan lanjutan yang telah dilakukan dapat dengan baik memprediksi distribusi ketebalan dinding dan ukuran geometri luar dari *cup* pada hasil percobaan. Hal tersebut berdasarkan perbedaan data pengukuran di lapangan yang mendekati ukuran *cup* pada hasil simulasi.
2. Perbedaan hasil pengukuran yang sangat kecil terhadap produk *cup* dari kedua model proses tersebut (simulasi dan percobaan di lapangan) menunjukkan bahwa cetakan *deep drawing* yang telah dirancang dan dibuat serta diuji dapat berfungsi dengan baik.
3. Faktor yang menyebabkan penipisan pada dinding *cup* silindris yaitu ukuran radius *die* yang agak kecil dan ukuran *clearance* antara *punch* dan *die* terlalu besar.
4. Tinggi *cup* hasil uji pembentukan ke 6,7 dan 10 tidak rata atau miring pada sisi bagian atas dari *cup* silindris.



tidak rata

Gambar 6.16 Tinggi *cup* silindris hasil uji pembentukan

Permasalahan tersebut disebabkan peletakan *blank* yang tidak rata pada kolam pengarah bagian atas permukaan *die*. Hal tersebut disebabkan ukuran *blank* hasil pemotongan *wire*-EDM yang terlalu besar sehingga *blank* tidak dapat masuk secara sempurna ke dalam kolam pengarah tersebut.



a. Posisi *blank* rata

b. Posisi *blank* miring

Gambar 6.17 Posisi peletakan *blank* pada *die*



---

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

4

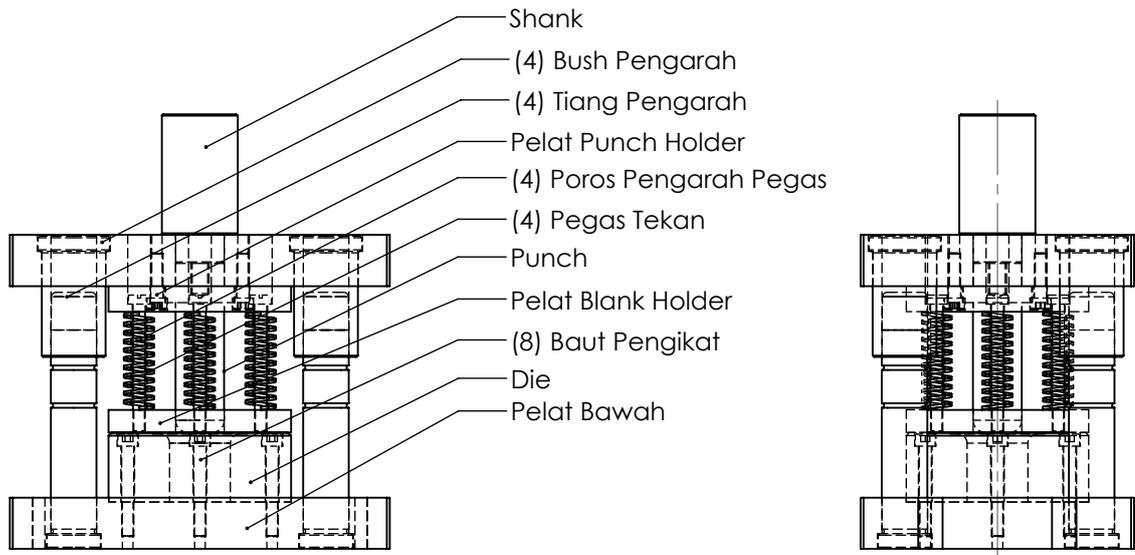
3

2

1

F

F

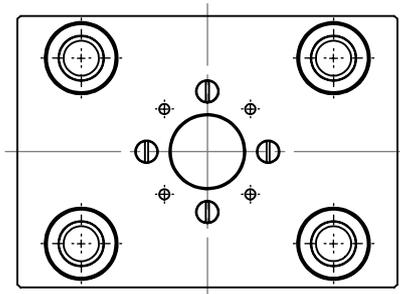


E

E

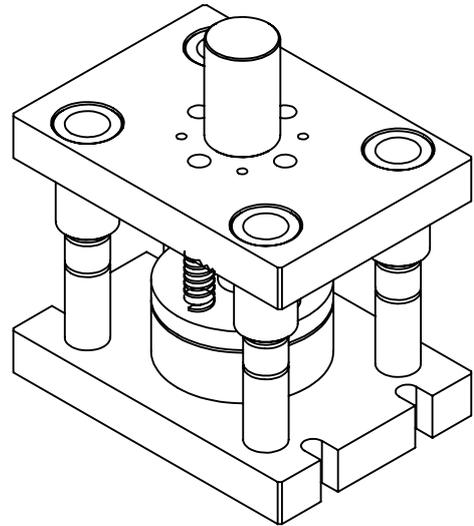
D

D



C

C



B

B

A

A

JUMLAH

NAMA BAGIAN

NO. BAG

UKURAN

BAHAN

## CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS

SKALA:

1 : 5

DIGAMBAR

16 - 06 - 2016

IDIAR

DIPERIKSA

21 - 06 - 2016

LONDEN

DILIHAT



MAGISTER TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

A4

001/TESIS/2016

4

3

2

1

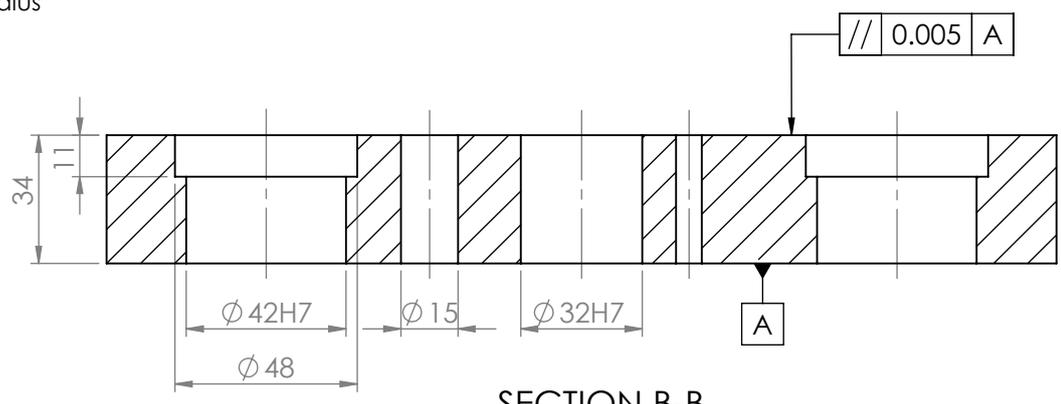
4

3

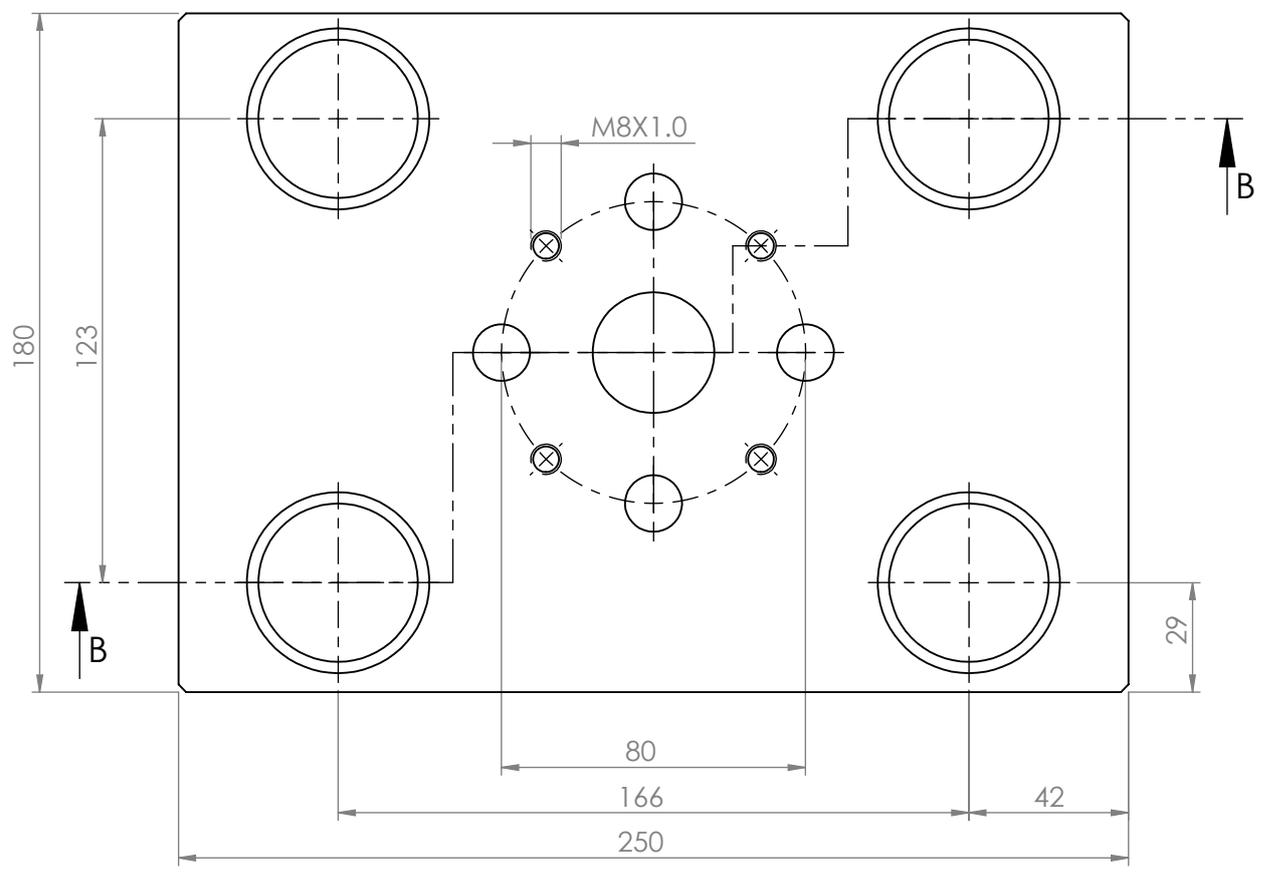
2

1

N6  
Tol. halus



SECTION B-B  
SCALE 1 : 2



1	PELAT ATAS	-	34 X 180 X 250	S45C
<b>JUMLAH</b>	<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
	<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b>	<b>DIGAMBAR</b>	16 - 06 - 2016
		1 : 2	<b>DIPERIKSA</b>	21 - 06 - 2016
			<b>DILIHAT</b>	
	 <b>MAGISTER TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>002/TESIS/2016</b>	

4

3

2

1

F

E

D

C

B

A

F

E

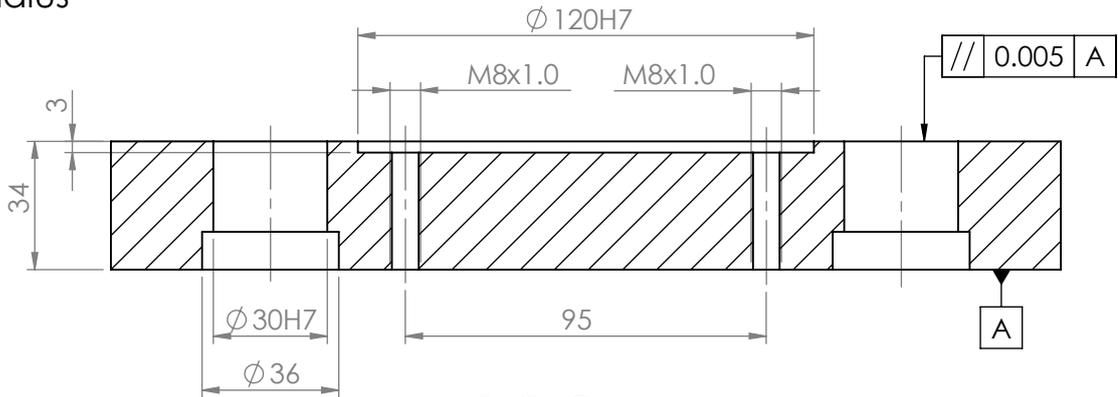
D

C

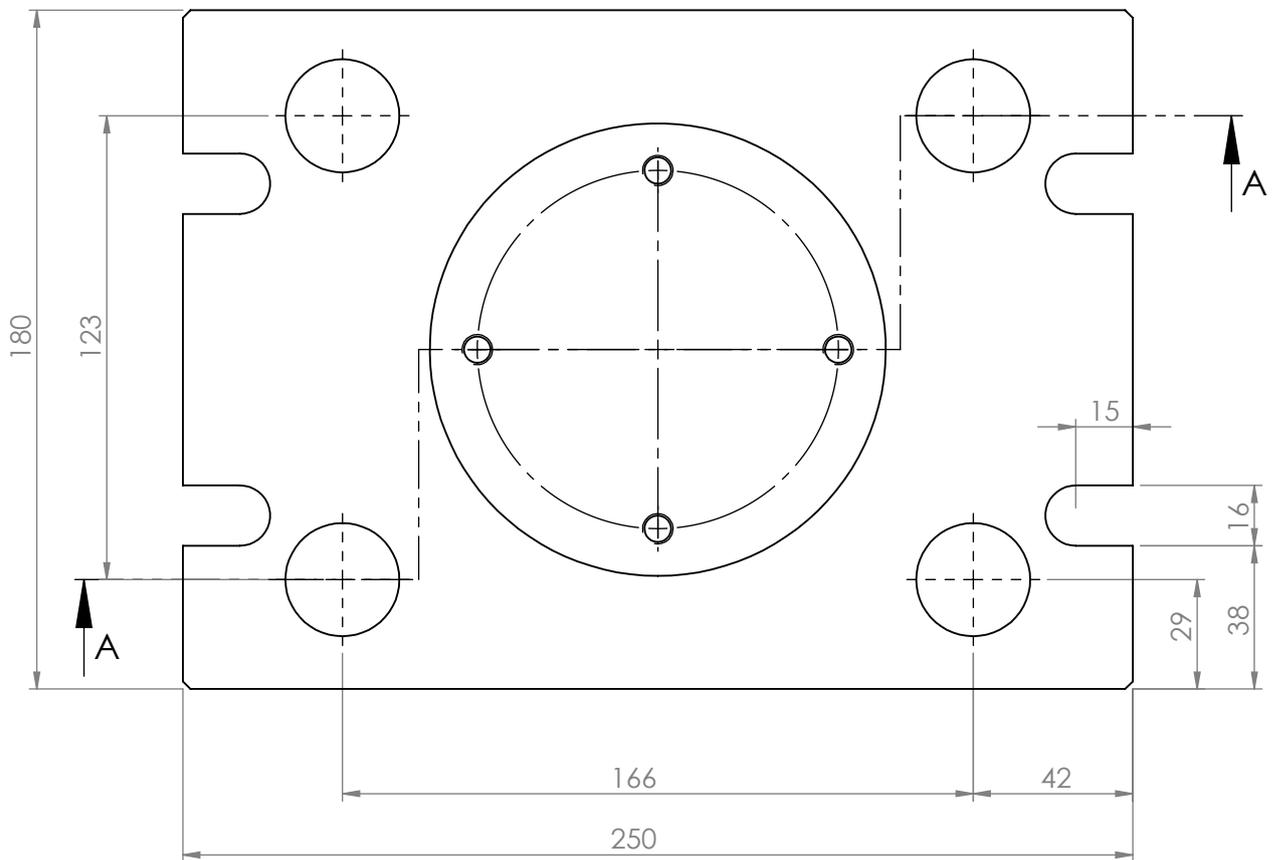
B

A

N6  
Tol. halus



SECTION A-A  
SCALE 1 : 2



1	PELAT BAWAH	-	34 X 180 X 250	S45C
JUMLAH	NAMA BAGIAN	NO. BAG	UKURAN	BAHAN
<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>		SKALA:	DIGAMBAR	16 - 06 - 2016
		1 : 2	DIPERIKSA	21 - 06 - 2016
			DILIHAT	
		A4	003/TESIS/2016	



MAGISTER TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

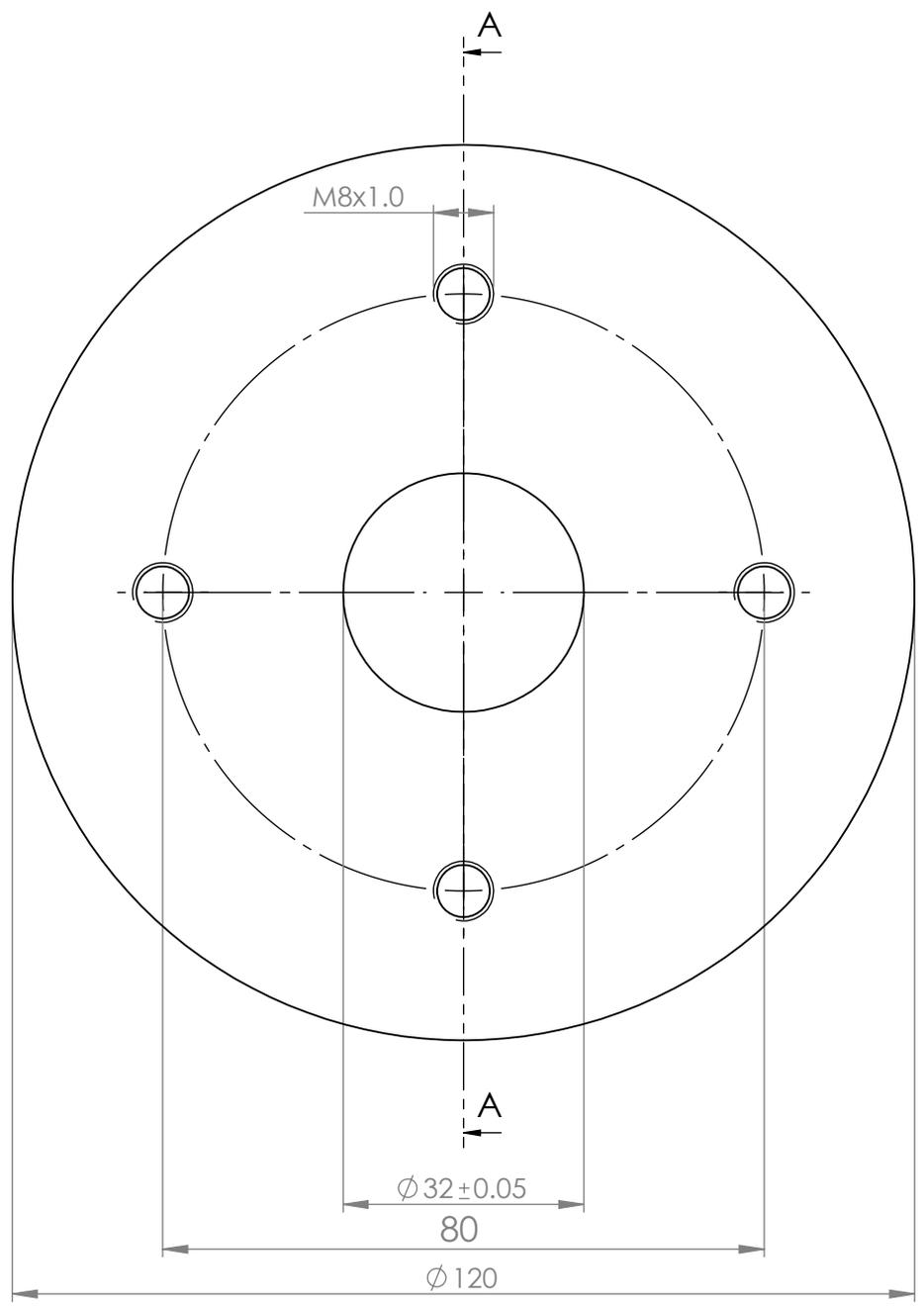
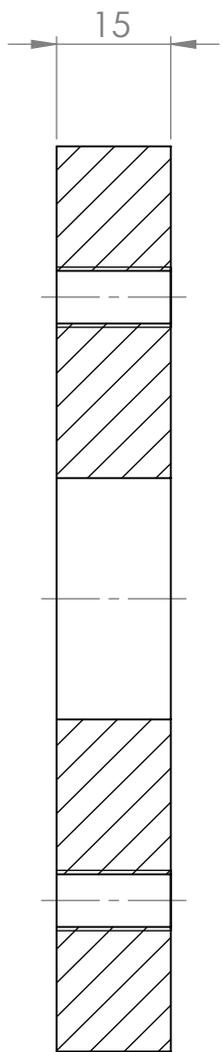
4

3

2

1

N6  
Tol. sedang



1	PELAT BLANK HOLDER	-	DIA.120 X 15	S45C
<b>JUMLAH</b>	<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
	<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b> 1 : 1	<b>DIGAMBAR</b> 16 - 06 - 2016	IDIAR
			<b>DIPERIKSA</b> 21 - 06 - 2016	LONDEN
			<b>DILIHAT</b>	
	 <b>MAGISTER TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>004/TESIS/2016</b>	

4

3

2

1

4

3

2

1

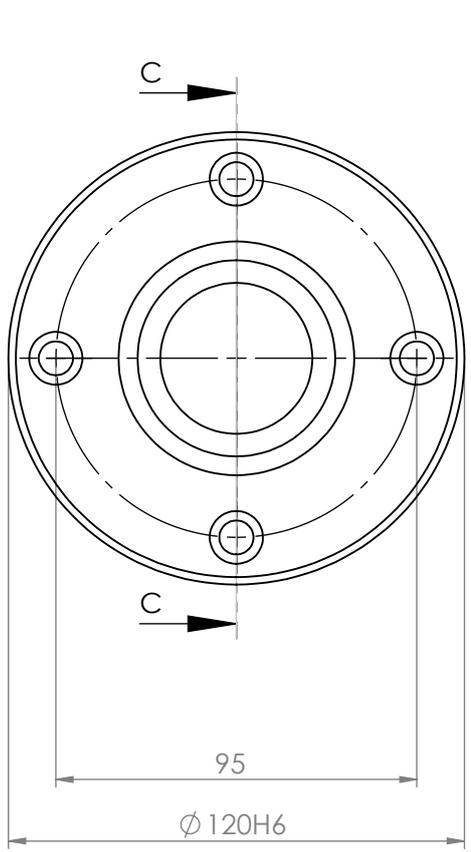
F

F

N6/  
 Tol. halus

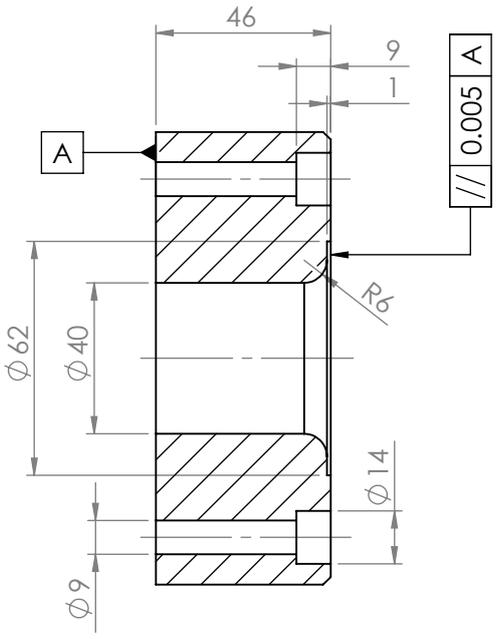
E

E



D

D



C

C

SECTION C-C  
 SCALE 1 : 2

B

B

	1	PELAT DIE	-	DIA. 120 X 46	SKD 11
<b>JUMLAH</b>		<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
		<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b>	<b>DIGAMBAR</b>	16 - 06 - 2016
			1 : 2	<b>DIPERIKSA</b>	21 - 06 - 2016
				<b>DILIHAT</b>	
		 <b>MAGISTER TEKNIK          JURUSAN TEKNIK MESIN          FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI          INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>005/TESIS/2016</b>	

A

A

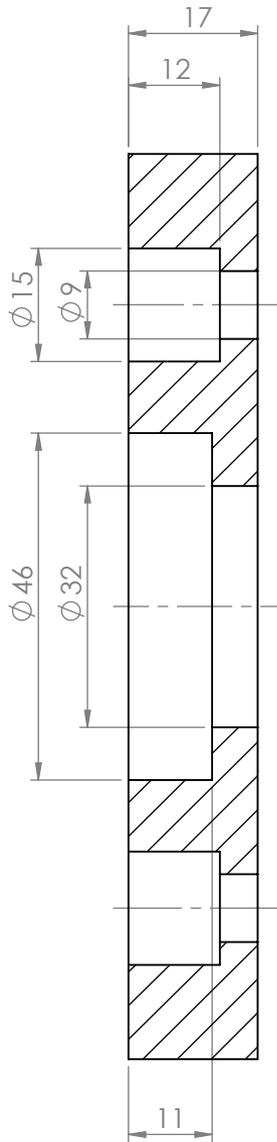
4

3

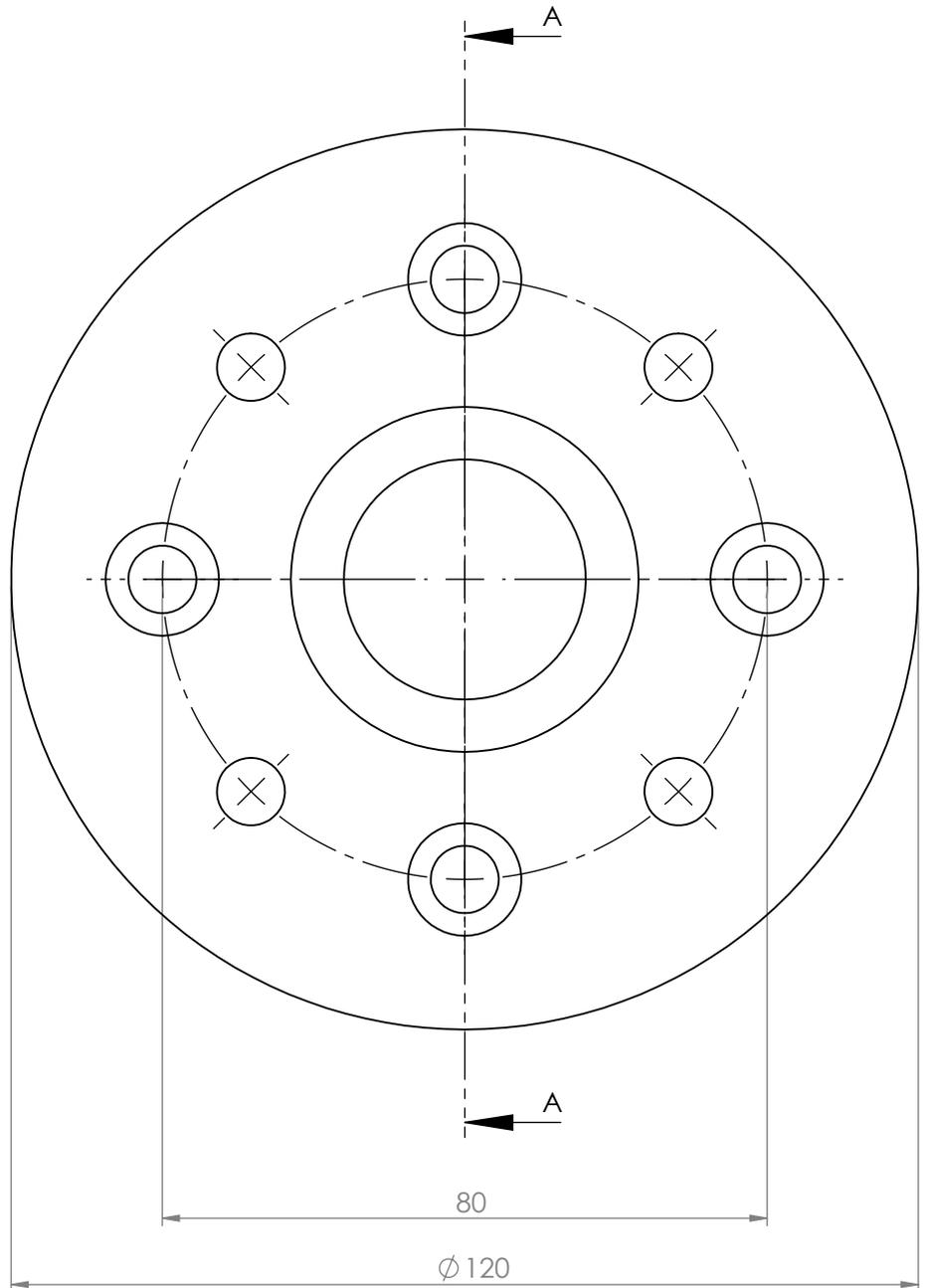
2

1

N6  
Tol. sedang



SECTION A-A  
SCALE 1 : 1



1	PELAT PUNCH HOLDER	-	DIA. 120 X 17	S45C
<b>JUMLAH</b>	<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
	<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b> 1 : 1	<b>DIGAMBAR</b> 16 - 06 - 2016	IDIAR
			<b>DIPERIKSA</b> 21 - 06 - 2016	LONDEN
			<b>DILIHAT</b>	
	 <b>MAGISTER TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>006/TESIS/2016</b>	

4

3

2

1

F

F

N8

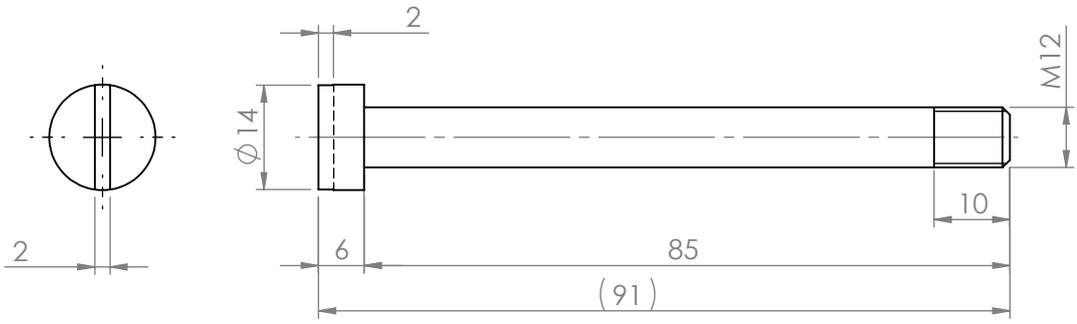
Tol. sedang

E

E

D

D



C

C

B

B

	4	POROS PENGARAH PEGAS	-	DIA.14 X 91	S45C
<b>JUMLAH</b>		<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
		<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b>	<b>DIGAMBAR</b>	16 - 06 - 2016
			1 : 1	<b>DIPERIKSA</b>	21 - 06 - 2016
				<b>DILIHAT</b>	
		 <b>MAGISTER TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>009/TESIS/2016</b>	

A

A

4

3

2

1

4

3

2

1

F

N6

Tol. sedang

F

E

E

D

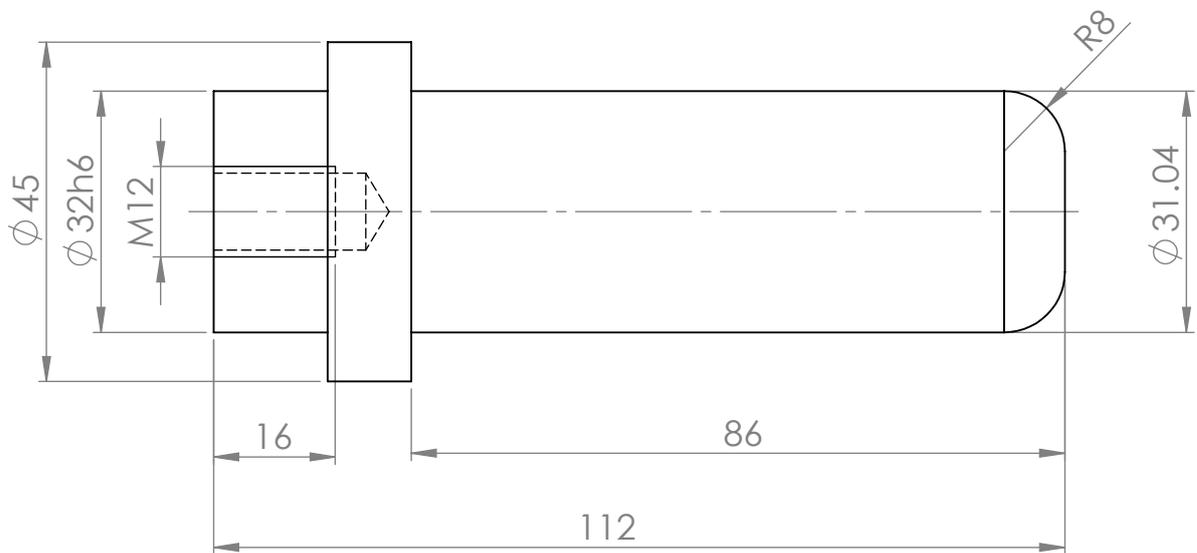
D

C

C

B

B



C

C

B

B

	1	POROS PUNCH	-	DIA.45 X 112	SKD 11
<b>JUMLAH</b>		<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
		<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b>	<b>DIGAMBAR</b>	16 - 06 - 2016
			1 : 1	<b>DIPERIKSA</b>	21 - 06 - 2016
				<b>DILIHAT</b>	
		 <b>MAGISTER TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>007/TESIS/2016</b>	

A

A

4

3

2

1

4

3

2

1

F

N8/

Tol. sedang

F

E

E

D

D

C

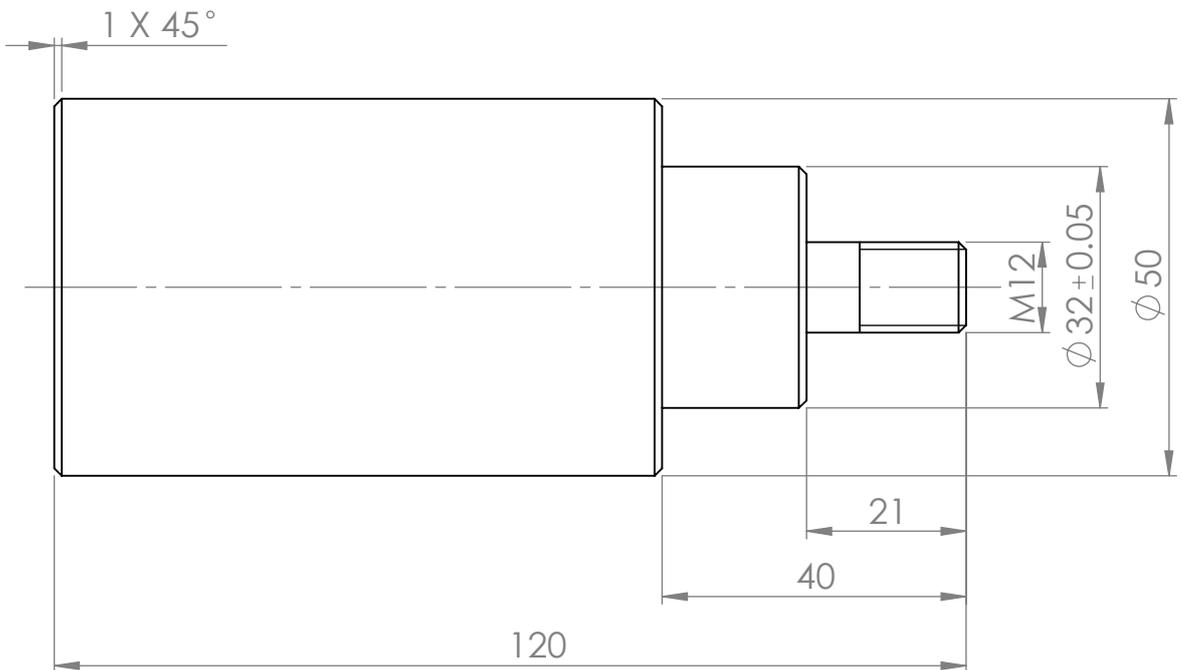
C

B

B

A

A



	1	POROS SHANK	-	DIA. 50 X 120	S45C
<b>JUMLAH</b>		<b>NAMA BAGIAN</b>	<b>NO. BAG</b>	<b>UKURAN</b>	<b>BAHAN</b>
		<b>CETAKAN DEEP DRAWING CUP SILINDRIS</b>	<b>SKALA:</b>	<b>DIGAMBAR</b>	16 - 06 - 2016
			1 : 1	<b>DIPERIKSA</b>	21 - 06 - 2016
				<b>DILIHAT</b>	
		 <b>MAGISTER TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</b>	<b>A4</b>	<b>008/TESIS/2016</b>	

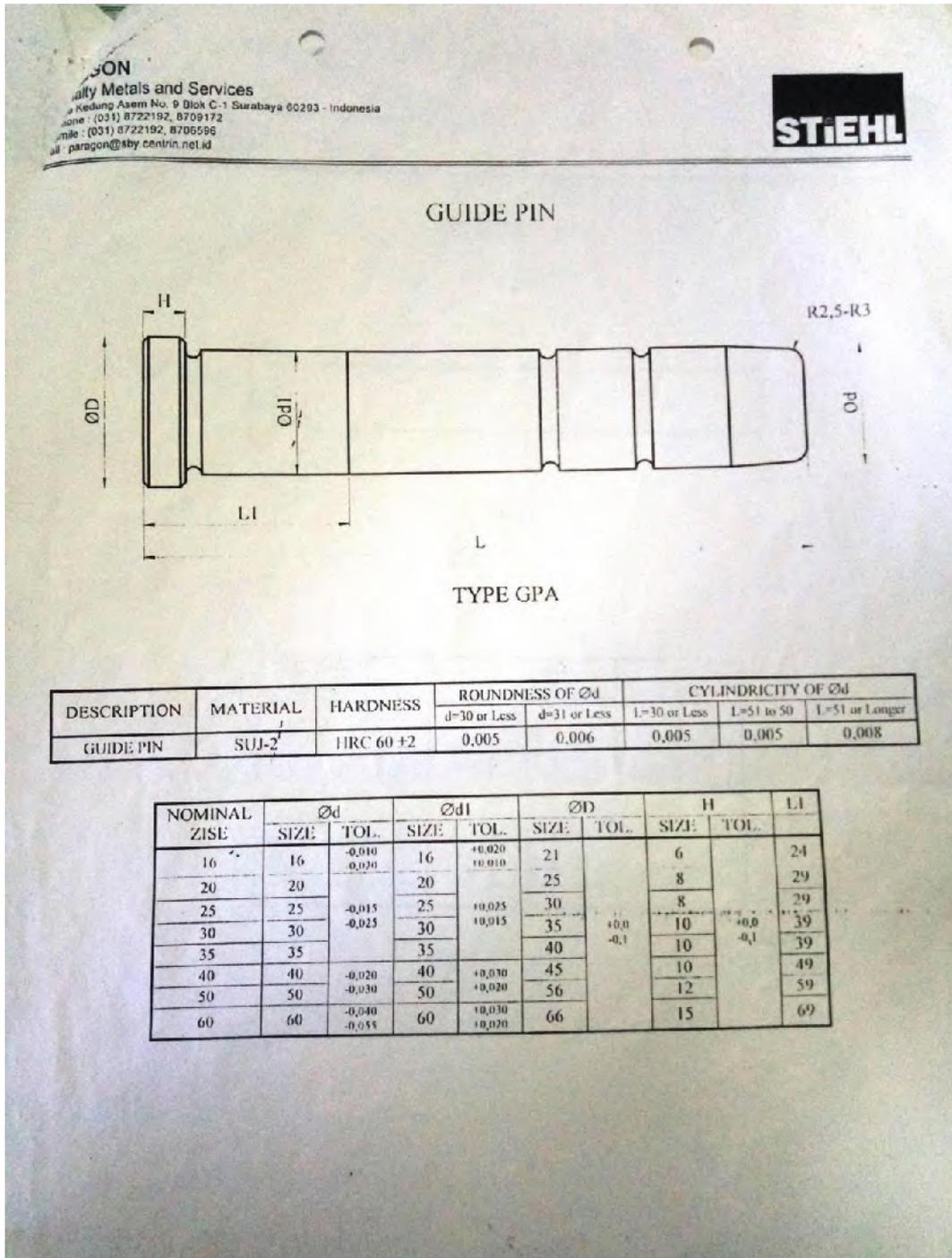
4

3

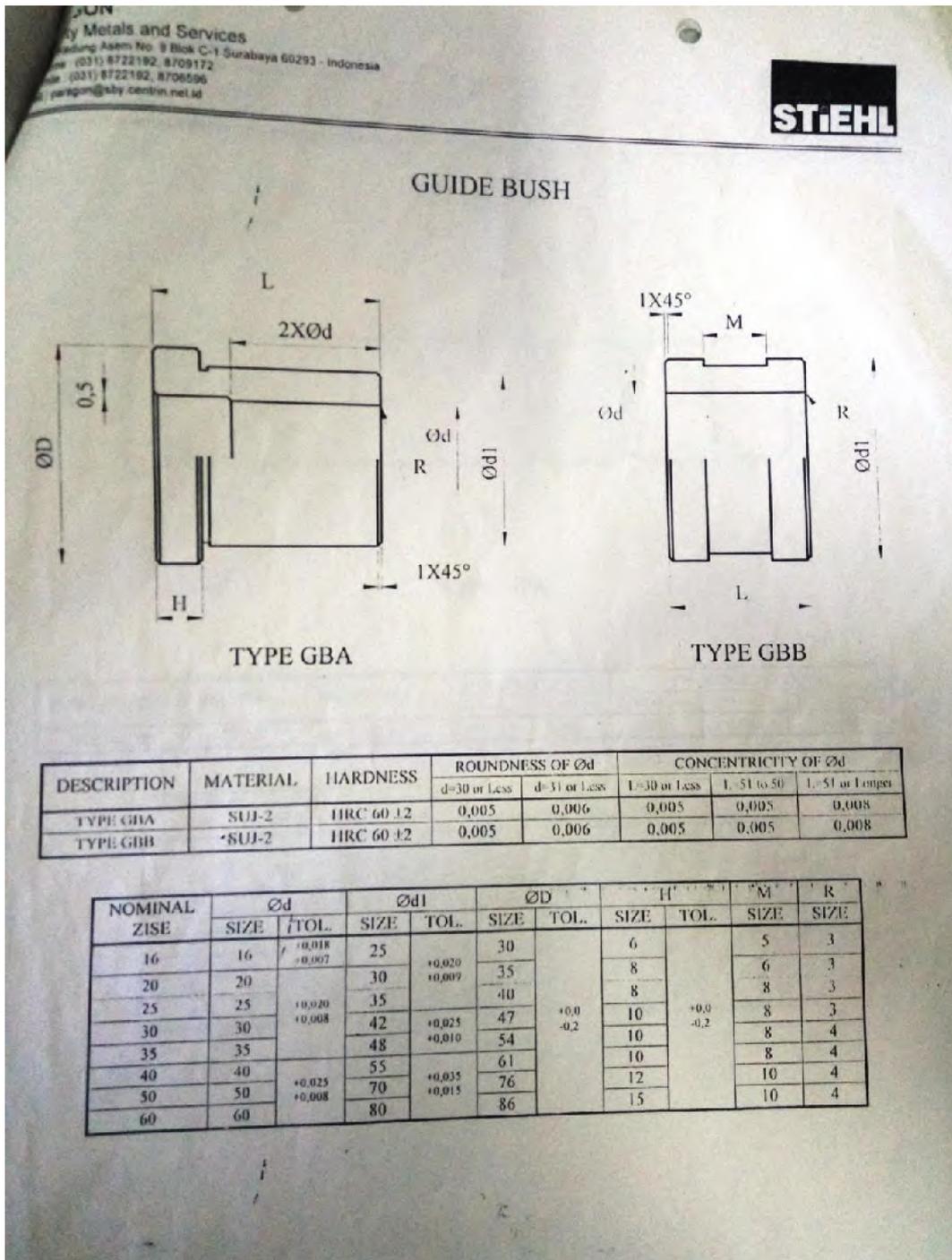
2

1

Lampiran 2. Standar Tiang Pengarah



Lampiran 3. Standar *Bush* Pengarah



# Lampiran 4. Standar Pegas MISUMI

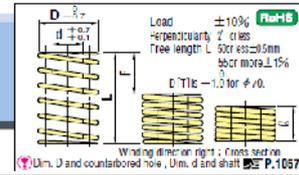


**COIL SPRINGS**  
— MINIMAL LOAD SWF —



Light      Load      Heavy

SWF



D	d	L	Spring constant N/mm (kg/mm)	Guide length mm (in)	F=LX40%		F=LX45%		F=LX50%		Catalog No.	UP/10%
					From	Lead mm (in)	From	Lead mm (in)	From	Lead mm (in)		
25	13.5	25	30.2 (4.70)	11.3 (1.0)	11.2	12.5	11.2	12.5	11.2	12.5	SWF 25-	25 145
		30	32.2 (3.30)	12.6 (1.2)	13.9	15.0	13.9	15.0	13.9	15.0	30 166	
		35	38.3 (2.30)	15.8 (1.4)	17.7	17.5	17.7	17.5	17.7	17.5	35 160	
		40	24.5 (2.50)	13.0 (1.3)	13.0	20.0	13.0	20.0	13.0	20.0	40 170	
		45	21.8 (2.22)	23.3 (1.3)	23.2	22.5	23.2	22.5	23.2	22.5	45 180	
		50	19.8 (2.00)	22.5 (2.0)	22.5	22.0	22.5	22.0	22.5	22.0	50 185	
		55	17.8 (1.97)	24.8 (2.1)	24.7	21.5	24.7	21.5	24.7	21.5	55 190	
		60	16.3 (1.97)	27.0 (2.1)	27.0	20.0	27.0	20.0	27.0	20.0	60 200	
		65	15.1 (1.54)	29.3 (2.5)	29.2	18.5	29.2	18.5	29.2	18.5	65 220	
		70	14.0 (1.43)	31.5 (2.9)	31.5	17.0	31.5	17.0	31.5	17.0	70 230	
		75	13.1 (1.33)	33.8 (3.0)	33.7	15.5	33.7	15.5	33.7	15.5	75 240	
		80	12.3 (1.25)	36.0 (3.1)	36.0	14.0	36.0	14.0	36.0	14.0	80 250	
		90	10.5 (1.11)	41.5 (3.1)	41.5	11.5	41.5	11.5	41.5	11.5	90 270	
		100	9.0 (1.00)	45.0 (4.0)	45.0	10.0	45.0	10.0	45.0	10.0	100 285	
		125	7.8 (0.80)	53.0 (5.0)	53.0	8.5	53.0	8.5	53.0	8.5	125 330	
		150	6.8 (0.87)	67.5 (6.0)	67.5	7.5	67.5	7.5	67.5	7.5	150 360	
175	5.6 (0.67)	78.8 (7.0)	78.7	7.0	78.7	7.0	78.7	7.0	175 400			
200	4.9 (0.50)	90.0 (8.0)	90.0	6.0	90.0	6.0	90.0	6.0	200 445			
25	47.1 (4.30)	11.3 (1.0)	11.2	12.5	11.2	12.5	11.2	12.5	25 145	SWF 27-	25 145	
30	39.2 (4.00)	13.5 (1.2)	13.5	15.0	13.5	15.0	13.5	15.0	30 166	30 166		
35	33.6 (3.43)	15.8 (1.4)	15.7	17.5	15.7	17.5	15.7	17.5	35 160	35 160		
40	29.4 (3.00)	18.0 (1.6)	18.0	20.0	18.0	20.0	18.0	20.0	40 170	40 170		
45	26.2 (2.87)	20.3 (1.8)	20.2	22.5	20.2	22.5	20.2	22.5	45 180	45 180		
50	23.5 (2.50)	22.5 (2.0)	22.5	25.0	22.5	25.0	22.5	25.0	50 185	50 185		

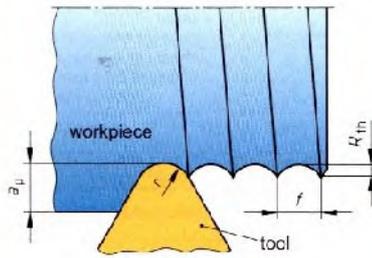
D	d	L	Spring constant N/mm (kg/mm)	Guide length mm (in)	F=LX40%		F=LX45%		F=LX50%		Catalog No.	UP/10%
					From	Lead mm (in)	From	Lead mm (in)	From	Lead mm (in)		
40	22	40	32.7 (6.58)	18.0 (1.6)	18.0	23.0	18.0	23.0	18.0	23.0	SWF 40-	40 230
		45	35.7 (3.60)	21.0 (1.8)	20.5	22.5	20.5	22.5	20.5	22.5	45 240	
		50	50.2 (5.11)	22.5 (2.0)	22.5	23.0	22.5	25.0	22.5	25.0	50 250	
		55	45.5 (4.65)	26.1 (2.2)	24.8	27.5	24.8	27.5	24.8	27.5	55 275	
		60	41.8 (4.25)	27.0 (2.4)	27.0	30.0	27.0	30.0	27.0	30.0	60 285	
		65	38.5 (3.95)	30.5 (2.6)	29.3	32.5	29.3	32.5	29.3	32.5	65 310	
		70	35.8 (3.62)	31.5 (2.8)	31.5	33.0	31.5	33.0	31.5	33.0	70 330	
		75	33.4 (3.41)	33.5 (3.0)	33.3	37.5	33.3	37.5	33.3	37.5	75 350	
		80	31.4 (3.22)	36.0 (3.2)	36.0	40.0	36.0	40.0	36.0	40.0	80 360	
		90	27.9 (2.84)	40.5 (3.8)	40.5	45.0	40.5	45.0	40.5	45.0	90 400	
		100	25.1 (2.55)	43.0 (4.0)	43.0	50.0	43.0	50.0	43.0	50.0	100 440	
		125	20.1 (2.02)	56.5 (5.0)	56.2	62.5	56.2	62.5	56.2	62.5	125 530	
		150	16.7 (1.72)	67.5 (6.0)	67.5	75.0	67.5	75.0	67.5	75.0	150 630	
		175	14.3 (1.45)	78.5 (7.0)	78.7	87.5	78.7	87.5	78.7	87.5	175 720	
		200	12.5 (1.28)	90.0 (8.0)	90.0	100.0	90.0	100.0	90.0	100.0	200 815	
		225	11.1 (1.14)	101.0 (9.0)	101.3	112.5	101.3	112.5	101.3	112.5	225 910	
250	10.0 (1.02)	112.5 (10.0)	112.5	125.0	112.5	125.0	112.5	125.0	250 995			
275	9.1 (0.93)	124.0 (11.0)	123.3	137.5	123.3	137.5	123.3	137.5	275 1195			
300	8.4 (0.85)	142.0 (12.0)	135.0	150.0	135.0	150.0	135.0	150.0	300 1290			
50	78.4 (7.93)	23.5 (2.0)	22.5	25.0	22.5	25.0	22.5	25.0	50 400	SWF 50-	50 400	
55	71.3 (7.27)	24.8 (2.0)	24.8	27.5	24.8	27.5	24.8	27.5	55 415	55 415		
60	66.3 (6.69)	27.0 (2.4)	27.0	30.0	27.0	30.0	27.0	30.0	60 430	60 430		
65	60.3 (6.17)	29.3 (2.6)	29.3	32.5	29.3	32.5	29.3	32.5	65 460	65 460		
70	56.0 (5.71)	31.5 (2.8)	31.5	35.0	31.5	35.0	31.5	35.0	70 480	70 480		

Lampiran 5. Tabel-Tabel Parameter Proses Permesinan

<b>Turning</b>	
<b>Straight cylindrical turning and facing at constant cutting speed</b>	
<p>If the rotational speed must be limited for safety reasons by inputting a rotational speed limit <math>n_{lim}</math>, a turning diameter of <math>d' &lt;</math> transition diameter <math>d_t</math> is turned at constant rotational speed (page 287).</p>	
<p><math>d_t</math> transition diameter  <math>v_c</math> cutting speed  <math>n_{lim}</math> rotational speed limit  <math>t_p</math> productive time  <math>d_e</math> effective diameter  <math>L</math> travel  <math>f</math> feed</p>	<p><math>i</math> number of cuts  <math>d</math> outside diameter  <math>d_1</math> inside diameter  <math>a_p</math> cutting depth  <math>l_{ei}</math> starting idle  <math>l_{oi}</math> overrun idle travel</p>
<p><b>Transition diameter</b></p> $d_t = \frac{v_c}{\pi \cdot n_{lim}}$	
<p><b>Productive time</b></p> $t_p = \frac{\pi \cdot d_e \cdot L \cdot i}{v_c \cdot f}$	
<p><b>Number of cuts for straight cylindrical turning</b></p> $i = \frac{d - d_1}{2 \cdot a_p}$	
<b>Calculating travel L and effective diameter <math>d_e</math></b>	
<b>Straight cylindrical turning</b>	
<b>Facing</b>	
<p>without shoulder</p>	<p>with shoulder</p>
<p>Solid cylinder with shoulder</p>	<p>Hollow cylinder</p>
$L = l + l_{si} + l_{oi}$	$L = l + l_{si}$
$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si}$	$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si} + l_{oi}$
$d_e = d \cdot a_p \cdot (i + 1)$	
$d_e = \frac{d + d_1}{2} + l_{si}$	$d_e = \frac{d + d_1}{2} + l_{si} - l_{oi}$

## Turning

### Roughness depth depending on tool nose radius and feed



$R_{th}$  theoretical roughness depth  
 $r$  tool nose radius  
 $f$  feed  
 $a_p$  cutting depth

**Theor. roughness depth**

$$R_{th} \approx \frac{f^2}{8 \cdot r}$$

**Example:**

$$R_{th} = 25 \mu\text{m}; r = 1.2 \text{ mm}; f = ?$$

$$f \approx \sqrt{8 \cdot r \cdot R_{th}}$$

$$= \sqrt{8 \cdot 1.2 \text{ mm} \cdot 0.025 \text{ mm}} = 0.5 \text{ mm}$$

$$R_{th} \approx R_s$$

Roughn. depth $R_{th}$ in $\mu\text{m}$	Nose radius $r$ in mm			
	0.4	0.8	1.2	1.6
	Feed $f$ in mm			
1.6	0.07	0.10	0.12	0.14
4	0.11	0.16	0.20	0.23
10	0.18	0.25	0.31	0.36
16	0.23	0.32	0.39	0.45
25	0.28	0.40	0.49	0.57

### Standard values for turning with HSS tools<sup>1)2)</sup>

Workpiece material		Cutting speed $v_c$ in m/min	Feed $f$ in mm	Cutting depth $a_p$ in mm
Material group	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB			
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	40–80	0.1–0.5	0.5–4.0
Steels, high strength	$R_m > 800$	30–60		
Stainless steels	$R_m > 800$	30–60		
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250$ HB	20–35		
Al alloys	$R_m < 350$	120–180		
Cu alloys	$R_m < 500$	100–125		
Thermoplastics	–	100–500		
Thermoset plastics	–	80–400		

### Standard values for turning using coated carbide tools<sup>2)</sup>

Workpiece material		Cutting speed $v_c$ in m/min	Feed $f$ in mm	Cutting depth $a_p$ in mm
Material group	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB			
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	200–350	0.1–0.5	0.3–5.0
Steels, high strength	$R_m > 800$	100–200		
Stainless steels	$R_m \geq 800$	80–200		
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250$ HB	100–300		
Al alloys	$R_m \leq 350$	400–800		
Cu alloys	$R_m \leq 500$	150–300		
Thermoplastics	–	500–2000		
Thermoset plastics	–	400–1000		

### Application of the cutting data range

**Example:** Standard values for turning of steels with lower strengths using carbide tools

Upper values	Application	Lower values	Application
$v_c = 350$ m/min	• finish machining (finishing) • stable tool and workpiece	$v_c = 200$ m/min	• premachining (roughing) • unstable tool or workpiece
$f = 0.5$ mm, $a_p = 5.0$ mm	• premachining (roughing) • stable tool and workpiece	$f = 0.1$ mm, $a_p = 0.3$ mm	• finish machining (finishing) • unstable tool or workpiece

<sup>1)</sup> HSS lathe tools have for the most part been replaced by lathe tools with carbide indexable inserts.

<sup>2)</sup> Machining coolant, see pages 292 and 293

# Drilling, Reaming, Counterboring, Planing, Shaping

## Drilling, reaming, countersinking

<b>Cut <math>t_c</math></b>	$t_p$ productive time	L travel	<b>Productive time</b>
$\sigma$	$d$ tool diameter	$f$ feed per revolution	$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$
$30^\circ$	$0.5 \cdot d$	$n$ rotational speed	
$118^\circ$	$0.3 \cdot d$	$v_c$ cutting speed	<b>Speed</b> $n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$
$130^\circ$	$0.23 \cdot d$	$i$ number of cuts	
$140^\circ$	$0.18 \cdot d$	$\alpha$ drill point angle	

### Calculating travel L

for drilling and reaming	Blind hole	for counterboring
$L = l + l_c + l_{si} + l_o$	$L = l + l_c + l_b$	$L = l + l_g$

## Drilling

### Twist drills of high-speed steel (HSS) cf. DIN 1414-1 (2006-11)

	Type <sup>1)</sup>	Application	Helix angle <sup>2)</sup>	Point angle <sup>3)</sup>
	N	Universal application for materials up to $R_m \approx 1000 \text{ N/mm}^2$ , e.g. structural, case-hardened, quenched and tempered steels	$30^\circ\text{--}40^\circ$	$118^\circ$
	H	Drilling of brittle, short-chipping non-ferrous metals and plastics, e.g. CuZn alloys and PMMA (Plexiglas)	$13^\circ\text{--}19^\circ$	$118^\circ$
	W	Drilling of soft, long-chipping non-ferrous metals and plastics, e.g. Al and Mg alloys, PA (polyamide) and PVC	$40^\circ\text{--}47^\circ$	$130^\circ$

<sup>1)</sup> Tool application groups for HSS tools according to DIN 1635  
<sup>2)</sup> Depends on drill diameter and pitch  
<sup>3)</sup> Standard version

### Standard values for drilling with HSS twist drills<sup>1)</sup>

Workpiece material		Cutting speed <sup>2)</sup> $v_c$ m/min	Drill diameter $d$ in mm				
Material group	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50
			Feed $f$ in mm/revolution				
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	40	0.05	0.10	0.15	0.25	0.35
Steels, high strength	$R_m > 800$	20	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
Stainless steels	$R_m \leq 800$	12	0.03	0.06	0.08	0.12	0.18
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250 \text{ HB}$	20	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60
Al alloys	$R_m \leq 350$	45	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60
Cu alloys	$R_m \leq 500$	60	0.10	0.15	0.30	0.40	0.60
Thermoplastics	–	50	0.10	0.15	0.30	0.40	0.60
Thermoset plastics	–	25	0.05	0.10	0.18	0.27	0.35

### Standard values for drilling with carbide drills<sup>1)</sup>

Workpiece material		Cutting speed <sup>2)</sup> $v_c$ m/min	Drill diameter $d$ in mm				
Material group	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50
			Feed $f$ in mm/revolution				
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	90	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40
Steels, high strength	$R_m > 800$	60	0.08	0.13	0.20	0.30	0.40
Stainless steels	$R_m \leq 900$	40	0.08	0.13	0.20	0.30	0.40
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250 \text{ HB}$	100	0.10	0.15	0.30	0.45	0.70
Al alloys	$R_m \leq 350$	180	0.15	0.25	0.40	0.50	0.80
Cu alloys	$R_m \leq 500$	200	0.12	0.16	0.30	0.45	0.80
Thermoplastics	–	80	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
Thermoset plastics	–	60	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40

### Standard values for modified conditions

Standard values for cutting speed and feed are valid for moderate usage conditions:

- tool life approx. 30 min
- average strength of material
- hole depth  $< 5 \cdot d$
- short drill

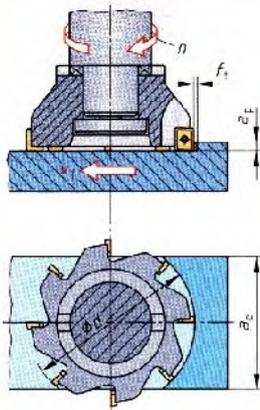
Standard values are

- **increased** for more favorable conditions,
- **decreased** for unfavorable conditions

<sup>1)</sup> For cooling lubricants, see pages 292 and 293

<sup>2)</sup> Values for coated drills

# Milling



- $t_p$  productive time
- $l$  workpiece length
- $a_d$  cutting depth
- $a_e$  engagement (milling width)
- $l_a$  approach
- $l_o$  overrun (idle travel)
- $l_{st}$  starting travel
- $L$  total travel
- $d$  cutter diameter
- $n$  rotational speed
- $f$  feed per revolution
- $f_t$  feed per tooth
- $N$  number of teeth
- $v_c$  cutting speed
- $v_f$  feed rate
- $i$  number of cuts

## Productive time

$$t_D = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

$$t_D = \frac{L \cdot i}{v_f}$$

## Feed per revolution of milling cutter

$$f = f_t \cdot N$$

## Feed rate

$$v_f = n \cdot f$$

$$v_f = n \cdot f_t \cdot N$$

## Rotational speed

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

## Total travel $L$ and starting travel $l_{st}$ in relation to the milling process

Face milling			Peripheral face milling
centric	eccentric		
		$a_e > 0.5 \cdot d$	$a_e < 0.5 \cdot d$
$L = l + 0.5 \cdot d - l_a - l_o - l_{st}$	$L = l + 0.5 \cdot d + l_a + l_{st}$	$L = l + l_a - l_o + l_{st}$	
$l_{st} = 0.5 \cdot \sqrt{d^2 - a_e^2}$		$l_{st} = \sqrt{a_e \cdot d - a_e^2}$	

## Milling

### Standard values for milling with HSS milling cutters

Material group	Workpiece material		Cutting speed $v_c$ in m/min	Feed $f_z$ in mm			
	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB			Milling cutter (except for end mill)	End mill $d$ in mm		
					6	12	20
Steels, low strength	$R_m \leq 800$		50-100	0.05-0.15	0.06	0.08	0.10
Steels, high strength	$R_m > 800$		30-60				
Stainless steels	$R_m > 800$		15-30				
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250$ HB		25-40				
Al alloys	$R_m \leq 350$		50-150				
Cu alloys	$R_m \leq 500$		50-100				
Thermoplastics	-		100-400	0.10-0.20	0.10	0.15	0.20
Thermoset plastics	-		100-400				

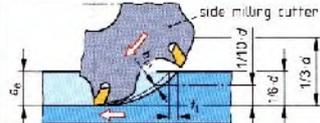
### Standard values for milling with coated carbide

Material group	Workpiece material		Cutting speed $v_c$ in m/min	Feed $f_z$ in mm			
	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB			Milling cutter (except for end mill)	End mill $d$ in mm		
					6	12	20
Steels, low strength	$R_m \leq 800$		200-400	0.05-0.15	0.06	0.08	0.10
Steels, high strength	$R_m > 800$		150-300				
Stainless steels	$R_m \geq 800$		150-300				
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250$ HB		150-300				
Al alloys	$R_m \leq 350$		400-800				
Cu alloys	$R_m \leq 500$		200-400				

### Standard values for milling with coated carbide

Material group	Workpiece material		Cutting speed $v_c$ in m/min	Feed $f_z$ in mm			
	Tensile strength $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> or Hardness HB			Milling cutter (except for end mill)	End mill $d$ in mm		
					6	12	20
Steels, low strength	$R_m \leq 800$		200-400	0.05-0.15	0.06	0.08	0.10
Steels, high strength	$R_m > 800$		150-300				
Stainless steels	$R_m \geq 800$		150-300				
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250$ HB		150-300				
Al alloys	$R_m \leq 350$		400-800				
Cu alloys	$R_m \leq 500$		200-400				
Thermoplastics	-		500-1500	0.10-0.20	0.10	0.15	0.20
Thermoset plastics	-		400-1000				

### Increasing the recommended feed per cutting edge $f_z$ for slotting with side milling cutters

	Cutting depth $a_w$ based on the milling cutter $\varnothing d$				
	Feed per tooth	$1/3 \cdot d$	$1/6 \cdot d$	$1/10 \cdot d$	$1/20 \cdot d$
	increase to be adjusted	$1 \cdot f_z$	$1.15 \cdot f_z$	$1.45 \cdot f_z$	$2 \cdot f_z$
	0.25 mm	0.29 mm	0.36 mm	0.50 mm	

### Meanings of cutting data ranges

Example: Standard values for milling of low-strength steels using HSS milling cutters

Upper values	Application	Lower values	Application
$v_c = 100$ m/min	• finish machining (finishing) • rigid tool and workpiece	$v_c = 50$ m/min	• pre-machining (roughing) • low rigidity of tool or workpiece
$f_z = 0.15$ mm	• pre-machining (roughing) • rigid tool and workpiece	$f_z = 0.05$ mm	• finish machining (finishing) • low rigidity of tool or workpiece

### Calculation of feed rate

$v_f$  feed rate in mm/min       $n$  rotational speed of milling cutter in 1/r · n  
 $f_z$  feed per tooth in mm       $N$  number of teeth

Example:

$v_c = 100$  m/min;  $d = 40$  mm;  $f_z = 0.12$  mm;  $N = 10$   
 $\omega = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0.04 \text{ m}} = 796 \text{ 1/min}$ ;     $v_f = n \cdot f_z \cdot N = 796 \text{ 1/min} \cdot 0.12 \text{ mm} \cdot 10 = 955 \text{ mm/min}$

Feed rate

$$v_f = n \cdot f_z \cdot N$$



---

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut yaitu:

1. Konsep rancangan cetakan yang menggunakan spesifikasi proses *deep drawing* hasil perhitungan manual serta diameter *blank* hasil perhitungan *software*, berdasarkan hasil simulasi FE yang telah dilakukan dapat membentuk *cup* silindris dengan tinggi *cup* sebesar  $\pm 27.5$  mm. Perbedaan tinggi *cup* hasil simulasi FE terhadap tinggi *cup* pada spesifikasi yang telah ditetapkan sangat kecil yaitu sebesar 0.5 mm sehingga *cup* hasil simulasi FE dianggap memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.
2. Hasil uji coba pembentukan pada cetakan *deep drawing* yang telah dirancang dan dibuat dilakukan pada mesin *press* hidrolik kapasitas 80 ton, dengan menggunakan 10 buah *blank* dapat menghasilkan 7 buah *cup* silindris yang memenuhi spesifikasi dan 3 buah *cup* silindris yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan dimana sisi bagian atas *cup* silindris tidak rata.

#### 7.2 Saran

- Simulasi FE yang dilakukan harus lebih detail dan dalam lagi khususnya dalam variasi penggunaan bentuk dan dimensi dari spesifikasi proses *deep drawing* seperti bentuk dan jenis *die edge*, *clearance*, *radius punch*, dan sebagainya. Hal tersebut diharapkan dapat menghasilkan bentuk dan dimensi *cup* silindris yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
- Ukuran diameter *blank* yang akan dibentuk harus dibuat ukuran toleransi tertentu sehingga dapat masuk ke dalam sistem sangkar pada *die* secara penuh sehingga posisi *blank* rata sebelum dilakukan pembentukan.



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Tschaetsch, Heinz., (2006), *Metal Forming Practise*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Atrian, A., dan Saniee, F.F., (2013), "Deep Drawing Process of Steel/Brass Laminated Sheets," *Journal Composites: Part B*, Vol. 47, hal. 75-81.
- Candra, S., Batan, I M.L., Berata, W., Pramono, A.S., (2015), "Analytical Study and FEM Simulation of The Maximum Varying Blank Holder Force to Prevent Cracking on Cylindrical Cup Deep Drawing," *Procedia CiRP*, Vol. 26, hal. 548-553.
- Dwivedi, R., Agnihotri, G., (2015), "Numerical Simulation and Experimental Analysis on the Deep Drawing of Cylindrical Cups," *Transactions of the Indian Institute of Metals*, Vol. 68, hal. 31-34.
- Savas, V., Secgin, O., (2010), "An Experimental Investigation of Forming Load and Side-Wall Thickness Obtained by a New Deep Drawing Die," *International Journal of Material Forming*, Vol. 3, hal. 209-213.
- Chamekh, A., BenRhaïem, S., Khaterchi, H., BelHadjSalah, H., Hambli, R., (2010), "An Optimization Strategy Based on a Metamodel Applied For The Prediction of The Initial Blank Shape in a Deep Drawing Process," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 50, hal. 93-100.
- Ozek, C., Bal, M., (2009), "The Effect of Die/Blank Holder And Punch Radiuses on Limit Drawing Ratio in Angular Deep-Drawing dies," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 40, hal. 1077-1083.
- Gharib, H., Wifi A.S., Younan M., Nassef A., (2006), "An Analytical Incremental Model For The Analysis of The Cup Drawing," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 17, hal. 245-248
- Hendrawan, M.A., (2009), "Analisis Kerusakan Pada Proses Manufaktur Produk Otomotif Tutup Shock Absorber Dengan Menggunakan Simulasi Abaqus 65-3 SE," *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi*, Vol. 10, hal. 75-82.

- Semiatin, S.L., (2006), *ASM Handbook Volume 14B Metalworking: Sheet Forming*, ASM International, United States of America.
- Ostergaard, E.D., (1967), *Advance Die Making*, Prentice Hall, New Jersey.
- Lange, Kurt., (1985), *Handbook of Metal Forming*, Mc Graw Hill Company, New York.
- Banabic, D., (2000), *Formability of Metallic Materials*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Germany.
- Suchy, Ivana., (2006), *Handbook of Die Design*, Mc Graw Hill Company, New York.
- Boljanovic, Vukota., (2004), *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*, Industrial Press Inc, Tennessee.
- Joshi, P.H., (2010), *Press Tools Design and Construction*, S.Chand Publisher, New Delhi.
- Urugal, A.C., (2010), *Stresses In Beams, Plates, And Shells Third Edition*, CRC Press, Boca Raton.
- [www.esi-group.com](http://www.esi-group.com), (2011), *PAM-STAMP 2G 2011 User's Guide*, ESI Group, Paris.
- Shofiyanto, M.Y., (2009), *Simulasi Proses Deep Drawing Dengan Pelat Jenis Tailored Blank*, Tugas Akhir Strata-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo.
- Rochim, T. (1993), *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Bandung, Institut Teknologi Bandung.
- Faraji, G., Mashhadi, M.M., Hashemi, R., (2010), "Using the finite element method for achieving an extra high limiting drawing ratio (LDR) of 9 for cylindrical components," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 3, hal. 262-267.

## BIODATA PENULIS



Idiar, dilahirkan di desa Pagarawan Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka Induk – Provinsi Kepulauan Bangka Belitung pada tanggal 07 Mei 1983. Penulis adalah anak keempat dari keenam bersaudara pasangan Bapak H. Effendi Achmad (alm.) dan Ibu Marhani. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 255 Pagarawan, lulus pada tahun 1995. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 7 Pangkalpinang, lulus pada tahun 1998.

Pendidikan sekolah menengah atas ditempuh di SMK Negeri 2 Pangkalpinang jurusan Teknik Elektronika & Komunikasi sampai pada tahun 2001. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan D3 selama tiga tahun di Politeknik Manufaktur Timah jurusan Teknik Perancangan Mekanik. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan D4 di Politeknik Manufaktur Bandung di jurusan Teknik Manufaktur dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi S2 di ITS – Surabaya tepatnya di jurusan Teknik Mesin program studi Rekayasa dan Sistem Manufaktur dengan program beasiswa BPPDN-DIKTI. Saat ini penulis mempunyai keinginan untuk mengembangkan hasil dari tesisnya menjadi penelitian-penelitian lanjut di bidang *sheet metal forming*.