



TUGAS AKHIR - TM 141585

PERANCANGAN *PUNCH & DIES* UNTUK PEMBUATAN RANGKA UTAMA SEPEDA ITS

RIZKY YULIAN SYAH
NRP. 2110 100 066

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

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

DESIGN PUNCH & DIES TO MANUFACTURE ITS BICYCLES MAIN FRAME

RIZKY YULIAN SYAH
NRP. 2110 100 066

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

DEPARTMENT MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

PERANCANGAN PUNCH & DIES UNTUK PEMBUATAN RANGKA UTAMA SEPEDA ITS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZKY YULIAN SYAH
NRP. 2110 100 066

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ing I MADE LONDEN B, ME.(Pembimbing)
(NIP .195811061986011002)
2. Ir. BAMBANG PRAMUJATI, MSc.Eng, PhD.(Penguji I)
(NIP .196912031994031001)
3. ARIF WAHJUDI, ST, MT, PhD.(Penguji II)
(NIP .197303222001121001)
4. LATIFAH NURAHMI, ST, Msc, PhD.(Penguji III)

SURABAYA
Januari, 2016

PERANCANGAN PUNCH & DIES UNTUK PEMBUATAN RANGKA UTAMA SEPEDA ITS

Nama Mahasiswa : Rizky Yulian Syah
NRP : 2110 100 066
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., M.Eng

ABSTRAK

Dalam mewujudkan sebuah konsep sepeda kampus bagi civitas akademika ITS, pada tahun 2014 Rudi merancang dan membuat sepeda ITS. Dari uji ergonomi yang telah dilakukan, sepeda tersebut masih belum ergonomi. Disamping itu dari uji fungsi rangka sepeda masih belum kaku. Untuk itu, pada tahun 2015, Agung mengembangkan rangka sepeda ITS dengan merubah bentuk profilnya. Bentuk profil rangka tersebut semula adalah round square dirubah menjadi bentuk elips. Agar dapat diproduksi secara massal, maka khusus untuk pembuatan rangka utama (bentuk S) dibutuhkan proses pembuatan khusus yaitu bending dengan cara penekanan melalui cetakan yang terdiri dari punch & dies.

Dalam perancangan punch & dies untuk pembuatan rangka utama sepeda ITS, diperlukan beberapa tahapan perhitungan, diantaranya penetapan geometri dan menentukan material yang digunakan untuk rangka utama sepeda ITS yang dirancang. Perhitungan gaya-gaya pembentukan, yaitu gaya bending yang diperlukan untuk pembentukan rangka utama sepeda. Merancang geometri punch & dies serta memilih materialnya dan menganalisa tegangan material punch & dies. Serta perancangan proses manufaktur punch & dies.

Dari perancangan pada tugas akhir ini didapatkan punch & dies yang dirancang mampu menahan gaya pembentukan, dimana kekuatan luluh maksimal pada punch adalah $3,11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ lebih kecil daripada kekuatan luluh maksimal yang ditunjukkan oleh material S45C yaitu $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Pada

perancangan dies didapat kekuatan luluh maksimal adalah $9,02 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ lebih kecil dari kekuatan luluh maksimal material S45C. Pada perancangan lower plate didapatkan kekuatan luluh maksimal adalah $3,57 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ lebih kecil dari kekuatan luluh maksimal material S45C. Artinya perancangan punch, die dan lower plate tersebut aman. Proses pembentukan punch meliputi milling CNC, drilling. Pada proses pembentukan dies meliputi milling CNC, drilling dan tap ulir. Sedangkan untuk proses pembentukan lower plate meliputi milling CNC, drilling, serta counterbore.

Kata kunci: punch & dies, sepeda ITS, rangka sepeda, profil elips

DESIGN OF PUNCH & DIES TO MANUFACTURE ITS BICYCLES MAIN FRAME

Name : Rizky Yulian Syah
NRP : 2110 100 066
Major : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., M.Eng

ABSTRACT

In realizing a concept bike ITS campus for the academic community, in 2014 Rudi design and make the bike ITS. Ergonomics of the test has been done, the bike is still not ergonomics. Besides, from the bike frame function test is still stiff. To that end, in 2015, Agung develop ITS bike frame by changing the shape profile. The original shape of the profile frame is round the square transformed into an elliptical shape. To be able to be mass produced, it specifically for the manufacture of main frame (form S) is required a special manufacturing process that is bending by way of emphasis through the mold consisting of a punch and dies.

In the design of the punch and dies for the manufacture of main frame bicycle ITS requires several stages of calculation, including the determination of the geometry and specify the material used for the main frame designed ITS bike. Calculation styles establishment, the bending force necessary for the formation of the main frame bike. Designing the geometry of the punch and dies as well as choosing the material and analyze the material voltage punch and dies. And designing the manufacturing process of punch and dies.

Of design in this research is obtained punch and dies are designed able to withstand the force of the formation, where the maximum yield strength of the punch is $3,11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ is smaller than the maximum yield strength shown by S45C material that is $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. In designing dies obtain maximum yield strength is $9,02 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ is smaller than the maximum yield

strength of the material S45C. In the design of the lower plate obtained maximum yield strength is $3,57 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ is smaller than the maximum yield strength of the material S45C. That is the design of punch, die and the lower plate is secure. Punch forming process includes CNC milling, drilling. In the process of forming dies include CNC milling, drilling and tapping screw. As for the process of forming the lower plate includes CNC milling, drilling, and counterbore

Keywords: *punch & dies, ITS bicycle, bicycle frame, elliptical profile*

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan Tugas Akhir dengan judul :

***“PERANCANGAN PUNCH & DIES UNTUK
PEMBUATAN RANGKA UTAMA SEPEDA ITS”***

ini dapat diselesaikan. Tidak lupa sholawat serta salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad Sallallahu alaihi wasallam. Dalam penyusunan Tugas Akhir tidak lepas dari bantuan banyak pihak baik moral, material maupun spiritual. Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Kedua orang tua tersayang, Bapak Imam Basori dan Ibu Muhayatin. Atas segala perhatian, dukungan, motivasi, pengertian dan kesabaran yang telah diberikan selama ini.
- Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M. Eng. selaku dosen pembimbing dalam penulisan Tugas Akhir ini.
- Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng, PhD., Arif Wahjudi, ST, MT, PhD., Latifah Nurahmi, ST, MSc, PhD, selaku dosen penguji Tugas Akhir atas bimbingan dan sarannya.
- Wahyu Wijanarko, ST, MSc. selaku dosen wali.
- Adik tercinta Rif'atus Sulkha Rahmawati.
- Special Thanks kepada teman-teman seperjuangan tugas akhir lab P3: Dimas Kunto, Nofal, Danu Ciyus, Chontry, Wardah.
- Teman-teman anggota Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk.
- Teman-teman S-1 teknik mesin M53
- Teman-teman Geng Gili Labak atas support yang diberikan dan akhirnya bisa wisuda bersama.
- Dan semua teman-teman yang selalu memberikan dukungan serta inspirasi untuk tetap maju.

Sekalipun Tugas Akhir ini selesai melalui serangkaian proses yang cukup panjang dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis, serta ditebus dengan tetesan keringat, darah dan air mata, namun tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Penulis berharap hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2016

Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Abstract	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teori Plastis	5
2.2 Teori Proses <i>Bending</i>	7
2.2.1 <i>Rotary Draw Tube Bending</i>	9
2.2.2 <i>Compression Tube Bending</i>	10
2.3 Perhitungan <i>Bending</i> Tekan Pada Pipa	10
2.4 <i>Press Tool</i>	14
2.5 Komponen <i>Press Tool</i>	14
2.5.1 <i>Dies</i>	15
2.5.2 <i>Punch</i>	16
2.5.3 <i>Lower Plate</i>	16
2.5.4 <i>Punch Holder</i>	17
2.5.5 <i>Guide Post</i>	17
2.5.6 <i>Shank</i>	17
2.5.7 <i>Table of Press</i>	18

2.5.8 <i>Guide Pin</i>	18
2.5.9 <i>Spring</i>	18
2.5.10 <i>Screw dan Dowel Pin</i>	18
2.6 Proses Pemesinan	20
2.6.1 Jenis Proses Pemesinan.....	20
2.6.2 <i>Operation Plan</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Perancangan.....	23
3.2 Tahapan Penyelesaian Tugas Akhir	24
3.2.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan.....	24
3.2.2 Perumusan Masalah.....	24
3.2.3 Perencanaan proses pembuatan rangka utama sepeda	24
3.2.3.1 Alternatif desain dan pemilihan <i>punch and dies</i>	25
3.2.3.1.1 Alternatif Desain	25
3.2.3.1.2 Pemilihan Alternatif	27
3.2.4 Perancangan <i>Punch & Dies</i> dan Pemilihan Material	28
3.2.5 Analisa Tegangan Material <i>Punch & Dies</i>	28
3.2.6 Perancangan Proses Manufaktur <i>Punch & Dies</i>	28
3.2.7 Kesimpulan dan Saran.....	28
BAB IV PERANCANGAN PUNCH & DIES	29
4.1 Geometri Rangka Utama Sepeda ITS	29
4.1.1 Material Rangka Sepeda.....	30
4.1.2 Perhitungan Efek <i>Springback</i>	31
4.1.3 Perhitungan Panjang Awal Pipa	33
4.2 Perhitungan Gaya Pembentukan	33
4.3 Urutan Proses Pembentukan	35
4.4 Pemilihan Material dan Perancangan Geometri <i>Punch & Dies</i>	36
4.4.1 Perencanaan Proses Manufaktur.....	36

4.4.2 Mesin <i>Press</i>	38
4.5 Perhitungan <i>Punch & Dies, Lower Plate</i>	39
4.5.1 Perhitungan <i>Dies</i>	39
4.5.1.1 Perhitungan Ketebalan <i>Dies</i>	39
4.5.1.2 Perhitungan Manual Analisa Tegangan pada Material <i>Dies</i>	40
4.5.2 Perhitungan <i>Punch</i>	41
4.5.3 Desain <i>Lower Plate</i>	42
4.5.4 Pemilihan <i>Dowel Pin</i> dan <i>Baut</i>	43
4.5.4.1 Pemilihan <i>Baut Punch</i>	43
4.5.4.2 Pemilihan <i>Baut Dies - Lower Plate</i>	45
4.6 Perhitungan Tegangan Material <i>Punch</i> & <i>Dies Lower Plate</i> dengan Menggunakan Software <i>CATIA</i>	47
4.6.1 <i>Punch</i>	48
4.6.2 <i>Dies</i>	49
4.6.3 <i>Lower Plate</i>	51
 BAB V PERANCANGAN PROSES MANUFAKTUR PUNCH, DIES & LOWER PLATE	
5.1 Perencanaan Proses Manufaktur	53
5.1.1 Proses Pembuatan <i>Punch</i>	54
5.1.2 Proses Pembuatan <i>Dies</i>	57
5.1.3 Proses Pembuatan <i>Lower Plate</i>	60
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	63
6.2 Saran	63
 DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN BIODATA PENULIS	



Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Desain Rancangan Rangka sepeda ITS oleh Yudistira (2015) a) desain rangka b) bentuk profil rangka utama (<i>main tube</i>)	2
Gambar 2.1 <i>Stress strain diagram</i>	6
Gambar 2.2 <i>Rotary draw tube bending</i>	9
Gambar 2.3 <i>Compression tube bending</i>	10
Gambar 2.4 Parameter untuk mencari panjang pipa	11
Gambar 2.5 Ilustrasi terjadinya efek <i>springback</i>	12
Gambar 2.6 Mesin <i>press tool</i> di PT. Insera Sena.....	14
Gambar 2.7 Bagian Komponen <i>Press Tool</i>	15
Gambar 2.8 Peletakan <i>socket cap screw</i>	19
Gambar 2.9 <i>Operation Plan</i>	21
Gambar 3.1 Diagram alir perancangan	23
Gambar 3.2 Rancangan <i>punch & dies</i> rangka utama sepeda ITS yang baru a) Proses <i>bending</i> pipa membentuk alur b) proses <i>press</i> pipa membentuk profil	25
Gambar 3.3 Rancangan <i>punch & dies</i> rangka utama sepeda ITS yang baru a) Proses <i>press</i> pipa membentuk profil b) proses <i>bending</i> pipa membentuk alur	26
Gambar 3.4 Rancangan <i>punch & dies</i> rangka utama sepeda ITS yang baru dengan sekali proses, yaitu proses <i>press</i> sekaligus <i>bending</i> secara bersamaan	26
Gambar 4.1 Geometri rangka utama sepeda ITS [Yudistira A. 2015]	29
Gambar 4.2 Dimensi material Pipa.....	30
Gambar 4.3 a). Penampang Lingkaran b). Penampang	

Elips	31
Gambar 4.4 Ilustrasi geometri <i>springback</i>	31
Gambar 4.5 Dimensi untuk mencari panjang awal pipa.	33
Gambar 4.6 a) Geometri pipa sebelum pembentukan, b) Geometri setelah proses pembentukan.	35
Gambar 4.7 Detail bagian dari mesin <i>Press</i>	36
Gambar 4.8 Mesin <i>Press</i> yang ada di PT. Inera Sena ...	38
Gambar 4.9 Geometri dan Dimensi <i>Die</i>	39
Gambar 4.10 Luas penampang (A) <i>Dies</i> yang ditunjukkan pada CATIA	40
Gambar 4.11 Geometri dan Dimensi <i>Punch</i>	41
Gambar 4.12 Geometri dan Dimensi <i>lower plate</i>	43
Gambar 4.13 Geometri lubang <i>dowel pin</i> pada <i>punch</i>	44
Gambar 4.14 a) Geometri lubang baut pada <i>dies</i> b) Geometri lubang baut pada <i>lower plate</i>	46
Gambar 4.15 Properties material <i>steel</i> pada CATIA V5R17	47
Gambar 4.16 Properties material <i>steel</i> ST45C yang sudah disesuaikan dengan standart pabrikan pada CATIA V5R17.....	48
Gambar 4.17 Pemberian <i>pressure</i> dan cekaman pada material <i>punch</i> dengan menggunakan simulasi pada CATIA V5R17	48
Gambar 4.18 Hasil analisa tegangan material <i>Punch</i> dengan menggunakan software CATIA V5R17	49
Gambar 4.19 Pemberian <i>pressure</i> dan cekaman pada material <i>Dies</i> dengan menggunakan simulasi pada CATIA V5R17	50
Gambar 4.20 Hasil analisa tegangan material <i>Die</i> dengan menggunakan software CATIA V5R17	50
Gambar 4.21 Pemberian <i>pressure</i> dan cekaman pada material <i>Lower Plate</i> dengan menggunakan simulasi pada	

CATIA V5R17	51
Gambar 4.22 Hasil analisa tegangan material <i>Lower Plate</i> dengan menggunakan software CATIA V5R17	52
Gambar 5.1 a) <i>Punch</i> , b) <i>Die</i> , c) <i>Lower Plate</i>	53
Gambar 5.2 a) material awal , b) material yang sudah di <i>milling CNC</i> pada material <i>punch</i>	54
Gambar 5.3 Proses <i>milling CNC</i> pembuatan cekungan pada <i>punch</i>	55
Gambar 5.4 Proses <i>milling CNC</i> pada material <i>punch</i> ...	56
Gambar 5.5 Proses <i>drilling</i> pada material <i>punch</i>	56
Gambar 5.6 a) material awal , b) material yang sudah di <i>milling CNC</i> , <i>drilling</i> dan tap ulir pada material <i>dies</i>	58
Gambar 5.7 Proses <i>milling CNC</i> pada material <i>dies</i>	59
Gambar 5.8 Proses <i>milling CNC</i> pembuatan cekungan pada <i>dies</i>	60
Gambar 5.9 Proses <i>Milling CNC</i> pembuatan <i>lower plate</i> a). Ukuran material awal b). Dimensi produk setelah proses	61
Gambar 5.10 Proses <i>drilling</i> dan <i>counterbore</i> pada <i>lower plate</i>	62



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Proses manufaktur bagian rangka sepeda ITS	7
Tabel 2.1 Nilai Ks (<i>koefisien springback</i>).....	13
Tabel 2.2 Nilai Konstanta Material.....	17
Tabel 2.3 Dimensi <i>basic dowel pin</i>	19
Tabel 3.1 Perbandingan Alternatif.....	27
Tabel 4.1 Property S45C.....	68
Tabel 5.1 Urutan proses <i>drilling</i> pada <i>punch</i>	57
Tabel 5.2 Urutan proses <i>drilling</i> dan tap ulir pada <i>dies</i> ..	59
Tabel 5.3 Urutan proses <i>drilling</i> dan <i>counterbore</i> pada <i>lower plate</i>	62



Halaman sengaja dikosongkan

BAB I

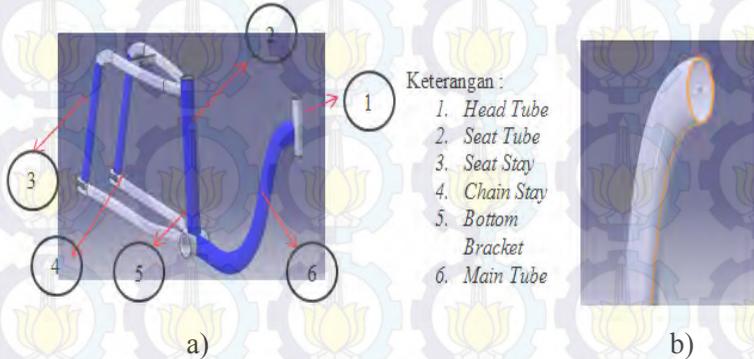
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai alat transportasi yang ramah lingkungan dan murah, sepeda sangatlah menarik untuk dikembangkan. ITS merupakan institusi pendidikan yang mulai mengajak seluruh civitas akademika untuk memulai hidup sehat dengan pemakaian sepeda ke kampus / *bike to campus*. Untuk mendukung hal ini, inovasi perlu dilakukan yaitu menciptakan konsep sepeda ITS.

Rudi Andrian [2014] telah merancang serta membuat sepeda ITS, sepeda ini adalah sepeda yang dapat digunakan oleh kalangan seluruh civitas akademika ITS dibuat dengan memperhatikan aspek aman dan nyaman yang telah diuji menggunakan metode RULA dan ergonomi baik secara manual maupun dengan menggunakan software CATIA. Dari hasil pengujian yang dilakukan secara langsung, dirasakan sepeda yang dibuat oleh Andrian [2014] ini ternyata kurang nyaman dan belum aman dikendarai saat berbelok, yaitu rangka sepeda tidak kuat menahan momen puntir, artinya rangka sepeda tersebut kurang kaku dipakai berbelok. Untuk itu, Yudistira [2015] mengusulkan perubahan bentuk profil khususnya profil rangka utama yang berbentuk S. Bentuk profil rangka tersebut semula adalah *round square* kemudian dirubah menjadi bentuk *elips*. Dari analisa momen inersia yang terjadi untuk penampang *roundsquare* dan penampang *elips*, bentuk *elips* memiliki momen inersia lebih besar dari profil *round square* (profil sebelumnya) sehingga rancangan lebih kaku. Rancangan rangka sepeda ITS yang baru dapat dilihat

gambar 1.1 a) serta perubahan bentuk profil rangka utama seperti gambar 1.1 b).



Gambar 1.1 Desain Rancangan Rangka sepeda ITS oleh Yudistira (2015) a) desain rangka b) bentuk profil rangka utama (*main tube*)

Untuk pembuatan rangka sepeda ITS yang baru khususnya proses pembuatan nomor bagian 1 sampai nomor bagian 5 dikerjakan dengan proses pembuatan standar, seperti yang terlihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Proses manufaktur bagian rangka sepeda ITS

No. Bagian	Nama Bagian Rangka	Proses Manufaktur
1	<i>Head Tube</i>	Pipe Cutting
2	<i>Seat Tube</i>	Pipe Cutting
3	<i>Seat Stay</i>	Pipe Cutting lalu pipa direduksi kemudian bending
4	<i>Chain Stay</i>	Pipe Cutting lalu pipa direduksi kemudian bending
5	<i>Bottom Bracket</i>	pipe cutting kemudian turning

Agar dapat diproduksi secara massal, maka khusus untuk pembuatan rangka utama (no. 6) dibutuhkan proses pembuatan khusus yaitu *bending* dengan cara penekanan melalui cetakan yang terdiri dari *punch & dies*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan yaitu :

- a. Bagaimanakah proses pembuatan rangka utama sepeda ITS
- b. Bagaimanakah perancangan *punch & dies* untuk rangka utama sepeda ITS yang baru.
- c. Proses manufaktur apa untuk pembuatan *punch & dies*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ini dicapai dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

- a. Mengetahui proses pembuatan rangka utama sepeda ITS bentuk *elips*.
- b. Merancang *punch & dies* untuk rangka utama sepeda ITS yang baru.
- c. Merancang proses manufaktur pembuatan *punch & dies*.

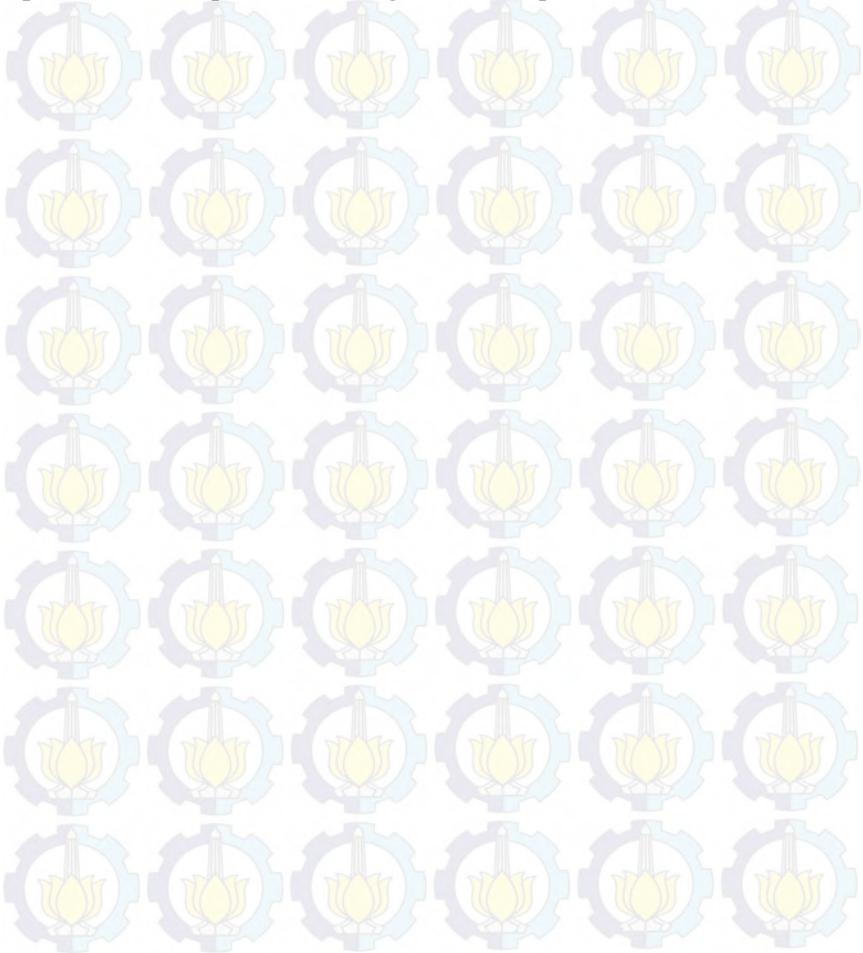
1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Bagian yang dirancang hanya untuk pembuatan *punch & dies* rangka utama sepeda
- b. Material pipa untuk rangka utama sepeda menggunakan AL 6061 ASTM B 221 $\emptyset = 42,16$ mm
- c. Mesin *press hidrolik* yang digunakan adalah merek *Hemming Lien Chieh* dengan kapasitas 150 ton.
- d. Komponen standar pada *press tool* tidak dirancang.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai masukan dalam pengembangan desain *punch & dies* untuk proses *bending* dan proses *press*. Selain itu, dengan *punch & dies* yang akan dirancang ini dapat mempercepat proses produksi dalam pembuatan rangka utama sepeda ITS.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori *Plastis*

Material akan mengalami *deformasi* ketika dikenai gaya eksternal. *Deformasi* adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu benda. Secara garis besar *deformasi* terbagi menjadi dua yaitu *deformasi elastis* dan *deformasi plastis*. Dinamakan *deformasi elastis* bila bersifat *reversible* (kembali ke bentuk awal) dan tidak tergantung waktu sehingga *deformasi* akan kembali ke bentuk awal segera setelah gaya dihilangkan.

Analisis *elastis* dilakukan dengan menghitung gaya-gaya dalam pada struktur (seperti gaya aksial, gaya geser, momen serta puntir) akibat gaya luar yang bekerja. Sedangkan analisis *plastis* pada umumnya digunakan untuk menentukan besarnya beban runtuh (*ultimate load*). Dari hasil pengujian tarik terhadap spesimen bahan, maka akan didapatkan informasi tentang *mechanical properties* material. Kurva *stress strain* merupakan hubungan antara beban atau gaya yang diberikan terhadap perubahan panjang bahan dimana besarnya :

Stress:

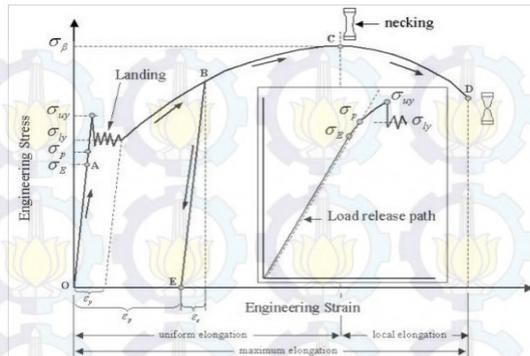
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Strain:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Dimana hubungan dari *stress* dan *strain* dapat dirumuskan dengan Hukum *Hooke* :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$



Gambar 2.1 Stress strain diagram

(sumber : <http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-ujian-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam/>)

Dari grafik (gambar 2.1) tersebut dapat diketahui sifat mekanik bahan. Batas elastis σ_E (*elastic limit*) dinyatakan dengan titik A. Jika suatu bahan diberi beban hingga mencapai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum *Hooke* tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*). Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis dimana bahan mulai mengalami deformasi plastis. Deformasi plastis merupakan perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula, pada grafik ditunjukkan pada daerah *landing*.

Tegangan luluh atas σ_{ly} (*upper yield stress*) merupakan tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis.

Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*) merupakan tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis.

Tegangan tarik maksimum (*UTS, ultimate tensile strength*) ditunjukkan dengan titik C (σ_{β}), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

2.2 Teori Proses *Bending*

Bending adalah proses *deformasi* secara plastik dari logam terhadap sumbu linier dengan hanya sedikit atau hampir tidak mengalami perubahan luas permukaan. *Bending* menyebabkan logam pada sisi luar sumbu netral mengalami tarikan, sedangkan pada sisi lainnya mengalami tekanan. Teori proses *bending* untuk benda kerja pipa (memiliki profil) yang sebenarnya merupakan pengembangan dari teori proses *bending* untuk plat yang merupakan bagian dari proses pengerjaan dingin. Proses *bending* merupakan proses penekukan secara *plastis* yang dilakukan terhadap suatu material untuk mendapatkan profil tertentu yang dikehendaki. Untuk proses penekukan pipa yang sering dijumpai adalah keovalan pada penampang pipa akibat distorsi proses *bending*.

Pada proses *bending* terdapat dua metode yang mendasari proses pengerjaan *tube* yaitu:

- *Rotary Draw Bending*
- *Compression Bending*

Proses yang akan dilakukan dalam pembuatan rangka sepeda tersebut didasari oleh metode *draw bending*. Pipa di cekam pada *fixed form*, selanjutnya *wiper shoe* akan bergerak membentuk lengkungan sesuai dengan sudut yang telah ditetapkan. Sedangkan *Compression Bending* dilakukan pada profil berbentuk. Sedangkan dari proses pembentukannya dibagi menjadi *rotary draw tube bending, compression tube bending*.

Menurut *Deustchman* (1975), untuk menghitung gaya yang dibutuhkan pada proses *bending* (diasumsikan beban merata) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{bending} = \frac{M_{maks}c}{I} \quad (2.4)$$

Dimana, $M_{maks} = \frac{1}{2}FLX - \frac{1}{2}FX$ (2.5)

$$M_{maks} = \frac{1}{2}FL\left(\frac{1}{2}L\right) - \frac{1}{2}F\left(\frac{1}{2}L\right) \quad (2.6)$$

$$M_{maks} = \frac{1}{8}FL \quad (2.7)$$

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.7) dan (2.8) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.4), sehingga didapat persamaan untuk mencari gaya bending.

$$F_{bending} = \frac{\sigma_{bending} \times I \times 8}{L \times c} \quad (2.9)$$

Dimana :

$\sigma_{bending}$ = Tegangan bending (N/mm^2)

$F_{bending}$ = Gaya bending (N)

M_{maks} = Momen lentur pada penampang (Nmm)

c = Jarak *center of gravity* (mm)

L = Panjang benda kerja (mm)

I = Momen inersia pipa (mm^4)

d_o = Diameter luar pipa (mm)

d_i = Diameter dalam (mm)

Menurut *Herman W. Pollack* (1988) untuk menghitung gaya yang dibutuhkan pada proses bending dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{bending} = \frac{K \cdot L_b \cdot S_u \cdot t^2}{W} \quad (2.10)$$

Dimana :

K = Faktor *dies*, untuk *U bending die* nilainya 2,66

L_b = Panjang benda kerja (mm)

S_u = Tegangan tarik maksimal (N/mm^2)

t = Tebal material (mm)

W = Lebar *die* (mm)

2.2.1 Rotary Draw Tube Bending

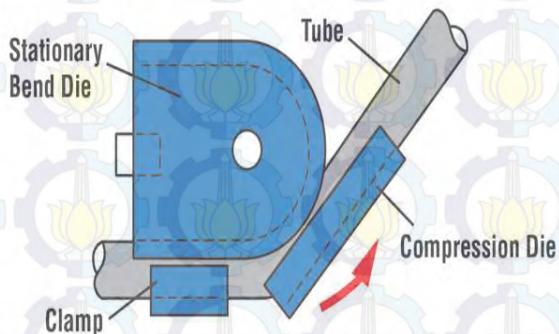
Rotary draw tube bending adalah metode yang paling fleksibel untuk digunakan di industri karena biaya yang rendah.. Komponennya terdiri dari *bend die*, *clamp die*, *pressure die* and *wiper die*. Dalam teknik bending pipa secara kuat dijepit pada *bend die* dengan menggunakan *klam*. Dalam teknik *bending tube* secara kokoh dijepit *bend die* dengan menggunakan *klam*. *Bend die* berputar dan menarik tube sepanjang *wiper die*. *Pressure die* mencegah *tube* dari berputar bersama dengan *bend die*. *Pressure die* mungkin stasioner atau mungkin bergerak bersama dengan *tube*. *Pressure die* memberikan dorongan (mendorong materi di *extrados* tabung) untuk mengurangi penipisan dan sangat membantu ketika sudut lengkung besar dan radius lengkung kecil. Sebuah *mandrel* bersama dengan *wiper die* dapat digunakan untuk mencegah kerutan. Tetapi penggunaan *mandrel* harus dihindari jika mungkin karena meningkatkan biaya. Gambar 2.2 menunjukkan proses *rotary draw tube bending* tube lentur memberikan kontrol dekat aliran logam yang diperlukan untuk radius tabung kecil berdinding.



Gambar 2.2 *Rotary draw tube bending*
(sumber : <https://www.albinaco.com/tech-tool-box/bending-methods>)

2.2.2 Compression Tube Bending

Compression tube bending membungkuk mirip dengan *rotary draw tube bending*. Ini terdiri dari *bend die stasioner*, *shoes wiper* bergerak dan penjepit. Perbedaan antara *draw rotary bending* dan kompresi proses *bending* dalam tabung imbang *rotary* menekuk *wiper die* adalah bergerak sedangkan di *compression tube* bergerak stasioner. Dalam tabung kompresi menekuk *tube* dijepit dekat titik singgung belakang. *Wiper shoe* mendorong tabung sepanjang bend die seperti berputar di sekitarnya. Gambar 2.3 menunjukkan proses dari *compression tube bending*.



Gambar 2.3 *Compression tube bending*

(sumber : <http://www.thefabricator.com/article/tubepipefabrication>)

2.3 Perhitungan Bending Tekan Pada Pipa

Pada proses *bending* pipa, yang perlu diperhatikan adalah peregangan jari-jari luar yang berlebihan, dimungkinkan terjadi penipisan tebal dinding dan perataan serta sedapat mungkin menghindari dari pengerutan jari-jari sebelah dalam yang terlampau besar. Untuk pipa berdinding tebal dilakukan pemanasan lokal untuk melakukan pembengkokkan, dengan

catatan : tidak dapat dilakukan pembengkokkan pada temperatur 200 – 500 derajat celcius.

Menurut *Herman W. Pollack* (1988) untuk menghitung panjang awal pipa yang dibutuhkan pada proses bending dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$a = \frac{\theta\pi}{180} (Kt + r) \quad (2.11)$$

Dimana :

a = Panjang awal (mm)

θ = Sudut bending ($^{\circ}$)

K = Konstanta

t = Tebal / diameter material (mm)

r = Internal radius (mm)

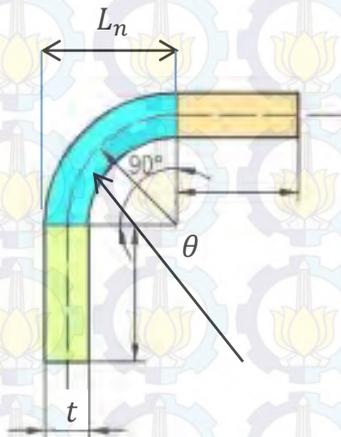
L_n = Bend allowance

Untuk nilai K yaitu :

Jika $r < t$ $K = \frac{1}{4}$

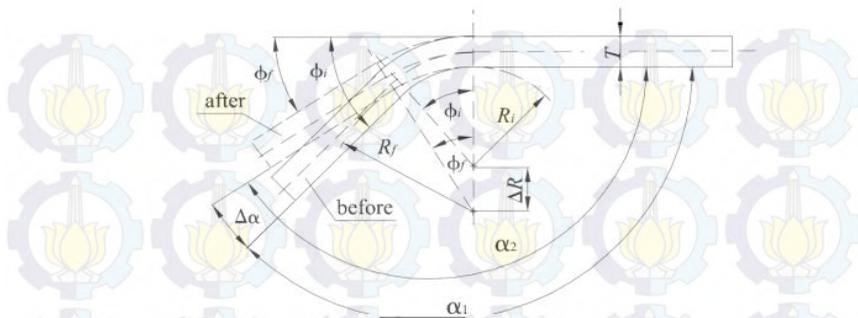
Jika $t \leq r \leq 2t$ $K = \frac{1}{3}$

Jika $r > 2t$ $K = \frac{1}{2}$



Gambar 2.4 Parameter untuk mencari panjang pipa
(sumber:

<https://suryaputra2009.wordpress.com/2012/03/03/perhitungan-kelongsaran-pembengkokkan-plat-pipa/>)



Gambar 2.5 Ilustrasi terjadinya efek *springback*
(sumber: Boljanovic, Vukota., 2004. *Sheet Metal Forming Processes and Die*)

Pada gambar diatas diperlihatkan bentuk yang diharapkan setelah dilakukan bending dan bentuk yang terjadi dikarenakan adanya *springback*. Pada gambar juga ditunjukkan panjang pipa yang mengalami bending dapat diketahui dengan dengan persamaan *Vukota Boljanovic* (2004) berikut ini :

Panjang lekukan (*bend allowance*) dari garis netral (L_n) adalah sama sebelum dan setelah menekuk, sehingga hubungan berikut ini didapat dengan rumus:

$$L_n = \left(R_i + \frac{T}{2} \right) \varphi_i = \left(R_f + \frac{T}{2} \right) \varphi_f \quad (2.12)$$

Dari hubungan persamaan didapatkan persamaan untuk menentukan besar dari koefisien *springback* (K_s) adalah:

$$K_s = \frac{R_i + \frac{T}{2}}{R_f + \frac{T}{2}} = \frac{\frac{2R_i}{T} + 1}{\frac{2R_f}{T} + 1} = \frac{\varphi_f}{\varphi_i} = \frac{180^\circ - \alpha_2}{180^\circ - \alpha_1} \quad (2.13)$$

Nilai R_i dari persamaan ini adalah

$$R_i = K_s \left(R_f + \frac{T}{2} \right) - \frac{T}{2} \quad (2.14)$$

Tabel 2.1 Nilai K_s (*koefisien springback*)
sumber: Boljanovic, Vukota., 2004. *Sheet Metal Forming Processes and Die*

R_f/T	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10.0	25.0
Material (AISI)	Springback factor (K_s)						
2024-T	0.92	0.905	0.88	0.85	0.80	0.70	0.35
7075-0 & 2024-0	0.98	0.98	0.98	0.98	0.975	0.97	0.945
6061 T	0.935	0.93	0.925	0.915	0.88	0.85	0.748
1100-0	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.943

Lekukan sudutnya adalah

$$\varphi_f = 180^\circ - \alpha_2 \quad (2.15)$$

Sudut *punch* (*punch angle*) adalah

$$\alpha_i = 180^\circ - \varphi_i = 180^\circ - \frac{\varphi_f}{K_s} \quad (2.16)$$

Nilai *springback* adalah

$$\Delta R = R_f - R_i \quad (2.17)$$

$$\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (2.18)$$

Dimana :

L_n = Panjang lekukan (mm)

R_i = Radius dalam (mm)

R_f = Radius lekukan (mm)

α_1 = Sudut *punch* ($^\circ$)

α_2 = Sudut dalam yang diharapkan ($^\circ$)

φ_1 = Sudut luar yang diharapkan ($^\circ$)

φ_f = Sudut luar setelah *bending* ($^\circ$)

T = Tebal / diameter pipa (mm)

Untuk menghilangkan *springback* ini maka ada beberapa hal yang dapat dilakukan beberapa diantaranya adalah dengan

menggunakan *overbending* ataupun *coining*. Dengan menggunakan *overbending* atau *coining* maka diharapkan tegangan sisa akan hilang sehingga hasil proses *bending* sesuai dengan yang diharapkan.

2.4 Press Tool

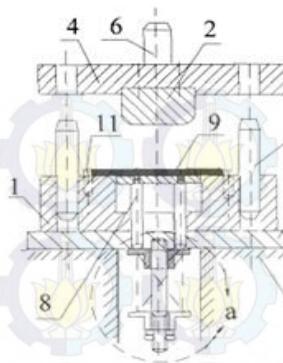
Perkakas tekan (*press tool*) adalah peralatan yang mempunyai prinsip kerja penekanan dengan melakukan pemotongan, pembentukkan atau gabungan dari keduanya. Peralatan ini digunakan untuk membuat produk secara massal dengan produk *output* yang sama dalam waktu yang relatif singkat. Gambar 2.6 dibawah ini merupakan mesin *press tool* dari salah satu pabrik sepeda ternama di Indonesia.



Gambar 2.6 Mesin *press tool* di PT. Inera Sena

2.5 Komponen Press Tool

Secara garis besar, bagian-bagian dari *press tool* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.7 Bagian Komponen *Press Tool*
 (sumber : Boljanovic, Vukota., *Sheet metal forming processes and die design*, Industrial Press Inc. New York, 2004)

Keterangan :

- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| 1. die | 7. table of press |
| 2. punch | 8. guide pin |
| 3. lower plate | 9. blank |
| 4. punch holder | 10. pressure pad pin |
| 5. guide post | 11. stop pin |
| 6. shank | a-spring type pad mechanism |

2.5.1 Dies

Dies adalah bagian yang berfungsi sebagai cetakan yang bentuknya telah disesuaikan dengan desain benda kerja dan *punch*. Bentuk dari cetakan ini tergantung atau sesuai dengan *punch* ataupun dari produk yang diinginkan.

Untuk mencari ketebalan dari *dies* minimum H dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari *Vukota Buljanovic*(2004) sebagai berikut :

$$H = (10 + 5t + 0,7\sqrt{(a + b)})c \quad (2.19)$$

Sedangkan lebar dinding e dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$e = (10/12) + 0,8H \quad (2.20)$$

Dimana : t = tebal material (mm)

a, b = dimensi *die* (mm)

c = Konstanta (tabel 2.1)

Tabel 2.2 Nilai Konstanta Material

UTS (N/mm ²)	117	245	392	784
c	0,6	0,8	1,0	1,3

(Sumber : Boljanovic, Vukota., (2004), *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*, Industrial Press Inc, Tennessee.)

2.5.2 Punch

Punch adalah pembentuk bagian atas dari *Press Tool* yang digunakan untuk menekan benda kerja ke arah *dies* saat melakukan proses *forming*.. Untuk mendapatkan desain panjang maksimal *punch* yang digunakan agar tidak patah dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Vukota Buljanovic* (2004) sebagai berikut :

$$L_{punch} = \frac{l_k}{8} \sqrt{\frac{E \cdot (w)}{t_s \cdot \sigma_{UTS}}} \quad (2.21)$$

Dimana:

L_{punch} = Panjang maksimal *punch* (mm)

l_k = Keliling *punch* (mm)

t_s = Tebal material *punch* (mm)

w = Lebar *punch* (mm)

E = *Modulus elasticity* material *punch* (kg/mm²)

σ_{UTS} = *Ultimate Tensile Strength* material (kg/mm²)

2.5.3 Lower Plate

Lower plate merupakan komponen *die set* yang digunakan sebagai tempat pengikatan *dies, guide pillar*, dan tempat pengikatan pada *bolster* mesin *press*. Dimensi panjang dan lebar dari *lower plate* disesuaikan dengan *lay out punch* dan *dies*.

Menurut *F.W. Wilson*(1965), ketebalan *lower plate* dirumuskan sebagai berikut :

$$h^3 = \frac{0,0284 \cdot q \cdot l^4}{E \cdot \delta \left[1,056 \left(\frac{l}{p} \right)^5 + 1 \right]} - H \quad (2.22)$$

Dimana :

- h = Ketebalan *lower plate* (mm)
- H = Ketebalan *Dies* (mm)
- δ = Defleksi yang diijinkan (0,0254 mm)
- p = Panjang tumpuan (mm)
- E = *Modulus elastisitas* bahan (kg/mm²)
- l = Lebar *lower plate* (mm)
- q = Beban terhadap luasan area *die* (N)

2.5.4 Punch Holder

Punch holder adalah bagian yang berfungsi sebagai pemegang *punch*. Pada permukaan *punch holder* akan dibuat alur untuk penempatan pasak yang berfungsi sebagai penahan *punch* agar tidak berputar.

2.5.5 Guide Post

Guide post adalah komponen *press tool* yang berupa silinder baja. *Guide post* ini berfungsi untuk menjaga kelurusan antara *punch* dengan *die* saat proses pengerjaan berlangsung. *Guide post* ini juga diperlukan untuk pembuatan konstruksi *press tool* maupun perbaikan jika terjadi kerusakan atau penggantian komponen *press tool*.

2.5.6 Shank

Shank adalah bagian yang berfungsi sebagai pemegang rakitan bagian yang bergerak. Dengan melalui *shank*, *presstool* mentransfer gerakan dan gayanya ke *punch* sehingga terjadi mekanisme *punch* menekan *strip*.

2.5.7 Table of Press

Table of press merupakan bagian dari *press tool* yang mempunyai fungsi sebagai landasan *punch & die*.

2.5.8 Guide Pin

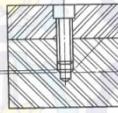
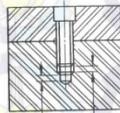
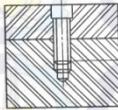
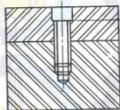
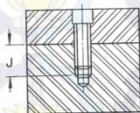
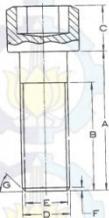
Guide pin merupakan komponen *press tool* yang berupa silinder baja. *Guide pins* berfungsi untuk menjaga kelurusan antara *punch* dengan *dies* saat proses berlangsung.

2.5.9 Spring

Spring atau pegas berfungsi untuk menahan beban yaitu besarnya gaya yang diterima serta panjang *defleksinya*. *Spring* didesain agar dapat menahan beban yang besarnya dibawah beban maksimal yang bisa diterima.

2.5.10 Screw dan Dowel Pin

Baut dan *dowel pin* merupakan elemen pengikat yang menyatukan komponen-komponen pada *die set*. Untuk menjaga agar tiap komponen yang saling berikatan tidak bergeser maka digunakan *dowel pin* sebagai pengarah. Menurut *J.Paquin*, aturan peletakan *socket cap screw* adalah sebagai berikut:



$$H = 1\frac{1}{2} D$$

$$I = 1\frac{1}{2} D$$

$$J = \text{minimal } 1/16 \text{ inch}$$

$$K = 1/8 \text{ inch}$$

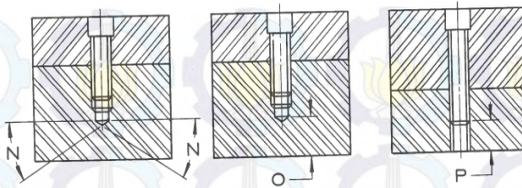
$$L = 1/16$$

$$M = 45^\circ$$

$$N = 30^\circ$$

$$O = \text{minimal } 1D$$

$$P = 1D$$



Gambar 2.8 Peletakan *socket cap screw*

Tabel 2.3 Dimensi *basic dowel pin*
(Suchy,Ivana (2006) Handbook of die design 2nd edition)

Nominal dia.		Actual dia.		Hole size	
in.	mm	±0.0001	h11	+0.0000 -0.0003	H7
1/8 (0.125)	2	0.1252	2.00	0.1250	2.00
3/16 (0.1875)	3	0.1877	3.00	0.1875	3.00
1/4 (0.250)	4	0.2502	4.00	0.2500	4.00
5/16 (0.3125)	5	0.3127	5.00	0.3125	5.00
3/8 (0.375)	6	0.3752	6.00	0.3750	6.00
7/16 (0.4375)	8	0.4377	8.00	0.4375	8.00
	10		10.00		10.00
	12		12.00		12.00

Besar kekuatan tarik ijin pada baut didapatkan dari persamaan (2.16)

$$\sigma_{t-ijin} = \frac{\text{Kekuatan tarik baut}}{\text{safety factor}} \quad (2.23)$$

Besarnya gaya yang terjadi pada tiap baut adalah

$$\sigma_{baut} = \frac{F}{n.A} \quad (2.24)$$

Dimana :

F = Gaya total yang diterima (N)

n = Jumlah baut

A = Luas penampang (mm^2)

2.6 Proses Pemesinan

Proses pemesinan (*Machining process*) merupakan proses pembentukan suatu produk dengan pemotongan dan menggunakan mesin perkakas. Umumnya, benda kerja yang di gunakan berasal dari proses sebelumnya, seperti proses penuangan (*Casting*) dan proses pembentukan (*Metal Forging*). Pada proses pemotongan benda kerja yang menyebabkan sebagian material benda kerja terbuang dalam bentuk geram sehingga *deformasi plastis* yang menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi geometri yang diinginkan.

2.6.1 Jenis Proses Pemesinan

Pada pembuatan *punch & dies* ini beberapa macam proses pemesinan yang akan digunakan antara lain :

a. Proses *milling* CNC

Pada prinsipnya, cara kerja mesin CNC ini adalah benda kerja dipotong oleh sebuah pahat yang berputar dan kontrol gerakannya diatur oleh komputer melalui program yang disebut G-code.

b. Proses gurdi / *drilling*

Proses gurdi adalah pelubangan pada benda kerja. Pahat gurdi mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong karena diputar oleh poros utama mesin gurdi. Gerak pemakanan dapat dipilih sbila mesin gurdi mempunyai sistim gerak pemakanan dengan tenaga motor. Untuk jenis gurdi yang kecil (mesin gurdi bangku), gerak pemakanan tidak dapat dipastikan karena tergantung pada kekuatan tangan untuk menekan lengan poros utama.

2.6.2 Operation Plan

Dalam melakukan perencanaan proses pemesinan, sebuah *operation plan* tentang detail proses pengerjaan harus dilakukan untuk memberikan gambaran proses pemesinan yang akan dilakukan terhadap benda kerja.

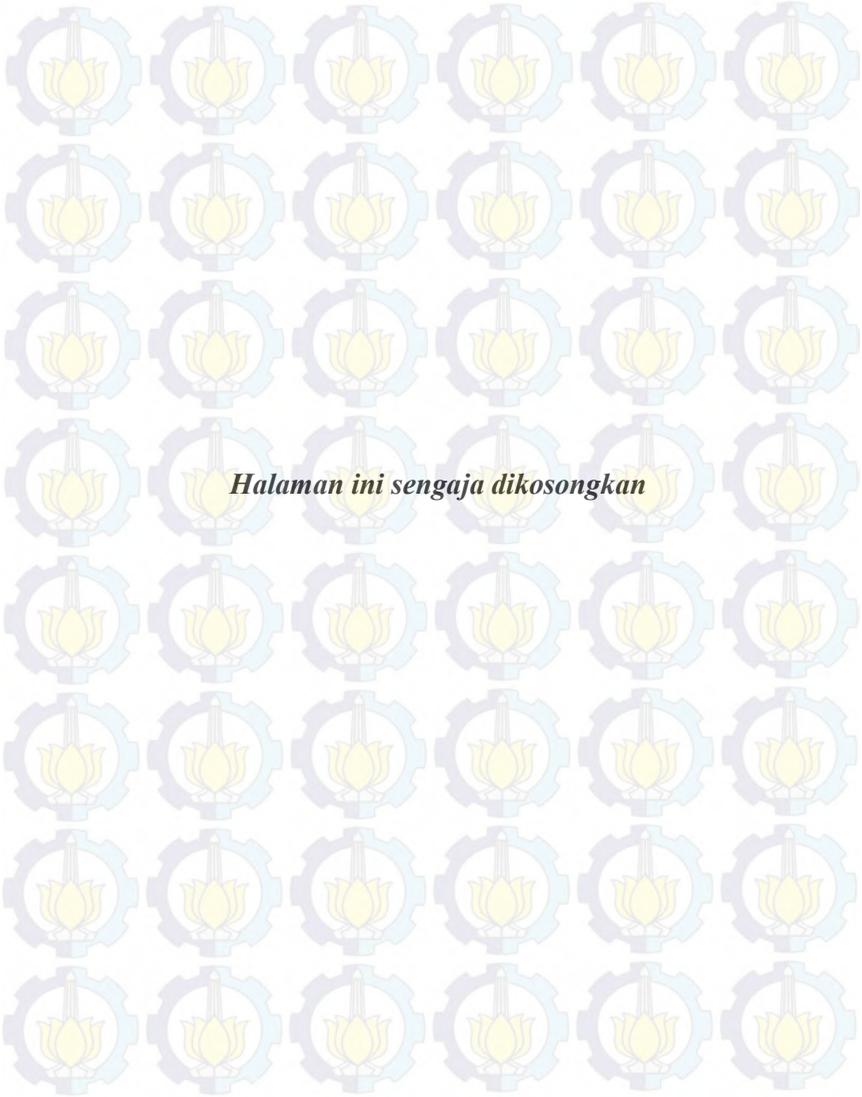
Literatur tentang *operation plan* diambil dari diktat Teknik Bengkel 3 Polman Bandung (Gambar 2.9) dengan penjelasan sebagai berikut :

- 101 Merupakan perintah untuk mempelajari gambar dan benda kerja
- 102 Merupakan perintah untuk melakukan penyettingan mesin yang akan digunakan untuk melakukan pemesinan
- 103 Merupakan perintah untuk melakukan marking pada permukaan benda kerja
- 104 Merupakan perintah untuk melakukan *clamping* atau pengecaman.
- 105 Merupakan perintah untuk melakukan pemotongan benda kerja.

Frais, Bor 4 - 106

101. Pelajari gambar dan periksa bahan, panjang 82 mm, lebar 22 mm tebal 38 mm, jumlah.
102. Setel mesin frais.
104. Cekam pada ragum mesin.
105. $\frac{NS}{\nabla}$ frais blok segi empat 20 x 36,5 x 80
203. Penandaan bentuk.
204. Cekam pada ragum mesin.
205. $\frac{NS}{\nabla}$ frais 2 step, tebal 8 x 15 /kemiringan 30° /R 6
210. $\frac{NS}{\nabla}$ frais step 8 x 4 x 80

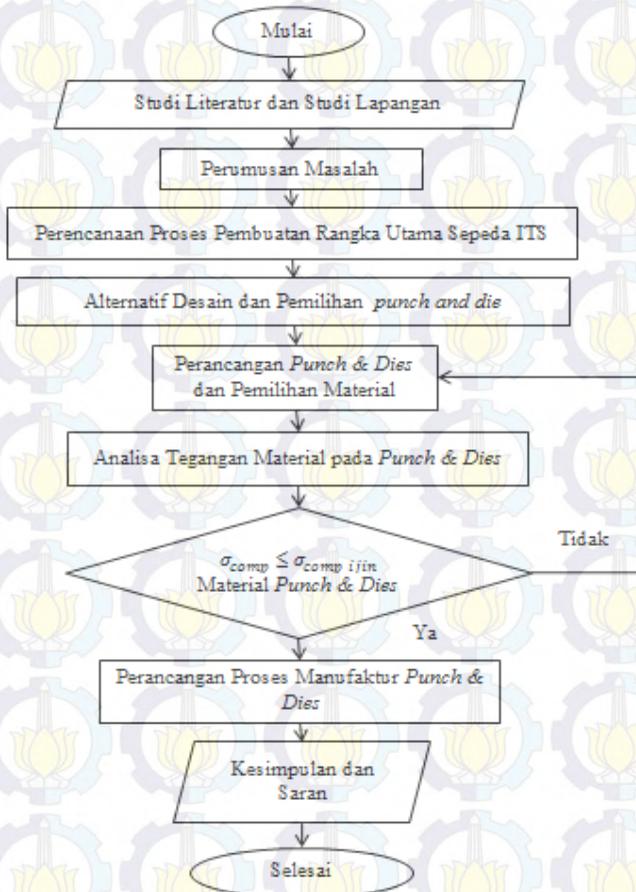
Gambar 2.9 *Operation Plan*



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perancangan



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan

3.2 Tahapan Penyelesaian Tugas Akhir

Tahapan – tahapan yang akan dilakukan dalam penyelesaian permasalahan sesuai dengan diagram alir metodologi penelitian yang telah ditentukan, sehingga tujuan utama tugas akhir ini yaitu perancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS yang baru untuk mendukung produksi massal dalam pembuatannya.

3.2.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan

Studi literatur ini dilakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi mengenai proses pembuatan rangka sepeda dengan mempelajari beberapa buku, video, ebook, artikel, jurnal yang ada kaitannya dengan perancangan *punch & dies* rangka sepeda. Serta mempelajari *software* program *CATIA*.

Studi lapangan dilakukan dengan mengamati secara langsung proses pembuatan rangka sepeda yang sebelumnya telah dibuat oleh saudara Rudi [2014]. Dengan studi lapangan tersebut dapat membantu dalam mengevaluasi proses manufaktur rangka sepeda yang dibuat secara manual. Sehingga dengan adanya studi literatur dan studi lapangan dapat membantu dalam perancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS.

3.2.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir ini lebih ditekankan pada proses perancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS yang berbentuk S serta perhitungan biaya pembuatannya.

3.2.3 Perencanaan proses pembuatan rangka utama sepeda

Proses pembuatan rangka secara umum terdiri dari proses pemotongan pipa dan proses *bending*. Hasil yang akan didapat adalah bagian - bagian dari rangka sepeda yang kemudian akan dirakit menjadi sebuah rangka sepeda ITS. Untuk proses pembuatan rangka utama sepeda ITS, dibuat dengan

menggunakan *punch & dies*. Berikut ini adalah alternatif desain dari *punch & dies* yang akan dirancang.

3.2.3.1 Alternatif desain dan pemilihan *punch and dies*

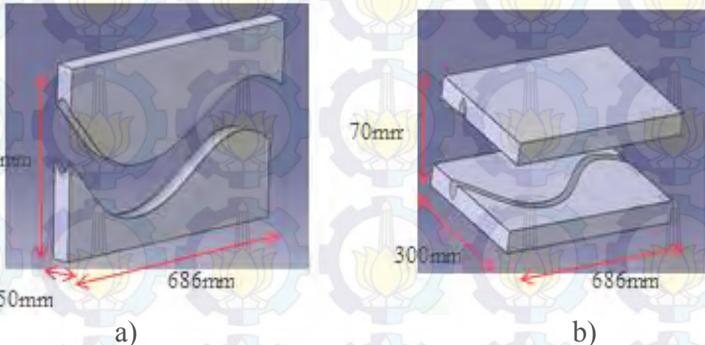
Pada pembuatan rangka utama sepeda ITS terdapat dua tahap proses pembentukan yaitu proses *bending* untuk membentuk alur dan proses pembentukan profil dengan cara *press*.

3.2.3.1.1 Alternatif Desain

Terdapat 3 alternatif desain *punch & dies* yaitu :

Alternatif pertama:

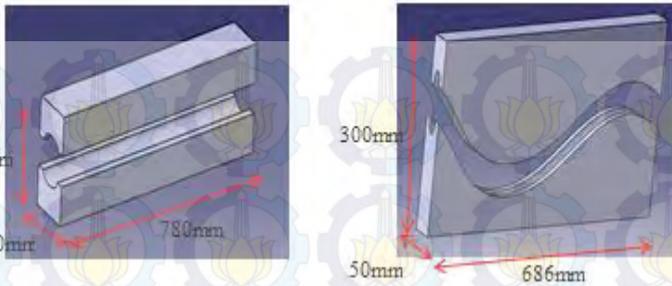
- Pipa *dibending* dahulu untuk mendapatkan bentuk alur S, kemudian pipa tersebut di *press* untuk mendapatkan bentuk profil seperti yang terlihat pada gambar 3.2 a dan b rancangan *punch & dies bending* dan *press*.



Gambar 3.2 Rancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS yang baru a) Proses *bending* pipa membentuk alur b) proses *press* pipa membentuk profil

Alternatif kedua:

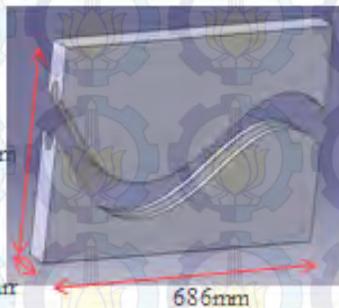
- Pipa *dipress* terlebih dahulu untuk mendapatkan bentuk profil oval, kemudian pipa tersebut *dibending* untuk mendapatkan bentuk alur S seperti pada gambar 3.3 a dan b rancangan *punch & dies press* dan *bending*.



Gambar 3.3 Rancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS yang baru a) Proses *press* pipa membentuk profil b) proses *bending* pipa membentuk alur

Alternatif ketiga :

- Konsep desain pada alternatif ketiga ini Pipa dibentuk sesuai dengan desain yaitu dengan proses *press* bersamaan dengan *bending* seperti yang terlihat pada gambar 3.4 rancangan *punch & dies*



Gambar 3.4 Rancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS yang baru dengan sekali proses, yaitu proses *press* sekaligus *bending* secara bersamaan

3.2.3.1.2 Pemilihan Alternatif

Pemilihan alternatif dilakukan dengan membandingkan kedua alternatif berdasarkan kriteria-kriteria yang diinginkan, seperti terlihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Perbandingan Alternatif

No.	Kriteria	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Dimensi dan geometri	<i>punch & dies bending</i> = (686 x 50 x 300) mm <i>punch & dies press</i> = (686 x 300 x 70)mm	<i>punch & dies press</i> = (780 x 90 x 100) mm <i>punch & dies bending</i> = (686 x 50 x 300)mm	<i>punch & dies bending</i> = (686 x 50 x 300)mm
2	Fungsi	Proses yang dikerjakan terlebih dahulu adalah proses bending untuk membentuk alur dan tahap selanjutnya proses press untuk mendapatkan bentuk profil	Proses yang dikerjakan terlebih dahulu yaitu proses press untuk membentuk profil pipa dan selanjutnya proses bending untuk mendapatkan alur	Proses pembentukan rangka utama sepeda ITS dilakukan dengan sekali proses. proses <i>press</i> pipa membentuk profil serta proses <i>bending</i> pipa membentuk alur
3	Kekuatan dan keandalan	Pemakaian bisa digunakan dalam jangka waktu yang lama	Pemakaian bisa digunakan dalam jangka waktu yang lama	Pemakaian bisa digunakan dalam jangka waktu yang lama
4	Bisa dan cepat	bisa dimanufaktur tetapi	Bisa dimanufaktur dan	Bisa
	dimanufaktur	membutuhkan waktu yang lama untuk pembuatan <i>punch & dies</i> proses press	proses pengerjaan lebih cepat dibandingkan alternatif 1	dimanufaktur dan proses pengerjaan lebih cepat dibandingkan alternatif 1 dan 2
5	Harga	Dengan dimensi yang cukup besar serta dalam pembuatan alur yang cukup sulit tentunya harga lebih mahal	Dimensi lebih kecil dari alternatif 1 sehingga harga lebih murah	Dengan sekali proses maka biaya yang dikeluarkan tentu lebih murah dari alternatif 1 dan 2

Dari uraian tabel di atas dapat disimpulkan alternatif 3 yang dipilih karena dari segi dimensi dan geometri, bisa dan cepat dimanufaktur serta dari segi harga jauh lebih menguntungkan dibandingkan alternatif 1 dan 2.

3.2.4 Perancangan *Punch & Dies* dan Pemilihan Material

Pada perancangan *punch & dies* ini didasarkan pada desain rangka sepeda ITS yang telah dirancang oleh Rudi [2014] dan disempurnakan oleh Agung [2015] yang ditinjau dari segi bentuk profil pipa yang dikhususkan pada rangka utama sepeda. Sebelum melakukan perancangan terlebih dahulu dilakukan perhitungan - perhitungan yang diperlukan. Selanjutnya rancangan *punch & dies* digambar dengan menggunakan software CATIA P3 V5R20.

3.2.5 Analisa Tegangan Material *Punch & Dies*

Setelah mendapatkan rancangan desain *punch & dies*, penelitian ini dilanjutkan dengan analisa tegangan yang terjadi. Pada tahap ini perancangan desain dan perhitungan gaya yang bekerja pada *punch & dies* serta pemilihan material akan dilakukan. Langkah berikutnya adalah analisa tegangan kompresi yang terjadi pada *punch & dies* dan dibandingkan dengan tegangan ijin dari materialnya. Apabila hasil analisa tegangan pada *punch & dies* memiliki nilai yang sama atau lebih dari nilai tegangan ijin material *punch & dies*, maka perancangan ulang terhadap desain akan dilakukan hingga didapatkan desain yang sesuai.

3.2.6 Perancangan Proses Manufaktur *Punch & Dies*

Setelah dilakukan perancangan secara detail, maka pada tahap ini akan dirancang proses pembuatan *punch & dies*.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Mengambil kesimpulan dari setiap proses yang dilakukan mulai dari awal sampai akhir perancangan. Jika di analisa ada yang perlu diperbaiki, akan dibuatkan usulan atau saran yang akan digunakan untuk proses pengembangan selanjutnya.

BAB IV

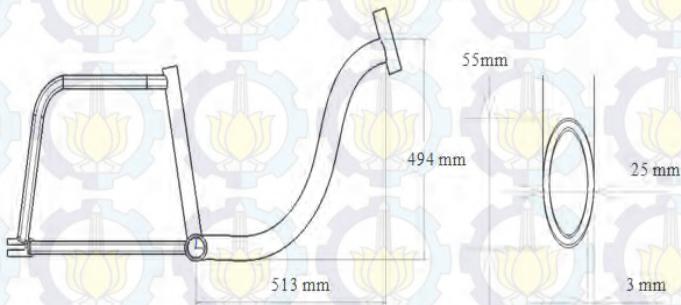
PERANCANGAN PUNCH & DIES

Dalam perancangan *punch & dies* rangka utama sepeda ITS, diperlukan beberapa tahapan perhitungan, diantaranya :

1. Penetapan geometri dan menentukan material yang digunakan untuk rangka utama sepeda ITS yang dirancang.
2. Perhitungan gaya-gaya pembentukan, yaitu gaya *bending* yang diperlukan untuk pembentukan rangka utama sepeda.
3. Merancang geometri *punch & dies* serta memilih materialnya
4. Menganalisa tegangan material *punch & dies*.
5. Perancangan proses manufaktur *punch & dies*.

4.1 Geometri Rangka Utama Sepeda ITS

Adapun geometri rangka utama sepeda ITS dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Geometri rangka utama sepeda ITS [Yudistira A. 2015]

4.1.1 Material Rangka Sepeda

Material yang digunakan untuk rangka utama sepeda ITS adalah aluminium alloy Al 6061 T6 dengan sifat material sebagai berikut : (Smith F. Wiliam. 1994)

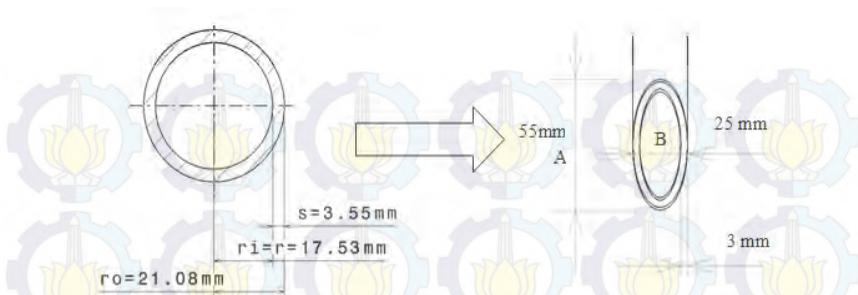
- *Tensile strength* 42000 psi = 290 N/mm²
- *Yield Strength* 35000 psi = 242 N/mm²
- *Elongation* 8%
- *Shear Strength* 30000 psi

Material ini sudah sesuai dengan standar yang biasa dipakai dalam pembuatan rangka sepeda dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 4.2 Dimensi material Pipa
(Katalog Aluminum Pipe 6061-T6 Schedule 40 & 80
Extruded Structural Pipe, www.alaskancopper.com)

Peninjauan tentang luas dan keliling dari profil keduanya maka dilakukan perhitungan sebagai berikut.



Gambar 4.3 a). Penampang Lingkaran b). Penampang Elips

$$\text{Luas lingkaran} = \pi r^2 = \pi \times 21.08^2 = 2356 \text{ mm}^2$$

$$\text{Keliling lingkaran} = 2\pi r = 2\pi \times 21.08 = 133,51 \text{ mm}$$

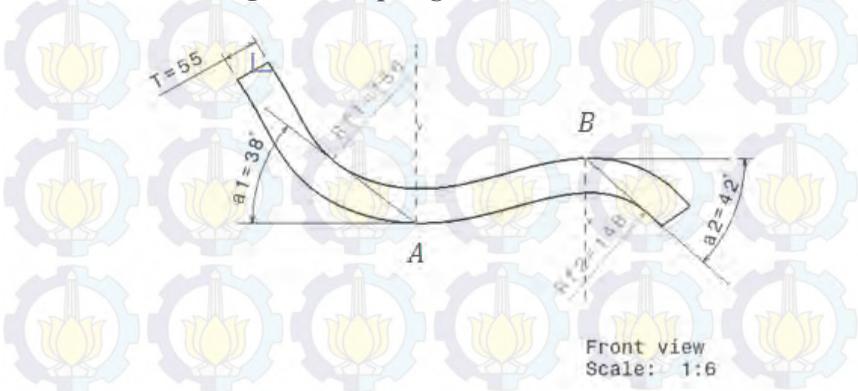
$$\text{Luas elips} = \frac{1}{2}\pi(AB \times CD) = \frac{1}{2}\pi(55 \times 25) = 1396,01 \text{ mm}^2$$

$$\text{Keliling elips} =$$

$$\frac{1}{2}\pi(AB + CD) = \frac{1}{2}\pi(55 + 25) = 1132,449 \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa luas dan keliling lingkaran > luas dan keliling elips, sehingga penampang profil tersebut bisa direduksi.

4.1.2 Perhitungan Efek *Springback*



Gambar 4.4 Ilustrasi geometri *springback*

- Springback pada *A* dengan menggunakan persamaan (2.14) sampai (2.18) adalah sebagai berikut :

$$\frac{R_f}{T} = \frac{156}{55} = 2,83$$

Untuk nilai K_s dengan nilai diatas dapat dilihat dari tabel 2.1 didapatkan nilai $K_s = 0,925$

$$R_i = K_s \left(R_f + \frac{T}{2} \right) - \frac{T}{2} = 0,925(156 + 27,5) - 27,5 \\ = 142,3 \text{ mm}$$

$$\varphi_f = 180^\circ - \alpha_2 = 180^\circ - 38^\circ = 142^\circ$$

Sudut *punch*,

$$\alpha_1 = 180^\circ - \varphi_1 = 180^\circ - \frac{\varphi_f}{K_s} = 180^\circ - \frac{142^\circ}{0,925} = 26,5^\circ$$

$$\Delta R = R_f - R_i = 156 - 142,3 = 13,7 \text{ mm}$$

$$\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 38^\circ - 26,5^\circ = 11,5^\circ$$

- Springback pada *B* adalah sebagai berikut :

$$\frac{R_f}{T} = \frac{148}{55} = 2,69$$

Untuk nilai K_s dengan nilai diatas dapat dilihat dari tabel 2.1 didapatkan nilai $K_s = 0,925$

$$R_i = K_s \left(R_f + \frac{T}{2} \right) - \frac{T}{2} = 0,925(148 + 27,5) - 27,5 = 135 \text{ mm}$$

$$\varphi_f = 180^\circ - \alpha_2 = 180^\circ - 42^\circ = 138^\circ$$

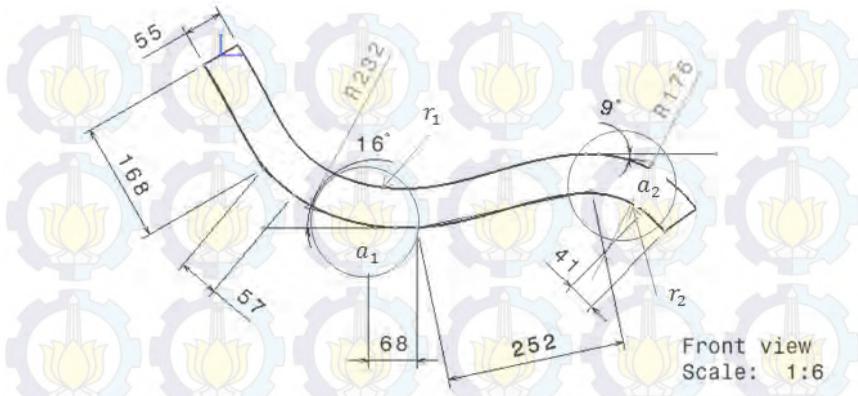
Sudut *punch*,

$$\alpha_1 = 180^\circ - \varphi_1 = 180^\circ - \frac{\varphi_f}{K_s} = 180^\circ - \frac{138^\circ}{0,925} = 31^\circ$$

$$\Delta R = R_f - R_i = 156 - 135 = 21 \text{ mm}$$

$$\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 38^\circ - 31^\circ = 7^\circ$$

4.1.3 Perhitungan Panjang Awal Pipa



Gambar 4.5 Dimensi untuk mencari panjang awal pipa

Menurut *Herman W. Pollack* (1988), untuk mencari panjang awal pipa dengan menggunakan persamaan (2.11)

$$a = \frac{\theta\pi}{180} (Kt + r)$$

$$r_1 = 232 - 55 = 177$$

$$r_2 = 176 - 55 = 121$$

$$a_1 = 0,01745 \times 16(0,5 \times 55 + 177) = 107,92$$

$$a_2 = 0,01745 \times 9(0,5 \times 55 + 121) = 37,609$$

jadi untuk mencari panjang total adalah sebagai berikut :

$$L = 168,05 + 56,67 + 107,92 + 63,7 + 258,61 + 40,58$$

$$+ 37,609$$

$$= 746,739 \text{ mm} \approx 750 \text{ mm}$$

4.2 Perhitungan Gaya Pembentukan

Untuk mengetahui besarnya gaya bending yang terjadi pada material supaya pipa bisa dibentuk dan tidak patah, maka $\sigma_{bending}$ diambil rata-rata dari σ_{UTS} dan σ_{yield} sebesar 265,5 N/mm^2 . Diasumsikan σ_{tarik} sama dengan $\sigma_{bending}$ yang terjadi

pada pipa. Sehingga besarnya gaya bending ($F_{bending}$) dapat dicari dengan persamaan (2.9) sebagai berikut :

$$F_{bending} = \frac{\sigma_{bending} \times I \times 8}{L \times c}$$

Dimana :

$$d_o = 42,16 \text{ mm}$$

$$d_i = 35,06 \text{ mm}$$

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32} = \frac{\pi(42,16^4 - 35,06^4)}{32} = 161836 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{bending} = 265,5 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 513 \text{ mm}$$

$$c = 256,5 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$F_{bending} = \frac{265,5 \times 161836 \times 8}{513 \times 256,5} = 2612,3 \text{ N}$$

Menurut *Herman W. Pollack* (1988) untuk menghitung gaya yang dibutuhkan pada proses bending dapat menggunakan persamaan (2.10) sebagai berikut :

$$F_{bending} = \frac{K \cdot L_b \cdot S_u \cdot t^2}{W}$$

Dimana :

$$K = \text{Konstanta}, 2,66$$

$$L_b = 750 \text{ mm}$$

$$S_u = 42.000 \text{ psi} = 290 \text{ N/mm}^2$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$W = 513 \text{ mm}$$

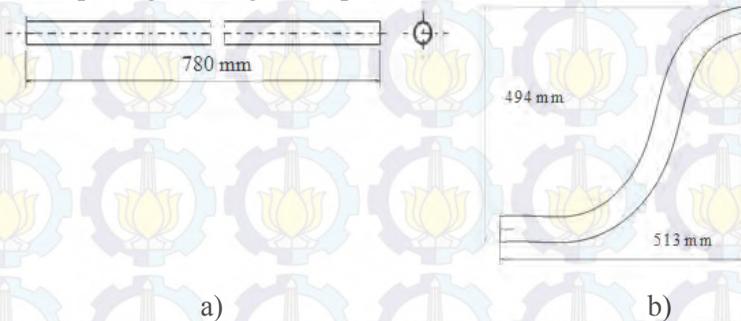
$$F_b = \frac{2,66 \times 750 \times 29,53 \times 3^2}{513}$$

$$F_b = 10135,6 \text{ N}$$

Dari hasil kedua perhitungan tersebut di atas, besarnya gaya bending yang diperlukan untuk pembentukan rangka utama sepeda diambil gaya bending yang terbesar yaitu 10135,6 N.

4.3 Urutan Proses Pembentukan

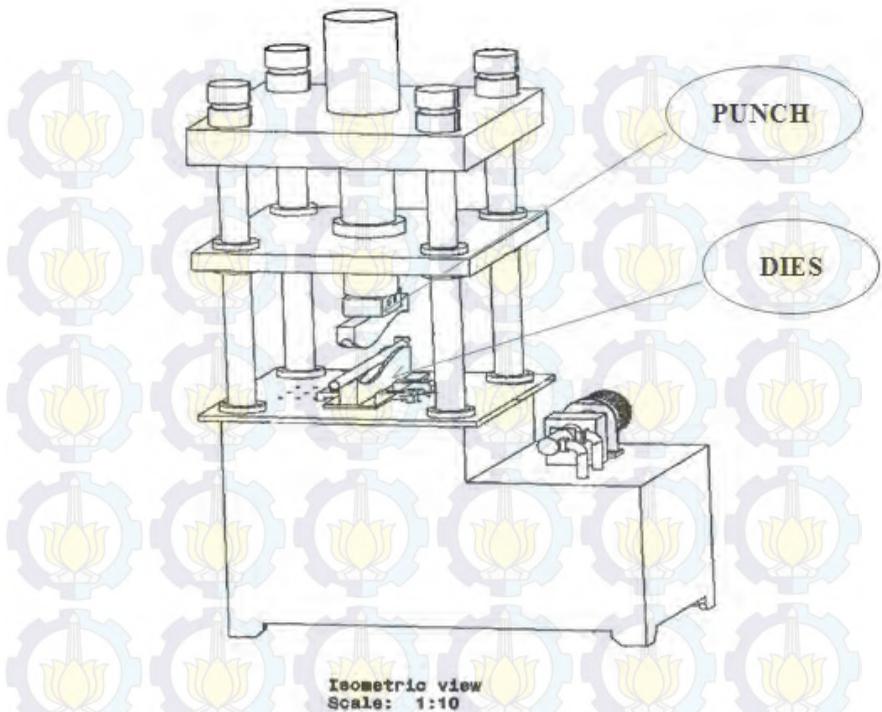
Untuk merencanakan proses pembentukan pipa rangka utama sepeda dimulai dengan bending pipa sekaligus membentuk profil yang ditentukan dengan ukuran diameter 42,16 mm dan panjang 780 (panjang pipa + 30 mm). panjang selebihnya nanti akan dipotong sesuai gambar pada mal skala 1:1



Gambar 4.6 a) Geometri pipa sebelum pembentukan, b) Geometri setelah proses pembentukan

Seperti pada gambar 4.7 merupakan sebuah gambaran mesin *press* yang digunakan untuk pembuatan pipa yang dilengkapi dengan beserta *punch & diesnya*.

Dalam proses pengerjaanya, material pipa yang digunakan untuk pembuatan rangka utama sepeda diletakan pada *dies*. Selanjutnya *punch* menekan material ke *dies* maka terbentuklah bentuk lekukan pipa sesuai *diesnya*.



Gambar 4.7 Detail bagian dari mesin *Press*

4.4 Pemilihan Material dan Perancangan Geometri *Punch & Dies*

4.4.1 Pemilihan Material *Punch & Dies*

Kriteria Pemilihan material yang akan digunakan sebagai dasar atas pertimbangan sebagai berikut :

1. Ketersediaan material dipasaran. Dalam hal ini material yang dipilih sedapat mungkin material yang mudah didapatkan dipasaran tanpa harus memesan khusus dari produsen.
2. Material harus kuat, sesuai dengan kondisi kerja serta beban yang diterima. Besarnya beban dan kondisi

lingkungan harus diperhatikan agar komponen dapat bekerja dengan baik dan tidak cepat rusak.

3. Material bisa dimanufaktur. Hal ini disebabkan produk yang dikehendaki memerlukan banyak proses pengerjaan untuk menghasilkan sebuah produk.
4. Harga dari material tersebut, merupakan faktor yang penting karena besarnya biaya produksi salah satunya ditentukan oleh harga material yang dipergunakan.

Berdasarkan kriteria pertimbangan di atas maka dilakukan pemilihan material untuk *punch & dies* yang akan digunakan adalah steel S45C. Hal ini disebabkan S4C memenuhi persyaratan diatas. Spesifikasi S45C dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 *Property S45C*

Similar to AISI 1045 and DIN CK45.

JIS S45C steel, Tempered

Physical Properties

	Metric	English
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³

Mechanical Properties

	Metric	English
Hardness, Brinell	201 - 269	201 - 269
Hardness, Rockwell C	13.8 - 27.6	13.8 - 27.6
Tensile Strength, Ultimate	686 MPa	99600 psi
Tensile Strength, Yield	490 MPa	71100 psi
Elongation at Break	17.0 %	17.0 %
Reduction of Area	45.0 %	45.0 %
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi
Poissons Ratio	0.290	0.290
Machinability	55 %	55 %
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi
Impact	8.00	8.00

Dimana kekuatan luluh maksimal (*yield strength*) steel S45C adalah 71100 psi = 49.98 kg/mm² lebih besar dari pada material (aluminium Al 6061) yang memiliki kekuatan luluh maksimal 18,84 kg/mm².

4.4.2 Mesin Press

Mesin *press* yang akan digunakan sebagai tempat *punch & dies* adalah mesin press hidrolik dengan kapasitas sampai 150 ton. Mesin tersebut adalah salah satu mesin yang digunakan oleh PT. Insera Sena dalam memproduksi rangka sepeda. Berikut ini spesifikasi dari mesin tersebut :



Gambar 4.8 Mesin Press yang ada di PT. Insera Sena

Mesin Hemming Lien Chieh

<i>Capacity</i>	: 150 ton
<i>Working pressure</i>	: 244 kg/cm ²
<i>Daylight</i>	: 2100 mm
<i>Stroke of slide</i>	: 1300 mm
<i>Shut Height</i>	: 800 mm
<i>Downwards speed</i>	: 230 mm/sec
<i>Slow downwards speed</i>	: 30-45 mm/sec
<i>Upward speed</i>	: 200 mm/sec
<i>Press pressing speed</i>	: 10 mm/sec
<i>Die Change speed</i>	: 78 mm/sec
<i>Motor</i>	: 50 hp

4.5 Perhitungan *Punch & Dies, Lower Plate*

4.5.1 Perhitungan *Dies*

4.5.1.1 Perhitungan Ketebalan *Dies*

Perhitungan ketebalan *dies* ditinjau dari tekanan bending maksimum yang bekerja pada *dies*, menurut *Vukota Buljanovic*, ketebalan minimal *dies* dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut :

- Ketebalan material yang diproses 3,55 mm
- Diameter *dies* yang direncanakan = 25 mm
- Dari tabel 2.3 nilai C_m untuk UTS material aluminium alloy Al 6061 T6 dengan $42.000 \text{ psi} = 289,58 \text{ N/mm}^2$ adalah sebesar 0.8.

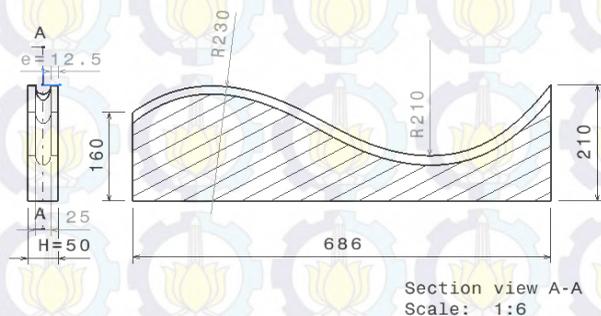
Dari persamaan (2.19) maka dilakukan perhitungan ketebalan *die* H sebagai berikut

$$H = (10 + 5 \times 3,55 + 0,7\sqrt{25 + 25}) \times 0,8$$

$$H = 26,159 \text{ mm} \approx 27 \text{ mm}$$

Lebar minimal dinding *dies* dapat dihitung dari persamaan (2.20) dimana nilai $e = (10/12) + 0,8 \times 27 = 12,3 \text{ mm}$

Dari perhitungan didapatkan ketebalan dan lebar minimal yang harus dipenuhi. Maka ketebalan dan lebar die dalam rancangan ini memenuhi persyaratan (aman). Perencanaan geometri dan dimensi *dies* direncanakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 di bawah ini.

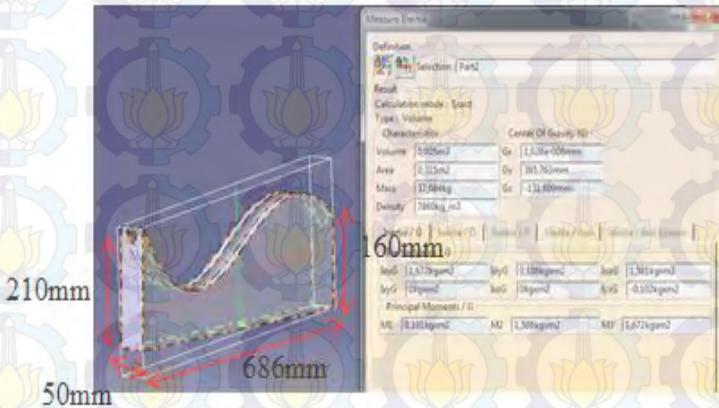


Gambar 4.9 Geometri dan Dimensi *Die*

4.5.1.2 Perhitungan Manual Analisa Tegangan pada Material Dies

Material yang dipilih untuk *dies* adalah S45C dengan tegangan tarik $\sigma_{UTS} = 265,5 \text{ N/mm}^2$. Untuk mencari tegangan yang terjadi pada material *dies*, maka dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\sigma_{dies} = \frac{F_{bending}}{A_{dies}}$$



Gambar 4.10 Luas penampang (A) *Dies* yang ditunjukkan pada CATIA

Dari perhitungan CATIA didapatkan luas penampang *dies* adalah 315.000 mm^2 . Besar gaya yang harus diterima oleh *dies* sebesar 40540 N sehingga,

$$\sigma_{dies} = \frac{40540 \text{ N}}{315000 \text{ mm}^2} = 0,128 \text{ N/mm}^2$$

Dari perhitungan manual didapatkan besarnya σ_{dies} lebih kecil dari σ_{UTS} , sehingga rancangan *dies* aman. Agar dalam penggunaannya *dies* tidak mudah aus perlu dilakukan proses pengerasan (heat treatment).

4.5.2 Perhitungan *Punch*

Pada perencanaan *punch* ini akan dihitung dari gaya bending yang terjadi. Tegangan tersebut digunakan untuk mencari panjang *punch*. Untuk mendapatkan panjang *punch* maksimal dapat digunakan persamaan (2.21)

$$L_{punch} = \frac{l_k}{8} \sqrt{\frac{E \cdot (w)}{t_s \cdot \sigma_{UTS}}}$$

Dimana : $l_k = 4(p+l+t) = 4(686+50+140)\text{mm} = 3504 \text{ mm}$

$t_s = 6 \text{ mm}$ (asumsi tebal plat 2 kali)

$E \text{ S45C} = 29700 \text{ ksi} = 20886,94 \text{ kg/mm}^2$ (tabel 4.3)

$w = 513 \text{ mm}$

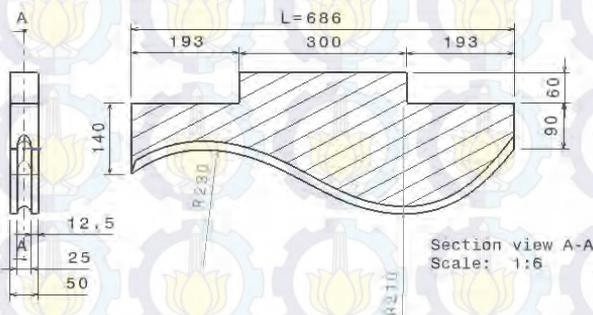
$\sigma_{UTS} \text{ S45C} = 99600 \text{ psi} = 70,045 \text{ kg/mm}^2$ (tabel 4.3)

Sehingga,

$$\begin{aligned} L_{punch} &= \frac{3504}{8} \sqrt{\frac{20886,94 \cdot (513)}{6 \cdot 70,045}} \\ &= 1069,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan panjang *punch* maksimal diketahui 1069,6mm sedangkan yang akan kita rancang sebesar 686 mm maka panjang *punch* tersebut memenuhi persyaratan.

Perencanaan dan geometri dan dimensi *punch* direncanakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Geometri dan Dimensi *Punch*

4.5.3 Desain *Lower Plate*

Lower Plate pada perancangan ini digunakan sebagai pengikat *dies* dan dipasang pada *bolster* mesin press menggunakan *clamp*. Dalam perencanaan *lower plate* ini, geometri yang direncanakan adalah sebagai berikut :

Panjang (p) = 686 mm

Lebar (l) = 150 mm

Tebal = 25 mm

Dimensi dari *lower plate* direncanakan sesuai dengan posisi dan letak dari komponen *dies*. Bahan yang dipakai untuk *lower plate* adalah S45C dengan nilai $E = 20887 \text{ kg/mm}^2$, *poisson ratio* = 0,29, *yield strength* = $49,99 \text{ kg/mm}^2$.

Menurut *F.W. Wilson* (1965), untuk mendapatkan ketebalan dari *lower plate* dapat menggunakan persamaan (2.22) berikut :

$$h^3 = \frac{0,0284 \times q \times l^4}{E \times \delta [1,056 \left(\frac{l}{p}\right)^5 + 1]} - H$$

Dimana :

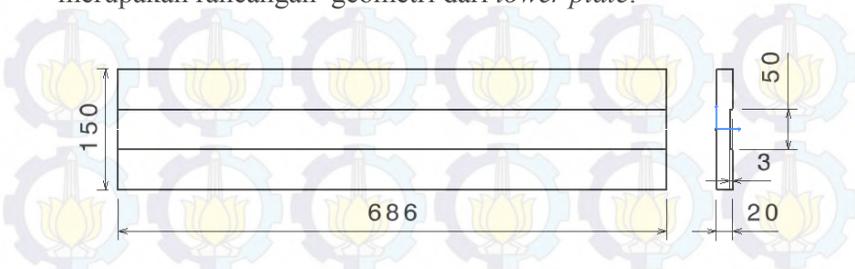
- Lebar desain *lower plate* $l = 150 \text{ mm}$
- Panjang tumpuan $p = 686 \text{ mm}$
- Ketebalan *dies* $H = 20 \text{ mm}$
- Defleksi yang diijinkan $\delta = 0.025 \text{ mm}$
- Modulus elastisitas bahan $E = 29700 \text{ ksi} = 20887 \text{ kg/mm}^2$
- Beban terhadap luasan area *dies* $q = 2500 \text{ kg}$ (gaya *bending*)

$$h^3 = \frac{0.025 \times 2500 \times 150^4}{20887 \times 0.025 [1,056 \left(\frac{150}{686}\right)^5 + 1]} - 20$$

$$h = 13,47 \text{ mm}$$

Sehingga ketebalan minimum *lower plate* adalah $h \approx 14 \text{ mm}$, sedangkan yang direncanakan adalah 20 mm. Dari perhitungan maka dapat disimpulkan *lower plate* memenuhi

kriteria *safe design*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.12 merupakan rancangan geometri dari *lower plate*.



Gambar 4.12 Geometri dan Dimensi *lower plate*

4.5.4 Pemilihan *Dowel Pin* dan *Baut*

Dowel pin berfungsi untuk memperkuat kedudukan komponen pada *punch* sehingga tidak bergeser saat proses pembentukan. Selain itu, *dowel pin* juga dapat berfungsi sebagai penepat antar komponen saat dilakukan proses *assembly*.

4.5.4.1 Pemilihan *Baut Punch*

Dowel pin material : 52100 dengan yield stress $\sigma = 1200$ kgf/mm²

Maksimum *shear stress* yang diizinkan :

$$\tau = \frac{\sigma}{\text{safety factor}}$$

$$\tau = \frac{1200 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}{5} = 240 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Dowel pin didesain untuk menahan beban sebesar 40540 N \approx 4134 kgf. Di dalam perencanaan *dowel pin* yang digunakan adalah 2 buah sehingga setiap *dowel pin* menahan beban sebesar 4134 kgf / 2 = 2067 kgf.

$$P = A \times \tau$$

$$P = \pi D^2 \times \frac{\tau}{4}$$

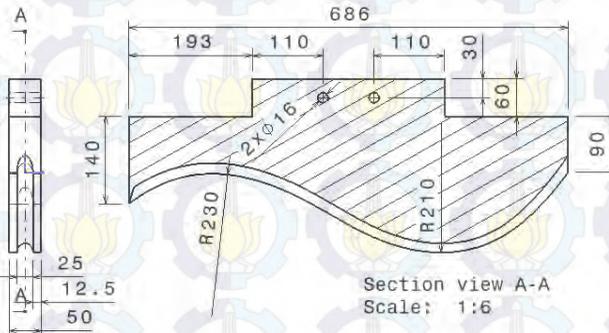
$$D = \sqrt{\frac{4 \times P}{\pi \times \tau}} = \sqrt{\frac{4 \times 2067 \text{ kgf}}{\pi \times 24 \text{ kgf}}} = 10,47$$

Dari hasil yang didapatkan, supaya baut lebih aman dikalikan faktor keamanan 1,5, sehingga diameter *dowel pin* yang dibutuhkan adalah $1,5(10,47) = 15,705 \text{ mm}$. Berdasarkan *catalog dowel pin*, maka diameter *dowel pin* yang dipilih adalah $\text{Ø}16 \text{ mm}$ dengan panjang 60 mm.

Beban yang ditimbulkan akibat kompresi *punch* saat melakukan proses *forming* adalah 4134 kgf. Dengan menggunakan *dowel pin* $\text{Ø}16 \text{ mm}$ sebanyak 2 buah maka besarnya tegangan yang diterima pada tiap baut adalah :

$$\sigma_{\text{baut}} = \frac{P}{n \cdot A} = \frac{4134 \text{ kgf}}{2 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 \text{ mm}^2} = 10,3 \text{ kgf/mm}^2$$

Besar tegangan kompresi *punch* yang diterima oleh setiap *dowel pin* tidak melebihi batas $\sigma_{t\text{-ijin}}$ sebesar 24 kgf/mm^2 sehingga desain dikatakan aman. Dari perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan dimensi $\text{Ø}16 \text{ mm}$ desain *dowel pin* akan aman. Geometri lubang *dowel pin* dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Geometri lubang *dowel pin* pada *punch*

4.5.4.2 Pemilihan Baut *Dies - Lower Plate*

Untuk pemilihan baut *dies - lower plate* direncanakan baut yang digunakan adalah 4 buah. Material baut SCM435 dengan *yields stress* $\sigma = 120 \text{ kgf/mm}^2$.

$$\tau = \frac{\sigma}{\text{safety factor}}$$

$$\tau = \frac{120 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}{5} = 24 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Baut didesain untuk menahan beban sebesar $40540 \text{ N} \approx 4134 \text{ kgf}$. Di dalam perencanaan baut yang digunakan adalah 4 buah sehingga setiap baut menahan beban sebesar $4134 \text{ kgf} / 4 = 1033,5 \text{ kgf}$

$$P = A \times \tau$$

$$P = \pi D^2 \times \frac{\tau}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times P}{\pi \times \tau}} = \sqrt{\frac{4 \times 1033,5 \text{ kgf}}{\pi \times 24 \text{ kgf}}} = 7,5$$

Dari hasil yang didapatkan, supaya baut lebih aman dikalikan faktor keamanan 1,5, sehingga diameter baut yang dibutuhkan adalah $1,5(7,5) = 11,25 \text{ mm}$. Berdasarkan *catalog bolt*, maka diameter baut yang dipilih adalah M12 dengan panjang 30 mm.

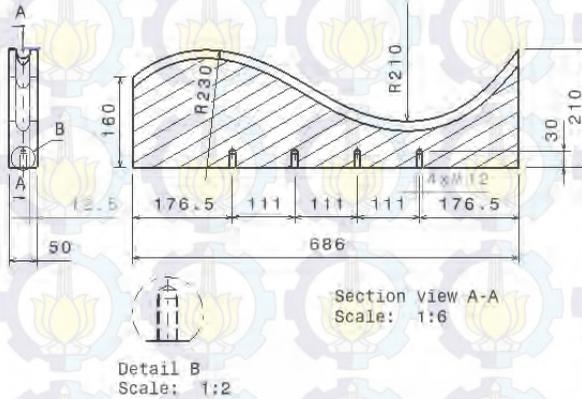
Besar tegangan tarik pada baut tidak boleh melebihi batas kekuatan tarik baut sehingga baut yang digunakan aman. Beban yang ditimbulkan akibat kompresi *dies - lower plate* saat melakukan proses *forming* adalah 4134 kgf. Dengan menggunakan baut M12 sebanyak 4 buah maka besarnya tegangan yang diterima pada tiap baut adalah :

$$\sigma_{\text{baut}} = \frac{P}{n \cdot A} = \frac{4134 \text{ kgf}}{4 \times \frac{\pi}{4} \times 12^2 \text{ mm}^2} = 9,1 \text{ kgf/mm}^2$$

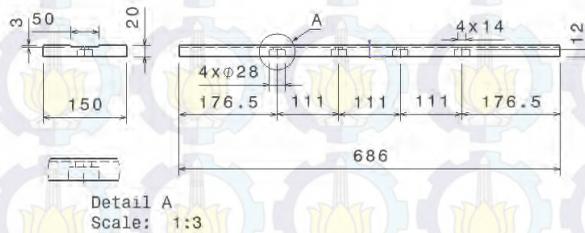
Besar tegangan kompresi *dies - lower plate* yang diterima oleh setiap baut tidak melebihi batas σ_{t-ijin} sebesar 24 kgf/mm^2

sehingga desain dikatakan aman. Dari perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan dimensi baut M12 desain akan aman.

Seperti yang terlihat pada gambar 14.14 a dan b merupakan rancangan geometri baut pada *dies* dan *lower plate*.



a)

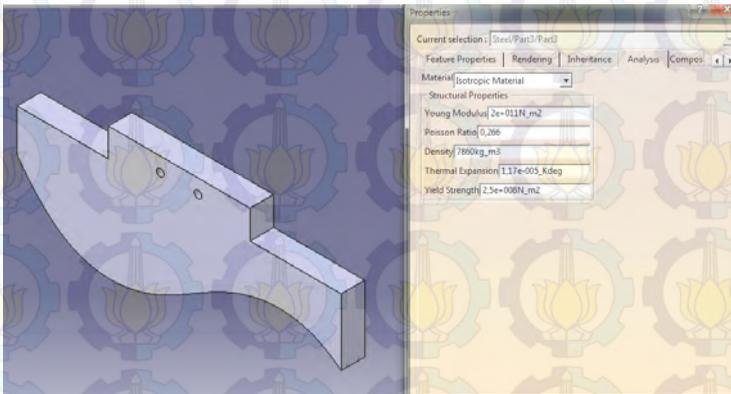


b)

Gambar 4.14 a) Geometri lubang baut pada *dies*
b) Geometri lubang baut pada *lower plate*

4.6 Perhitungan Tegangan Material *Punch & Dies, Lower Plate* dengan Menggunakan Software Catia

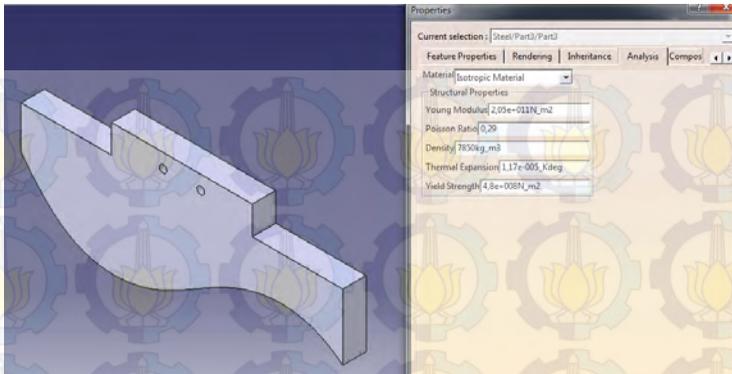
Untuk melakukan analisis dengan software catia, perlu melakukan perubahan data-data pada properties material. Karena yang ada di Catia berbeda dengan yang dipakai oleh perusahaan. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.15 Properties material *steel* pada CATIA V5R17

Untuk itu ada parameter-parameter properties tersebut perlu disesuaikan dengan properties material (pada tabel 4.3) seperti pada gambar 4.16, diantaranya

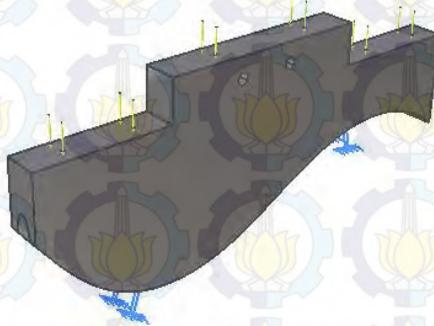
- *Modulus of elasticity* 205 Gpa = $2,05 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
- *Poissons ratio* 0,290
- *Density* 7,85 g/cc
- *Tensile strength, yield* 71100 Psi = $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$



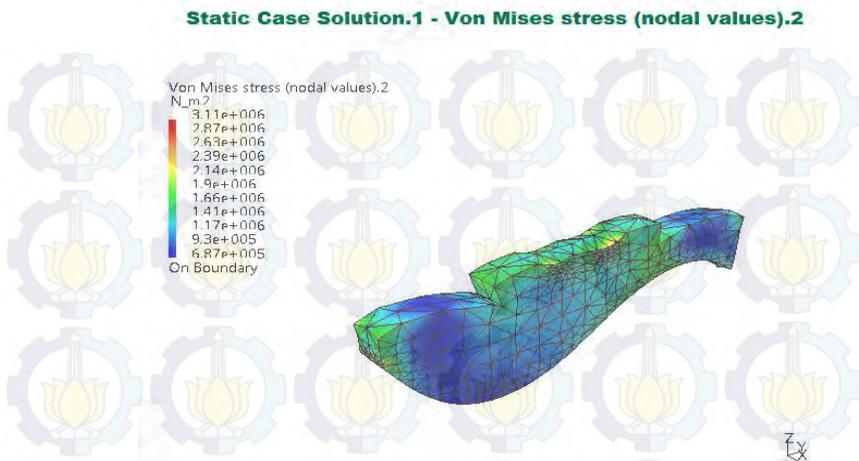
Gambar 4.16 Properties material *steel* ST45C yang sudah disesuaikan dengan standart pabrikan pada CATIA V5R17

4.6.1 *Punch*

Pressure yang dipilih untuk pembebanan terhadap *punch* yaitu 30 ton dan diberi cekaman seperti pada gambar 4.17, sehingga didapatkan hasil analisa kekuatan seperti pada gambar 4.18 di bawah ini.



Gambar 4.17 Pemberian *pressure* dan cekaman pada material *punch* dengan menggunakan simulasi pada CATIA V5R17



Gambar 4.18 Hasil analisa tegangan material *Punch* dengan menggunakan software CATIA V5R17

Dari hasil analisa kekuatan material dengan menggunakan software catia V5R17 didapat kekuatan luluh maksimal yang terjadi akibat pembentukan pipa frame $3,11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dimana hasil tersebut lebih kecil daripada kekuatan luluh maksimal yang ditunjukkan oleh material S45C yaitu $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dengan demikian perencanaan punch aman, karena tegangan luluh yang terjadi lebih kecil dari tegangan luluh yang diijinkan.

4.6.2 Dies

Karena *pressure* yang dipilih adalah 30 ton dan diberi cekaman seperti pada gambar 4.19. Sehingga didapatkan hasil analisa kekuatan seperti pada gambar 4.20 di bawah ini.

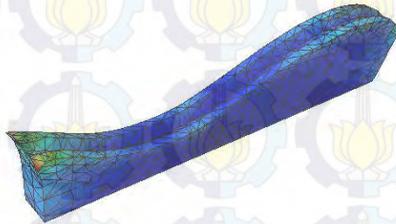


Gambar 4.19 Pemberian *pressure* dan cekaman pada material *Dies* dengan menggunakan simulasi pada CATIA V5R17

Static Case Solution.1 - Von Mises stress (nodal values).2

Von Mises stress (nodal values).2
N/m²

8.02e+006
8.17e+006
7.33e+006
6.48e+006
5.64e+006
4.79e+006
3.94e+006
3.1e+006
2.25e+006
1.41e+006
5.63e+005
On Boundary

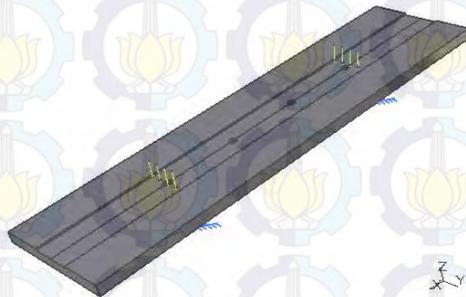


Gambar 4.20 Hasil analisa tegangan material *Die* dengan menggunakan software CATIA V5R17

Dari hasil analisa kekuatan material dengan menggunakan software catia V5R17 didapat kekuatan luluh maksimal yang terjadi akibat pembentukan pipa frame adalah $9,02 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, sedangkan kekuatan luluh maksimal yang ditunjukkan oleh material S45C adalah $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Dengan demikian perencanaan *dies* aman, karena tegangan luluh yang terjadi lebih kecil dari tegangan luluh yang diijinkan.

4.6.3 *Lower Plate*

Pressure yang dipilih untuk pembebanan terhadap *Lower Plate* yaitu 30 ton dan diberi cekaman seperti pada gambar 4.21, sehingga didapatkan hasil analisa kekuatan seperti pada gambar 4.22 di bawah ini.



Gambar 4.21 Pemberian *pressure* dan cekaman pada material *Lower Plate* dengan menggunakan simulasi pada CATIA V5R17

Static Case Solution.1 - Von Mises stress (nodal values).2



Gambar 4.22 Hasil analisa tegangan material *Lower Plate* dengan menggunakan software CATIA V5R17

Dari hasil analisa tegangan material dengan menggunakan software catia V5R17 didapat kekuatan luluh maksimal yang terjadi akibat pembentukan pipa frame adalah $3,57 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, sedangkan kekuatan luluh maksimal yang ditunjukkan oleh material S45C adalah $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Dengan demikian perencanaan *lower plate* aman, karena tegangan luluh yang terjadi lebih kecil dari tegangan luluh yang diijinkan.

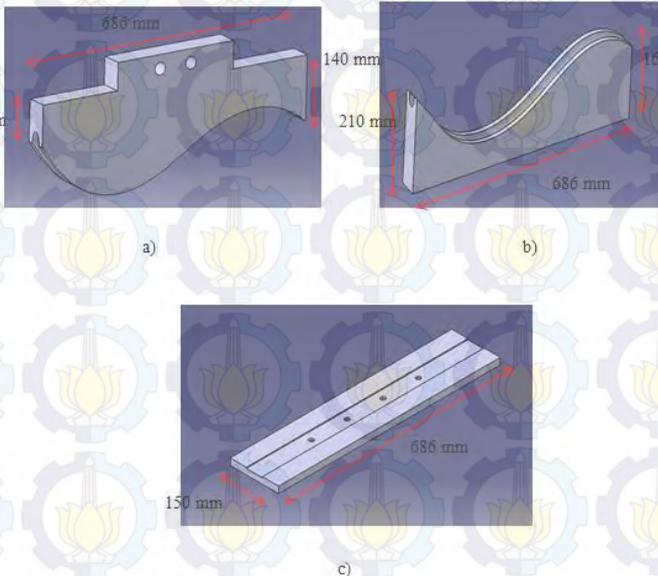
BAB V

PERANCANGAN PROSES MANUFAKTUR *PUNCH, DIES & LOWER PLATE*

5.1 Perencanaan Proses Manufaktur

Perencanaan proses manufaktur disini adalah proses manufaktur yang dilakukan untuk membuat komponen *punch & dies* kecuali komponen standart.

Berikut ini komponen-komponen yang akan dirancang proses manufakturnya, seperti yang terlihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 a) *Punch* , b) *Die*, c) *Lower Plate*

5.1.1 Proses Pembuatan *Punch*

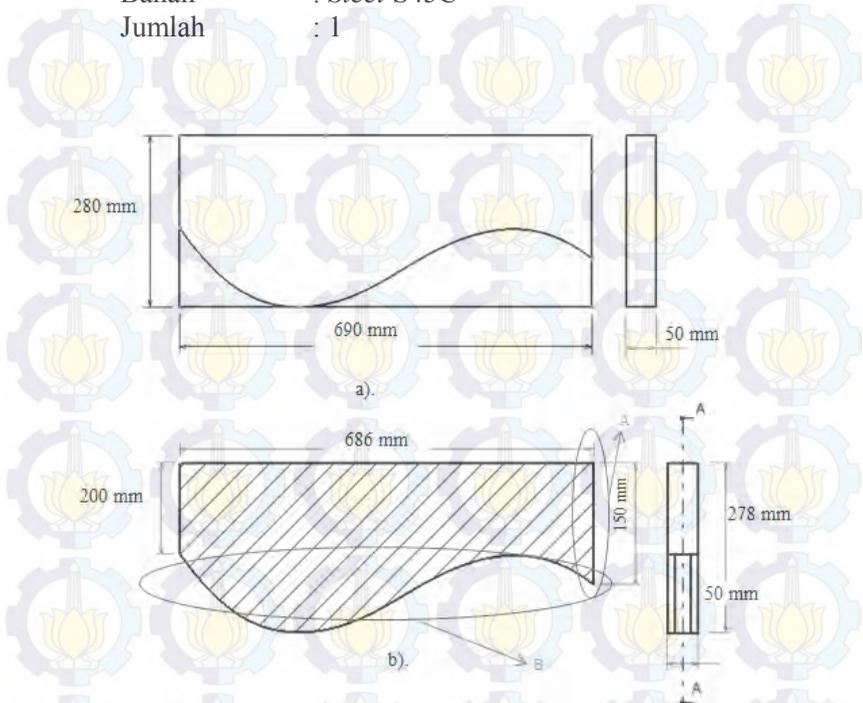
Nama Bagian : *Punch*

Ukuran material awal : 690 mm x 50 mm x 280 mm

Ukuran produk : 686 mm x 50 mm x 280 mm

Bahan : *Steel S45C*

Jumlah : 1



Gambar 5.2 a) material awal , b) material yang sudah di *milling CNC* pada material *punch*

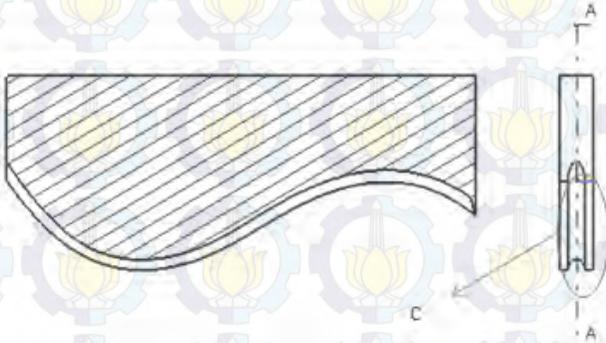
Proses pemesinan yang dilakukan pada tahap ini seperti gambar 5.2 adalah :

- *Milling CNC*

Pada proses ini dilakukan pengurangan ukuran benda kerja yang disesuaikan dengan ukuran rancangan, dari panjang material benda kerja 690 mm menjadi 686 mm (A).

- *Milling CNC*

Pada proses ini dilakukan pengurangan ukuran benda kerja yang disesuaikan dengan desain alur yang kita rancang sepanjang 686 mm (B).



Gambar 5.3 Proses *milling* CNC pembuatan cekungan pada *punch*

Proses pemesinan yang dilakukan tahap ini seperti gambar 5.3 adalah :

- *Milling CNC*

Untuk mendapatkan cekungan alur sesuai profil rangka pipa utama sepeda (C) dengan menggunakan mesin *milling* CNC. Jenis pisau *milling* yang digunakan adalah *cutter* radius cekung dengan diameter 25 mm

Proses selanjutnya adalah membuat bagian pegangan *punch* ukuran 300 mm dan 60 mm seperti pada gambar 5.4, proses ini dikerjakan dengan *milling* CNC.

Tabel 5.1 Urutan proses *drilling* pada *punch*

No	✓	Proses
101		Pelajari gambar dan periksa bahan
102		<i>Setting</i> mesin bubut
104		Cekam dengan menggunakan <i>chuck</i>
105	N8	<i>Center drill</i> (0;0)
110	N8	<i>Drill</i> lubang 1 dengan $\text{Ø}12$ hingga tembus
115	N8	<i>Drill</i> lubang 2 dengan $\text{Ø}12$ hingga tembus
120	N8	<i>Drill</i> lubang 1 dengan $\text{Ø}16$ hingga tembus
125	N8	<i>Drill</i> lubang 2 dengan $\text{Ø}16$ hingga tembus
140	N8	<i>Deburring</i> lubang 1
145	N8	<i>Deburring</i> lubang 2
201		pemeriksaan

5.1.2 Proses Pembuatan *Dies*

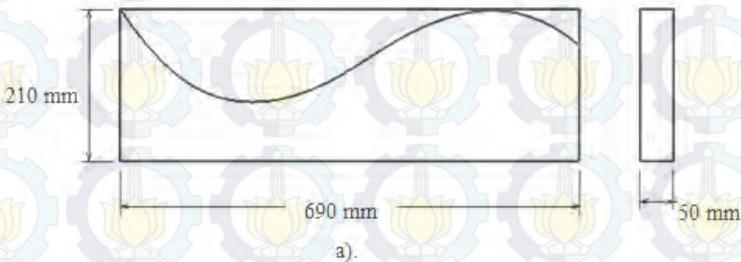
Nama Bagian : *Dies*

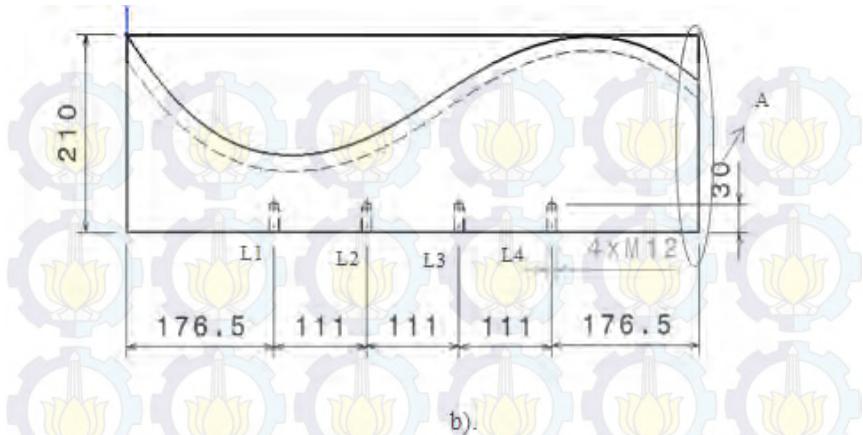
Ukuran material awal : 690 mm x 50 mm x 210 mm

Ukuran produk : 686 mm x 50 mm x 210 mm

Bahan : *Steel S45C*

Jumlah : 1





Gambar 5.6 a) material awal , b) material yang sudah di *milling CNC*, *drilling* dan tap ulir pada material *dies*

Proses pemesinan yang dilakukan pada tahap ini seperti gambar 5.6 adalah :

- *Milling CNC*

Pada proses ini dilakukan pengurangan ukuran benda kerja yang disesuaikan dengan ukuran rancangan, dari panjang material benda kerja 690 mm menjadi 686 mm (A).

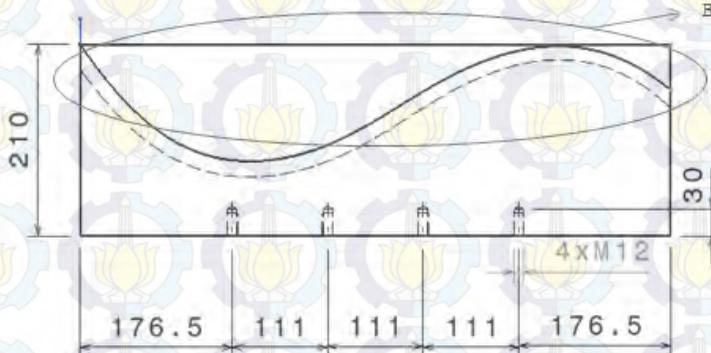
- *Drilling* dan tap ulir

Proses ini dilakukan diawal karena untuk mempermudah pengerjaanya sebelum pembentukan alur. Terdapat 4 lubang diameter 12 mm dengan kedalaman 30 mm, mata drill yang digunakan yaitu diameter 12 mm dengan tap ulir M12.

Adapun urutan proses pengerjaan drilling dan tap ulir pada *dies* dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Urutan proses *drilling* dan tap ulir pada *dies*

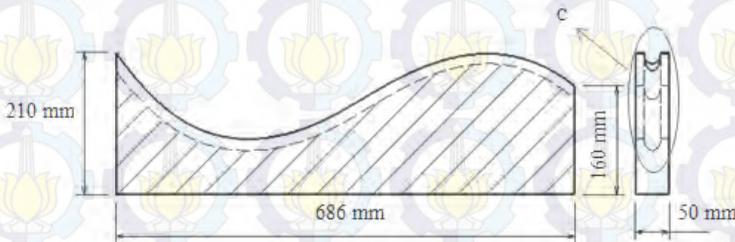
No	✓	Proses
101		Pelajari gambar dan periksa bahan
102		<i>Setting</i> mesin bubut
104		Cekam dengan menggunakan <i>chuck</i>
105	N8	<i>Center drill</i> (0;0)
110	N8	<i>Drill</i> lubang L1 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
115	N8	<i>Drill</i> lubang L2 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
120	N8	<i>Drill</i> lubang L3 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
125	N8	<i>Drill</i> lubang L4 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
150	N8	Tap ulir lubang L1 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
155	N8	Tap ulir lubang L2 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
160	N8	Tap ulir lubang L3 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
165	N8	Tap ulir lubang L4 dengan $\text{Ø}12$ sedalam 30 mm
201		Periksa benda kerja

**Gambar 5.7** Proses *milling* CNC pada material *dies*

Proses pemesinan yang dilakukan pada tahap ini seperti gambar 5.7 adalah :

- *Milling CNC*

Untuk memperoleh alur yang diharapkan sesuai dengan desain, proses yang dipilih adalah *milling* CNC sepanjang 686 mm dengan tebal 50 mm (B).



Gambar 5.8 Proses *milling* CNC pembuatan cekungan pada *dies*

Proses pemesinan yang dilakukan tahap ini seperti gambar 5.8 adalah :

- *Milling CNC*

Untuk mendapatkan cekungan alur sesuai profil rangka pipa utama sepeda dengan menggunakan mesin *milling* CNC. Jenis pisau *milling* yang digunakan adalah *cutter* radius cekung dengan diameter 25 mm (C).

5.1.3 Proses Pembuatan *Lower Plate*

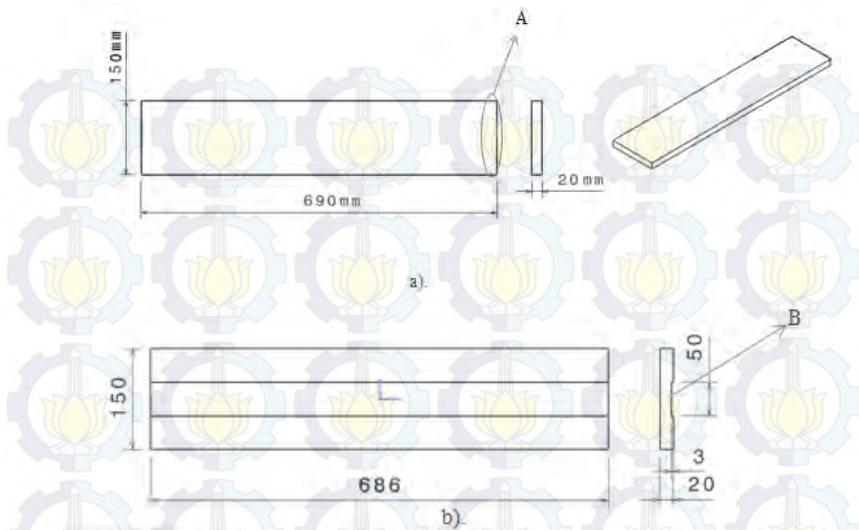
Nama Bagian : *Lower Plate*

Ukuran material awal : 690 mm x 150 mm x 20 mm

Ukuran produk : 686 mm x 150 mm x 20 mm

Bahan : *Steel S45C*

Jumlah : 1



Gambar 5.9 Proses *milling* CNC pembuatan *lower plate* a). Ukuran material awal b). Dimensi produk setelah proses

Proses pemesinan pembuatan produk *lower plate* tahap ini seperti gambar 5.9 adalah :

- *Milling* CNC

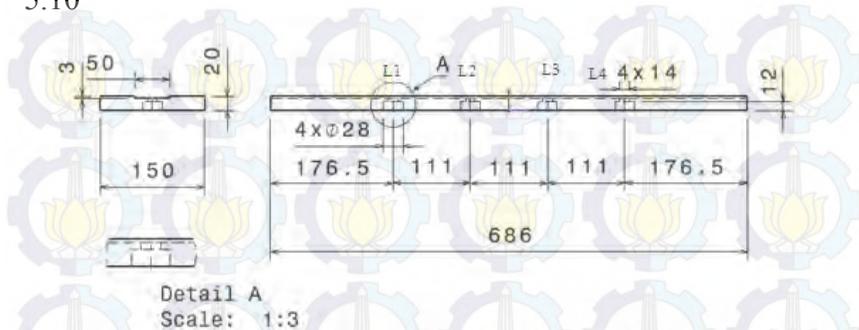
Pada proses ini dilakukan pengurangan ukuran benda kerja yang disesuaikan dengan ukuran rancangan, dari panjang material benda kerja 690 mm menjadi 686 mm (A).

- *Milling* CNC

Untuk mendapatkan dimensi produk sesuai dengan desain, proses pengerjaannya menggunakan mesin *milling* CNC. Pahat yang digunakan adalah diameter 25 mm sepanjang 686 mm dengan kedalaman 3 mm (B).

Tahap selanjutnya adalah pembuatan lubang dengan drill diameter 20, lubang yang dibuat ada 4, kemudian *counterbore* dengan diameter 28 mm sedalam. Mata bor yang digunakan adalah diameter $\text{Ø}14$ mm dan *counterbore*

diameter 28 mm dengan hasil yang terlihat pada gambar 5.10



Gambar 5.10 Proses *drilling* dan *counterbore* pada *lower plate*

Adapun urutan proses *drilling* dan *counterbore* pada *lower plate* dapat dilihat pada tabel 5.3, dengan menggunakan pahat *drill* Ø14mm dan *counterbore* Ø28mm.

Tabel 5.3 Urutan proses *drilling* dan *counterbore* pada *lower plate*

No	✓	Proses
101		Pelajari gambar dan periksa bahan
102		Setting mesin bubut
104		Cekam dengan menggunakan <i>chuck</i>
105	N8	<i>Center drill</i> (0:0)
110	N8	<i>Drill</i> lubang L1 dengan Ø14 sampai tembus
115	N8	<i>Drill</i> lubang L2 dengan Ø14 sampai tembus
120	N8	<i>Drill</i> lubang L3 dengan Ø14 sampai tembus
125	N8	<i>Drill</i> lubang L4 dengan Ø14 sampai tembus
150	N8	<i>counterbore</i> L1 dengan Ø28 sedalam 12 mm
155	N8	<i>counterbore</i> L2 dengan Ø28 sedalam 12 mm
160	N8	<i>counterbore</i> L3 dengan Ø28 sedalam 12 mm
165	N8	<i>counterbore</i> L4 dengan Ø28 sedalam 12 mm
201		Periksa benda kerja

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

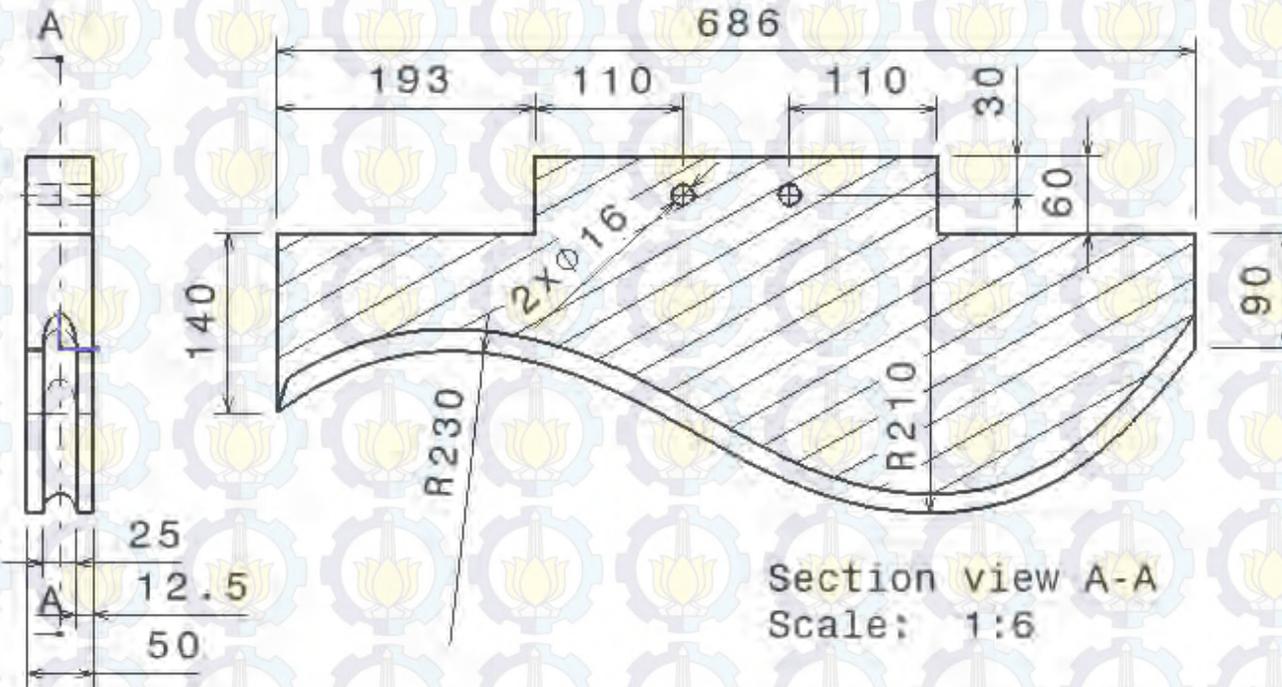
Adapun kesimpulan yang diperoleh dalam tugas akhir ini adalah :

1. Proses pembuatan rangka utama sepeda ITS terdiri dari 2 tahapan yaitu proses *bending* dan *pressing*. Proses tersebut dilakukan secara manual sehingga dapat menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan geometri yang diinginkan. Dan untuk diproduksi secara massal perlu adanya suatu alat bantu yang bisa mengefisiensi waktu secara cepat dan sesuai target, maka perlu dirancang *punch & dies* agar lebih menghemat waktu serta produk yang dihasilkan mempunyai geometri yang sama sehingga mengurangi cacat produk.
2. *Punch & dies* yang dirancang mampu menahan gaya untuk pembentukan. Dari hasil perhitungan kekuatan luluh maksimal pada *punch* adalah $3,11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, lebih kecil daripada kekuatan luluh maksimal yang ditunjukkan oleh material S45C yaitu $4,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, sehingga rancangan *punch* aman digunakan. Sedangkan untuk perancangan *die* dari hasil perhitungan kekuatan luluh maksimal sebesar $9,02 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ lebih kecil dari kekuatan luluh maksimal material S45C, maka perancangan *die* tersebut aman. Pada perancangan *lower plate* didapat hasil perhitungan kekuatan luluh maksimal adalah $3,57 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, lebih kecil dari kekuatan luluh maksimal material S45C, maka perancangan *lower plate* tersebut aman.
3. Proses pembentukan *punch* meliputi *milling CNC* dan *drilling*. Pada proses pembentukan *dies* meliputi *milling CNC*, *drilling* dan tap ulir. Dan untuk proses pembentukan *lower plate* meliputi *milling CNC*, *drilling*,serta *counterbore*.

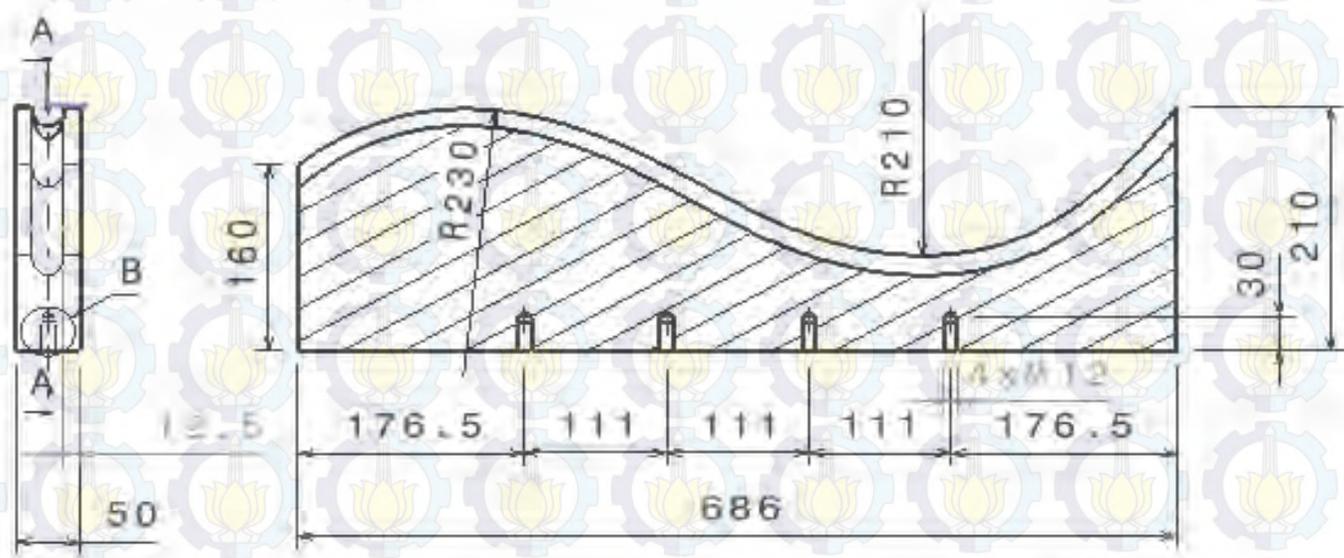
6.2 Saran

Dari perancangan yang telah dilakukan, didapatkan beberapa saran untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya yaitu :

1. Agar dalam penggunaan *punch & dies* tidak mudah aus perlu dilakukan proses pengerasan (*heat treatment*).
2. Penelitian tentang analisa pembentukan seperti adanya *springback*, *buckling* dipelajari lebih lanjut.

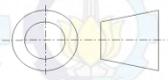


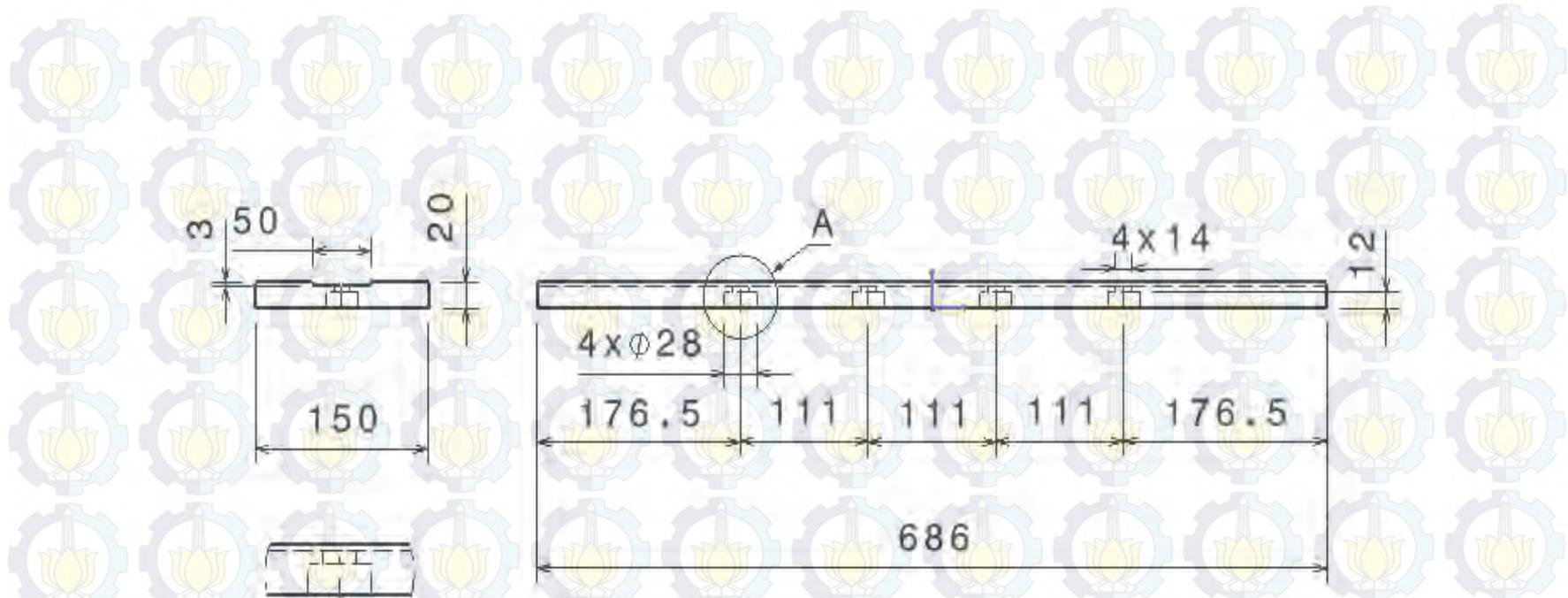
NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN	
		SKALA : 1:4	DIGAMBAR : RIZKY YULIAN SYAH		PERINGATAN :	
		SATUAN : mm	NRP : 2110100066			
		TGL : 11/01/2016	DIPERIKSA : Prof. Dr. Ing. I M LONDEN B. M.Eng			
TEKNIK MESIN ITS	PUNCH				NO.	A4



Detail B
Scale: 1:2

Section view A-A
Scale: 1:6

NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN	
		SKALA : 1:4	DIGAMBAR : RIZKY YULIAN SYAH		PERINGATAN :	
		SATUAN : mm	NRP : 2110100066			
		TGL : 11/01/2016	DIPERIKSA : Prof. Dr. Ing. I M LONDEN B. M.Eng			
TEKNIK MESIN ITS		DIES			NO.	A4



Detail A
Scale: 1:3

NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN	
		SKALA : 1:4	DIGAMBAR : RIZKY YULIAN SYAH		PERINGATAN :	
		SATUAN : mm	NRP : 2110100066			
		TGL : 11/01/2016	DIPERIKSA : Prof. Dr. Ing. I M LONDEN B. M.Eng			
TEKNIK MESIN ITS		LOWER PLATE			NO.	A4

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adrean. Rudy, *Rancang Bangun Sepeda Multigender*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS (2014)
- [2] Batan. I Made Londen, *Pengembangan Produk*. Surabaya: Diktat Kuliah Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS (2012)
- [3] Boljavonic. Vukota, Ph.D, *Sheet metal Forming Processes and Die Design*. New York: Industrial Press (2004)
- [4] F. W. Wilson, P. D. Harvey and C. B. Gump, *Die Design HandBook*. McGraw-Hill (1965)
- [5] Hermawan. Yuni, *Studi Pengaruh Internal Pressure Terhadap Ovalisasi dan Springback Pada Proses Bending Pipa Circular*, Surabaya: TESIS Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS (2007)
- [6] Hibbeler. R.C, *Mechanics of Materials*. New York: Pearson - Prentice Hall (2008)
- [7] Rochim. Taufiq, *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (1985)
- [8] Pollack, Herman W., "*Tool Design Second Edition*", Prentice-Hall, New Jersey (1988)
- [9] Suchy. I, *Handbook of Die Design*. United States of America: The Mc Graw Hill Companies (2006)
- [10] Windra. Dadang, *Perancangan Fixture Untuk Pembentukan*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS (2012)
- [11] Yudistira. Agung, *Pengembangan Rangka Sepeda ITS*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS (2015)
- [12] Deutshman. Aaron D, *Machine Design Theory and Practice*. New York: Macmillan Publishing Co. Inc (1975)
- [13] Paquin. J. R, Crowley, R. E, *Die Design Fundamentals 2nd*. Tennessee: Industrial Press Inc (1983)



BIOGRAFI



Rizky Yulian Syah lahir di kota Lamongan pada 30 Juli 1992, merupakan anak pertama (ke-1) dari Bapak Imam Basori dan Ibu Muhayatin yang mempunyai 1 adik kandung yang bernama Rif'atus Sulkha Rahmawati. Penulis menempuh pendidikan formal mayoritas di kota Lamongan yaitu SDN Tumenggungan 2 (1998-2004), SMPN 1 Lamongan (2004-2007) dan SMAN 2 Lamongan(2007-2010). Setelah lulus

SMA, penulis melanjutkan pendidikan ke tahap sarjana di jurusan teknik mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama kuliah penulis menjadi anggota aktif Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk. Penulis juga aktif berkecimpung mengikuti kegiatan-kegiatan Ormawa Jurusan Teknik Mesin. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan diluar kampus, salah satunya yaitu anggota aktif PMI kota Surabaya.

Penulis membutuhkan saran membangun untuk membenahi diri agar menjadi lebih baik lagi. Penulis dapat dihubungi melalui email rizky_ys92@gmail.com.



Halaman ini sengaja di kosongkan