



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN DESAIN DAN KONSTRUKSI MESIN *RAPID*  
*PROTOTYPING* BERBASIS FDM (*FUSED DEPOSITION MODELING*)**

**SKRIPSI**

**SRIYANTO**

**0606073612**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JANUARI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN DESAIN DAN KONSTRUKSI MESIN  
*RAPID PROTOTYPING* BERBASIS FDM (*FUSED DEPOSITION  
MODELING*)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**SRIYANTO**

**0606073612**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JANUARI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Sriyanto

NPM : 0606073612

Tanda Tangan : 

Tanggal : Januari 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Sriyanto

NPM : 0606073612

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengembangan Desain dan Konstruksi Mesin  
*Rapid Prototyping* Berbasis FDM (*Fused  
Deposition Modeling*)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana teknik pada Program Studi, Teknik Mesin Fakultas teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir Gandjar Kiswanto, M.Eng

Penguji : Ir. Hendri D S Budiono, M.Eng

Penguji : Ir. Henky S. Nugroho, M.T.

Penguji : Dr. Ir. Danardono AS, M.Eng

Penguji : Dr. Ario S Baskoro, S.T,M.T,M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Desember 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, karena atas rahmat dan bimbingan-Nya proses pengerjaan skripsi ini dapat selesai. Pengerjaan skripsi yang dilaksanakan pada periode semester akhir masa perkuliahan ini membahas mengenai “*Pengembangan Desain dan Konstruksi Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Deposition Modelling(FDM)*”, yang secara umum berisi alur perancangan, pembuatan, dan pengujian mesin tersebut.

Laporan ini disusun sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses pengerjaan skripsi yang telah dilaksanakan tersebut. Laporan ini juga diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan mata kuliah Skripsi dalam program studi Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Dalam melaksanakan proses pengerjaan skripsi dan penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik dan mengatasi segala kesulitan dan hambatan tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada banyak pihak di antaranya:

1. Dr.Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng, selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk mengarahkan dan memberi bantuan yang sangat baik selama proses pelaksanaan skripsi ini.
2. Ayah dan Ibu serta keluarga yang selalu memberikan dukungan moril dan materiil selama pelaksanaan penelitian ini.
3. Bpk. Martinus Herlinson yang telah banyak membantu dalam hal pembuatan alat dan membantu memecahkan masalah yang dihadapi.
4. Tri Suci Lestari yang banyak mendukung dan memberi semangat dalam pelaksanaan penelitian ini.

5. Sahabat satu tim saya Andry Sulaiman, Rendi Kurniawan, Hadi Maryadi, dan Ahmad Saroni yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Teman-teman di Lab. Manufaktur, Teguh Santoso, Jediel, dan Hendra yang sering memberikan masukan-masukan yang bermanfaat.
7. Seluruh teman, dosen dan karyawan DTM FTUI yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membantu perkembangan pembahasan terkait topik laporan ini maupun bagi penulis secara pribadi. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak : penulis, teman-teman, dosen, dan lain-lain, juga bagi perkembangan keilmuan Teknik Mesin.

Terima kasih.

Jakarta, Desember 2010

**Sriyanto**

**(0606073612)**

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sriyanto  
NPM : 0606073612  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

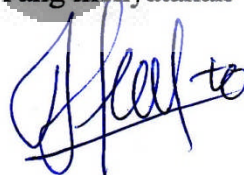
**PENGEMBANGAN DESAIN DAN KONSTRUKSI MESIN RAPID  
PROTOTYPING BERBASIS FDM (*FUSED DEPOSITION MODELING*)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 22 Desember 2010

Yang menyatakan



(Sriyanto)

## ABSTRAK

Nama : Sriyanto  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Pengembangan Desain dan Konstruksi Mesin *Rapid Prototyping*  
Berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM)

*Rapid prototyping* merupakan salah satu teknologi manufaktur yang digunakan untuk mempercepat proses pembuatan prototipe. Pembuatan prototipe sangat penting sekali dalam proses manufaktur karena prototipe merupakan acuan awal dalam penentuan biaya produksi. Teknologi *rapid prototyping* terus berkembang seiring semakin ketatnya persaingan global. Hal inilah yang mendorong dilakukannya penelitian-penelitian untuk mengembangkan mesin *rapid prototyping* agar biaya lebih efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain dan konstruksi mesin RP FDM (*Rapid Prototyping* berbasis *Fused Deposition Modelling*) agar diperoleh mesin RP FDM yang murah dan berkualitas. Penelitian yang dilakukan meliputi proses perancangan konstruksi mesin, penentuan sistem gerak, pembuatan sistem ekstruder, dan pembuatan sistem kontrol. Proses-proses tersebut dilakukan secara bertahap dan berkala. Pada akhirnya, penelitian ini menghasilkan mesin RP FDM yang mampu menghasilkan suatu produk namun dengan biaya pembuatan yang relatif murah.

Kata kunci: *rapid prototyping*, prototipe



## ABSTRACT

Name : Sriyanto

Study Program : Mechanical Engineering

Title :Developing of Design and Contruction in Rapid Prototyping Machine based on Fuse Deposition Modeling (FDM)

Rapid prototyping is one of manufacture technology used to speed up the process of prototyping. Prototyping is very important in manufacturing process because the prototyping is an initial benchmark in determining the cost of production. Rapid prototyping technology continues to grow as the increasingly global competition. This is what leads to the preliminary studies to develop a rapid prototyping machine for more efficient cost. This study aims to develop design and construction machinery RP FDM (Rapid Prototyping Fused Deposition Modelling-based) in order to obtain RP FDM machine is cheap and good quality. The research covers the design process of construction machinery, the determination of the motion system, making extruder systems, and manufacturing control systems. These processes are done in stages and periodically. Ultimately, this research produces RP FDM machine capable of producing a product, but with relatively low manufacturing costs.

Keywords : Rapid prototyping, prototype

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL DAN GRAFIK .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Perumusan Masalah .....	4
1.4 Pembatasan Masalah .....	4
1.5 Metodologi Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	7
<b>BAB II SISTEM RAPID PROTOTYPING .....</b>	<b>9</b>
2.1 Pengertian <i>Rapid Prototyping</i> .....	9
2.2 Proses <i>Rapid Prototyping</i> .....	11
2.3 Jenis-jenis <i>Rapid Prototyping</i> .....	12
2.3.1 <i>Stereolithography</i> .....	12
2.3.2 <i>Laminated Object Manufacturing</i> .....	13

2.3.3	<i>Selective Laser Sintering</i> .....	13
2.3.4	<i>Fused Deposition Modeling</i> .....	14
2.3.5	<i>Solid Ground Curing</i> .....	15
2.3.6	<i>3D Ink-Jet Printing</i> .....	16
2.4	<i>Material Rapid Prototyping</i> .....	16

### **BAB III PENGEMBANGAN DESAIN MESIN RP FDM ..... 18**

3.1	Alur Proses Perancangan .....	18
3.2	Konsep Desain .....	19
3.3	Desain Mesin <i>Rapid Prototyping</i> FDM 1 .....	19
3.4	Desain Mesin <i>Rapid Prototyping</i> FDM 2 .....	21
3.5	Desain Mesin <i>Rapid Prototyping</i> FDM 3 .....	23
3.6	Desain Mesin <i>Rapid Prototyping</i> FDM 4 .....	24
3.7	Desain Ekstruder .....	26
3.7.1	Desain Ekstruder 1 .....	26
3.7.2	Desain Ekstruder 2 .....	27
3.7.3	Desain Ekstruder 3 .....	29
3.8	Sistem Gerak .....	31
3.8.1	Motor Stepper .....	29
3.8.2	<i>Ballscrew</i> .....	33
3.8.3	<i>Pulley dan Belt</i> .....	34
3.8.4	Linear Guideway .....	35
3.9	Pengembangan Mesin RP FDM .....	36
3.10	Analisis Pembebanan Statik .....	39
3.10.1	Teori Prediksi Kegagalan .....	39
3.10.2	Penentuan <i>Safety Factor</i> .....	41

3.10.3 Analisis dengan Perangkat lunak .....	44
<b>BAB IV PROSES MANUFAKTUR MESIN <i>RAPID PROTOTYPING</i> .....</b>	<b>60</b>
4.1 Alur Proses Manufaktur .....	60
4.2 Pembuatan Gambar Kerja .....	61
4.3 Pemilihan Material dan Proses .....	61
4.4 Mesin dan alat yang digunakan .....	66
4.5 Proses pengerjaan .....	67
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS KEAKURATAN MESIN .....</b>	<b>104</b>
5.1 Tujuan Pengujian .....	104
5.2 Prosedur Penggunaan CMM .....	104
5.3 Pengukuran pada Komponen Sumbu Y .....	110
5.4 Pengukuran pada Komponen Sumbu Z .....	112
5.5 Pengukuran pada Komponen Sumbu X .....	115
5.6 Pengukuran pada Komponen Batang Atas .....	116
5.3 Pengukuran pada Komponen Batang Atas-bawah .....	118
<b>BAB VI ANALISA PENGARUH PANAS TERHADAP KONSTRUKSI</b>	
6.1 Pengukuran Suhu Komponen .....	120
6.2 Perhitungan Besarnya Pemuaiian .....	121
<b>BAB VII PENELITIAN LEBIH LANJUT .....</b>	<b>124</b>
7.1 Kesimpulan .....	124
7.2 Saran .....	125
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>126</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	: Proses <i>rapid prototyping</i> .....	3
Gambar 2.1	: Proses <i>rapid prototyping</i> .....	10
Gambar 2.2	: Tahap <i>rapid prototyping</i> .....	11
Gambar 2.3	: Proses <i>stereolithography</i> .....	12
Gambar 2.4	: Proses <i>Laminated Object Manufacturing</i> .....	13
Gambar 2.5	: Proses <i>selective laser sintering</i> .....	14
Gambar 2.6	: Proses <i>fused deposition modelling</i> .....	15
Gambar 2.7	: Proses <i>solid ground curing</i> .....	15
Gambar 2.8	: Proses <i>3-D Ink Jet Printing</i> .....	16
Gambar 3.1	: Alur Proses Perancangan .....	18
Gambar 3.2	: Desain mesin <i>rapid prototyping</i> FDM 1 .....	20
Gambar 3.3	: Desain mesin <i>rapid prototyping</i> FDM 2 .....	22
Gambar 3.4	: Cara kerja mesin RP FDM 2 .....	22
Gambar 3.5	: Desain mesin RP FDM 3 .....	23
Gambar 3.6	: Desain mesin RP FDM 4 .....	24
Gambar 3.7	: Flowchart komponen mesin RP FDM 4 .....	25
Gambar 3.8	: Desain ekstruder 1 .....	26
Gambar 3.9	: Desain ekstruder 2 .....	28
Gambar 3.10	: Desain ekstruder 3 .....	30
Gambar 3.11	: Motor stepper 5 fase .....	31
Gambar 3.12	: Karakteristik motor stepper .....	32
Gambar 3.13	: <i>Ballscrew</i> .....	33

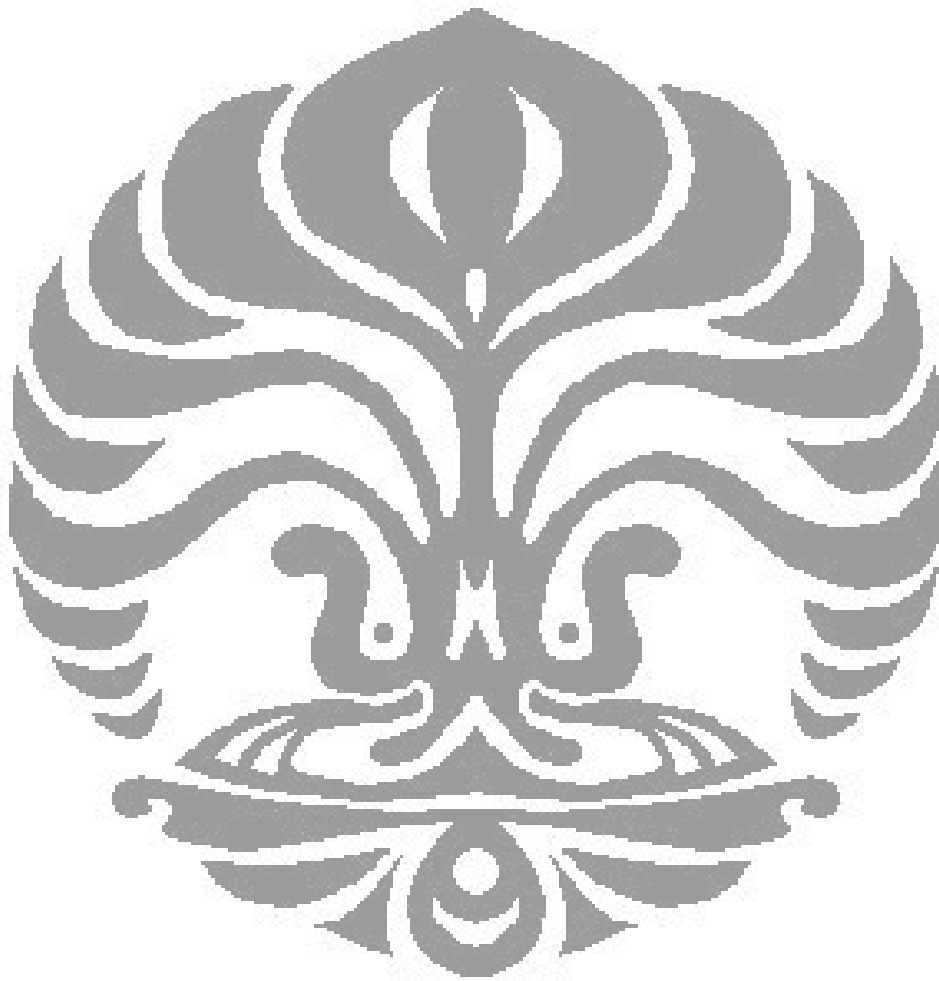
Gambar 3.14	: <i>Pulley</i> dan <i>belt</i> .....	34
Gambar 3.15	: <i>Pulley driver</i> dan <i>pulley driven</i> .....	34
Gambar 3.16	: Linear <i>guideway</i> .....	35
Gambar 3.17	: Desain mesin RP FDM pertama.....	36
Gambar 3.18	: Desain mesin RP FDM pengembangan .....	36
Gambar 3.19	: Desain meja, casing, dan panel .....	38
Gambar 3.20	: Penentuan jenis material yang dipakai .....	44
Gambar 3.21	: Penentuan jenis <i>fixture</i> .....	45
Gambar 3.22	: Penentuan jenis beban yang diterima.....	45
Gambar 3.23	: Penentuan ukuran <i>mesh</i> .....	46
Gambar 3.24	: FBD meja akrilik.....	46
Gambar 3.25	: Meja akrilik yang diberi beban .....	47
Gambar 3.26	: Hasil simulasi <i>stress</i> meja .....	49
Gambar 3.27	: Hasil simulasi <i>displacement</i> meja.....	49
Gambar 3.28	: Hasil simulasi <i>strain</i> meja.....	50
Gambar 3.29	: FBD poros <i>ballscrew</i> .....	51
Gambar 3.30	: Hasil simulasi <i>stress</i> poros <i>ballscrew</i> .....	53
Gambar 3.31	: Hasil simulasi <i>displacement</i> poros <i>ballscrew</i> .....	54
Gambar 3.32	: Hasil simulasi <i>strain</i> poros <i>ballscrew</i> .....	54
Gambar 3.33	: FBD poros vertikal.....	55
Gambar 3.34	: Hasil simulasi <i>stress</i> poros vertikal.....	57
Gambar 3.35	: Hasil simulasi <i>displacement</i> poros vertikal.....	58
Gambar 3.36	: Hasil simulasi <i>strain</i> poros vertikal .....	58
Gambar 4.1	: Alur Proses Manufaktur .....	60

Gambar 4.2	: Raw material aluminium alloy .....	63
Gambar 4.3	: Raw material acrylic .....	64
Gambar 4.4	: Material teflon .....	64
Gambar 4.5	: Material kuningan .....	65
Gambar 4.6	: Material alloy steel .....	66
Gambar 4.7	: Flowchart komponen base .....	70
Gambar 4.8	: Flowchart komponen x .....	71
Gambar 4.9	: Flowchart komponen y .....	72
Gambar 4.10	: Flowchart komponen z .....	73
Gambar 4.11	: Pembuatan rangka .....	74
Gambar 4.12	: Pembuatanudukan aluminium bawah .....	75
Gambar 4.13	: Pembuatan batang aluminium .....	77
Gambar 4.14	: Pembuatanudukan <i>adjust</i> .....	79
Gambar 4.15	: Pembuatan <i>bearing housing</i> 3.2 .....	81
Gambar 4.16	: Pembuatan bearing housing 2 .....	83
Gambar 4.17	: Pembuatan bearing housing 1 .....	84
Gambar 4.18	: Pembuatan braket samping .....	86
Gambar 4.19	: Pembuatanudukan komponen extruder .....	87
Gambar 4.20	: Pembuatan braket extruder .....	89
Gambar 4.21	: Pembuatan braket y .....	91
Gambar 4.22	: Pembuatan motor base 2 .....	92
Gambar 4.23	: Pembuatan bearing housing 4 .....	94
Gambar 4.24	: Pembuatan plat penahan .....	96
Gambar 4.25	: Pembuatanudukan meja samping .....	97

Gambar 4.26	: Pembuatan penyangga meja .....	99
Gambar 4.27	: Pembuatan braket limit switch .....	100
Gambar 5.1	: Jenis-jenis probe .....	104
Gambar 5.2	: Probe dipasang didudukan .....	105
Gambar 5.3	: Dudukan probe dibersihkan .....	105
Gambar 5.4	: Dudukan probe dipasang pada mesin .....	105
Gambar 5.5	: Proses penentuan titik referensi .....	106
Gambar 5.6	: Posisi head probe .....	106
Gambar 5.7	: Buka program .....	107
Gambar 5.8	: Pilih menu learn mode .....	107
Gambar 5.9	: Pilih jenis probe .....	108
Gambar 5.10	: GUI probe data management .....	108
Gambar 5.11	: Metode pengambilan plane .....	109
Gambar 5.12	: Linear guideway 1 dan 2 sumbu y .....	110
Gambar 5.13	: Metode pengukuran pada sumbu y .....	111
Gambar 5.14	: Pengukuran Linear guideway sumbu y .....	111
Gambar 5.15	: Hasil pengukuran kesejajaran sumbu y .....	112
Gambar 5.16	: Hasil pengukuran angularity .....	112
Gambar 5.17	: Pengukuran sistem gerak z .....	113
Gambar 5.18	: Metode pengukuran sumbu z .....	113
Gambar 5.19	: Grafik hasil pengukuran sistem gerak sumbu z .....	114
Gambar 5.20	: Metode pengukuran sumbu x .....	115
Gambar 5.21	: Hasil pengukuran kesejajaran sumbu x .....	116
Gambar 5.22	: Hasil pengukuran angularity sumbu x .....	116
Gambar 5.23	: Pengukuran batang alumunium 1,2,3,4 .....	117



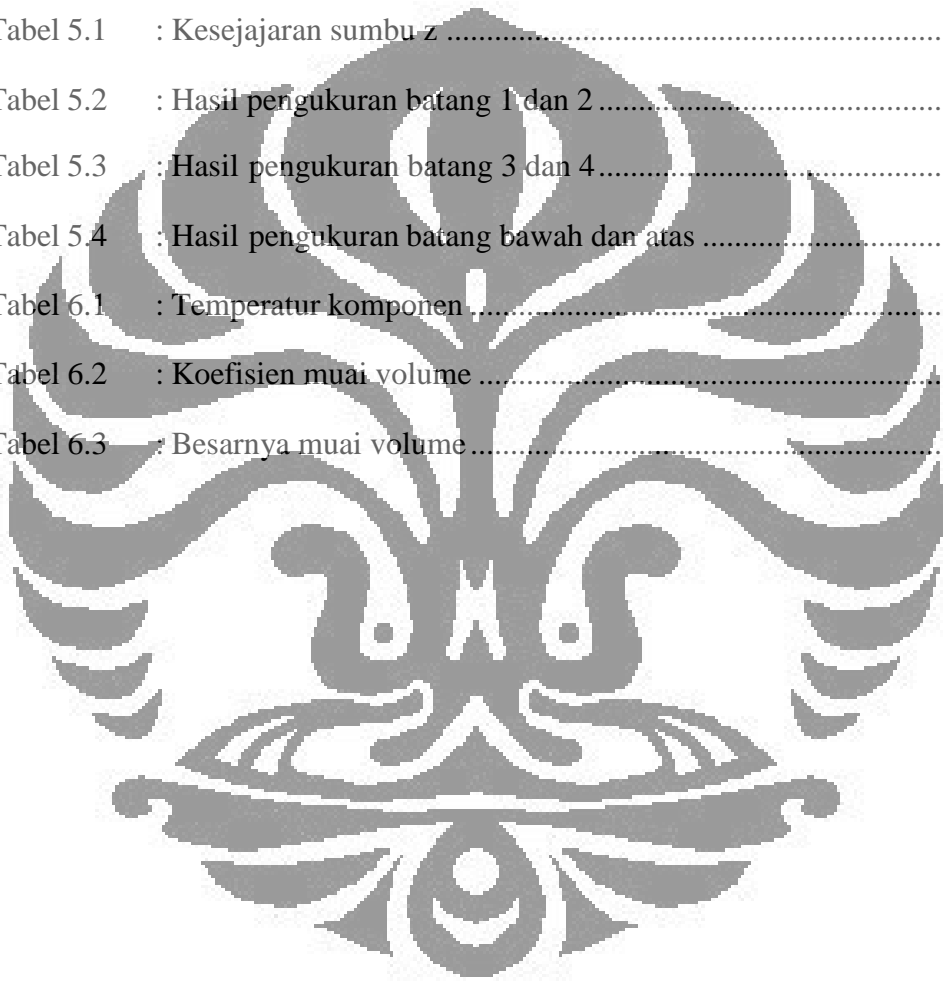
Gambar 5.24 : Pengukuran batang alumunium atas dan bawah ..... 118  
Gambar 6.1 : Termokopel tipe K ..... 120



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Material <i>rapid prototyping</i> .....	17
Tabel 3.1	: Spesifikasi motor stepper .....	32
Tabel 3.2	: Spesifikasi <i>ballscrew</i> .....	33
Tabel 3.3	: Spesifikasi linear guideway .....	35
Tabel 3.4	: Karakteristik A,B,C pada safety factor .....	42
Tabel 3.5	: Karakteristik D dan E .....	43
Tabel 3.6	: Penentuan karakteristik safety factor .....	43
Tabel 3.7	: Properties material meja akrilik .....	47
Tabel 3.8	: Karakteristik <i>mesh</i> meja akrilik .....	48
Tabel 3.9	: Free body force meja.....	48
Tabel 3.10	: Free body moment meja.....	48
Tabel 3.11	: Hasil simulasi meja .....	49
Tabel 3.12	: Properties material poros <i>ballscrew</i> .....	51
Tabel 3.13	: Karakteristik <i>mesh</i> poros <i>ballscrew</i> .....	52
Tabel 3.14	: Free body force poros <i>ballscrew</i> .....	52
Tabel 3.15	: Free body moment poros <i>ballscrew</i> .....	52
Tabel 3.16	: Hasil simulasi <i>ballscrew</i> .....	52
Tabel 3.17	: Properties material poros vertikal .....	55
Tabel 3.18	: Karakteristik <i>mesh</i> poros vertikal .....	56
Tabel 3.19	: Free body force poros vertikal .....	56
Tabel 3.20	: Free body moment poros vertikal .....	57
Tabel 3.21	: Hasil simulasi poros vertikal.....	57

Tabel 4.1	: Karakteristik aluminium alloy .....	62
Tabel 4.2	: Karakteristik <i>Polymethylmethacrylate (acrylic)</i> .....	63
Tabel 4.3	: Karakteristik material teflon .....	64
Tabel 4.4	: Karakteristik material kuningan .....	65
Tabel 4.5	: Karakteristik <i>alloy steel</i> .....	66
Tabel 4.6	: Total waktu pemesinan .....	102
Tabel 5.1	: Kesejajaran sumbu z .....	114
Tabel 5.2	: Hasil pengukuran batang 1 dan 2 .....	117
Tabel 5.3	: Hasil pengukuran batang 3 dan 4 .....	117
Tabel 5.4	: Hasil pengukuran batang bawah dan atas .....	118
Tabel 6.1	: Temperatur komponen .....	121
Tabel 6.2	: Koefisien muai volume .....	122
Tabel 6.3	: Besarnya muai volume .....	123



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini persaingan perusahaan-perusahaan di dunia sangatlah ketat, terutama perusahaan manufaktur. Perusahaan manufaktur harus mampu memenuhi kebutuhan konsumen dengan menghasilkan produk yang berkualitas namun menggunakan biaya produksi yang serendah-rendahnya. Oleh karena itu diperlukan suatu pengembangan-pengembangan agar perusahaan dapat bertahan di persaingan global. Salah satunya adalah pengembangan produk yaitu dengan *prototyping*. *Prototyping* adalah suatu proses pembuatan model fisik dari produk yang akan dibuat atau diproduksi. Hasil dari *prototyping* adalah sebuah prototipe yang sifatnya mewakili produk yang akan dibuat. *Prototyping* sangatlah penting karena merupakan makna dari verifikasi bentuk, kesesuaian, dan fungsi. Prototipe biasanya dibuat dalam jumlah yang sedikit, hal ini disebabkan karena biaya pembuatannya yang tidak murah. Biaya pembuatan prototipe bisa mahal karena semua biaya tools ditanggung oleh jumlah prototipe yang sedikit. Selain masalah biaya, yang harus dipertimbangkan adalah waktu pembuatan prototipe.

Dua masalah yang merupakan tantangan dalam pengembangan produk yaitu masalah biaya pembuatan dan waktu pembuatan prototipe. Biaya pembuatan prototipe diharapkan serendah-rendahnya agar bisa menekan biaya produksi. Waktu pembuatan prototipe juga diusahakan agar secepat-cepatnya agar proses produksi bisa cepat dijalankan. Hal inilah yang menjadi tantangan besar perusahaan manufaktur. Untuk menjawab tantangan ini banyak perusahaan manufaktur yang mengadopsi sistem *advance manufacturing technologies* (AMT).

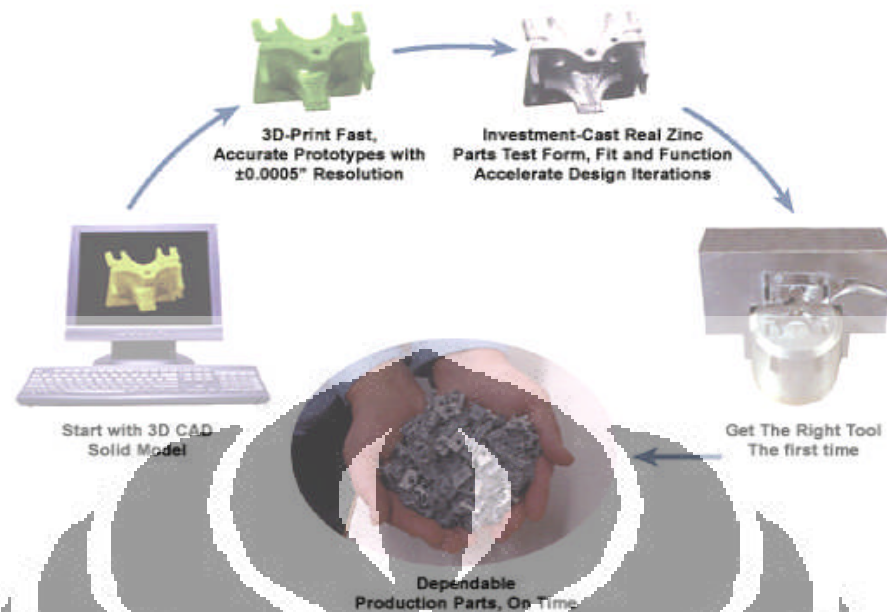
*Advance manufacturing technologies* (AMT) merupakan teknologi yang berbasis pada *computer based* atau *numerical control based system* untuk meningkatkan proses manufaktur. Beberapa jenis AMT seperti : *computer aided design* (CAD), *manufacturing resource planning* (MRP), *flexible manufacturing*

*systems* (FMS), *computer-integrated manufacturing* (CIM), dan *rapid prototyping* (RP).

AMT dianggap mampu meningkatkan fleksibilitas, produktivitas, dan keuntungan perusahaan dalam menghadapi persaingan global. Dari beberapa jenis AMT di atas, *rapid prototyping* merupakan yang paling menjanjikan karena memiliki kelebihan prosesnya lebih cepat dan dapat membuat produk 3 dimensi dengan tingkat kerumitan yang cukup tinggi.

*Rapid prototyping* adalah metode yang membantu dalam proses pengembangan produk yang mudah dan cepat, sehingga dapat mempengaruhi kepuasan konsumen dan keuntungan perusahaan dengan membantu perusahaan mendapatkan produk untuk pasar pertama. *Rapid Prototyping* (RP) atau *Layered Manufacturing* (LM) merupakan proses fabrikasi suatu *part* dengan *layer by layer*. Prosesnya melibatkan penambahan *raw material* berturut-turut pada *layer*, agar terbentuk bentuk solid yang sudah didefinisikan sebelumnya.

Di Indonesia masih sangat jarang perusahaan yang memproduksi mesin *rapid prototyping*. Kebanyakan membeli dari luar yang harganya relatif mahal. Oleh karena itu di Laboratorium Manufaktur Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia mencoba membuat mesin *rapid prototyping* sendiri dengan biaya yang murah namun dengan kualitas yang cukup baik.



Gambar 1.1. Proses *rapid prototyping* [1]

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari proyek riset yang ditujukan untuk mengembangkan prototipe mesin *rapid prototyping* yang berbasis *fused deposition modelling* (FDM). Dalam penelitian ini nantinya akan dilakukan 3 tahap, yaitu :

### 1.2.1 Pengembangan perangkat keras (*hardware*)

Pengembangan perangkat keras meliputi proses desain dan pembuatan konstruksi mesin *rapid prototyping* yang berbasis *fused deposition modelling*, sistem gerak, ekstruder/nosel, dan perangkat elektronik seperti *driver* motor dan sistem kontrol yang mengatur pergerakan mesin dan sistem secara keseluruhan.

### 1.2.2 Pengembangan *Software*

Pengembangan *software* meliputi pembuatan program/*software* interpolator dan komunikasi serial.

### 1.2.3 Memperoleh data tentang produk yang dihasilkan mesin *rapid prototyping*

Data yang akan dicari meliputi data kecepatan deposisi (*feed rate*) dan temperatur terhadap kualitas dari model yang meliputi sifat permukaan dan akurasi dimensi produk.

## 1.3 Perumusan Masalah

Mesin *rapid prototyping* FDM yang dikembangkan menggunakan sistem gerak 3 axis dimana masing-masing axis terdiri dari beberapa komponen gerak. Perumusan masalah pada pengembangan desain dan konstruksi adalah sebagai berikut :

1. Konstruksi mesin *rapid prototyping* harus mampu menahan beban (*load*) baik beban eksternal ataupun beban internal.
2. Sistem gerak yang digunakan harus bisa berjalan dengan lancar. Untuk sumbu x dan y harus mampu berjalan secara bersamaan. Sedangkan untuk sumbu z (arah vertikal) harus mampu berjalan dengan baik walaupun diberi beban.
3. Proses manufaktur untuk membuat desain mesin *rapid prototyping* harus mudah dan efisien.
4. Konstruksi mesin harus tahan terhadap panas yang dihasilkan oleh ekstruder.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah pengembangan dari segi desain dan konstruksi mesin *rapid prototyping*. Dikarenakan mesin *rapid prototyping* merupakan terdiri dari sistem yang kompleks, maka peneliti mengambil bagian pengembangan desain dan konstruksi mesin *rapid prototyping*. Untuk pengembangan yang lain seperti, pengembangan mekanisme sistem kontrol, analisis material, pengembangan program, dan mekanisme ekstruder akan dijelaskan oleh peneliti lain, yang satu tim dengan peneliti dalam pengembangan mesin *rapid prototyping*.

## 1.5 Metodologi Penelitian

### 1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian yang pertama yaitu studi literatur yang berhubungan dengan proses desain hal ini dimaksudkan sebagai penunjang proses desain. Studi tersebut meliputi statika struktur, material teknik, pemilihan bahan dan proses. Bagian yang kedua yaitu tentang *manufacturing* yang memerlukan studi literatur lebih lanjut mengenai proses produksi. Bagian ketiga yaitu studi literatur tentang perangkat-perangkat elektronik dan sistem kontrol yang dipakai nantinya.

Selain itu studi literatur dilakukan dengan mengikuti forum-forum yang berada di internet. Permasalahan-permasalahan yang dihadapi dapat dicari solusinya dalam forum tersebut. Studi literatur yang lain yaitu melalui skripsi/tugas akhir yang sebelumnya telah dilakukan untuk sekedar mencari referensi.

### 1.5.2 Pembuatan dan Perencanaan Desain Mesin FDM

Pembuatan desain mesin FDM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2009 dan Autodesk Inventor 2009. Dalam proses desain berfokus pada *Design for Manufacturability* dan *Assembly and Dissassembly* (DFMAD). Proses desain dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan desain yang paling baik. Baik dari sisi kualitas maupun dari sisi harga. Diharapkan desain dengan kualitas baik, namun bisa di buat dengan biaya murah. Selain itu proses desain juga harus mengacu pada material agar desain yang dibuat bisa optimal.

### 1.5.3 Proses Manufaktur Mesin FDM

Proses pembuatan komponen mesin FDM yang bentuknya sederhana, dibuat sendiri di laboratorium manufaktur DTM. Sedangkan untuk komponen yang bentuknya kompleks dan rumit dibuat oleh orang lain yang lebih berpengalaman agar hasilnya akurat.



#### **1.5.4 Analisis Parameter *Rapid Prototyping***

Melakukan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses FDM. Karena kompleksnya proses FDM maka dalam penelitian ini beberapa parameter dibuat tetap yaitu diameter nosel, jenis material dan *trajectory*-nya. Sedangkan parameter yang tidak tetap yaitu, kecepatan deposisi, temperatur dan jarak nosel ke permukaan meja.

#### **1.5.5 Perancangan Pengujian dan Peralatan *Rapid Prototyping***

Melakukan perancangan mesin FDM dan pengoperasiannya yang terhubung pada computer. Melakukan perancangan pengujian untuk parameter yang tidak tetap yaitu kecepatan deposisi dengan pengaturan laju *feeder* pada nosel. Pengaturan temperatur pada nosel diatur dengan menggunakan kontrol suhu. Pengesetan jarak nosel dan *base plate*.

#### **1.5.6 Pengujian Parameter *Rapid Prototyping***

Pengujian parameter dianalisis dari segi akurasi dimensi, sifat permukaan dari hasil *rapid prototyping*. Pengujian ini selanjutnya dijadikan masukan bagi proses penetapan parameter optimum.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk membantu memudahkan pembaca dalam memahami isi laporan, maka sistematika penulisan yang dilakukan dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

### ➤ **BAB I. PENDAHULUAN**

Dalam bab pendahuluan diuraikan tentang latar belakang diadakannya penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penyusunan laporan dan sistematika penulisan.

### ➤ **BAB II. SISTEM *RAPID PROTOTYPING***

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengertian *rapid prototyping*, jenis-jenis *rapid prototyping*, material yang dipakai dalam *rapid prototyping*, dan bagaimana proses *rapid prototyping* berlangsung.

### ➤ **BAB III. PENGEMBANGAN DESAIN MESIN RP FDM**

Bab ini berisi pengembangan dari beberapa desain mesin RP FDM berikut beberapa pertimbangan desain yang digunakan untuk menentukan desain akhir mesin FDM yang sesuai dan analisis pembebanannya.

### ➤ **BAB IV. PROSES MANUFAKTUR MESIN RP FDM**

Bab ini berisi tentang material yang dipakai dalam pembuatan mesin RP FDM serta proses manufaktur pembuatan komponen-komponen mesin *rapid prototyping*.

### ➤ **BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS KEAKURASIAN MESIN DENGAN MENGGUNAKAN CMM**

Bab ini berisi tentang analisis untuk mengetahui akurasi dari mesin *rapid prototyping* dengan menggunakan mesin CMM (*Coordinate Measuring Machine*).

➤ **BAB VI. ANALISIS PENGARUH PANAS TERHADAP KONSTRUKSI**

Bab ini berisi analisis pengaruh dari panas yang dikeluarkan sistem *feeder* terhadap komponen mesin *rapid prototyping* serta perhitungan besarnya pemuaian volume yang terjadi.

➤ **BAB VII. PENELITIAN LEBIH LANJUT**

Bab ini berisi kesimpulan penelitian dan saran-saran untuk pengembangan mesin *rapid prototyping* (FDM) selanjutnya.



## BAB II

### SISTEM RAPID PROTOTYPING

#### 2.1 Pengertian *Rapid prototyping*

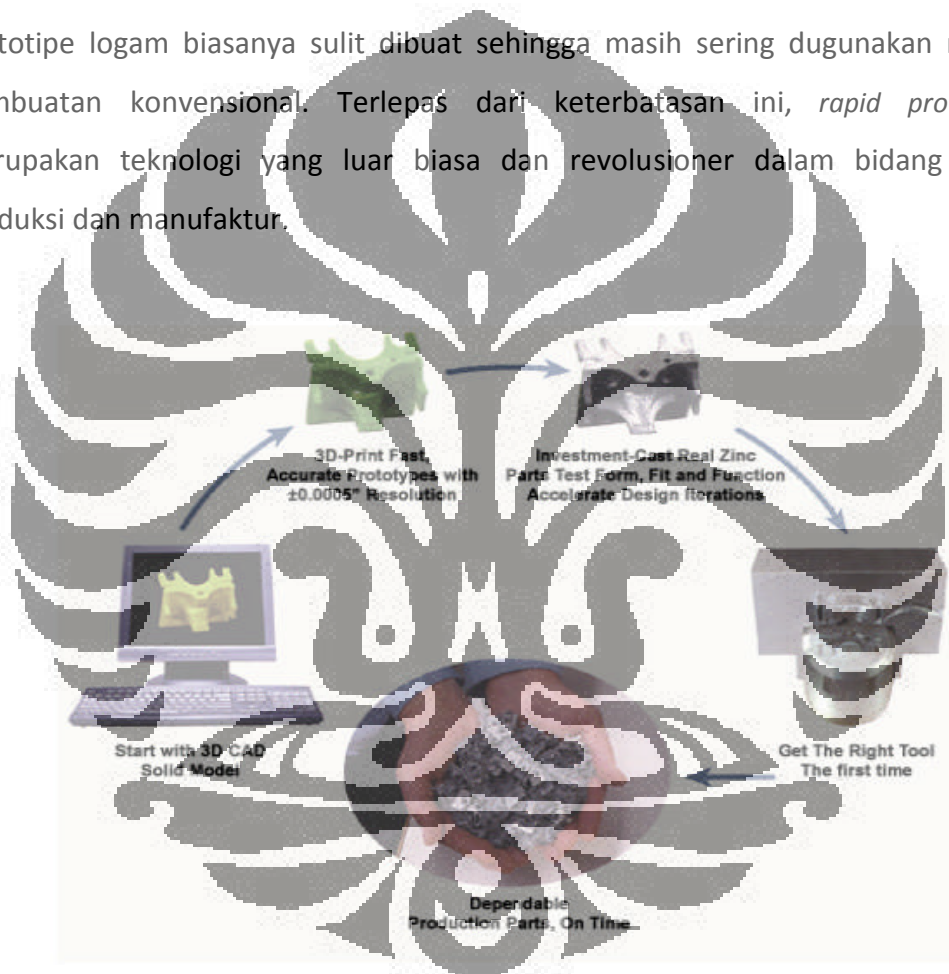
*Rapid prototyping* (RP) adalah suatu proses pembuatan model fisik secara otomatis dari data komputer (CAD) "*three dimensional printers*". Dalam proses *rapid prototyping*, prototipe atau model kerja dapat dibangun dengan cepat serta dapat diuji kekuatannya saat itu juga. Inilah kelebihan proses *rapid prototyping* dari proses permesinan lainnya. Ide-ide baru dapat diilustrasikan dengan baik dalam sebuah prototipe dan umpan balik dari pengguna dapat dikumpulkan berhubungan dengan kualitas produk [2].

Ada banyak keuntungan dari proses *rapid prototyping*. Keuntungan dari *rapid prototyping* yaitu dapat mengurangi biaya dan resiko. Umumnya satu atau lebih prototipe dikembangkan dalam proses pengembangan *software*. Setiap prototipe yang dibuat didasarkan pada kinerja desain sebelumnya dan diperbaiki agar kualitasnya lebih baik dan memenuhi syarat yang diinginkan. *Rapid prototyping* dapat dijumpai hampir di semua aplikasi industri. Keuntungan lain *rapid prototyping* yaitu dapat memvisualisasikan desain yang dibuat. Desainer bisa melihat bagaimana bentuk desainnya nanti. Sehingga bisa dirubah dan diperbaiki dengan cepat. Kelemahan dalam proses desain bisa dideteksi sebelum proses manufaktur dimulai.

*Rapid prototyping* (RP) dapat juga digunakan untuk membuat peralatan (mengacu pada istilah *rapid tooling*) dan juga komponen-komponen produksi (*rapid manufacturing*). Untuk produksi dalam jumlah kecil dan objek yang kompleks, *rapid prototyping* selalu merupakan pilihan yang terbaik. Istilah *rapid* (cepat) sebenarnya relatif karena untuk sebagian besar prototipe yang dibuat membutuhkan waktu sekitar 3 sampai 72 jam tergantung dari ukuran dan kompleksitas model. Hal ini kelihatannya lambat tetapi ini sudah jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan metode konvensional yang membutuhkan waktu berminggu-minggu bahkan bulanan.

Paling tidak ada 6 teknik dalam *rapid prototyping* (RP) yang tersedia dalam pasar saat ini yang masing-masing memiliki kelebihan. Karena teknologi *rapid prototyping*, berkembang juga dalam aplikasi non-*rapid prototyping*. Teknik-teknik ini seringkali juga disebut sebagai *solid free-form fabrication*, *computer automated manufacturing*, atau *layered manufacturing*.

Tentu saja *rapid prototyping* tidak sempurna. Volume komponen biasanya terbatas sampai 0,125 m<sup>3</sup> atau kurang, tergantung dari mesin *rapid prototyping*-nya. Prototipe logam biasanya sulit dibuat sehingga masih sering digunakan metode pembuatan konvensional. Terlepas dari keterbatasan ini, *rapid prototyping* merupakan teknologi yang luar biasa dan revolusioner dalam bidang proses produksi dan manufaktur.

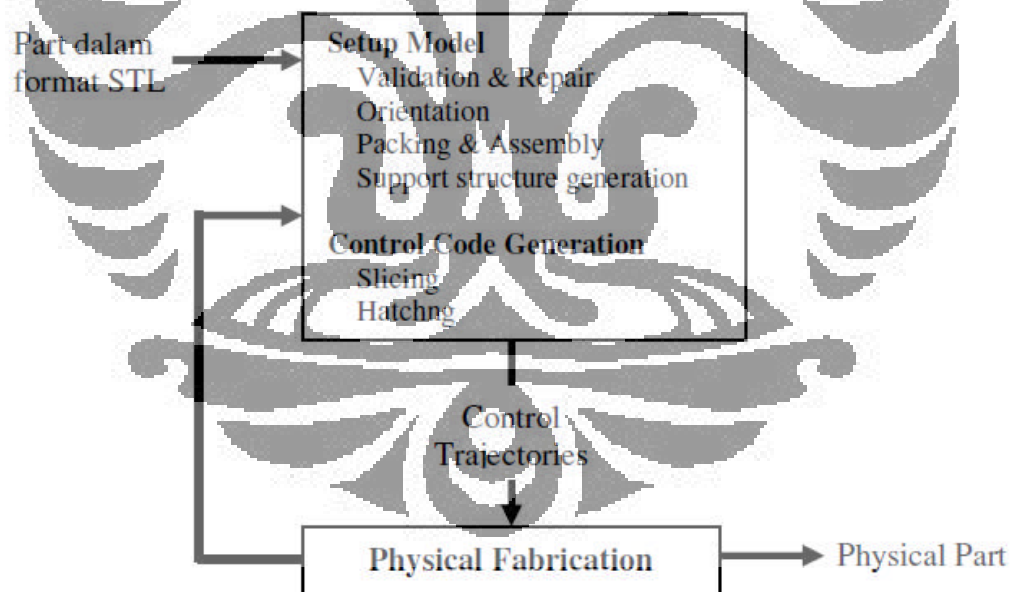


**Gambar 2.1.** Proses *rapid prototyping* [1]

## 2.2 Proses *Rapid Prototyping*

Langkah pertama dalam *rapid prototyping* adalah validasi model tiga dimensi *CAD* suatu *parts*, seperti memastikan bentuknya *solid*. Model yang sudah *valid* kemudian diorientasikan terhadap ruang pembuatan, dengan mempertimbangkan waktu pembuatan dan kualitas permukaan. Beberapa model dapat digabung menjadi satu bangunan *assembly* untuk efisiensi penggunaan mesin dan material.

Berdasarkan pada persyaratan prosesnya, jika diperlukan, dukungan struktur dapat ditambahkan ke model. Setelah validasi, kemudian model dipotong dengan bidang horisontal. Tiap bidang horisontal menghasilkan bidang potong sebagai penentu *trajectory* untuk mengontrol proses sintering/solidifikasi dan proses deposisi pada area tertentu untuk membangun lapis demi lapis struktur 3 dimensi.



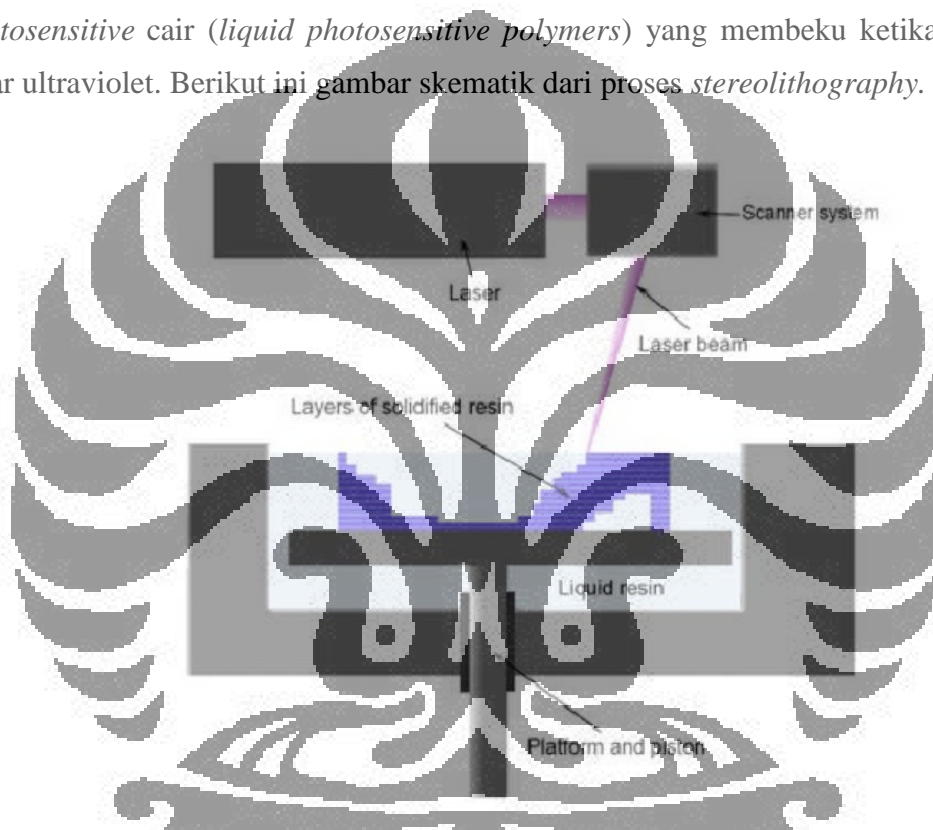
**Gambar 2.2.** Tahap *rapid prototyping*

### 2.3 Jenis-jenis *Rapid Prototyping*

Berikut ini adalah teknik-teknik dalam pembuatan prototipe yang sudah banyak dikenal saat ini.

#### 2.3.1 *Stereolithography*

Dipatenkan pada tahun 1986. *Stereolithography* memulai revolusi dalam *rapid prototyping*. Teknik ini membuat model tiga dimensi dari polimer *photosensitive cair (liquid photosensitive polymers)* yang membeku ketika disinari sinar ultraviolet. Berikut ini gambar skematik dari proses *stereolithography*.

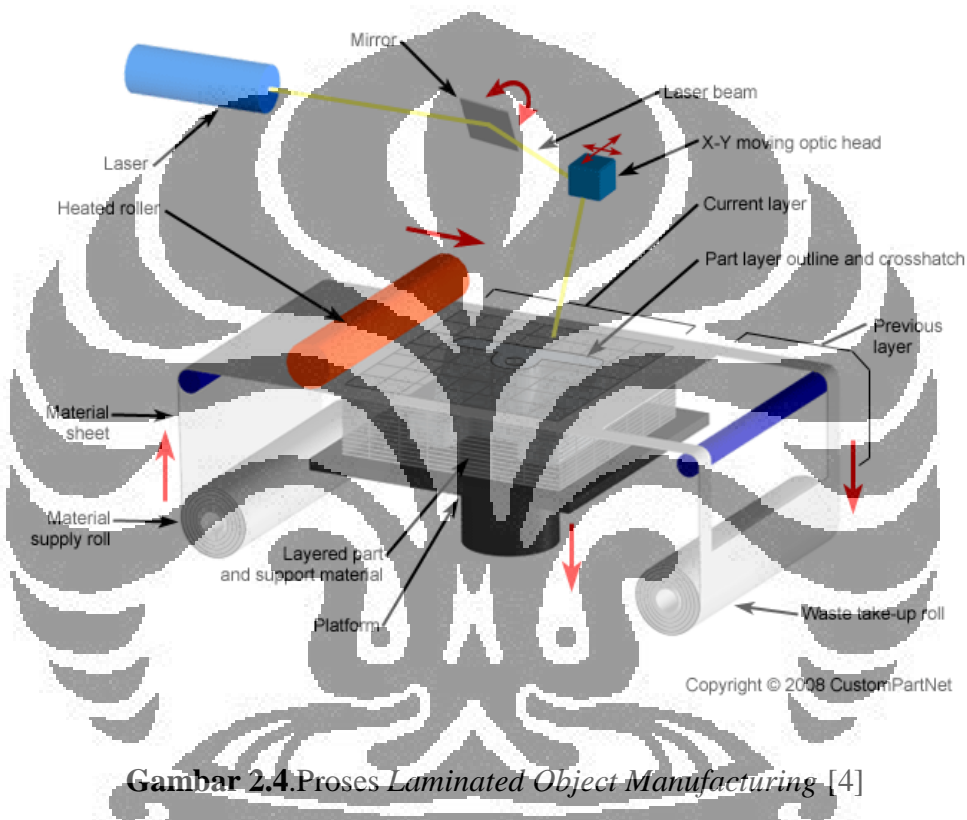


**Gambar 2.3.** Proses *stereolithography* [3]

Mesin *Stereolithography Apparatus (SLA)* telah dibuat sejak tahun 1988 oleh *3D system of Valencia, CA*. Saat ini *3D System* sebagai pimpinan industri, mereka menjual mesin-mesin RP ke banyak perusahaan. *Stereolithography* menjadi *benchmark* karena merupakan teknik pertama dalam *rapid prototyping*.

### 2.3.2 Laminated Object Manufacturing

Teknik ini dikembangkan oleh Helisys of Torrance, CA. Prototipe dibuat dari lapisan material lembaran yang berifat *adhesive* yang sudah dilapisi (*adhesive-coated sheet material*) yang digabungkan atau diikat bersama. Material aslinya terdiri dari kertas yang dilapisi dengan lem aktif (*heat-activated glue*) dan disusun perlapisan/lembaran. Kontur luarnya dibentuk oleh laser *cutting*.

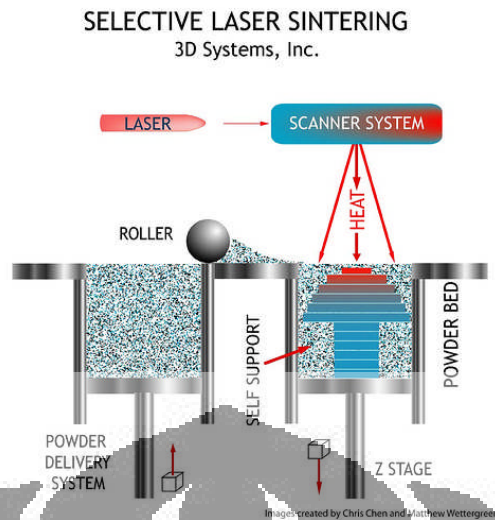


Gambar 2.4. Proses *Laminated Object Manufacturing* [4]

### 2.3.3 Selective Laser Sintering

*Selective Laser Sintering* dikembangkan oleh Carl Deckard untuk tesis masternya di Universitas Texas. Dipatenkan pada tahun 1989. Teknik ini seperti pada gambar dibawah, menggunakan sebuah *laser beam* untuk melebur/menyatukan serbuk material secara selektif, seperti nylon, elastomer dan logam menjadi objek *solid*. Komponen dibangun pada sebuah landasan dimana di atasnya diletakkan kotak penyimpanan serbuk (*heat fusible powder*). Sebuah sinar laser mengikuti/menciplak bentuk dari lapisan pertama, mensinternya menjadi satu. Landasan lebih rendah dari ketinggian lapisan selanjutnya. Proses ini berlanjut hingga komponen selesai.

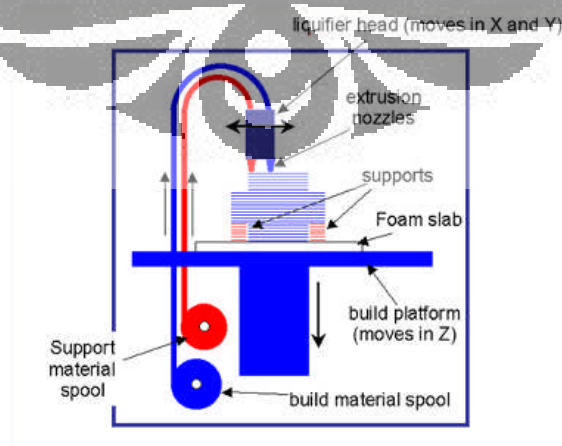




**Gambar 2.5.** Proses *selective laser sintering* [5]

### 2.3.4 Fused Deposition Modeling

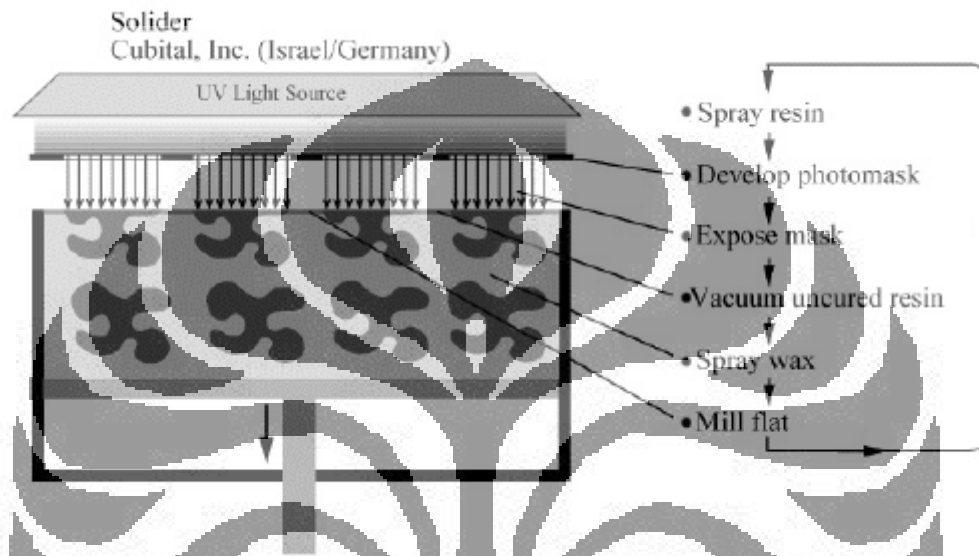
Dalam teknik ini, filamen termoplastik panas di ekstrusi dari sebuah tip atau nosel yang bergerak pada bidang x-y. Material membentuk lapisan tipis yang terkontrol dan tersusun pada landasan. Temperatur landasan dikontrol dan selalu lebih rendah dari material yang diekstrusi sehingga *thermoplastik* cepat mengeras. Selanjutnya dibuat lapisan berikutnya pada lapisan sebelumnya sehingga membentuk suatu komponen yang diinginkan dan tentu saja ini dikontrol dengan komputer. Material yang banyak digunakan adalah ABS, elastomer (96 durometer), *polycarbonate*, *polyphenolsulfone* dan *casting wax*.



**Gambar 2.6.** Proses *fused deposition modelling* [6]

### 2.3.5 Solid Ground Curing

Dikembangkan oleh Cubital, teknik ini mirip dengan *stereolithography* (SLA) dimana keduanya menggunakan sinar ultraviolet untuk mengerasakan polimer dengan selektif. Pertama-tama resin disemprotkan kelandasan (*platform*), selanjutnya dibentuk lapisan *photomask* (seperti stensil) .



Gambar 2.7. Proses *solid ground curing* [13]

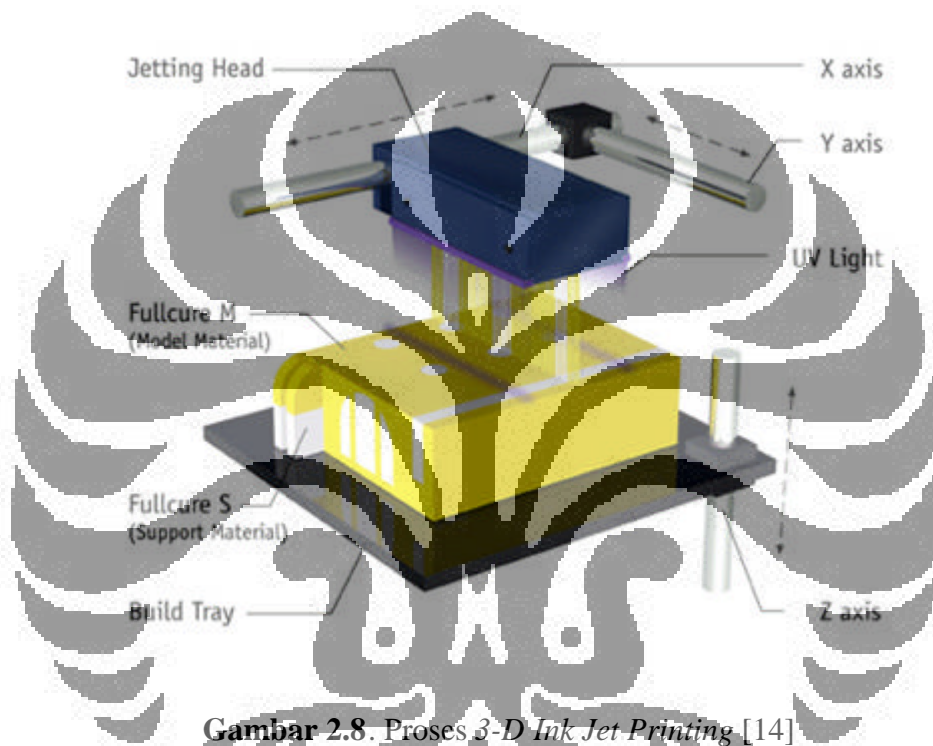
*Photomask* ini dicetak pada pelat kaca diatas landasan yang dibuat dengan menggunakan proses elektrostatis yang mirip pada mesin *fotocopy*. Selanjutnya *mask* ini diarahkan pada sinar UV, yang hanya lewat melalui daerah yang transparan dari *mask* tadi yang kemudian mengerasakan bentuk dari lapisan.

### 2.3.6 3-D Ink-Jet Printing

*3-D Ink-Jet Printing* adalah salah satu teknologi yang telah banyak disebarluaskan dan digunakan dalam berbagai bidang *marking product*. *3-D Ink Jet Printing* adalah salah satu jalan yang sangat menarik untuk pembuatan bentuk bebas keramik (*free form fabrication of ceramics*).

Proses ini mulai dengan penyimpanan sebuah lapisan serbuk material objek pada *chamber*. Untuk menyelesaikannya, serbuk dengan jumlah yang terukur

pertama-tama dibagikan/disebarkan dari *supply chamber* dengan gerakan sebuah piston keatas. *Roller* kemudian mendistribusikan dan menekan serbuk pada *fabrication chamber*. Sesudah itu *jetting-head* menyipkan cairan *adhesive* dalam bentuk dua dimensi ke lapisan serbuk yang menyatu pada area dimana tersimpan *adhesive*, untuk membentuk lapisan dari objek. Terbentuklah satu lapisan, *fabrication piston* bergerak kebawah sebesar ketebalan lapisan dan proses ini berulang sampai objek terbentuk.



Gambar 2.8. Proses 3-D Ink Jet Printing [14]

## 2.4 Material *Rapid Prototyping*

Material yang digunakan dalam proses *rapid prototyping* yaitu jenis material termoplastik. Termoplastik adalah jenis plastik yang menjadi lunak jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan dan proses ini bisa dilakukan berulang kali. Nama termoplastik diperoleh dari sifat plastik ini yang bisa dibentuk ulang dengan proses pemanasan. Secara sederhana termoplastik adalah jenis plastik yang bisa didaur ulang [10].

**Tabel 2.1.** Material *rapid prototyping* [10]

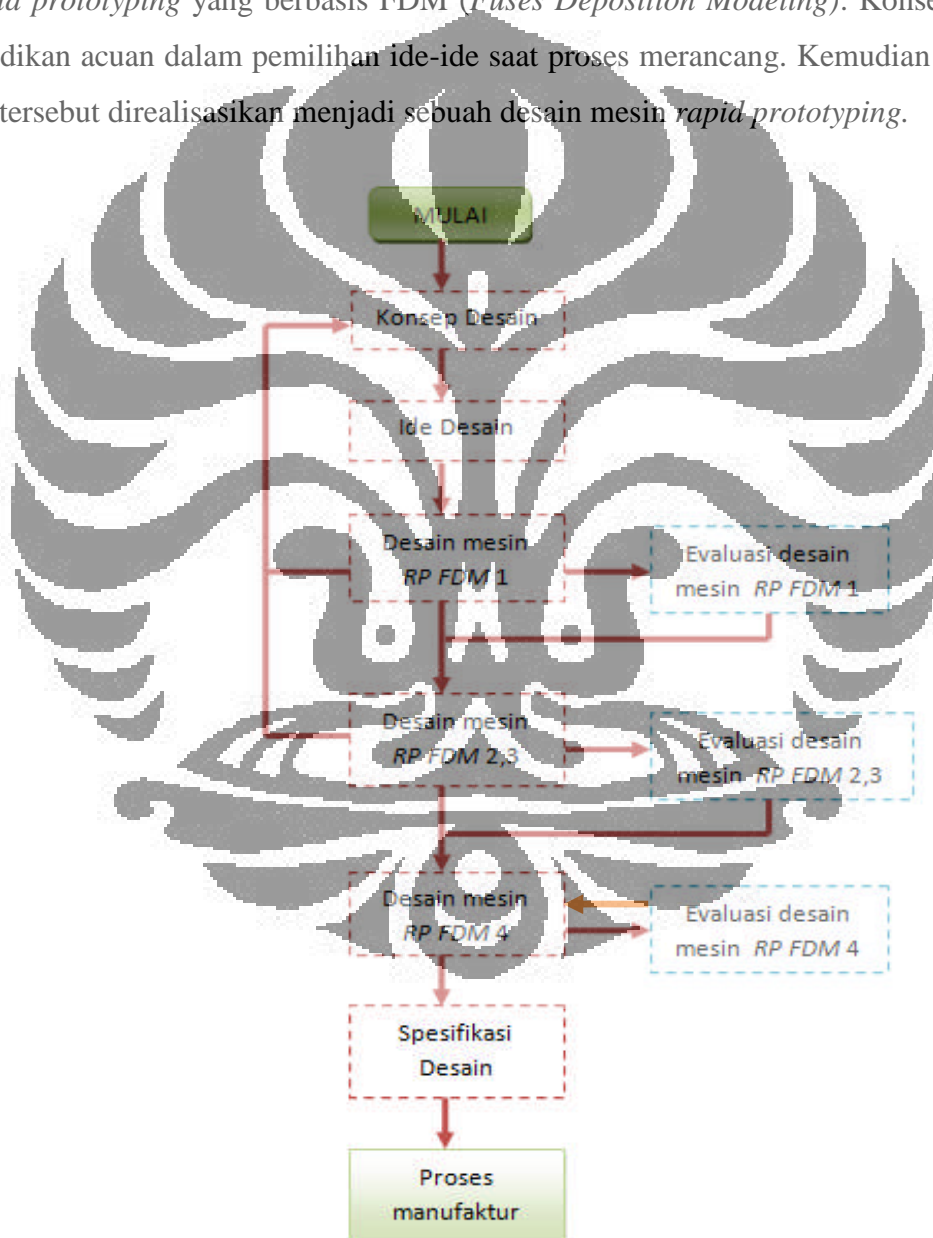
		Specific	Rockwell	UTS	Elongation	Modulus		Impact	Temperature (°C)		
						Tensile	Flexure		Notched Izod (J/cm)	Deflection at 460 kPa	Glass
Material	Structure	Gravity	Hardness	Mpa	of Fracture	Gpa	Gpa				
ABS	A	1.05	110 R	42	27%	2.4	2.4	2.5	68-140	107-115	
Acrylic	A	1.18	91 M	68.7	6%	3.1	3.3	0.16	60-103	100-105	130
Nylon	S	1.12	110 R	73.1	83%	2.1	2.4	1.5	85-245		250
Polycarbonate	A	1.21	120 R	69.4	96%	2.6	2.4	6.8	128-174	145-148	
Polyester											
PBT	A,S	1.42	120 R	57.1	36%	2.7	2.9	2.1	95-225		220
PET	A,S	1.32	110 R	55	130%	2.7		1.4	68-72	73-78	250
Polyethylene											
LDPE	S(-55°C)	0.92	60 R	11	190%	0.21	0.27	3.9	40-67		110
HDPE	S(-90°C)	0.96	63 R	20.3	380%	0.91	1.1	1.9	60-104		130
Polypropylene	S	0.94	96 R	36.8	120%	1.9	1.4	0.98	13-238		160
Polyvinylchloride											
Rigid	A	1.4		40	60%		3	2.75	62	75-105	200
Flexible	A			13	320%				62	75-105	

## BAB III

### PENGEMBANGAN DESAIN MESIN *RAPID PROTOTYPING*

#### 3.1 Alur Proses Perancangan

Proses perancangan dilakukan dengan mengacu pada konsep desain mesin *rapid prototyping* yang berbasis FDM (*Fuses Deposition Modeling*). Konsep desain dijadikan acuan dalam pemilihan ide-ide saat proses merancang. Kemudian dari ide-ide tersebut direalisasikan menjadi sebuah desain mesin *rapid prototyping*.



**Gambar 3.1.** Alur proses perancangan

Desain mesin *rapid prototyping* yang telah dikembangkan harus dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui kekurangan dan kelebihan dari desain tersebut. Hasil dari analisis dan evaluasi digunakan sebagai acuan dalam mengembangkan desain selanjutnya dengan harapan desain yang dikembangkan memiliki kelebihan dibanding desain awal.

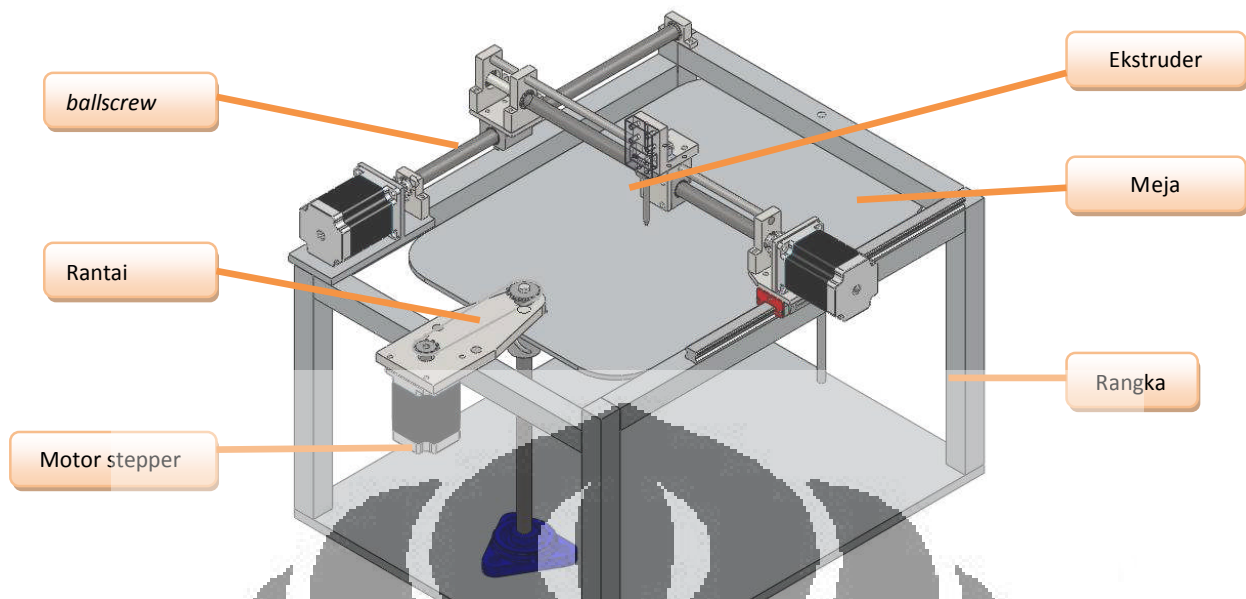
### 3.2 Konsep Desain

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa mesin *rapid prototyping* yang berbasis FDM mempunyai sistem ekstruder yang dapat bergerak ke arah dua sumbu yaitu x dan y. Sistem ekstruder berfungsi mencairkan termoplastik dan keluar melalui ujung nosel. Material yang keluar dari ujung nosel diterima oleh meja sebagai tempat dari material termoplastik. Meja harus bisa bergerak ke bawah agar material termoplastik bisa menumpuk lapis per lapis di atas meja. Dengan demikian secara umum mesin *rapid prototyping* terdiri dari komponen-komponen utama sebagai berikut :

1. Kerangka mesin
2. Sistem ekstruder
3. Sistem gerak sumbu x
4. Sistem gerak sumbu y
5. Meja tempat material termoplastik
6. Sistem gerak sumbu z

### 3.3 Desain Mesin *Rapid Prototyping* FDM 1

Mesin *rapid prototyping* FDM 1 merupakan hasil pertama proses perancangan. Mesin ini terdiri dari komponen rangka/*base*, meja, komponen ekstruder, dan komponen sistem penggerak. Komponen penggerak digunakan untuk menggerakkan ekstruder ke arah sumbu x dan y, serta menggerakkan meja ke arah z. Komponen penggerak terdiri dari 3 buah motor stepper, 3 pasang *pulley*, rantai, poros, dan *ballscrew*. Komponen ekstruder terdiri dari nosel dan elemen pemanas.



**Gambar 3.2.** Desain mesin *rapid prototyping* FDM 1

Komponen mesin RP FDM 1 antara lain :

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| a). 3 buah motor stepper                 | f) Meja                    |
| b) 3 <i>ballscrew</i> (untuk x,y, dan z) | g) <i>Linear slide way</i> |
| c) Rantai                                | h) Poros                   |
| d) Rangka                                | i) Braket motor            |
| e) Ekstruder                             | j) Braket Ekstruder        |

Evaluasi desain mesin RP FDM 1, yaitu :

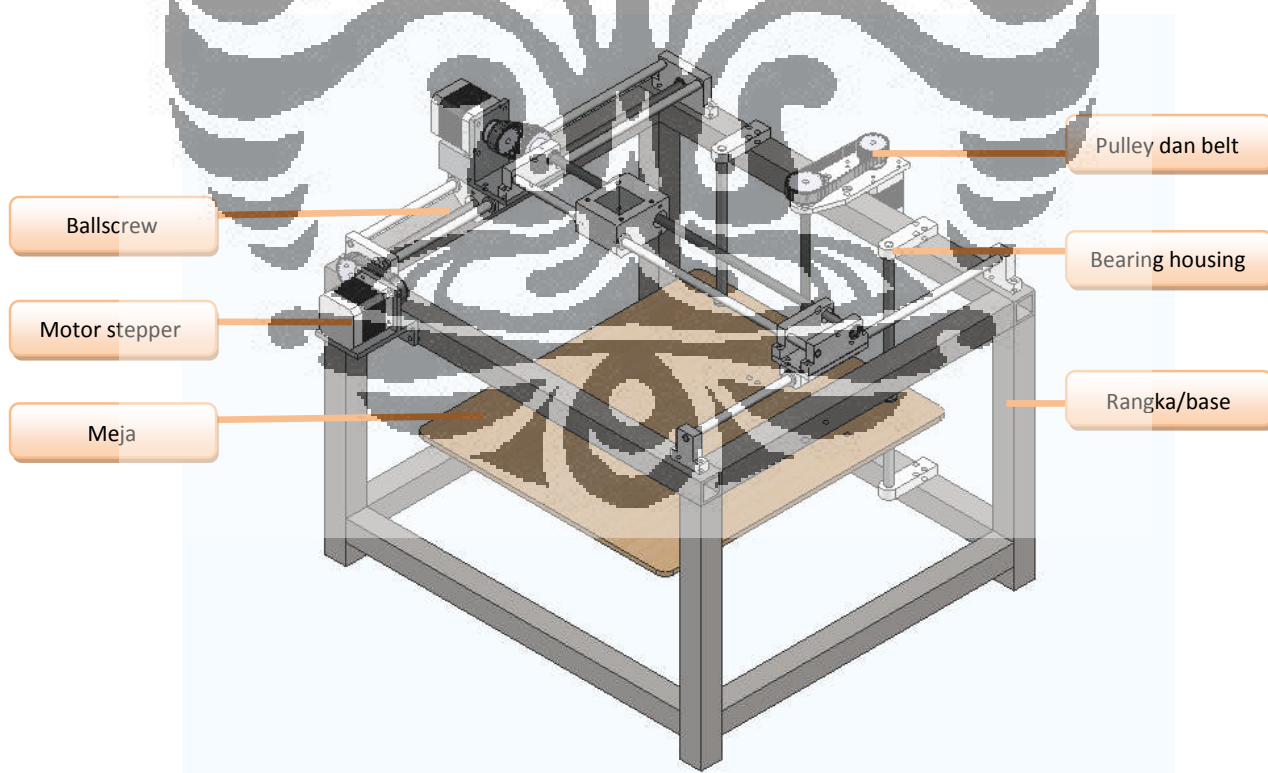
- 1) Pada desain 1 menggunakan rantai sebagai transmisi yang meneruskan putaran motor ke poros *ballscrew*. Hal ini tidak sesuai karena motor yang digunakan adalah motor stepper 5 fase dimana putarannya adalah per-*step*.
- 2) Besarnya momen pada sumbu-y terlalu besar karena beban akan diterima hanya 1 poros. Selain itu letak posisi motor stepper jugaseharusnya dibalik.
- 3) Pada sumbu z, meja yang merupakan tempat material termoplastik hanya ditahan oleh 2 poros. Hal ini dikhawatirkan akan menyebabkan bending.

### 3.4 Desain Mesin *Rapid Prototyping* FDM 2

Desain mesin *rapid prototyping* FDM 2 merupakan perbaikan dan pengembangan dari mesin *rapid prototyping* FDM 1. Pengembangan yang dilakukan yaitu berupa penggantian rangka, sistem penggerak meja, penggunaan *timing belt*, perubahan posisi motor, dan penggantian material meja.

Penggantian rangka dilakukan karena rangka pada desain sebelumnya menggunakan aluminium dimana proses perakitannya harus menggunakan *fastener* atau baut yang tidak permanen. Pada desain mesin *rapid prototyping* FDM 2, menggunakan besi berlubang yang nantinya akan dilakukan pengelasan sehingga rangka akan permanen.

Sistem gerak meja dikembangkan karena sebelumnya beban dari meja hanya ditahan oleh 2 poros yang letaknya berjauhan. Pada desain ini, beban dari meja ditopang oleh 3 poros yaitu 2 poros vertikal dan 1 poros *ballscrew*. Pengembangan ini diharapkan akan mampu meningkatkan kualitas dari mesin.



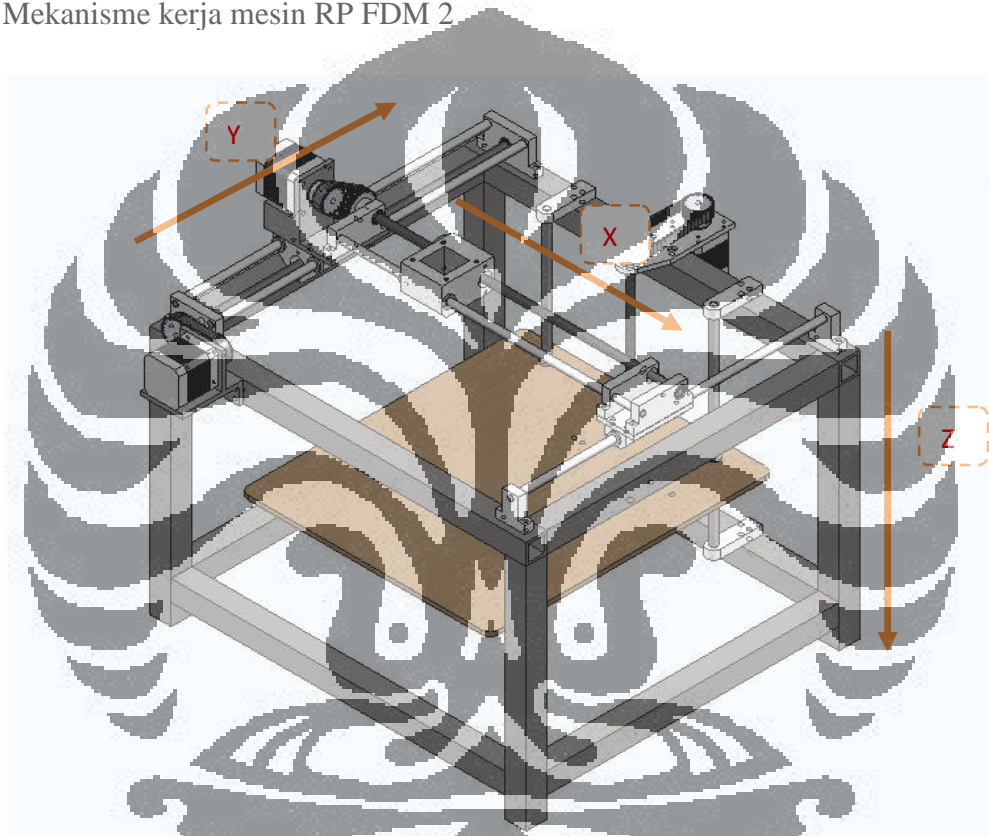
**Gambar 3.3.** Desain mesin *rapid prototyping* FDM 2



Komponen mesin RP FDM 2 antara lain :

- |  |                     |
|--|---------------------|
| a) 3 buah motor stepper                  | e) Meja             |
| b) 3 <i>ballscrew</i> (untuk x,y, dan z) | f) Shaft            |
| c) <i>Pulley</i>                         | g) Braket motor     |
| d) Rangka                                | h) Braket Ekstruder |

Mekanisme kerja mesin RP FDM 2



Gambar 3.4. Mekanisme kerja mesin RP FDM 2

Evaluasi desain mesin RP FDM 2 :

- 1) Penggunaan poros sebagai penopang beban sekaligus sebagai penggerak kurang dianjurkan karena pasti akan terjadi gesekan pada poros. Selain itu poros akan mengalami defleksi karena menerima beban.
- 2) Pada desain mesin *rapid prototyping* FDM 2 ini, sistem ekstruder belum selesai dikembangkan.

### 3.5 Desain Mesin *Rapid Prototyping* FDM 3

Desain mesin *rapid prototyping* FDM 3 adalah hasil pengembangan dari desain mesin *rapid prototyping* FDM 2. Desain ini lebih baik jika dibandingkan desain sebelumnya. Pada desain ini sistem ekstruder sudah selesai dibuat dan mekanisme ekstruder pun sudah jelas. Komponen sistem ekstruder terdiri dari nosel, komponen pemanas, *pulley*, *timing belt*, motor DC, dan braket. Evaluasi desain mesin RP FDM 3 hampir sama dengan desain sebelumnya karena belum banyak pengembangan yang dilakukan pada desain. Hanya dilakukan penambahan plat aluminium sebagai dasar rangka.



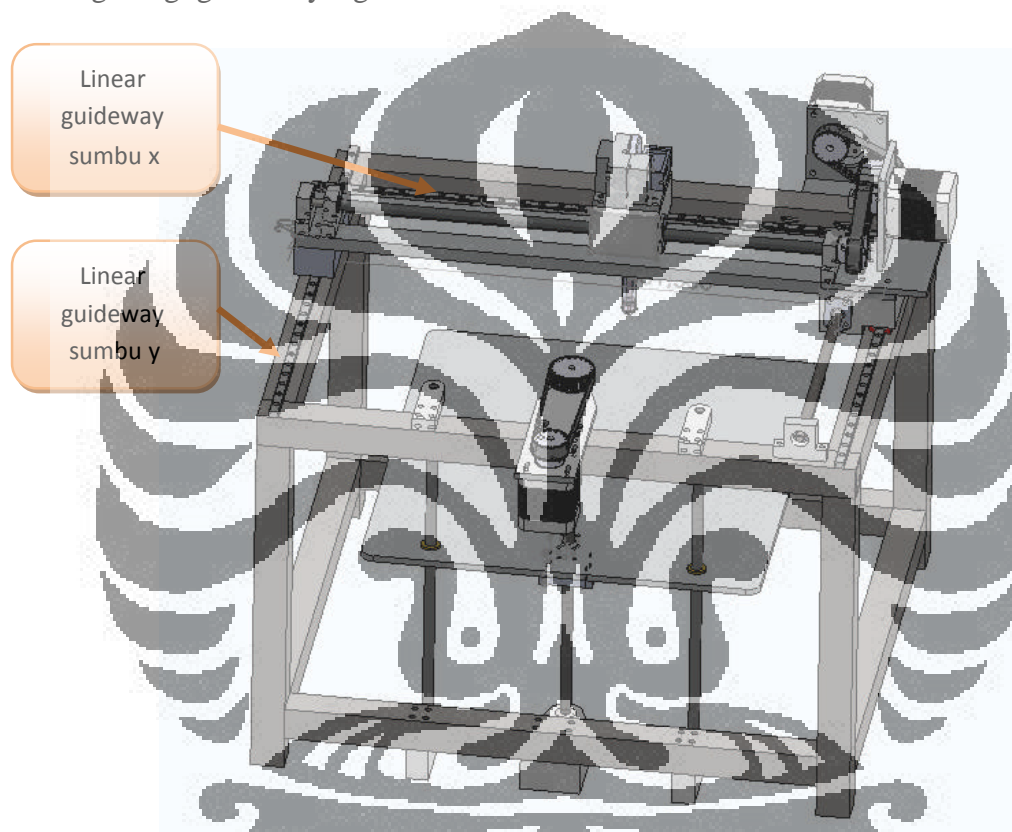
Gambar 3.5. Desain mesin RP FDM 3

Komponen-komponen mesin RP 3 antara lain :

- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| a) Braket penggerak sumbu y | f) Plat datar             |
| b) Meja (table z)           | g) <i>Bearing housing</i> |
| c) Rangka                   | h) Motor stepper          |
| d) <i>Ballscrew</i>         | i) Ekstruder              |
| e) Poros                    | j) <i>Pulley</i>          |

### 3.6 Desain Mesin *Rapid Prototyping* FDM 4

Desain mesin RP FDM 4 merupakan desain pengembangan dari desain-desain sebelumnya. Hal ini terlihat dari semakin detailnya komponen-komponen pendukung mesin. Kelemahan-kelemahan dari desain sebelumnya sudah ditangani dan dikembangkan dengan menggunakan komponen *linear guideway*. *Linear guideway* digunakan agar mekanisme pergerakan semakin baik karena dapat mengurangi gesekan yang muncul.

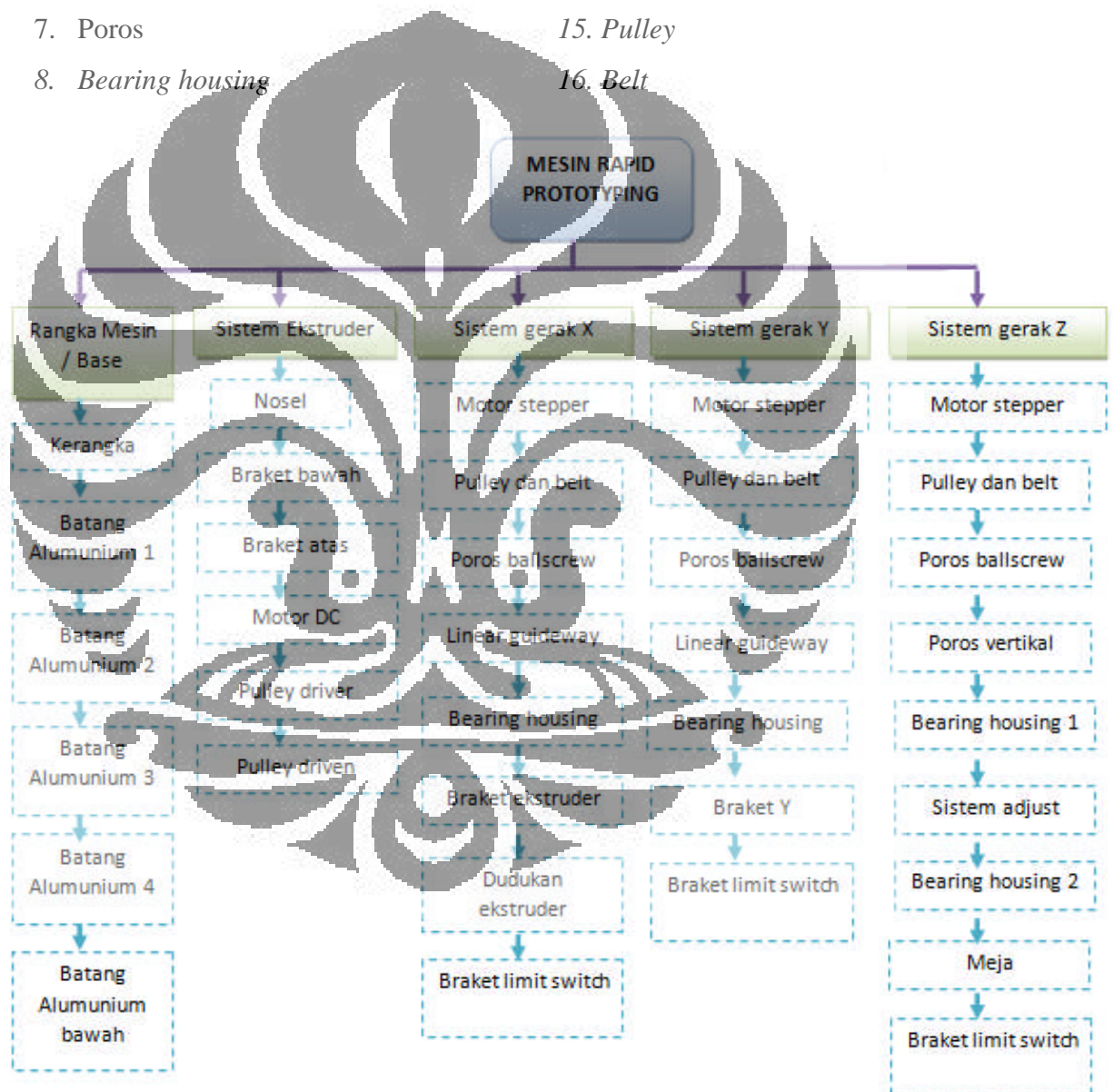


Gambar 3.6. Desain mesin RP FDM 4

Desain mesin *rapid prototyping* FDM 4 adalah desain yang ditetapkan sebagai desain akhir mesin *rapid prototyping*. Desain ini nantinya akan diproses manufaktur. Diharapkan selama proses pengerjaan tidak mengalami kesulitan dalam membuat komponen-komponen tersebut.

Komponen-komponen mesin *rapid prototyping* terdiri dari :

1. Motor stepper
2. *Linear guideway*
3. *Bearing housing*
4. *Bearing housing*
5. Rangka
6. Braket sumbu z
7. Poros
8. *Bearing housing*
9. *Ballscrew*
10. *Bearing housing*
11. Meja
12. *Bearing housing*
13. Braket nosel
14. Braket ekstruder
15. *Pulley*
16. *Belt*



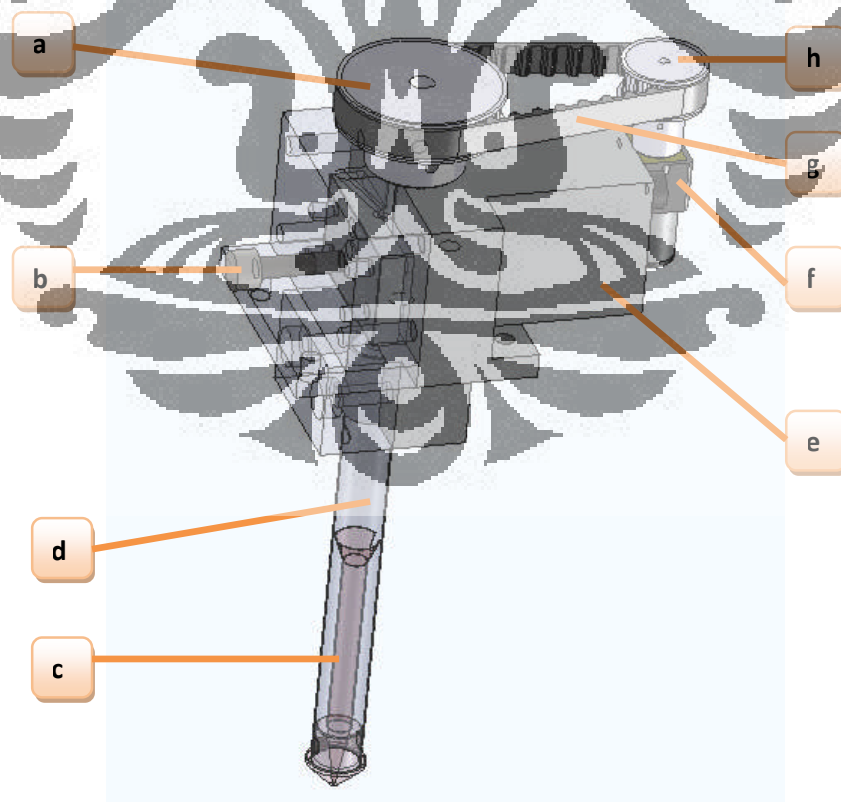
**Gambar 3.7.** Komponen mesin *rapid prototyping*

### 3.7 Desain Ekstruder

Ekstruder merupakan komponen yang sangat penting karena berfungsi mencairkan material termoplastik dan mendorongnya sehingga keluar melalui ujung nosel. Desain sistem ekstruder sangat riskan karena apabila ada kesalahan sedikit saja material yang telah dicairkan tidak akan bisa keluar melalui ujung nosel. Hal inilah yang menyebabkan adanya perubahan-perubahan dalam proses desain ekstruder. Perubahan-perubahan meliputi perubahan dari bentuk, mekanisme kerja, dan penggantian material.

#### 3.7.1 Desain Ekstruder 1

Desain sistem ekstruder yang pertama kali dikembangkan menggunakan mekanisme ulir untuk mendorong material nylon supaya masuk ke dalam ekstruder. Ulir ini digerakkan oleh *pulley driver* yang digerakkan oleh motor DC. Untuk mengunci material agar menempel pada ulir digunakan suatu *adjust* yang bisa diregangkan dan dikencangkan. Mekanisme ini butuh keakuratan yang tinggi agar ulir tersebut bisa mendorong material ke dalam ekstruder.



Gambar 3.8. Desain ekstruder 1

Komponen-komponen desain ekstruder 1, antara lain :

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| a) <i>Pulley driven</i> | e) Braket ekstruder     |
| b) Baut adjust          | f) Motor DC             |
| c) Nosel                | g) <i>Belt</i>          |
| d) Selongsong           | h) <i>Pulley driver</i> |

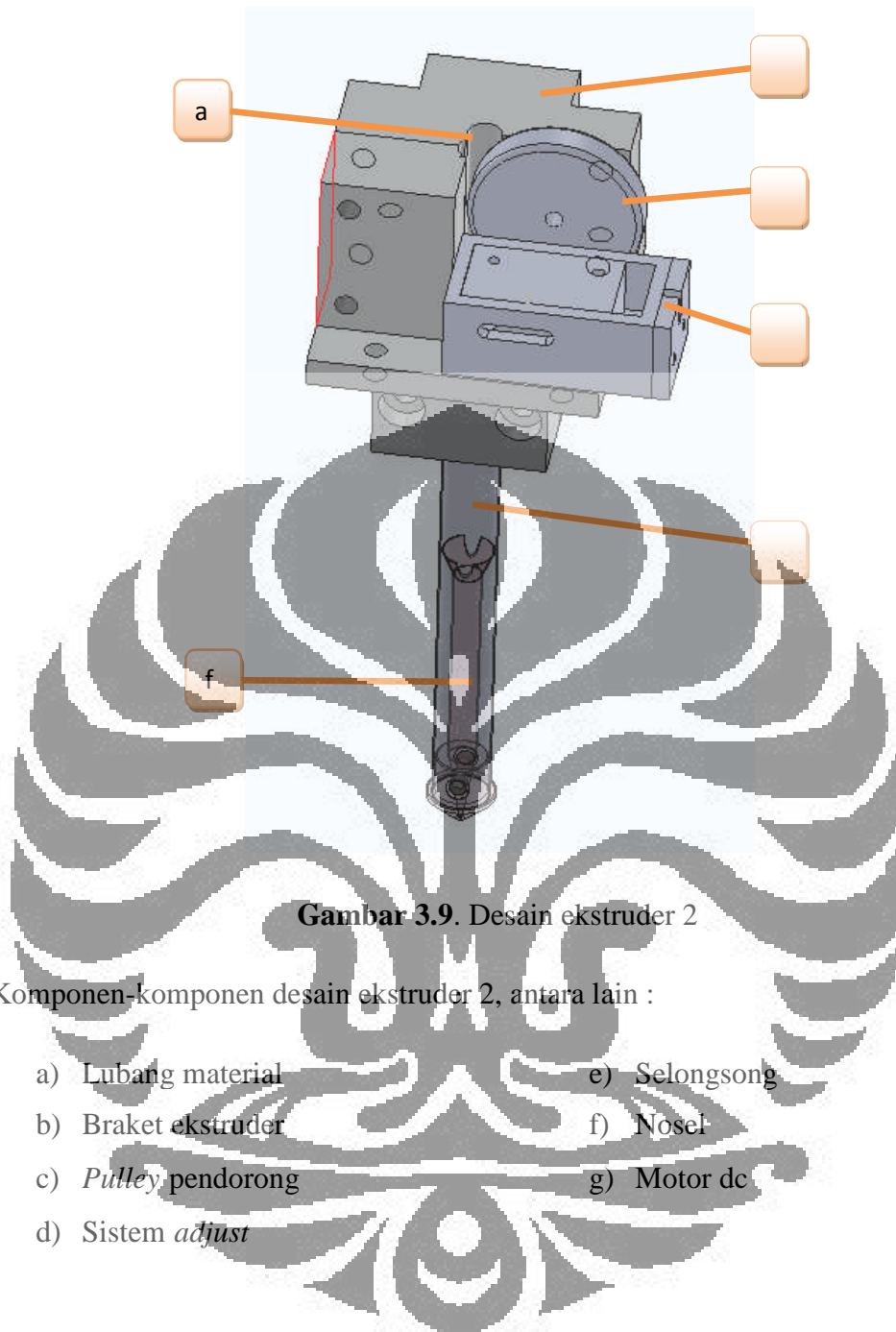
### Evaluasi sistem ekstruder 1 :

Setelah selesai proses pembuatan ternyata sistem ekstruder yang dikembangkan tidak dapat bekerja dengan baik. Hal ini disebabkan karena ulir pendorong tidak mampu mendorong material masuk ke dalam ekstruder. Ulir tidak mampu mencengkeram material nylon walaupun sudah didorong oleh sistem *adjust* dengan kuat.

### 3.7.2 Desain Ekstruder 2

Desain sistem ekstruder 2 merupakan perbaikan dan pengembangan dari desain sistem ekstruder yang pertama. Mekanisme untuk memasukkan material dirubah, tidak menggunakan metode ulir lagi. Mekanisme yang digunakan yaitu menggunakan metode *pulley*. Material di dorong masuk ke dalam ekstruder dengan menggunakan permukaan *pulley*. Mekanisme ini ternyata lebih baik dibandingkan dengan desain sistem ekstruder sebelumnya.

Desain sistem ekstruder 2 merupakan modifikasi dari sistem desain ekstruder 1. Hampir 85 % komponennya sama dengan desain ekstruder 1. Hal ini dilakukan supaya tidak banyak material yang terbuang.



**Gambar 3.9.** Desain ekstruder 2

Komponen-komponen desain ekstruder 2, antara lain :

- |                            |               |
|----------------------------|---------------|
| a) Lubang material         | e) Selongsong |
| b) Braket ekstruder        | f) Nosel      |
| c) <i>Pulley</i> pendorong | g) Motor dc   |
| d) Sistem <i>adjust</i>    |               |

Evaluasi sistem ekstruder 2 :

1. Mekanisme *pulley* jauh lebih baik dibandingkan dengan sistem ulir. Namun *pulley* yang digunakan untuk mendorong material lama-kelamaan akan haus dan akhirnya terjadi slip.
2. Sistem *adjust* yang digunakan terlalu rumit dan kurang baik. Sehingga perlu adanya perubahan dan perbaikan.

### 3.7.3 Desain Ekstruder 3

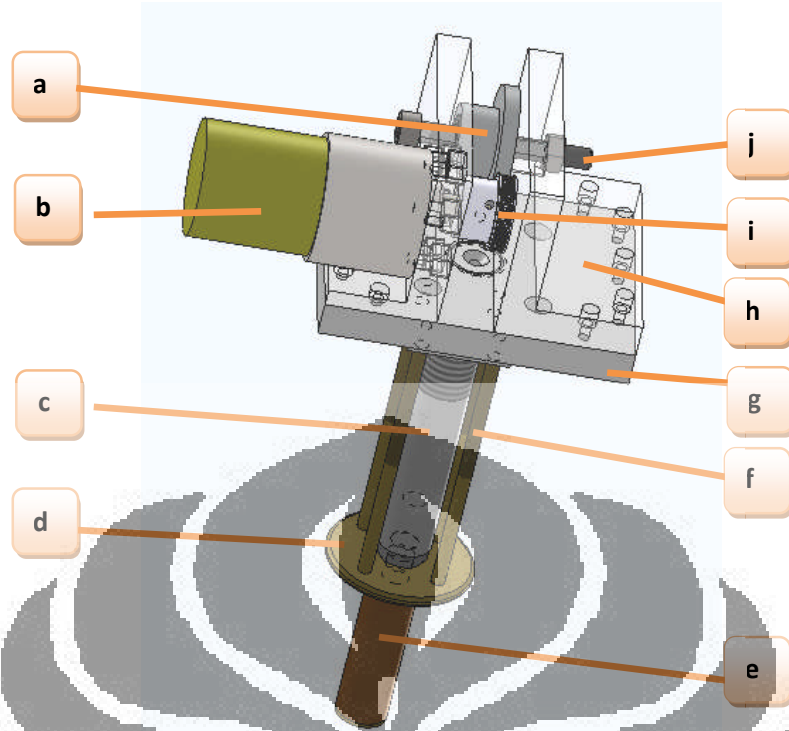
Desain sistem ekstruder 3 merupakan desain yang terakhir dan yang paling baik bila dibandingkan dengan desain yang lain. Desain sistem ekstruder 3 tidak memakai material alumunium seluruhnya, ada beberapa komponen yang menggunakan material polimer dan logam lain. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi panas dari nosel.

Desain sistem ekstruder menggunakan mekanisme 2 *pulley* untuk mendorong material ke dalam ekstruder yaitu sebuah *pulley driver* dan sebuah *pulley driven*. Material akan dijepit oleh kedua *pulley* ini. Permukaan *pulley* diberi sebuah karet dengan tujuan untuk menghindari slip. Desain ini sudah dipertimbangkan dengan baik sehingga hasilnya juga cukup memuaskan.

Motor DC yang digunakan berbeda dengan motor DC yang dipakai sebelum-sebelumnya. Motor DC yang dipakai memiliki torsi yang lebih tinggi namun dengan putaran rpm yang rendah. Hal ini bertujuan agar material yang masuk ke dalam ekstruder mudah dikontrol kecepatannya. Selain itu, untuk mendorong material masuk ke dalam ekstruder dibutuhkan torsi yang besar sehingga motor DC yang digunakan harus bertorsi besar pula.

Desain ekstruder 3 juga menggunakan bahan-bahan polimer sebagai isolator. Panas yang dihasilkan nosel sekitar  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sehingga perlu adanya isolator untuk menjaga panas itu agar tidak merambat ke komponen lain. Isolator ini diharapkan mampu menahan panas agar tidak keluar, walaupun keluar tidak terlalu tinggi suhunya.





**Gambar 3.10.** Desain ekstruder 3

Komponen-komponen ekstruder 3 :

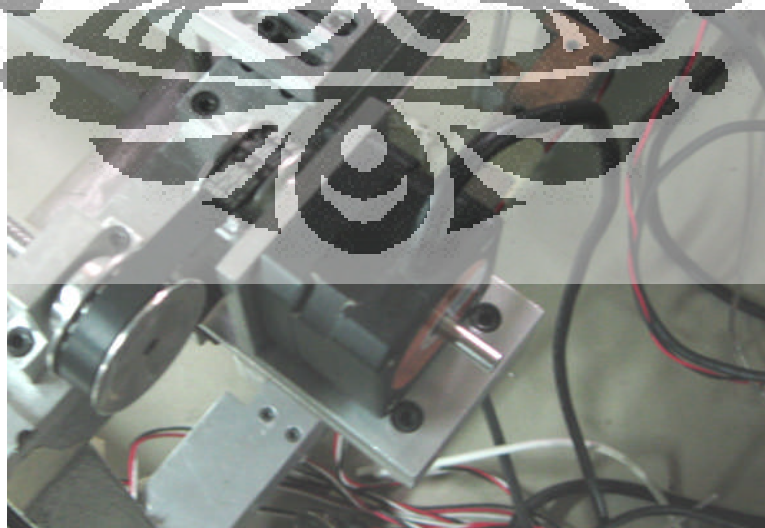
- a. *Pulley driver*
- b. Motor DC
- c. Selongsong teflon
- d. Pelat kuningan
- e. Nosel dan isolator
- f. Baut penyokong
- g. Braket Bawah
- h. Braket atas
- i. *Pulley driven*
- j. Baut pemegang *pulley*

## 3.8 Sistem Gerak

### 3.8.1 Motor Stepper

Motor stepper adalah motor listrik yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital, bukan dengan memberikan tegangan yang terus-menerus. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran shaft, dimana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau step, yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu, perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran yang diinginkan. Perhitungan pulsa secara otomatis menunjukkan besarnya putaran yang telah dilakukan, tanpa memerlukan informasi balik (*feedback*). [15]

Motor stepper pada umumnya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian dan keakuratan tinggi. Hal ini yang menjadi alasan kenapa pada desain mesin *rapid prototyping* menggunakan motor jenis stepper 5 fase. Motor stepper 5 fase merupakan jenis motor multifase yaitu tipe terbaru dari motor permanen dan hibrid, dimana semua kumparan dibuat menjadi satu siklus. Motor 5 fase memiliki kemampuan resolusi sampai 0,72 derajat per step. Motor 5 fase menghasilkan torsi yang lebih besar karena empat dari semua kumparan motor stator terinduksi di setiap titik dari siklus perputaran.

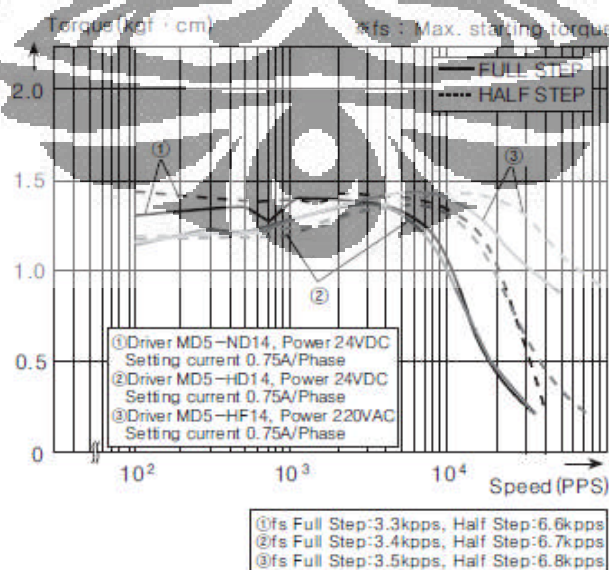


**Gambar 3.11.** Motor stepper 5 fase

Desain mesin *rapid prototyping* menggunakan 3 buah motor stepper 5 fase yang diproduksi Autonics. Tipe yang digunakan yaitu tipe A1K-S543(W) dengan spesifikasi di bawah ini:

**Tabel 3.1.** Spesifikasi motor stepper [13]

Model	Shaft type	A1K-S543(W)	A2K-S544(W)	A3K-S545(W)	—	—	—
	Hollow shaft type	AH1K-S543	AH2K-S544	AH3K-S545	—	—	—
	Shaft type+ Geared built-in type	—	—	—	A10K-S545(W)-G5	A15K-S545(W)-G7.2	A15K-S545(W)-G10
Max. allowable torque	—	—	—	—	10kgf·cm (1.0 N·m)	15kgf·cm (1.5 N·m)	15kgf·cm (1.5 N·m)
Max. holding torque	1.3kgf·cm (0.13 N·m)	1.8kgf·cm (0.18 N·m)	2.4kgf·cm (0.24 N·m)	—	—	—	—
Moment of rotor inertia	35 g·cm <sup>2</sup> (35×10 <sup>-7</sup> kg·m <sup>2</sup> )	54 g·cm <sup>2</sup> (54×10 <sup>-7</sup> kg·m <sup>2</sup> )	68 g·cm <sup>2</sup> (68×10 <sup>-7</sup> kg·m <sup>2</sup> )	—	—	68 g·cm <sup>2</sup> (68×10 <sup>-7</sup> kg·m <sup>2</sup> )	—
Rated current	0.75A/Phase						
Basic step angle	0.72° / 0.36° (Full / Half step)			0.144° / 0.072° (Full / Half step)	0.1° / 0.05° (Full / Half step)	0.072° / 0.036° (Full / Half step)	
Gear ratio	—			1 : 5	1 : 7.2	1 : 10	
Allowable speed range	—			0 ~ 360rpm	0 ~ 250rpm	0 ~ 180rpm	
Backlash [mm]	—			± 35' (0.58°)			
Insulation class	CLASS B type (130°C)						
Insulation resistance	Min. 100MΩ (Standard 500VDC mega) between Motor coil-case						
Dielectric strength	1Min. at 1kVAC (0.5kVAC for 0.75A/Phase) 50/60Hz between Motor coil-case						
Ambient temperature	-10°C ~ +50°C, Storage condition : -25°C ~ +85°C						
Ambient humidity	35 ~ 85%RH						
Protection	IP30 (IEC34-5 standard)						
Unit weight	Approx. 0.25kg	Approx. 0.3kg	Approx. 0.4kg	—	Approx. 5.8kg		



**Gambar 3.12.** Karakteristik motor stepper [13]

### 3.8.2 Ballscrew

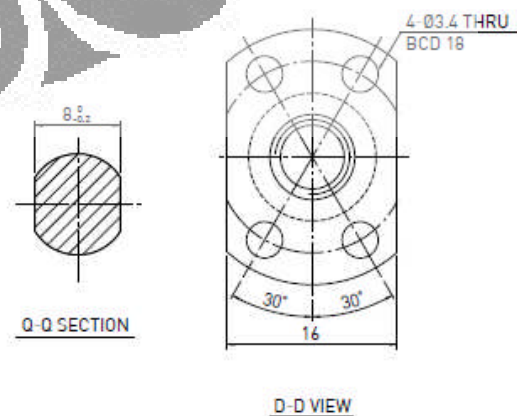
*Ballscrew* digunakan sebagai sistem penggerak untuk sumbu x, y, dan z. *Ballscrew* ini sangat penting karena berfungsi sebagai pengkonversi gerak rotasi dari motor menjadi gerak linear atau translasi. Poros *ballscrew* yang dipakai berukuran 8mm untuk diameter luar dan lead sebesar 2mm. Dalam desain mesin *rapid prototyping* ini digunakan poros *ballscrew* yang diproduksi oleh perusahaan HIWIN (Taiwan). Poros *ballscrew* dipilih dengan harapan agar pergerakan di masing-masing sumbu dapat presisi.



Gambar 3.13. *Ballscrew*

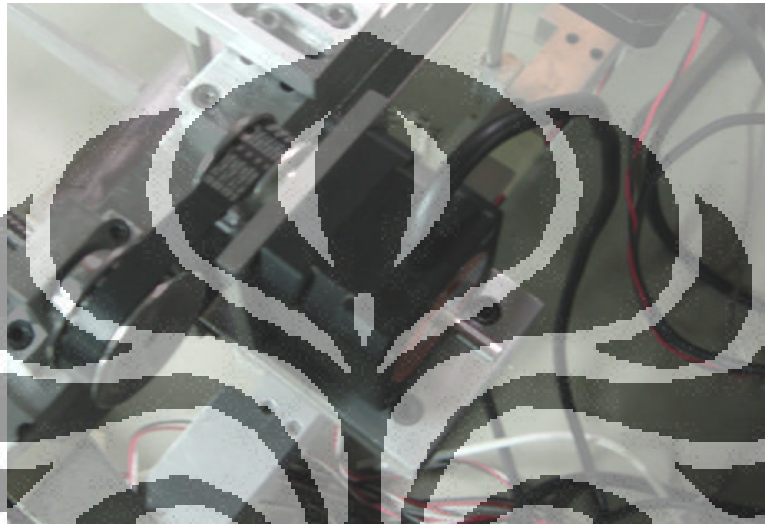
Tabel 3.2. Spesifikasi *ballscrew* [12]

Ballscrew Data		
Direction	Right Hand	
Lead (mm)	1.0	
Lead Angle	2.99'	
P.C.D (mm)	6.1	
Steel Ball (mm)	Ø0.8	
Circuits	1x3	
Dynamic Load C (Kgf)	66	
Static Load Co (Kgf)	111	
Axial Play (mm)	0	0.005 MAX
Drag Torque (Kgf-cm)	0.13 MAX	0.03 MAX
Spacer Ball	-	-

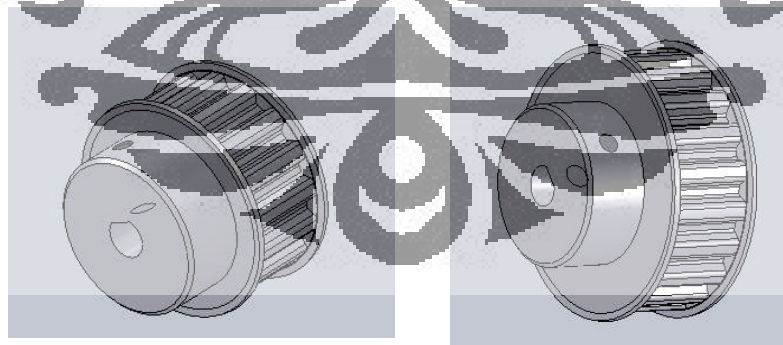


### 3.8.3 Pulley dan Belt

Mekanisme *pulley* dan *belt* dipakai dengan tujuan agar putaran dari poros motor tidak langsung diteruskan ke poros *ballscrew*. *Pulley* yang dipakai yaitu satu buah *pulley driver* dan satu buah *pulley driven*. *Pulley driven* memiliki diameter yang lebih besar dan jumlah gigi lebih banyak. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kecepatan putaran dari motor.



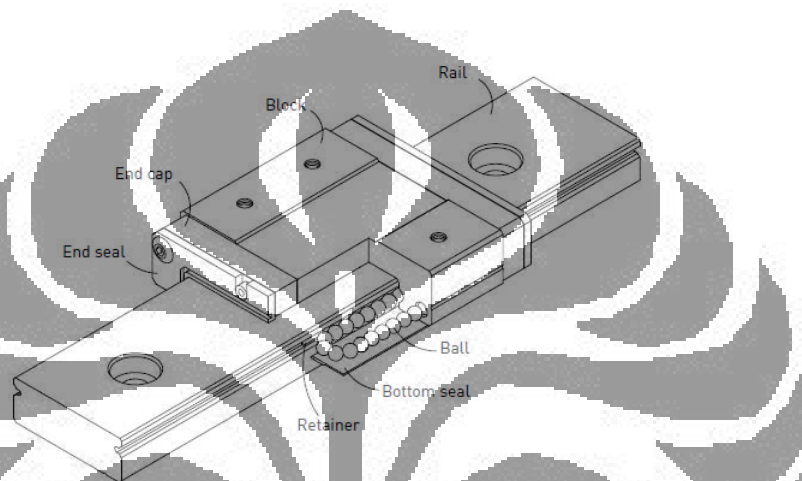
**Gambar 3.14.** *Pulley dan belt*



**Gambar 3.15.** *Pulley driver dan pulley driven*

### 3.8.4 Linear Guideway

*Linear guideway* merupakan mekanisme pada sistem gerak yang berfungsi sebagai penopang beban agar beban dari konstruksi tidak langsung diterima oleh poros *ballscrew*. Selain itu, linear guideway juga berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi selama pergerakan. Hal ini dikarenakan *linear guideway* menggunakan sistem bola. Semakin besar beban yang diterima, maka pergerakan makin bagus.



Gambar 3.16. *Linear guideway* [12]

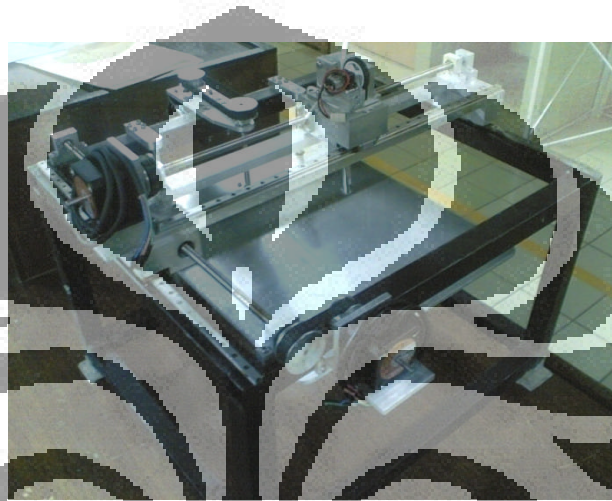
Tabel 3.3. Spesifikasi *linear guideway* [12]

Model No.	Dimensions of Assembly (mm)							Dimensions of Block (mm)										Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C (kgf)	Basic Static Load Rating C <sub>0</sub> (kgf)	Static Rated Moment			Weight					
	H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	G	G <sub>1</sub>	M <sub>1</sub> × M <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	W <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	D	h				h <sub>1</sub>	P	E	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	Block	Rail	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kgf-m)	(kgf-m)	(kgf-m)	(kg)	(kg/m)
MGN 7C	8	1.5	5	17	12	2.5	8	13.5	22.5	-	Ø1.2	M2x2.5	1.5	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2x6	100	127	0.48	0.29	0.29	0.010	0.22	
MGN 7H							13	21.8	30.8												M2x6	140	200	0.78	0.49	0.49	0.015		
MGN 9C	10	2	5.5	20	15	2.5	10	18.9	28.9	-	Ø1.2	M3x3	1.8	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	190	260	1.2	0.75	0.75	0.016	0.38	
MGN 9H							16	29.9	39.9												M3x8	260	410	2	1.9	1.9	0.026		
MGN 12C	13	3	7.5	27	20	3.5	15	21.7	34.7	-	Ø1.4	M3x3.5	2.5	12	8	6	4.5	3.5	25	10	M3x8	290	400	2.6	1.4	1.4	0.034	0.65	
MGN 12H							20	32.4	45.4												M3x8	380	600	3.9	3.7	3.7	0.054		
MGN 15C	16	4	8.5	32	25	3.5	20	26.7	42.1	-	Ø1.5	M3	M3x4	3	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	470	570	4.6	2.2	2.2	0.059	1.06
MGN 15H							25	43.4	58.8												M3x10	650	930	7.5	5.9	5.9	0.092		

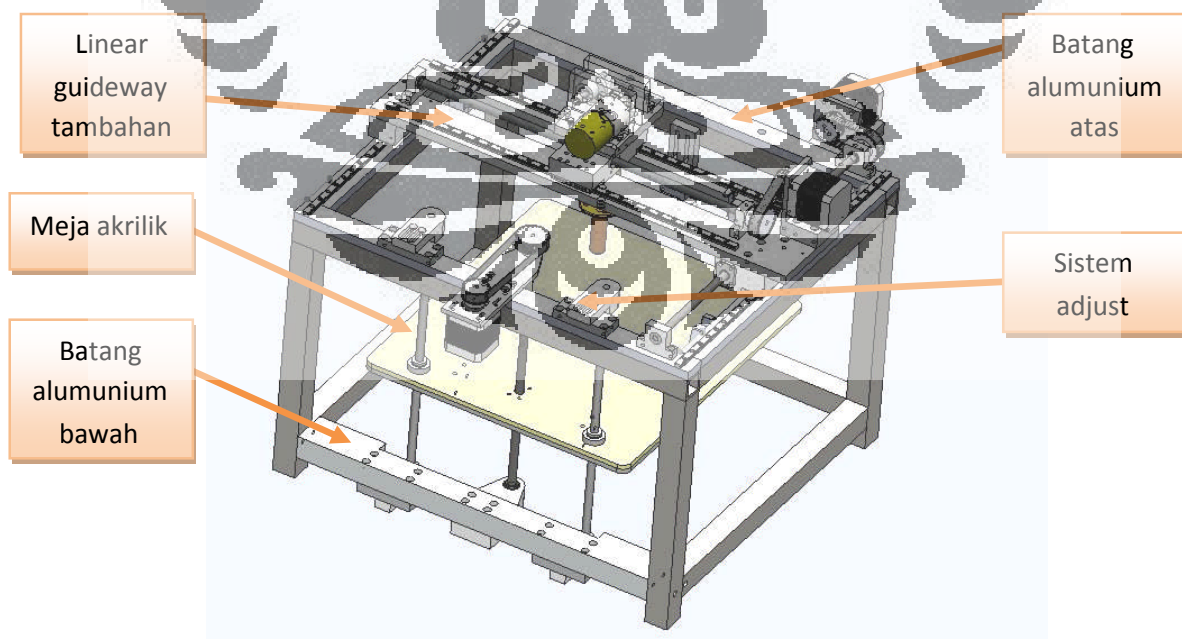
Note : 1 kgf = 9.81 N

### 3.9 Pengembangan Mesin RP FDM

Pengembangan mesin dilakukan dengan tujuan agar diperoleh mesin yang lebih presisi dibandingkan dengan desain mesin sebelumnya. Banyak sekali masalah yang dijumpai pada saat proses pembuatan mesin RP FDM yang pertama. Hal ini dikarenakan masih belum cukupnya pengetahuan di bidang manufaktur. Oleh karena itu dalam pengembangan mesin ini banyak sekali perbaikan-perbaikan yang telah dilakukan.



Gambar 3.17. Desain mesin RP FDM pertama



Gambar 3.18. Desain mesin RP FDM pengembangan

Perbaikan pertama yaitu adanya penambahan empat batang alumunium sebagai referensi. Empat batang ini berfungsi sebagai penopang komponen di atasnya. Pada mesin sebelumnya komponen-komponen langsung dibaut pada kerangka, dimana kerangka tersebut sangat tidak presisi karena hasil pengelasan. Akibatnya komponen yang dibaut pada kerangka tidak mungkin bisa presisi. Batang alumunium ini diharapkan bisa mengatasi permasalahan tersebut.

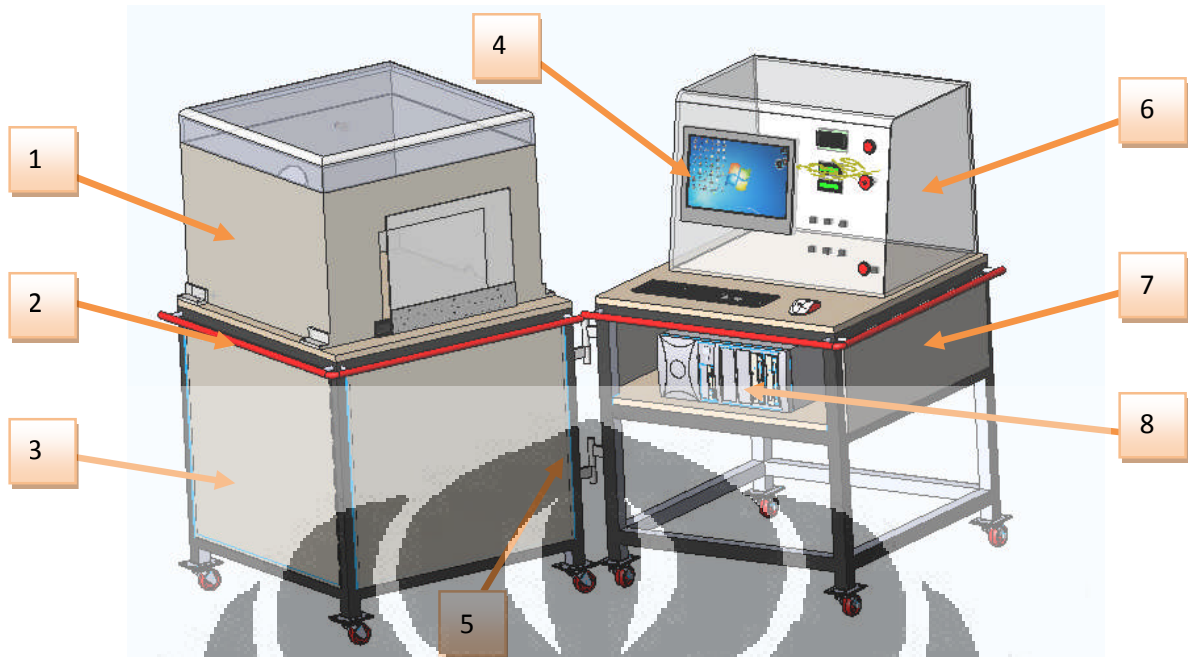
Perbaikan kedua yaitu adanya penambahan batang alumunium bagian bawah. Fungsi batang ini sama halnya dengan batang atas, yaitu sebagai referensi untuk komponen-komponen lain. Batang referensi ini sangat penting dan sangat membantu pada saat perakitan.

Perbaikan yang ketiga yaitu perubahan desain meja dan penahannya. Desain sebelumnya material yang dipakai adalah alumunium, sedangkan pada desain pengembangan ini digunakan akrilik yang massa jenisnya jauh lebih kecil. Berat meja diharapkan bisa seringan mungkin agar poros *ballscrew* pada sumbu z tidak mengalami bending.

Perbaikan yang keempat yaitu penambahan linear guideway pada sumbu-x. Awalnya hanya menggunakan satu linear guideway, namun karena pergerakannya kurang sempurna maka ditambah satu linear guideway. Pergerakan setelah menggunakan dua linear guideway jauh lebih baik, hal ini dikarenakan beban dari konstruksi terbagi menjadi dua.

Hal terakhir yang dilakukan dalam pengembangan mesin RP FDM yaitu dengan dibuatnya penutup/casing, panel, dan meja. Layaknya mesin-mesin lainnya, mesin *rapid prototyping* tidak mungkin dibiarkan terbuka begitu saja. Apalagi saat proses *rapid prototyping* berlangsung kondisi udara harus dijaga. Alasan itulah yang menjadi pertimbangan dalam pembuatan penutup dan meja untuk mesin RP FDM ini.





Gambar 3.19. Desain meja, casing, dan panel

Keterangan :

1. *Casing*/penutup mesin akrilik
2. Pegangan (*handle*)
3. Meja casing
4. Monitor
5. Engsel
6. Panel akrilik
7. Meja panel
8. CPU komputer

### 3.10 Analisis Pembebanan Statik (*Static loading*)

Analisis pembebanan dilakukan untuk mengetahui apakah desain yang dibuat mampu menahan beban yang diterima nantinya. Analisis pembebanan ini dilakukan hanya pada bagian-bagian yang dianggap paling vital saja seperti pada poros *ballscrew*, poros vertikal, dan meja.

*Load* atau beban adalah gaya atau semua gaya yang diterima atau bekerja pada sebuah komponen mekanik (komponen mesin). Berdasarkan pengaruh waktu beban terdiri dari :

- a. Beban statis (*Static Load*).  
Adalah beban yang diberikan dalam waktu yang relatif tidak lama dan besarnya tetap.
- b. Beban tetap (*sustained load*)  
Beban seperti berat dari struktur yang bersifat konstan sepanjang waktu.
- c. Beban tidak tetap (*cyclic load*)  
Beban yang besarnya bervariasi dan berpengaruh terhadap waktu.
- d. Beban Kejut (*Impact Load*).  
Adalah beban yang diberikan secara tiba-tiba dan dalam waktu yang singkat.[3]

#### 3.10.1 Prediksi Kegagalan (*Failure Prediction*)

Prediksi kegagalan atau *failure prediction* digunakan untuk mengetahui kinerja dari komponen saat dilakukan pembebanan. Metode yang digunakan yaitu *multiaxial stress state* karena pada metode ini membandingkan *normal stress* dan *shear stress* ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ ). Untuk material *ductile* ada 2 teori prediksi kegagalan, yaitu MSST (*maximum-shear stress theory*) dan DET (*distortion energy theory*).

### 1. *Maximum-shear stress theory (MSST)*

MSST atau biasa disebut Tresca *yield criterion* merupakan salah satu metode untuk menentukan prediksi kegagalan dari suatu komponen. MSST merupakan metode yang baik untuk material *ductile*.

Pada metode MSST persamaan  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  digunakan untuk *principal stresses* dan menggunakan *shear stress* maksimum untuk mengetahui *failure prediction*.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s} \quad [3]$$

dimana:  $S_y = \text{yield stress material}$   
 $n_s = \text{safety factor}$

### 2. *Distortion energi theory (DET)*

*Distortion energi theory (DET)* biasa disebut Von Mises *criteterion*. Pada metode ini prediksi kegagalan disebabkan oleh energi elastis yang berhubungan dengan *shear deformation*.

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2)^{0.5} \quad [3]$$

$$\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$$

dimana:  $S_y = \text{yield stress material}$   
 $n_s = \text{safety factor}$

$\sigma_e = \text{tegangan ekuivalen (Von Mises stress)}$

### 3.10.2 Penentuan *Safety factor*

*Safety factor* menjadi hal yang sangat penting dalam perancangan untuk mengkompensasi kondisi-kondisi yang tidak pasti dan tidak diketahui. Dalam perancangan, *safety factor* digunakan untuk mengkompensasi beberapa kemungkinan misalnya adanya gaya luar yang terjadi pada saat perakitan komponen. *Safety factor* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$n_s = \frac{\sigma_{all}}{\sigma_d} \quad [3]$$

Dimana:

$n_s$  = *safety factor*

$\sigma_{all}$  = tegangan normal yang diperbolehkan, Pa

$\sigma_d$  = tegangan normal perancangan, Pa

Apabila  $n_s > 1$ , maka perancangan adalah memenuhi persyaratan, sebaliknya apabila  $n_s < 1$  maka perancangan tidak memenuhi persyaratan dan perbaikan perlu dilakukan. Ada beberapa metode penetapan nilai *safety factor*, pada perancangan Sistem Pendeteksi Gaya Multi Axis metode yang digunakan adalah metode yang disusun secara sistematis oleh Pugsley (1966). Berikut adalah persamaan *safety factor* pada metode ini :

$$n_s = n_{sx} \cdot n_{sy} \quad [3]$$

Dimana:

$n_{sx}$  = *safety factor* yang melingkupi karakteristik A, B, dan C

A = kualitas material, pengerjaan, perawatan, dan inspeksi

B = kontrol beban berlebih terhadap komponen

C = keakuratan analisa tegangan, data eksperimen, atau pengalaman

$n_{sy}$  = *safety factor* yang melingkupi karakteristik D dan E

D = tingkat bahaya terhadap manusia

E = pengaruh ekonomi

Walaupun prosedur yang digunakan cukup sederhana dalam penentuan nilai *safety factor*, metode Pugsley mengilustrasikan pengertian-pengertian yang mendukung dalam penyeleksian *safety factor*. Beberapa parameter, seperti kekuatan material dan beban yang muncul, mungkin saja tidak terdefiniskan dan kepercayaan terhadap analisa engineering dapat diragukan. Maka dari itu, untuk alasan ini *safety factor* disebut sebagai faktor yang tidak dapat diabaikan, sebagaimana *safety factor*-lah yang mengkompensasi keterbaikannya faktor lingkungan, sebuah situasi dimana semua *engineer* abaikan. Juga metode Pugsley merupakan sebuah faktor pembantu dan tidak terlalu konservatif, sebagian besar *safety factor* memiliki nilai yang tinggi, yang diperoleh dari perhitungan dari ru.

Berikut adalah tabel untuk karakteristik *safety factor* A, B, C, D, dan E. Karakter yang bertulis tebal dan bertanda kuning adalah karakter yang sesuai dengan perancangan.

**Tabel 3.4.** Karakteristik A, B, dan C pada *safety factor*

Characteristic			B				
			very good	good	fair	poor	
A	very good	C	very good	1,1	1,3	1,5	1,7
			good	1,2	1,45	1,7	1,95
			fair	1,3	1,6	1,9	2,2
			poor	1,4	1,75	2,1	2,45
	good	C	very good	1,3	1,55	1,8	2,05
			good	1,45	1,75	2,05	<b>2,35</b>
			fair	1,6	1,95	2,3	2,65
			poor	1,75	2,15	2,55	2,95
	fair	C	very good	1,5	1,8	2,1	2,4
			good	1,7	2,05	2,4	2,75
			fair	1,9	2,3	2,7	3,1
			poor	2,1	2,55	3	3,45
	poor	C	very good	1,7	2,15	2,4	2,75
			good	1,95	2,35	2,75	3,15
			fair	2,2	2,65	3,1	3,55
			poor	2,45	2,95	3,45	3,95

**Tabel 3.5.** Karakteristik D dan E pada *safety factor*

Characteristic		D		
		Not serious	Serious	Very serious
E	Not serious	1	1,2	1,4
	Serious	1	1,3	1,5
	very serious	1,2	1,4	1,6

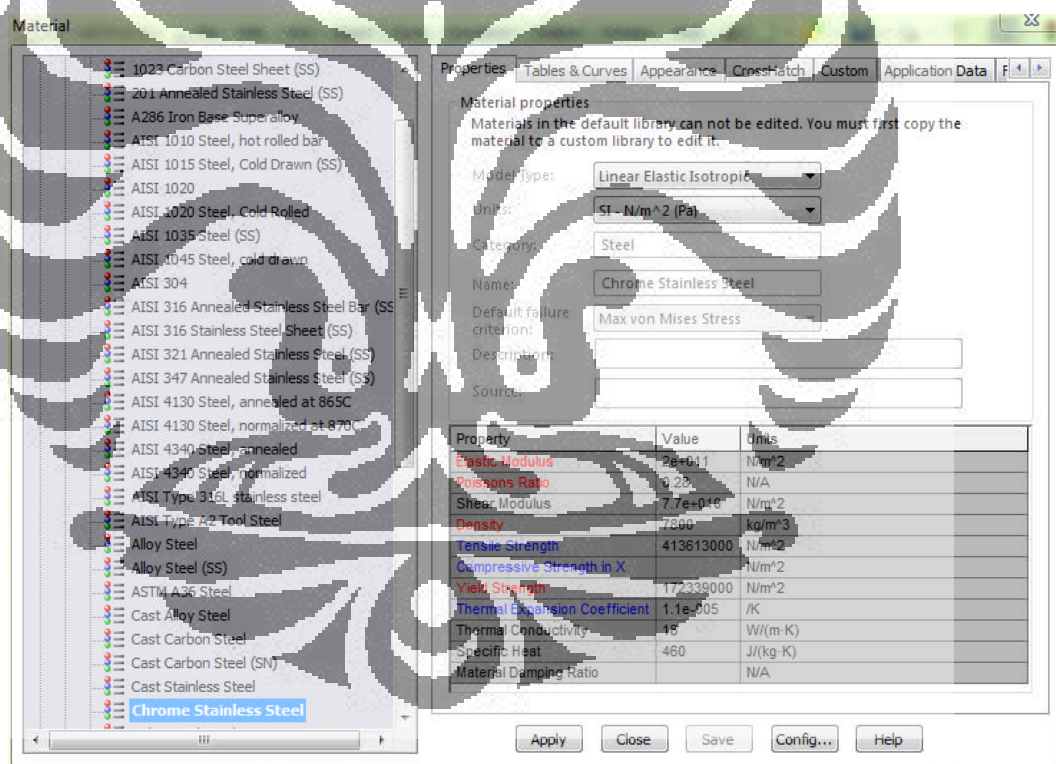
**Tabel 3.6.** Penetapan karakteristik *safety factor*

<i>Safety factor</i>	
quality of materials, workmanship, maintenance, and inspection	good
control over load applied to part	poor
accuracy of stress analysis, experimental data, or experience	good
danger to personnel	not serious
economic impact	not serious
<i>safety factor</i>	$n_s$ 2,35

### 3.10.3 Analisis dengan perangkat lunak

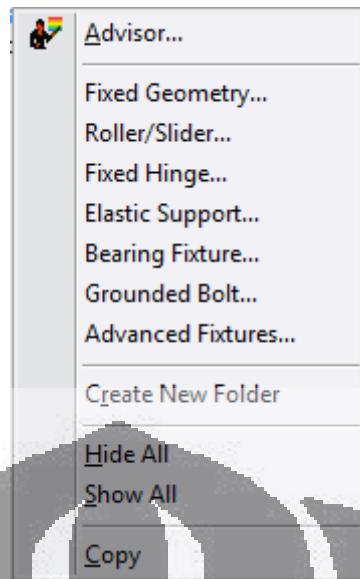
Analisis prediksi kegagalan dilakukan dengan menggunakan aplikasi Solidworks 2010 dan hanya menggunakan beban statik. Analisis ini bertujuan untuk mencari bagian manakah yang memiliki tegangan kritis maksimum dan mengalami defleksi saat pembebanan dilakukan agar setelah mesin *rapid prototyping* selesai dimanufaktur tidak mengalami masalah saat dijalankan dengan beban.

Analisis pembebanan melalui beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahap pertama yaitu penentuan jenis material komponen. Penentuan jenis material sangat penting untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari komponen. Penentuan jenis material bisa dilakukan dengan menggunakan referensi dari Solidwork 2010. Kita hanya tinggal menentukan material yang cocok dan sesuai.



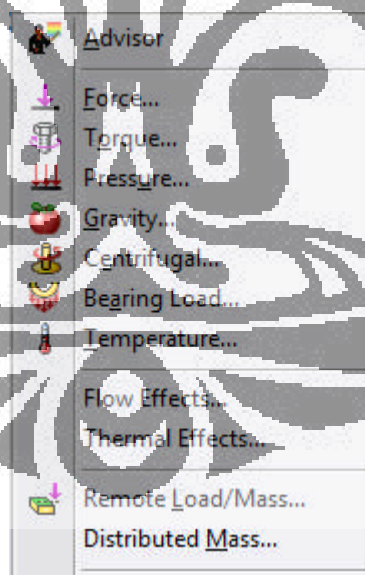
**Gambar 3.20.** Penentuan jenis material yang dipakai

Tahap yang kedua yaitu memilih *fixture* yang digunakan. Pada tahap ini harus diasumsikan *fixture* apa yang akan dipakai. Ada beberapa jenis *fixture* yaitu: *fixed geometry*, *roller/slider*, *fixed hinge*, *elastik support*, dan *bearing fixture*. Setelah menentukan *fixture* yang dipakai kemudian masuk pada tahap ketiga.



**Gambar 3.21.** Penentuan jenis *fixture*

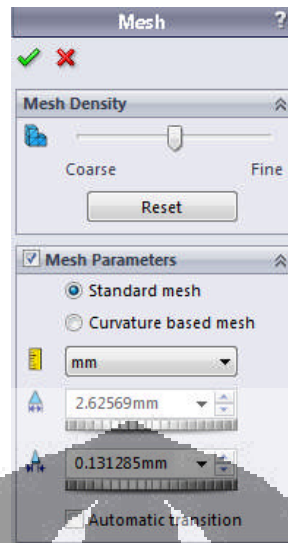
Tahap ketiga yaitu menentukan jenis beban. Beban bisa berupa gaya, tekanan, suhu, gravitasi, torsi, dan gaya sentrifugal. Pada tahap ini harus memilih jenis beban yang digunakan dan memasukkan berapa besar beban tersebut.



**Gambar 3.22.** Penentuan jenis beban yang diterima

Tahap selanjutnya atau tahap keempat yaitu menentukan *mesh*. Pemilihan *mesh* ini menentukan seberapa akurat hasil analisis ini. Semakin kecil *mesh* maka semakin akurat hasil analisisnya.



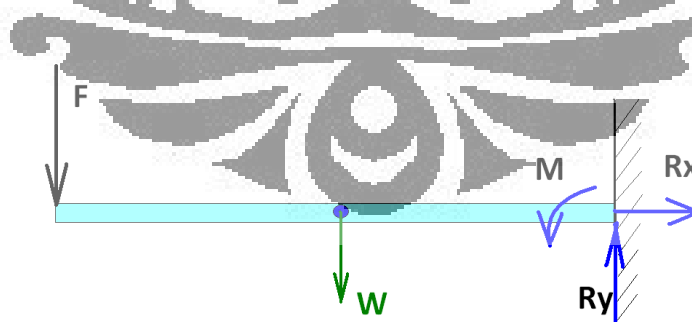


**Gambar 3.23.** Penentuan ukuran *mesh*

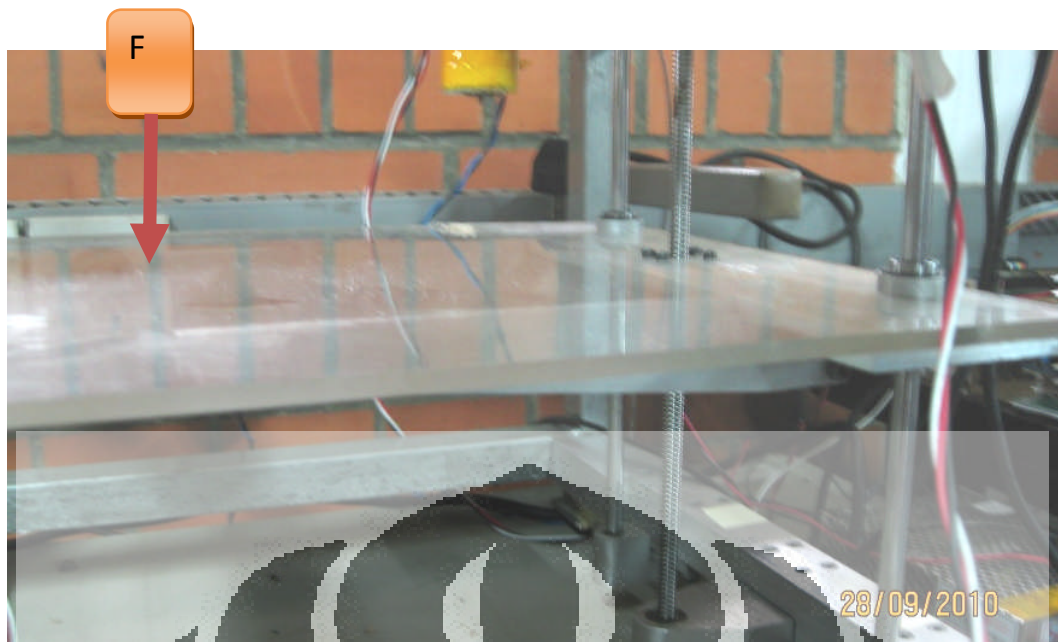
Tahap terakhir yaitu tahap *run* atau menjalankan analisis. Hasil analisis ini bisa langsung dilihat karena hasilnya bisa langsung dikirim ke bentuk dokumen. Analisis ini dilakukan pada tiga komponen yaitu : poros *ballscrew*, poros vertikal, dan meja.

### 1. Analisis Pembebanan Pada Meja Akrilik

Meja akrilik berfungsi sebagai tempat peletakan material yang dikeluarkan oleh nosel. Meja akrilik selain menahan beban dari beratnya sendiri juga akan menahan beban dari material plastik.



**Gambar 3.24.** FBD meja akrilik



**Gambar 3.25.** Meja akrilik yang diberi beban

**Tabel 3.7.** Properties material meja akrilik

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	SolidBody 1(Fillet1)	[SW]Acrylic (Medium-high impact)	0.6 kg	0,5 cm <sup>3</sup>

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2,4e+009	N/m <sup>2</sup>	Constant
Poisson's ratio	0.35	NA	Constant
Shear modulus	8.9e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Mass density	1200	kg/m <sup>3</sup>	Constant
Tensile strength	5.1702e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Yield strength	2.0681e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Thermal expansion coefficient	5.2e-005	/Kelvin	Constant
Thermal conductivity	0.2	W/(m.K)	Constant
Specific heat	15	J/(kg.K)	Constant

**Tabel 3.8.** Karakteristik *mesh* meja akrilik

Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	16.728 mm
Tolerance:	0.8364 mm
Quality:	High
Number of elements:	3608
Number of nodes:	7327
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:01:01
Computer name:	ARILEKSANA-PC

**Tabel 3.9.** Free body force meja

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N	-1.13249e-006	0.000144392	-2.23517e-007	0.000144397

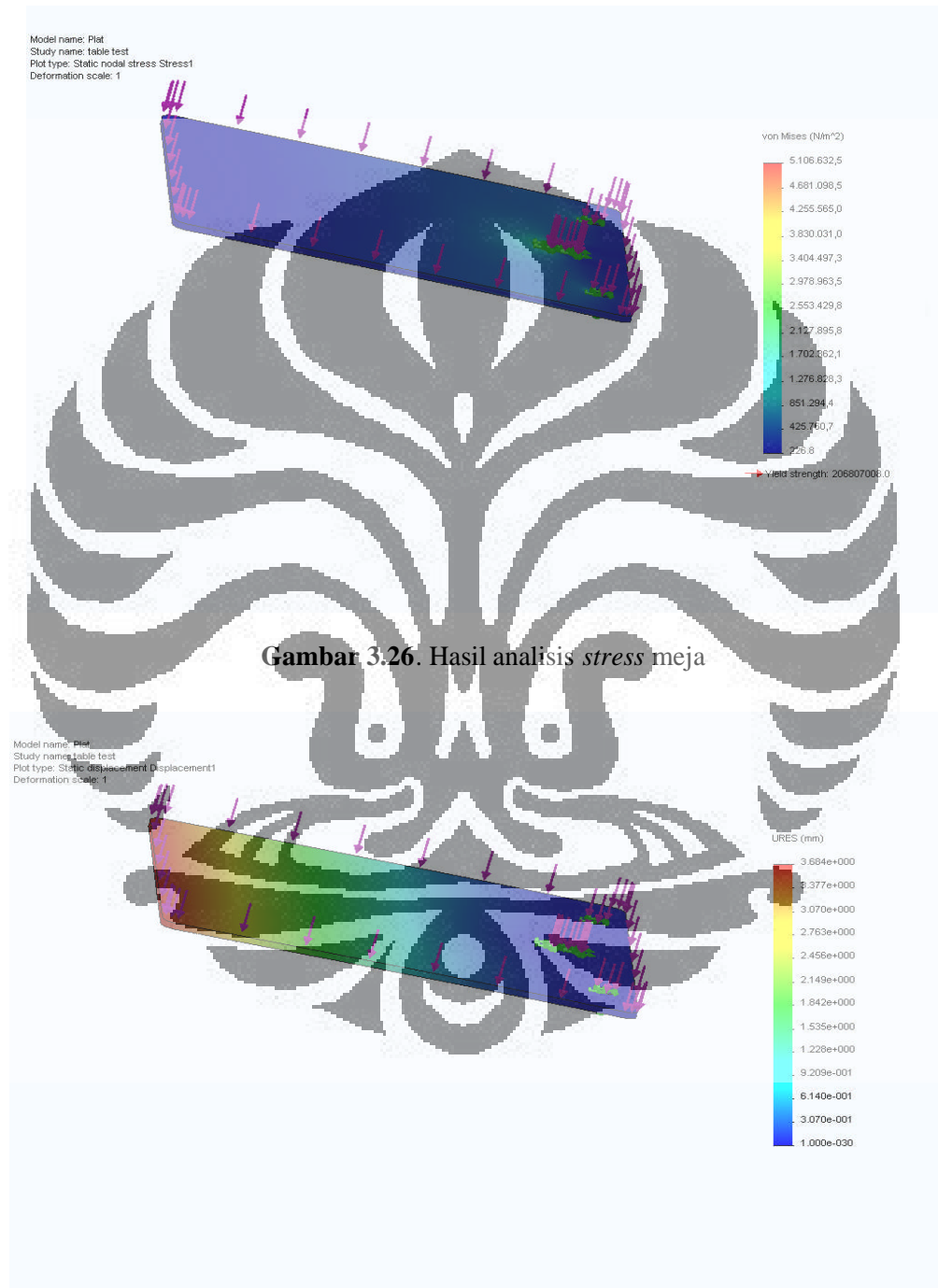
**Tabel 3.10.** Free body moment meja

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N-m	0	0	0	1e-033

**Tabel 3.11.** Hasil analisis meja

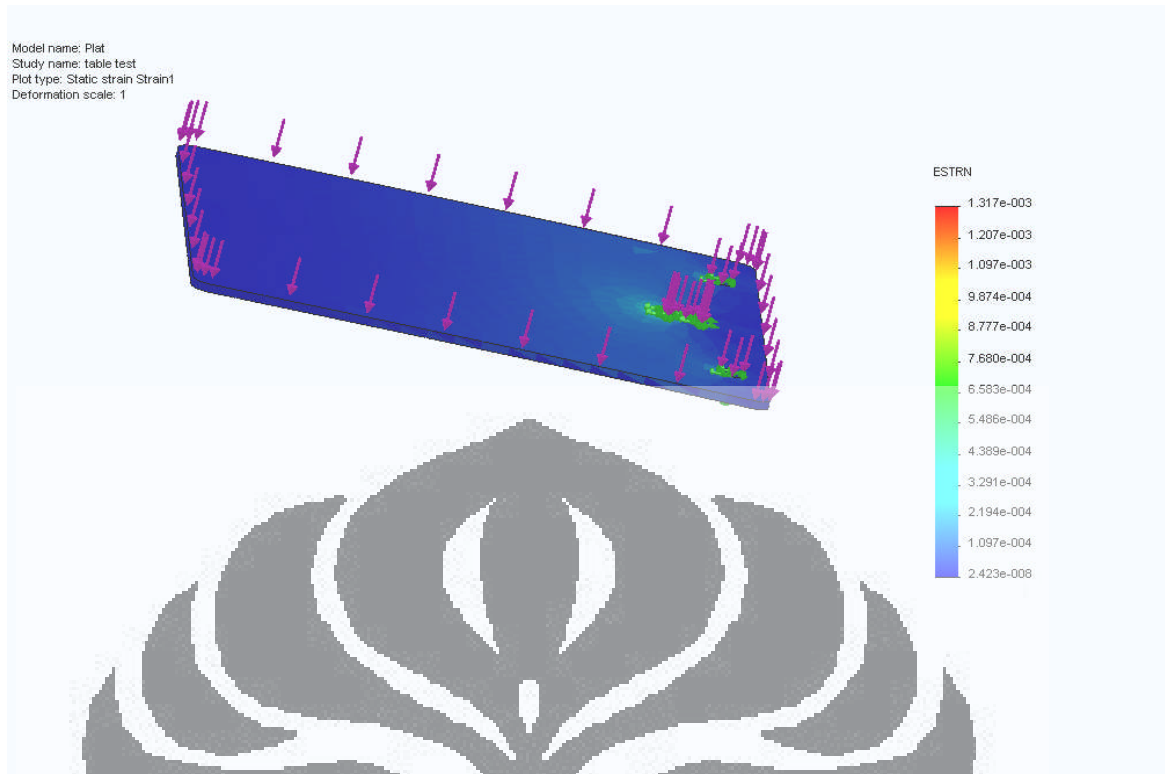
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1		226.847 N/m <sup>2</sup>	(-170 mm, -1.1 mm, 8.23mm)	5.10663e+006 N/m <sup>2</sup>	(111.5mm, 5 mm, -6mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	(148 mm, 5 mm, 92.5 mm)	3.6 mm Node: 147	(-170 mm, 1.3 mm, 8.2 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent	2.42295e-008 Element:	(-165.952 mm,	0.00131652 Element: 2257	(111 mm, 4.47557 mm,

	Strain	2677	-1.11713 mm, -16.5248 mm)		5.83618 mm)
--	--------	------	------------------------------	--	-------------



Gambar 3.26. Hasil analisis *stress* meja

Gambar 3.27. Hasil analisis *displacement* meja



Gambar 3.28. Hasil analisis *strain* meja

Dari hasil analisis diperoleh bahwa maksimum tegangan yang adalah sebesar  $5.106.630 \text{ N/m}^2$  dan defleksi maksimum sebesar  $3,6 \text{ mm}$ . Bila dihitung prediksi kegagalannya dengan MSST :

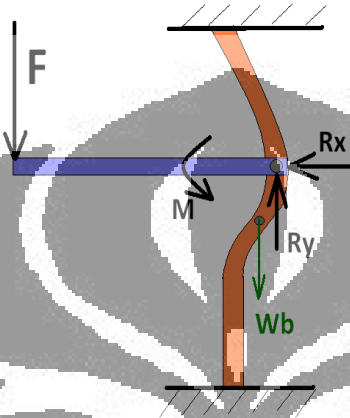
$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s}$$

$$5.106.630 \text{ N/m}^2 = 517.020.000 \text{ N/m}^2 / 2,35$$

$$5.106.630 \text{ N/m}^2 < 220.008 \text{ k N/m}^2 \text{ (artinya desain belum failure)}$$

## 2. Analisis Pembebanan Pada Poros *Ballscrew*

Sama halnya dengan meja akrilik, poros *ballscrew* juga merupakan komponen yang sangat riskan. Sebenarnya ada 3 poros *ballscrew* yang digunakan, namun hanya poros *ballscrew* pada sumbu z yang dianalisis karena merupakan yang paling riskan dan menerima beban yang cukup besar.



Gambar 3.29. FBD poros *ballscrew*

Tabel 3.12. Properties material poros *ballscrew*

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	SolidBody 1(Chamfer1)	[SW]Alloy Steel	0.11 kg	1.4e-005 m <sup>3</sup>

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2.1e+011	N/m <sup>2</sup>	Constant
Poisson's ratio	0.28	NA	Constant
Shear modulus	7.9e+010	N/m <sup>2</sup>	Constant
Mass density	7700	kg/m <sup>3</sup>	Constant
Tensile strength	7.2383e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Yield strength	6.2042e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Thermal expansion coefficient	1.3e-005	/Kelvin	Constant

Thermal conductivity	50	W/(m.K)	Constant
Specific heat	460	J/(kg.K)	Constant

**Tabel 3.13.** Karakteristik *mesh* poros *ballscrew*

Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	4.746 mm
Tolerance:	0.2 mm
Quality:	High
Number of elements:	1631
Number of nodes:	3341
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:01
Computer name:	ARILEKSANA-PC

**Tabel 3.14.** Free body force poros *ballscrew*

Free-Body Forces Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N	-0.000176807	0.000325972	0.00110743	0.00116787

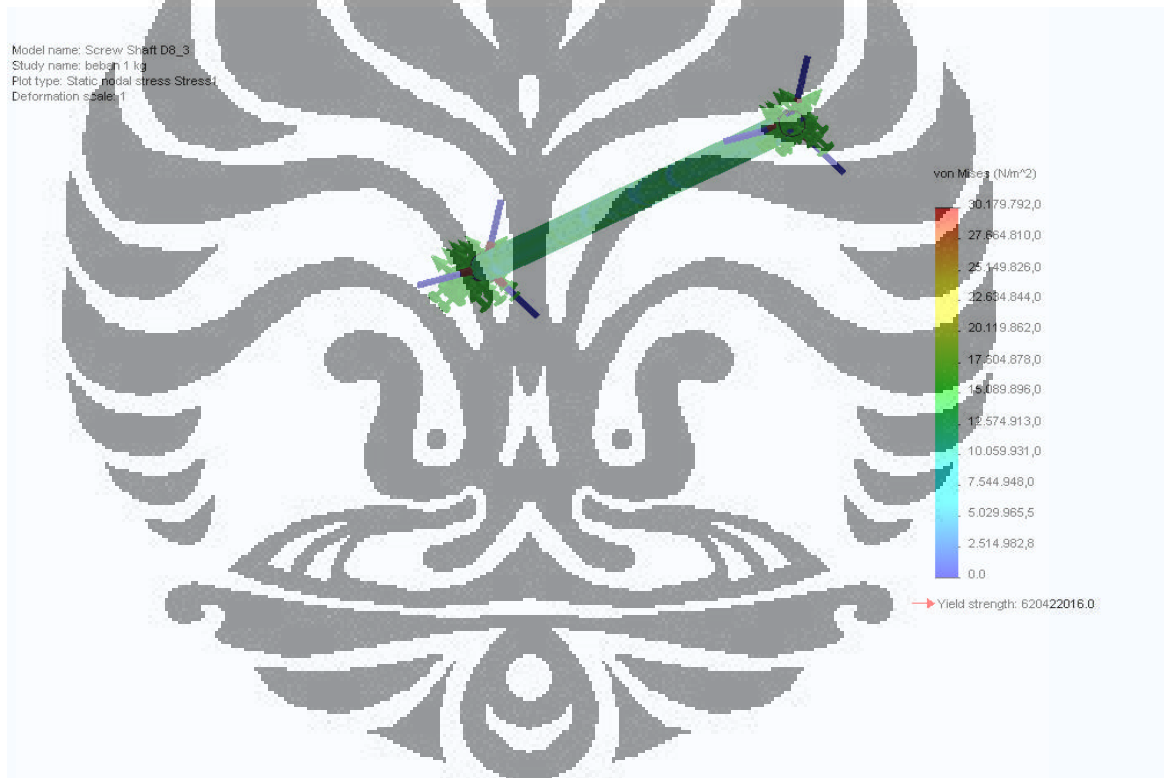
**Tabel 3.15.** Free body moment poros *ballscrew*

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N-m	0	0	0	1e-033

**Tabel 3.16.** Hasil analisis *ballscrew*

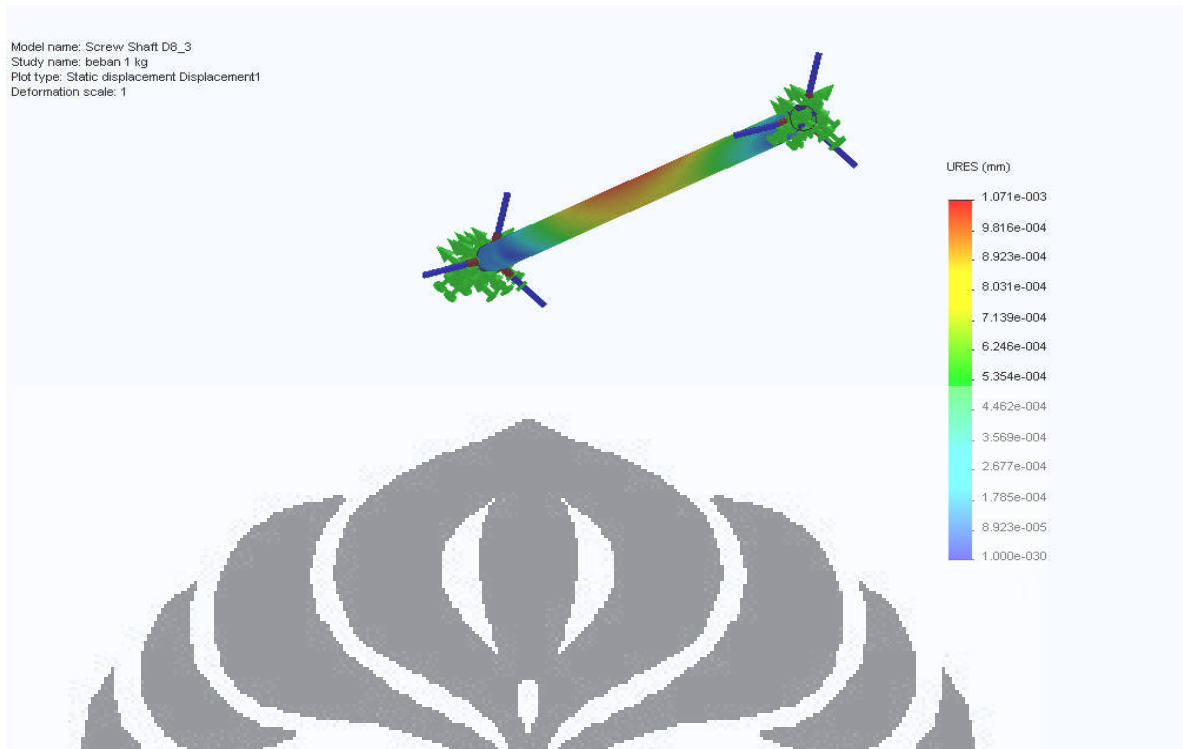
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1		0 N/m <sup>2</sup> Node: 72	(143.5 mm, 1.60697 mm,	3.01798e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 2764	(137.5 mm, -3. mm,

			1.91511 mm)		-0.4 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	(-157.5 mm, -1.3 mm, 1.4 mm)	0.001mm Node: 372	(4.7mm, 3.4mm, 2 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	0 Element: 1522	(143. mm, 1.5 mm, 1.8 mm)	7.02494e-005 Element: 457	(137.145 mm, -2.82999 mm, -0.32108 mm)



**Gambar 3.30.** Hasil analisis *stress* poros *ballscrew*





**Gambar 3.31.** Hasil analisis *displacement* poros *ballscrew*



**Gambar 3.32.** Hasil analisis *strain* poros *ballscrew*

Dari hasil analisis diperoleh bahwa maksimum tegangan yang adalah sebesar  $30.179.800 \text{ N/m}^2$  dan defleksi maksimum sebesar  $0,001 \text{ mm}$ . Bila dihitung prediksi kegagalannya dengan MSST :

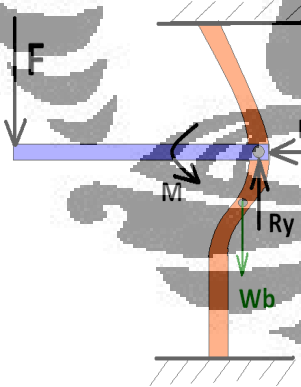
$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s}$$

$$30.179.800 \text{ N/m}^2 = 600.000 \text{ kN/m}^2 / 2,35$$

$$30.179.800 \text{ N/m}^2 < 255.319 \text{ kN/m}^2 (\text{artinya desain belum failure})$$

### 3. Analisis Pembebanan Pada Poros Vertikal

Poros vertikal juga termasuk komponen yang riskan, walaupun beban meja terbagi tiga tapi tetap saja poros vertikal ini harus dianalisis. Poros vertikal ini menahan beban dari meja bersama dengan poros *ballscrew*. Poros vertikal hanya dipakai pada sumbu z saja. Untuk sumbu x dan y menggunakan *linear guideway* sebagai pengganti poros.



**Gambar 3.33.** Hasil analisis *strain* poros *ballscrew*

**Tabel 3.17.** Properties material poros vertikal

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	SolidBody	[SW]Chrome	0.14 kg	$1.8 \text{ e-}005 \text{ m}^3$

	1(Chamfer1)	Stainless Steel		
--	-------------	-----------------	--	--

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2e+011	N/m <sup>2</sup>	Constant
Poisson's ratio	0.28	NA	Constant
Shear modulus	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>	Constant
Mass density	7800	kg/m <sup>3</sup>	Constant
Tensile strength	4.1e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Yield strength	1.7e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Thermal expansion coefficient	1.1e-005	/Kelvin	Constant
Thermal conductivity	18	W/(m.K)	Constant
Specific heat	460	J/(kg.K)	Constant

**Tabel 3.18.** Karakteristik *mesh* poros vertikal

Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	5.0545 mm
Tolerance:	0.25272 mm
Quality:	High
Number of elements:	1682
Number of nodes:	3432
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:00
Computer name:	ARILEKSANA-PC

**Tabel 3.19.** Free body force poros vertikal

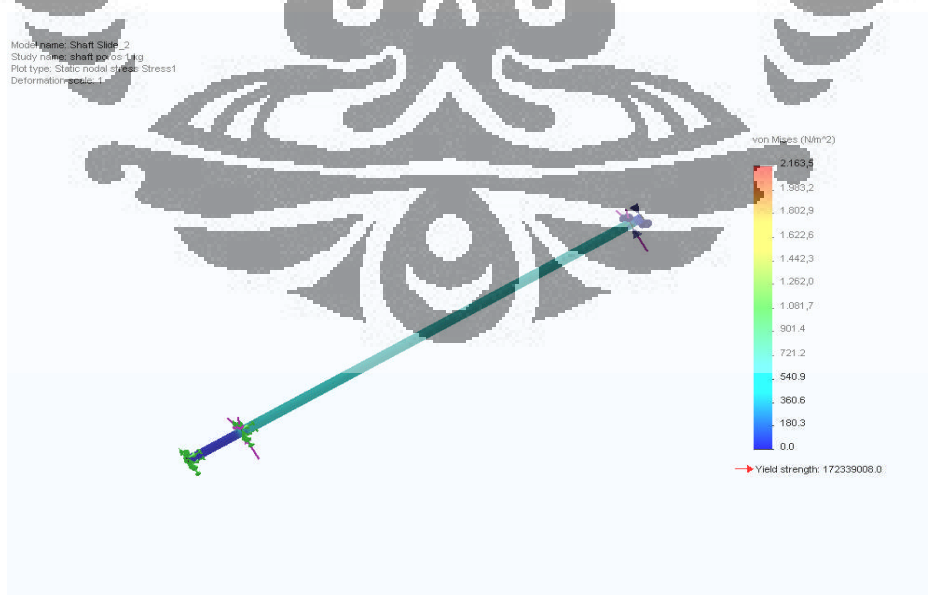
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N	4.1e-009	3.3e-007	-1.79e-007	3.83e-007

**Tabel 3.20.** Free body moment poros vertikal

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N-m	0	0	0	1e-033

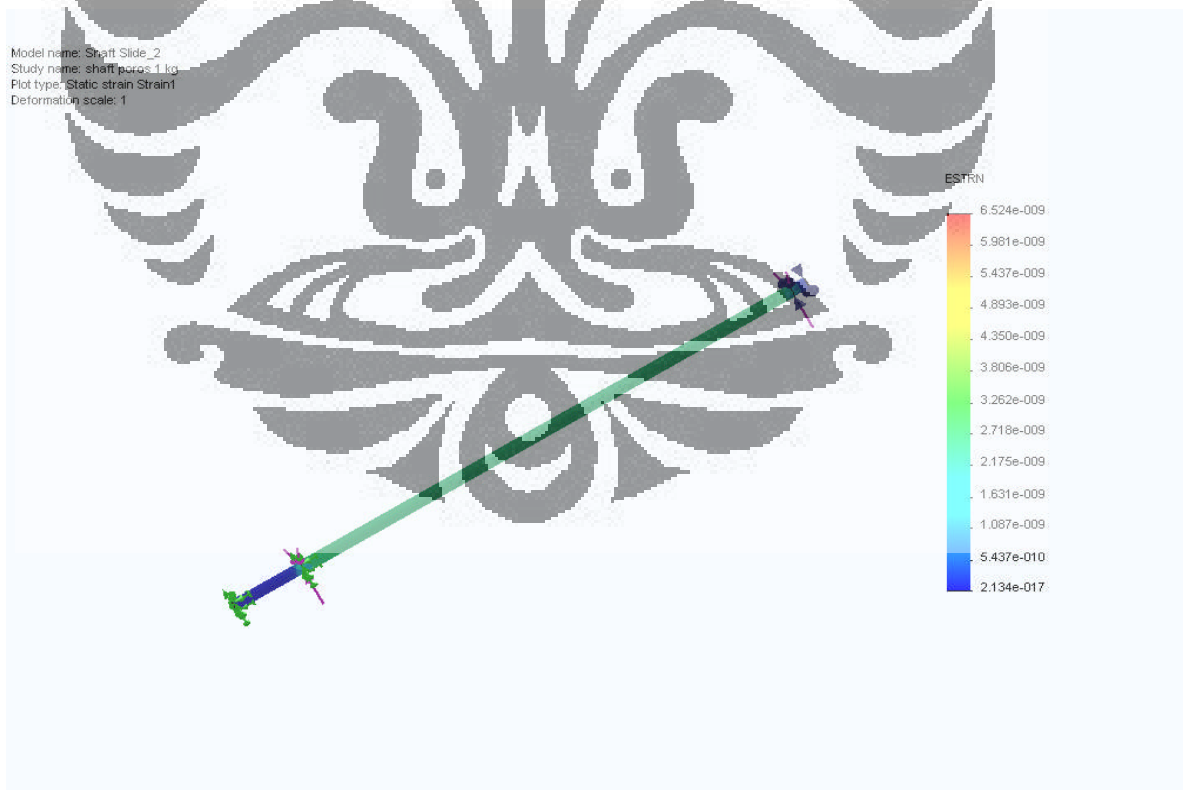
**Tabel 3.21.** Hasil analisis poros vertikal

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	3.6e-006 N/m <sup>2</sup> Node: 3310	(203.25 mm, -1.02606 mm, 2.81908 mm)	21.6e-006 N/m <sup>2</sup> Node: 1068	(-159.2 mm, -3.4 mm, 1 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 15	(203.25 mm, 2.5 mm, -1.5 mm)	4.5e-008 mm Node: 1905	(-7.5 mm, -3.8e-007 mm, -4 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	2.13441e-017 Element: 527	(202.9 mm, -2.1 mm, -0.9 mm)	6.52425e-009 Element: 1679	(-158.9 mm, -3.47472 mm, -0.59 mm)

**Gambar 3.34.** Hasil analisis *stress* poros vertikal



Gambar 3.35. Hasil analisis *diplacement* poros vertikal



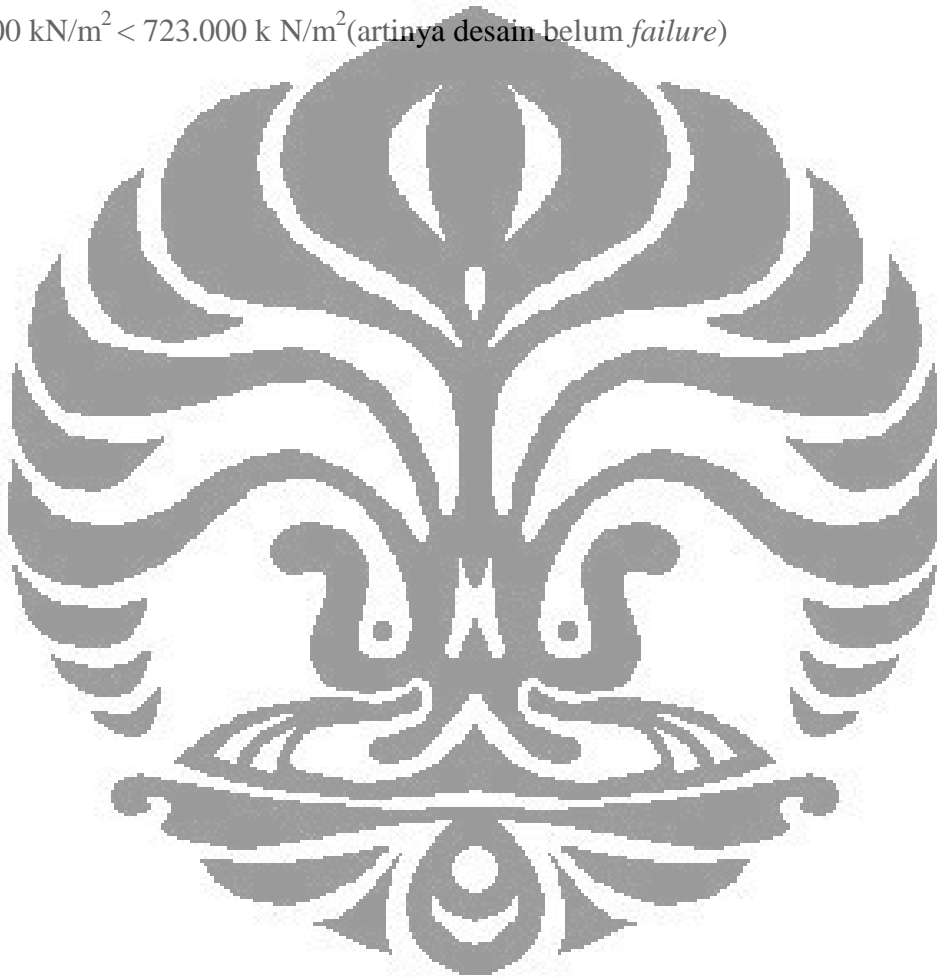
Gambar 3.36. Hasil analisis *strain*

Dari hasil analisis diperoleh bahwa maksimum tegangan yang adalah sebesar  $5.106.630 \text{ N/m}^2$  dan defleksi maksimum sebesar  $4,5 \times 10^{-8} \text{ mm}$ . Bila dihitung prediksi kegagalannya dengan MSST :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s}$$

$$2.600 \text{ kN/m}^2 = 1700.000 \text{ kN/m}^2 / 2,35$$

$$2.600 \text{ kN/m}^2 < 723.000 \text{ k N/m}^2 (\text{artinya desain belum failure})$$

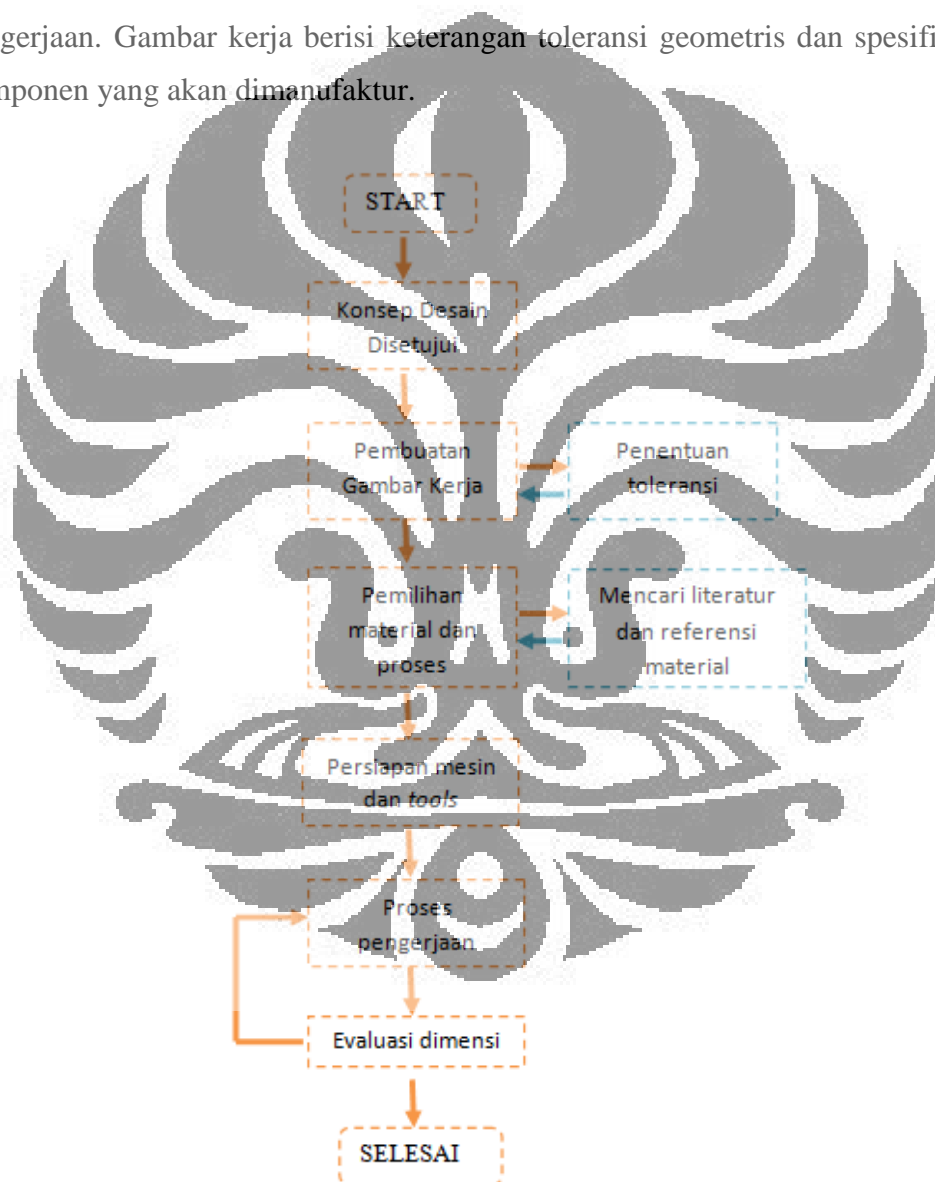


## BAB IV

### PROSES MANUFAKTUR MESIN *RAPID PROTOTYPING*

#### 4.1 Alur Proses Manufaktur

Proses manufaktur komponen mesin *rapid prototyping* dimulai dari tahap pembuatan gambar kerja ( *drawing*) dari desain yang telah dibuat. Pembuatan gambar kerja sangat penting karena gambar kerja merupakan acuan pada saat proses pengerjaan. Gambar kerja berisi keterangan toleransi geometris dan spesifikasi dari komponen yang akan dimanufaktur.



**Gambar 4.1.** Alur proses manufaktur

Tahap selanjutnya yaitu pemilihan material dan proses. Pada tahap ini dilakukan pemilihan material untuk komponen. Pemilihan mengacu pada literatur dan referensi pasar. Proses selanjutnya yaitu tahap pengerjaan, pengerjaan dari tiap-tiap komponen sangat berbeda tergantung dari bentuk dan spesifikasi dari komponen itu sendiri. Selama proses pengerjaan perlu dilakukan evaluasi berupa dimensi geometris agar tidak terjadi kesalahan.

#### 4.2 Pembuatan Gambar Kerja (terlampir)

Desain yang telah dibuat kemudian dideskripsikan ke dalam bentuk gambar kerja (*drawing*) yang berupa gambar dua dimensi dari komponen. Gambar kerja memuat dimensi geometri, toleransi geometri, dan spesifikasi dari komponen yang akan dimanufaktur. Gambar kerja yang dibuat harus jelas dan sesuai dengan Standard Internasional (ISO). Pembuatan gambar kerja yang baik dapat memudahkan operator dalam melakukan proses pengerjaan.

Gambar kerja/*drawing* berisikan spesifikasi komponen yang dibuat. Kualitas dari komponen ditentukan dari spesifikasinya yaitu dapat ditentukan dari toleransi-toleransi geometrisnya. Semakin kecil toleransinya, semakin baik kualitas komponen yang akan dibuat. Namun biaya pembuatannya pun juga sangat mahal.

#### 4.3 Pemilihan Material dan Proses

Pemilihan material merupakan langkah pertama yang harus dilakukan untuk menentukan proses manufaktur apa yang akan digunakan nantinya. Jumlah material yang ada di pasaran saat ini sangat banyak jenisnya. Tiap-tiap material memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda sehingga diperlukan pengetahuan khusus untuk memilih material agar proses manufaktur dapat dilakukan dengan baik. Pemilihan material yang tepat dapat memudahkan pemilihan proses manufaktur yang akan dilakukan dan dapat menghemat biaya produksi nantinya.

Karakteristik material (*material properties*) yang harus diperhatikan dalam pemilihan material yaitu : kekuatan (*strength*), ketangguhan (*toughness*), kekerasan



(*hardness*), kelenturan (*ductility*), elastisitas (*elasticity*), densitas, modulus elastisitas, *yield strength*, dan *ultimate tensile strength*. Selain itu kemampuan manufaktur juga harus dipertimbangkan apakah material tersebut mampu diproses dengan mesin (*machinability*), mampu dibentuk (*formability*), mampu dicasting (*castability*), mampu dilas (*weldability*), atau mampu diperlakukan panas (*heat treatment*).

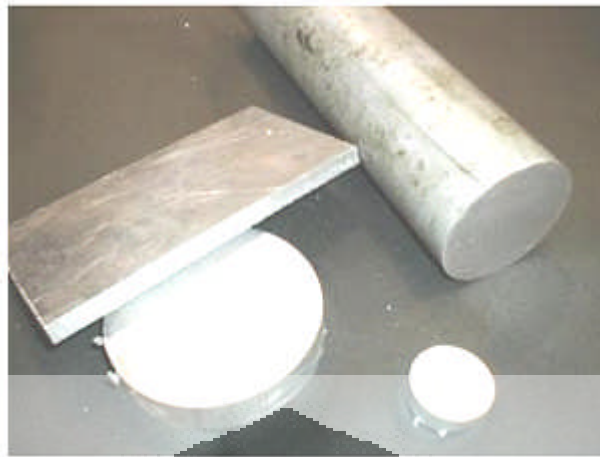
Pemilihan material dilakukan bersamaan dengan proses desain sehingga dapat diperkirakan proses manufaktur apa yang akan dipakai nantinya. Material yang digunakan dalam proses manufaktur mesin *rapid prototyping* antara lain : alumunium, *iron* (besi *hollow*), *polymethylmethacrylate* (acrylic), teflon (*polytetrafluroethylene*), dan kuningan (Cu-Zn).

#### 4.3.1 Sifat Material Alumunium Alloy

Alumunium merupakan material yang paling banyak dipakai dalam konstruksi mesin *rapid prototyping* karena material ini termasuk material yang lunak sehingga mudah dalam proses pembuatannya. Selain itu alumunium memiliki berat yang lebih ringan dibanding dengan material baja namun memiliki kekuatan yang cukup besar. Dengan alasan itulah akhirnya digunakan material alumunium sebagai material utama untuk komponen-komponen mesin *rapid prototyping*.

**Tabel 4.1.** Karakteristik alumunium alloy [14]

Property	Value	Units
Elastic Modulus	73000	N/mm <sup>2</sup>
Poissons Ratio	0.33	
Shear Modulus	28000	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	2.3e-005	
Density	6.0028	g/mm <sup>3</sup>
Thermal Conductivity	140	W/m K
Specific Heat	800	J/kg K
Tensile Strength	186.126	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	75.8291	N/mm <sup>2</sup>



**Gambar 4.2.** Raw material aluminium alloy

#### 4.3.2 Sifat Material *Polymethylmethacrylate (acrylic)*

Material *acrylic* juga dipakai dalam pembuatan mesin *rapid prototyping* dengan alasan karena memiliki berat yang sangat ringan. *Acrylic* dipakai untuk pembuatan komponen-komponen yang harus memiliki berat ringan seperti meja dan komponen pendukung ekstruder.

**Tabel 4.2.** Karakteristik *Polymethylmethacrylate (acrylic)* [14]

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2400	N/mm <sup>2</sup>
Poissons Ratio	0.35	
Shear Modulus	890	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	5.2e-005	
Density	0.0012	g/mm <sup>3</sup>
Thermal Conductivity	0.21	W/m K
Specific Heat	1500	J/kg K
Tensile Strength	517.017	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	206.807	N/mm <sup>2</sup>



**Gambar 4.3.** Raw material acrylic

#### 4.3.3 Sifat Material Teflon (PTFE)

Material teflon dipakai dalam pembuatan mesin *rapid prototyping* dengan alasan ketahanan panasnya. Material ini mampu dalam kondisi dengan suhu maksimum 250°C. Teflon dipakai sebagai resistor panas yang dihisikan oleh ekstruder agar tidak keluar dan mempengaruhi konstruksi lain. Selain itu teflon juga memiliki bobot yang ringan sehingga dapat dipakai untuk pembuatan komponen ekstruder.

**Tabel 4.3.** Karakteristik material teflon [14]

Property	Value	Units
Density	0.00232	g/mm <sup>3</sup>
Tensile Strength	7.58	N/mm <sup>2</sup>



**Gambar 4.4.** Material teflon

#### 4.3.4 Sifat Material Kuningan (Cu-Zn)

Material kuningan dipakai untuk pembuatan komponen nosel . Kelebihan dari material ini yaitu memiliki konduktivitas yang tinggi. Hal ini dimaksudkan agar panas dari pemanas dapat diteruskan sampai pada material nylon yang akan dilelehkan. Selain itu material kuningan mempunyai *tensile strength* dan *yield strength* yang cukup tinggi. Kedua sifat ini sangatlah penting karena menentukan apakah material tersebut mampu diproses manufaktur atau tidak.

**Tabel 4.4.** Karakteristik material kuningan [14]

Property	Value	Units
Elastic Modulus	97000	N/mm <sup>2</sup>
Shear Modulus	37000	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	2.05e-005	
Density	0.00849	g/mm <sup>3</sup>
Thermal Conductivity	115	W/m K
Tensile Strength	338	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	124	N/mm <sup>2</sup>

**Gambar 4.5.** Material kuningan

#### 4.3.5 Sifat Material *Alloy Steel*

Material *alloy steel* dipakai karena memiliki sifat *tensile strength* dan *yield strength* yang tinggi. Hal ini dimaksudkan agar pada saat pembebanan, komponen tidak mengalami defleksi dan bending. Material *alloy steel* dipakai untuk pembuatan komponen poros untuk sumbu z.

**Tabel 4.5.** Karakteristik *alloy steel* [14]

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000	N/mm <sup>2</sup>
Poissons Ratio	0.28	
Shear Modulus	79000	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	1.3e-005	
Density	0.0077	g/mm <sup>3</sup>
Thermal Conductivity	50	W/m K
Specific Heat	460	J/kg K
Tensile Strength	723.826	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	620.422	N/mm <sup>2</sup>

**Gambar 4.6.** Material *alloy steel*

#### 4.4 Mesin dan Alat

Dalam proses pembuatan mesin, alat dan mesin yang dipakai merupakan inventaris laboratorium manufaktur Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia selain itu digunakan pula beberapa mesin dan alat di luar laboratorium. Alat dan mesin yang digunakan kondisinya harus baik agar saat proses pengerjaan didapatkan produk yang baik dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan baik dari sisi dimensi maupun kualitas.

Alat yang digunakan terdiri dari alat-alat ukur serta alat-alat yang diperlukan saat proses pengerjaan, antara lain : jangka sorong, waterpas, plat siku, dan ragum. Mesin yang digunakan adalah mesin konvensional dan mesin CNC, antara lain : mesin cutting, milling, turning, drilling, bor, grinding, dan mesin las.

Spesifikasi mesin CNC:

- a. Spesifikasi mesin CNC EMCO TU-2A
  - Dimensi clamping benda kerja :  $\phi$  5 - 35 mm
  - Cutting speed* : 5 – 400 mm/min

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| <i>Depth of cut</i> | : 0.5 mm           |
| Spindle speed       | : 16 – 100 put/min |
- b. Spesifikasi mesin CNC EMCO TU-3A
- |                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| Dimensi clamping benda kerja | : lebar 6 mm         |
| <i>Cutting speed</i>         | : 5 – 400 mm/min     |
| <i>Depth of cut</i>          | : 0.5 mm             |
| Spindle speed                | : 300 – 2000 put/min |
- c. Spesifikasi mesin CNC EMCOTURN 242
- |                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| Dimensi clamping benda kerja | : $\phi$ 10 - 100 mm |
| <i>Cutting speed</i>         | : 5 – 400 mm/min     |
| <i>Depth of cut</i>          | : 0.5 mm             |
| Spindle speed                | : 300 – 2000 put/min |

#### 4.5 Proses Pengerjaan

Proses pembuatan komponen mesin *rapid prototyping* dilakukan setelah desain yang dibuat sudah disetujui. Proses pembuatan tiap-tiap komponen berbeda, tergantung bentuk dan material yang dipergunakan untuk membuat komponen tersebut. Untuk komponen yang bentuknya silinder proses pembuatannya menggunakan mesin turning. Sedangkan untuk bentuk-bentuk kotak dan sejenisnya proses pengerjaan menggunakan mesin milling.

Proses pembuatan dilakukan kurang lebih dua bulan. Selama proses pembuatan kadang ada masalah yang dijumpai seperti kurangnya dimensi gambar dan ukuran yang tidak tepat. Sehingga harus memperbaiki desain kembali. Hal inilah yang menyebabkan lamanya proses pembuatan.

Proses pembuatan mesin *rapid prototyping* sebagian besar dilakukan di Bubut Budhaya dan sisanya dibuat sendiri di laboratorium manufaktur DTM. Semua komponen tidak dibuat sendiri karena hasil yang diinginkan harus presisi agar mudah saat perakitan dan kesalahan yang ditimbulkan kecil.

#### 4.5.1 Persiapan Bahan (*raw material*)

*Raw material* (bahan mentah) merupakan bahan dasar yang digunakan untuk membuat komponen. Material yang digunakan berbeda-beda seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Ukuran *raw material* baiknya lebih besar sedikit dari desain agar dapat dilakukan proses pemakanan untuk menghaluskan permukaan. Namun tidak boleh terlalu besar dari desain karena dapat menghabiskan waktu yang cukup banyak untuk proses pemakanan. Biasanya ukuran *raw material* dilebihkan 5 mm dari ukuran desain yang akan dibuat.

#### 4.5.2 Proses Pengerjaan

Proses pengerjaan dari tiap-tiap komponen berbeda-beda tergantung dari spesifikasi dan bentuk komponen yang akan dimanufaktur. Proses pengerjaan yang dilakukan antara lain drilling, turning, milling, dan boring. Proses yang paling sering digunakan yaitu proses milling.

##### Proses Milling

Proses milling terdiri dari dua jenis yaitu milling horizontal dan milling vertikal. Pada mesin milling horizontal, *tools* direkatkan pada sebuah poros yang digerakkan oleh spindel utama. Operasi paling sederhana dari milling horizontal yaitu *slab milling* yang beroperasi untuk menghasilkan permukaan yang horizontal pada benda kerja. Sedangkan pada milling vertikal, spindel pada mesin vertikal berarah vertikal. Pemotongan benda kerja dengan cara ini biasa disebut *face milling*. Parameter-parameter pada proses milling yaitu :

$$N_s = \frac{12V}{\pi D}$$

$N_s$  = kecepatan spindel (rpm)

$V$  = cutting speed (m per menit)

$D$  = Diameter cutter (m)

[3]

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

- $t_c$  = Cutting time (menit)  
 $V$  = volume yang diremove (mm<sup>3</sup>)  
 $V_t$  = chip removal rate

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_r)$$

- ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)  
 $l_w$  panjang benda (mm)  
 $a_e$  depth of cut (mm)  
 $n_r$  laju pemakanan (mm/min)  
 $d_t$  diameter pahat

[17]

Kecepatan spindel(Ns) = 300 – 2000 rpm

Cutting tool = material = HSS

= Diameter = 10 mm

= Jumlah gigi = 4

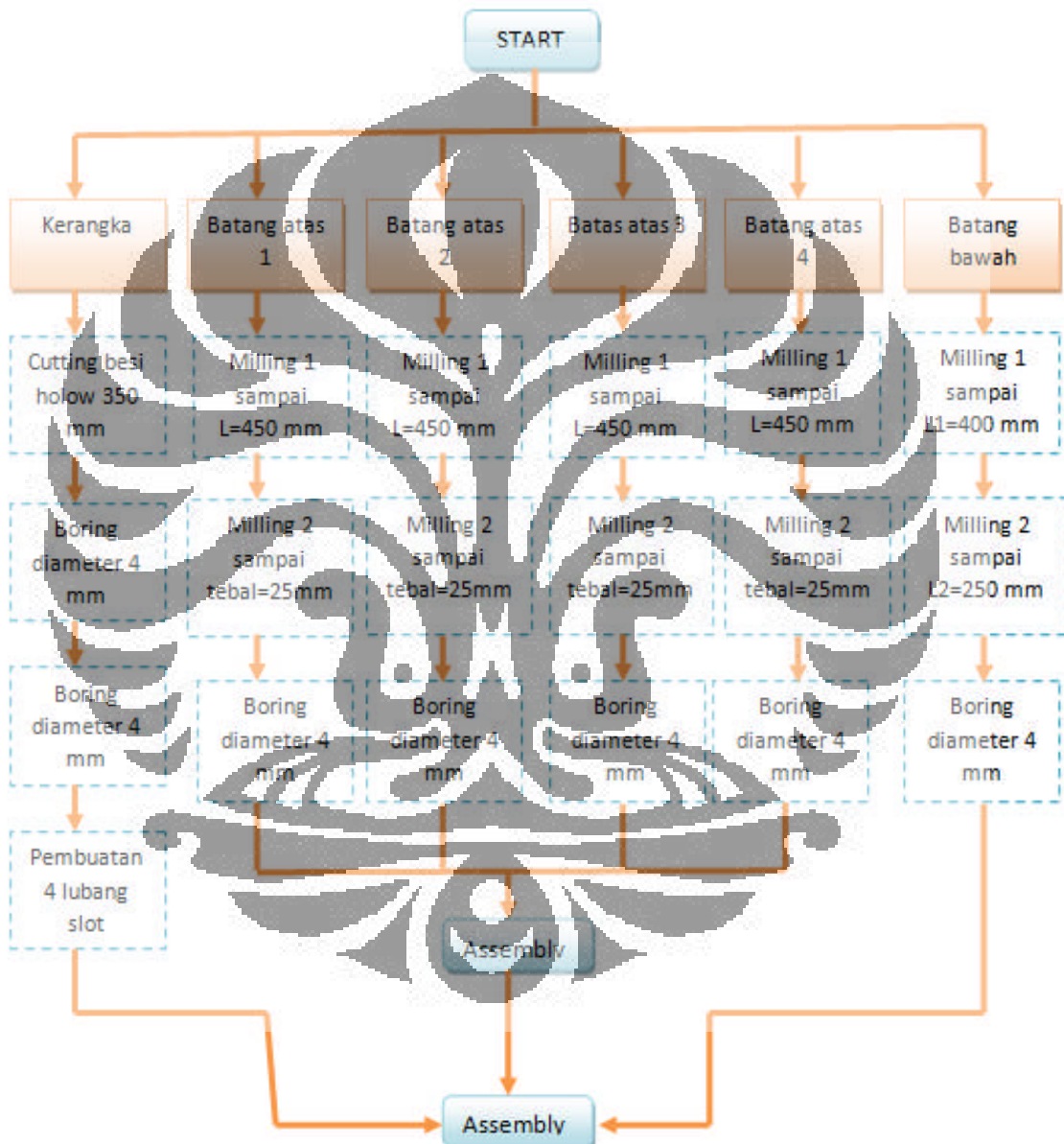
Feed/tooth = 0,5 – 1 mm

Deep of cut = 0,5-1 mm



### Proses manufaktur Komponen *Base*

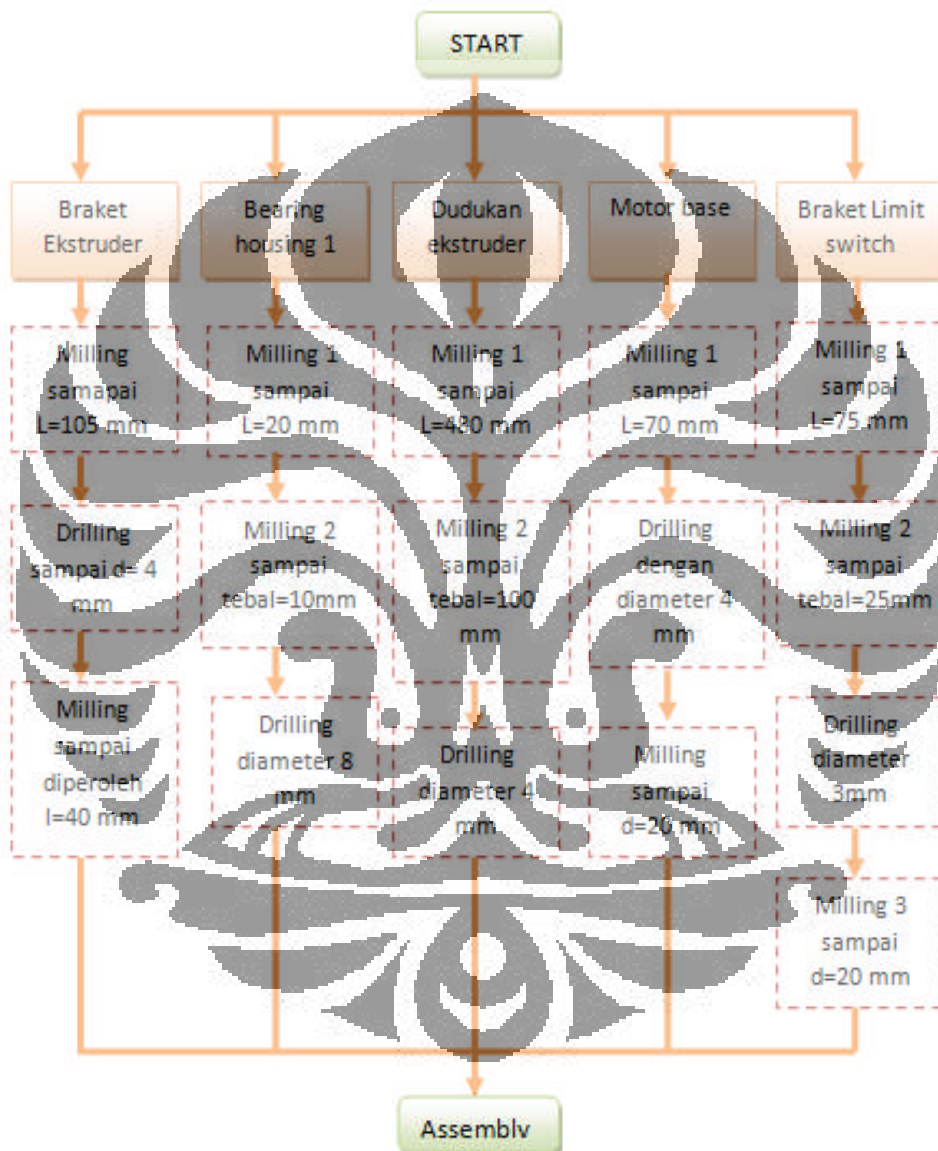
Pengerjaan komponen *base* terdiri dari 6 komponen, yaitu : kerangka, batang atas 1, batang atas 2, batang atas 3, batang atas 4, dan batang aluminium bawah. Keenam komponen ini nantinya akan dirakit dan berfungsi sebagai *base* untuk komponen sumbu x,y, dan z.



**Gambar 4.7.** Flowchart pengerjaan komponen *base*

### Proses Manufaktur Komponen Sumbu X

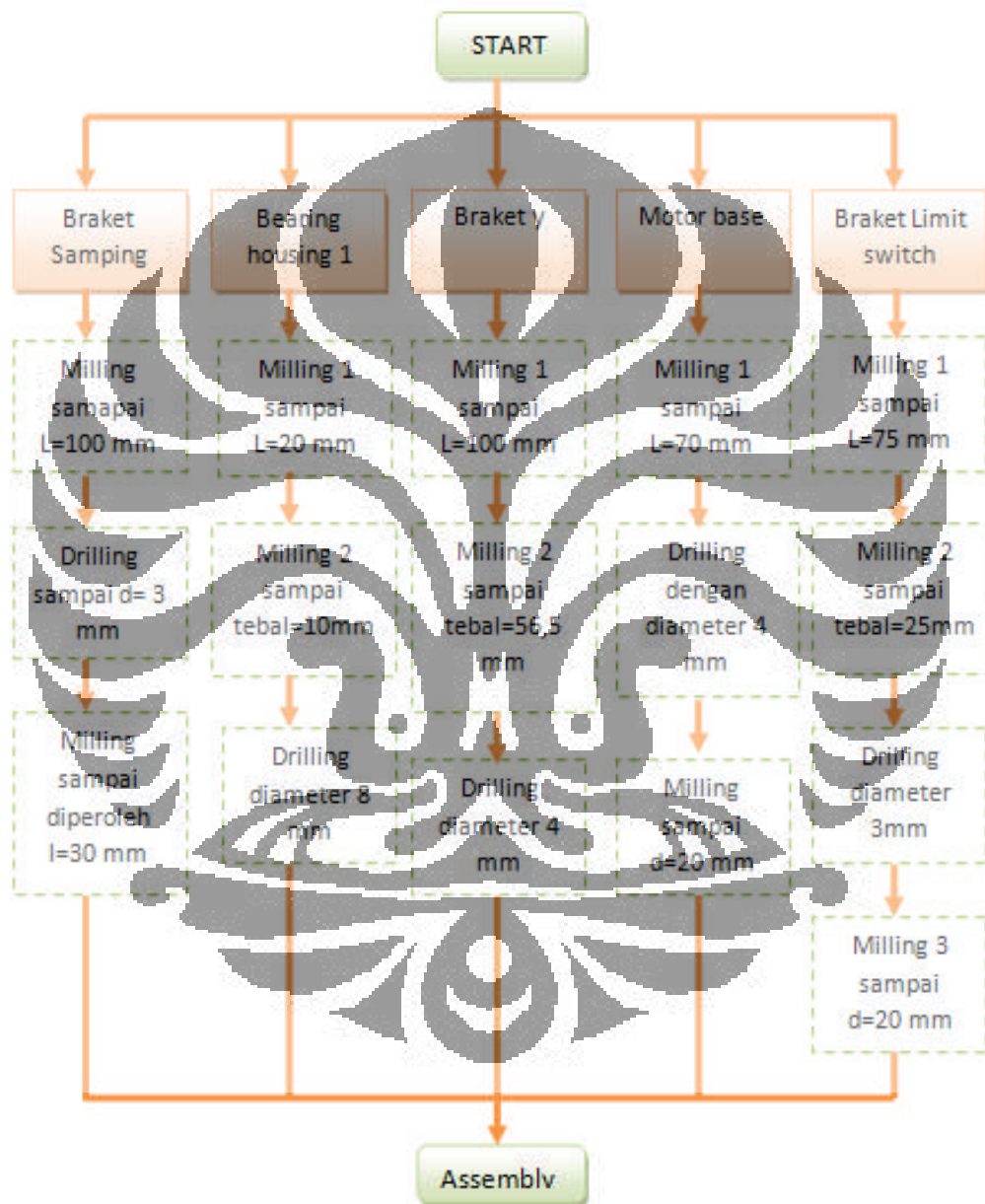
Komponen sumbu x merupakan gabungan dari mekanisme gerak sumbu x serta braket atau dudukan dari sistem ekstruder. Komponen yang dimanufaktur ada 6 komponen yaitu : braket ekstruder, *bearing housing* 1, dudukan ekstruder, 1 *motor base*, dan 2 buah *limit switch*.



**Gambar 4.8.** Flowchart pengerjaan komponen sumbu x

### Proses Manufaktur Komponen Sumbu Y

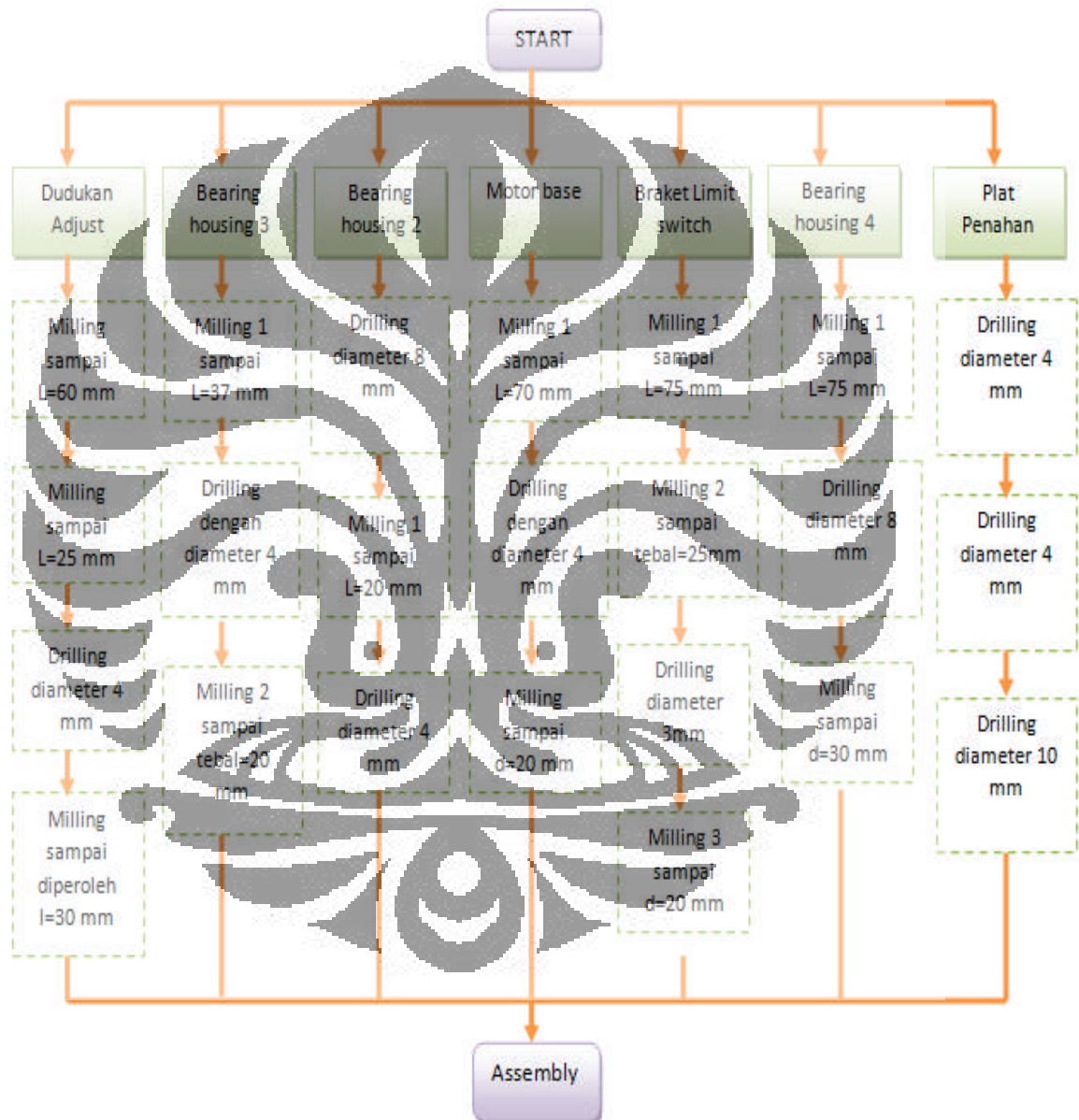
Komponen sumbu y yang dimanufaktur ada 7 komponen yaitu : 1 braket samping, 2 bearing housing, 1 braket y, 1 *Motor base*, dan 2 braket *limit switch*. Ketujuh komponen tersebut merupakan pendukung sistem gerak pada sumbu y.



**Gambar 4.9.** Flowchart pengerjaan komponen sumbu y

### Proses manufaktur Komponen Sumbu Z

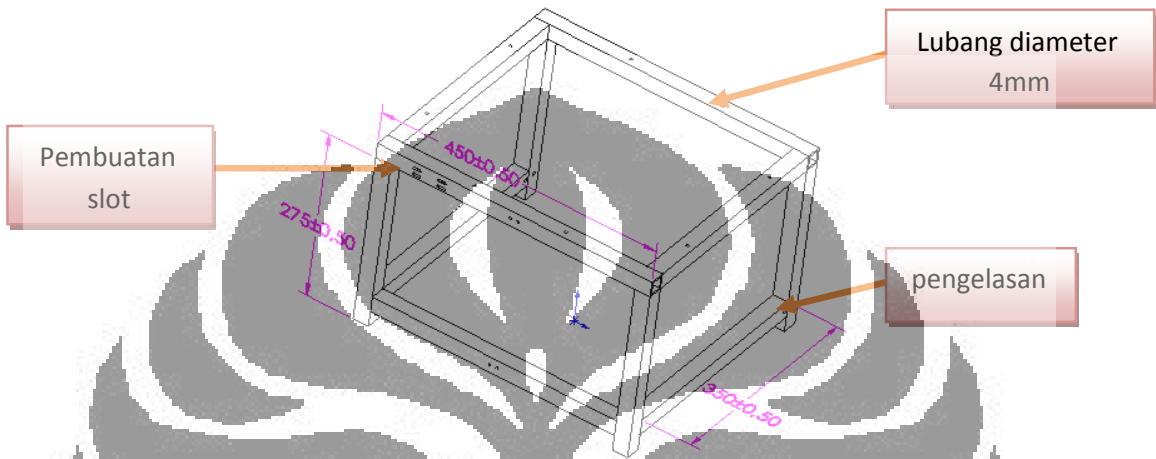
Pada sistem sumbu z, ada 13 komponen yang dimanufaktur antara lain : 4 buah dudukan *adjust*, 1 *bearing housing 3*, 2 *bearing housing 2*, *motor base*, 2 braket *limit switch*, 2 *bearing housing 4*, dan 1 plat penahan.



Gambar 4.10. Flowchart pengerjaan komponen sumbu z

#### 4.5.2.1 Pembuatan kerangka

Material yang digunakan untuk membuat kerangka merupakan besi berlubang (*hollow*). Proses pembuatannya yaitu dengan mesin pengelasan. Terlebih dahulu besi *hollow* dipotong sepanjang 350 mm kemudian dilakukan pengelasan.



**Gambar 4.11.** Pembuatan rangka

**Material** : besi *hollow* /berlubang

**Dimensi raw material** : 450 cm

**Pemesinan yang dilakukan :**

- a. Proses Pemotongan material  
Asumsi pemotongan material tiap batang 0,1 menit  
Maka 11 batang =  $11 \times 0,1 = 1,1$  menit
- b. Boring diameter lubang 4 mm  
Asumsi pengerjaan boring tiap lubang 0,1 menit  
Maka pembuatan 16 buah lubang diameter 4 mm =  $0,1 \times 16 = 1,6$  menit
- c. Pembuatan lubang slot  
Aumsi pembuatan tiap lubang slot 0,5 menit  
Maka untuk membuat 4 buah lubang slot =  $0,5 \times 4 = 2$  menit
- d. Pengelasan.  
Estimasi waktu pemesinan base (rangka) tanpa pengelasan = 4,7 menit

#### 4.5.2.2 Pembuatan Dudukan Alumunium Bawah

Dudukan alumunium bawah merupakan bagian dari *base*. Dudukan alumunium bawah akan digabungkan dengan kerangka yang kemudian akan berfungsi sebagai *base* atau tempat komponen lain diletakkan. Oleh karena itu, dudukan harus dibuat presisi.



Gambar 4.12. Pembuatan dudukan alumunium bawah

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 400x42,5x25 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan** :

a. Milling 1

$$t_c = \frac{V}{V_f} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = Cutting time (menit)

$V$  = volume yang di remove

$V_f$  = chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

Number of teeth : 4

*Feed per tooth* : 0,5 mm per tooth = 0,02 IPT

*Cutting speed* : 100 fpm

Panjang benda : 400 mm = 15,7 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 15,7 inchi / 114 inchi/menit  
 = 0,13 menit

### b. Milling 2

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *Cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

*Number of teeth* : 4

*Feed per tooth* : 0,5 mm per tooth = 0,02 IPT

*Cutting speed* : 100 fpm

Panjang benda : 250 mm = 9,9 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 9,9 / 114  
 = 0,1 menit

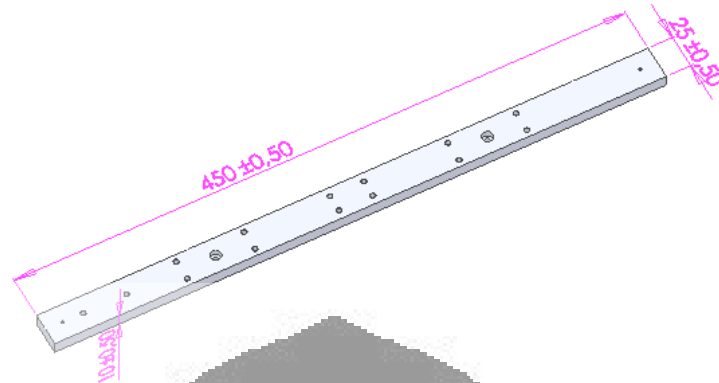
### c. Boring

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4mm = 0,1 menit

Maka untuk 12 lubang diameter 4 mm = 12 x 0,1 = 1,2 menit

Estimasi waktu pemesinan = 1,5 menit

#### 4.5.2.3 Pembuatan Batang Atas 1,2,3, dan 4



**Gambar 4.13.** Pembuatan batang aluminium

**Material** : aluminium  
**Dimensi raw material** : 450x26x10 mm<sup>3</sup>  
**Pemesinan yang dilakukan :**

a. **Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *Cutting time* (menit)  
 $V$  = volume yang di *remove*  
 $V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : **Diameter tool** : 10 mm (0,4 inchi)  
**Number of teeth** : 6  
**Feed per tooth** : 0,5 mm per tooth = 0,02 IPT  
**Cutting speed** : 100 fpm  
**Panjang benda** : 450 mm = 17,7 inchi

**Cutting time** = panjang benda / *feed rate*  
 = 17,7 inchi / 114 inchi/menit  
 = 0,2 menit (satu sisi)  
 = 0,2 x 2 = 0,4 menit (2 sisi)



### b. Milling 2

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = Cutting time (menit)

$V$  = Volume yang di remove

$V_t$  = Chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
 Number of teeth : 6  
 Feed per tooth : 0,5 mm per tooth = 0,02 IPT  
 Cutting speed : 50 fpm  
 Panjang benda : 25 mm = 0,99 inchi

Cutting time = panjang benda / feed rate  
 = 0,99 / 57  
 = 0,02 menit (satu sisi)  
 = 0,02 x 2 = 0,04 menit (2 sisi)

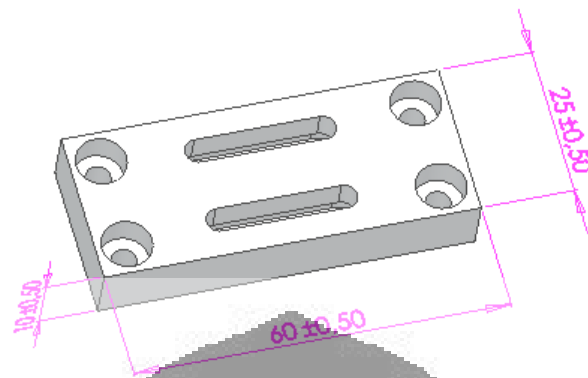
### c. Boring

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4mm = 0,1 menit

Maka untuk 16 lubang diameter 4 mm = 16 x 0,1 = 1,6 menit

Estimasi waktu pemesinan = 2,1 menit

#### 4.5.2.4 Pembuatan Dudukan *Adjust*



**Gambar 4.14.** Pembuatan dudukan *adjust*

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 60x26x10 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan :**

a. Milling 1

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

**Keterangan :**

$t_c$  = *Cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

**Diketahui :** Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

*Number of teeth* : 4

*Feed per tooth* : 0,5 mm per tooth = 0,02 IPT

*Cutting speed* : 25 fpm

Panjang benda : 60 mm = 2,4 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*

= 2,4 inchi / 28,5 inchi/menit

= 0,1 menit (satu sisi)

= 0,1 x 2 = 0,2 menit (2 sisi)

### b. Milling 2

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = Cutting time (menit)

$V$  = volume yang di remove

$V_t$  = chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
 Number of teeth : 4  
 Feed per tooth : 0,5 mm per tooth = 0,02 IPT  
 Cutting speed : 25 fpm  
 Panjang benda : 25 mm = 0,99 inchi

Cutting time = panjang benda / feed rate  
 = 0,99 / 28,5  
 = 0,03 menit (satu sisi)  
 = 0,03 x 2 = 0,06 menit (2 sisi)

### c. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4mm = 0,1 menit

Maka untuk 8 lubang diameter 4 mm dan 7mm = 8 x 0,1 = 0,8 menit

### d. Milling

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_T)$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  depth of cut (mm)

$n_T$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat

Diketahui :

diameter pahat = 10 mm

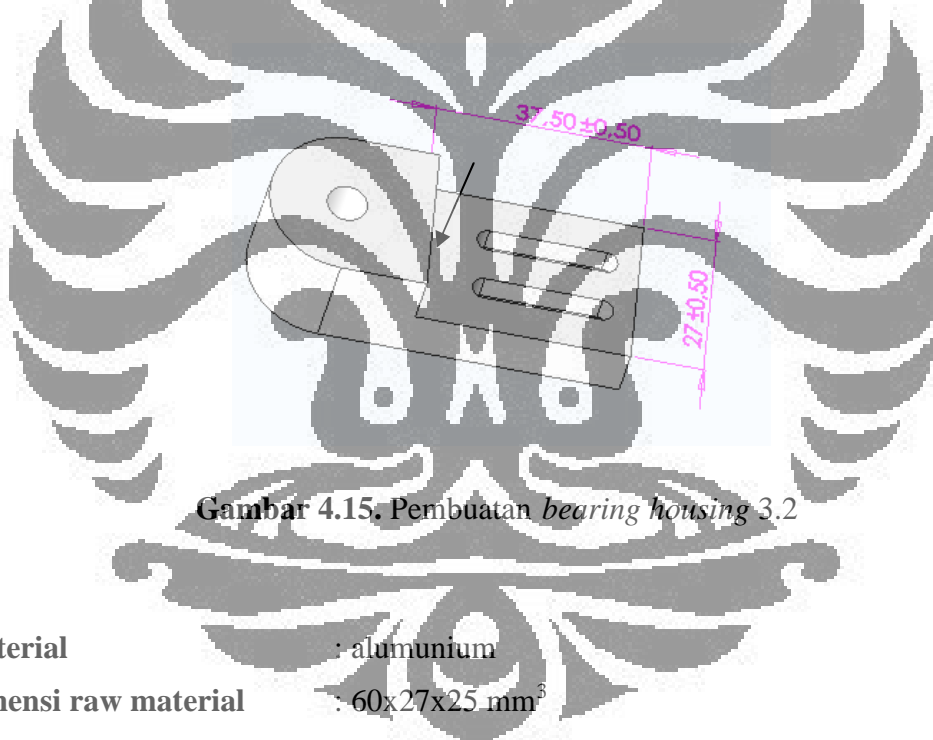
*depth of cut* = 0,5

*cutting speed* = 15 mm/min

$$t_m = \frac{30 + \sqrt{0.5(5-0.5)}}{(15)} = 2,1$$

Estimasi waktu pemesinan = 4,46 menit

#### 4.5.2.5 Pembuatan *Bearing Housing* 3.1 dan 3.2



Gambar 4.15. Pembuatan *bearing housing* 3.2

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 60x27x25 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan :**

##### a. Milling 1

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_c$  = *chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
*Number of teeth* : 4  
*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
*Cutting speed* : 25 fpm  
 Panjang benda : 37 mm = 1,5 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 1,5 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,3 menit (satu sisi)  
 = 0,3 x 5 = 1,5 menit

#### b. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 8 mm = 0,1 menit

#### c. Milling

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_T)$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  *depth of cut* (mm)

$n_T$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat

Diketahui :

diameter pahat = 5 mm

*depth of cut* = 0,5

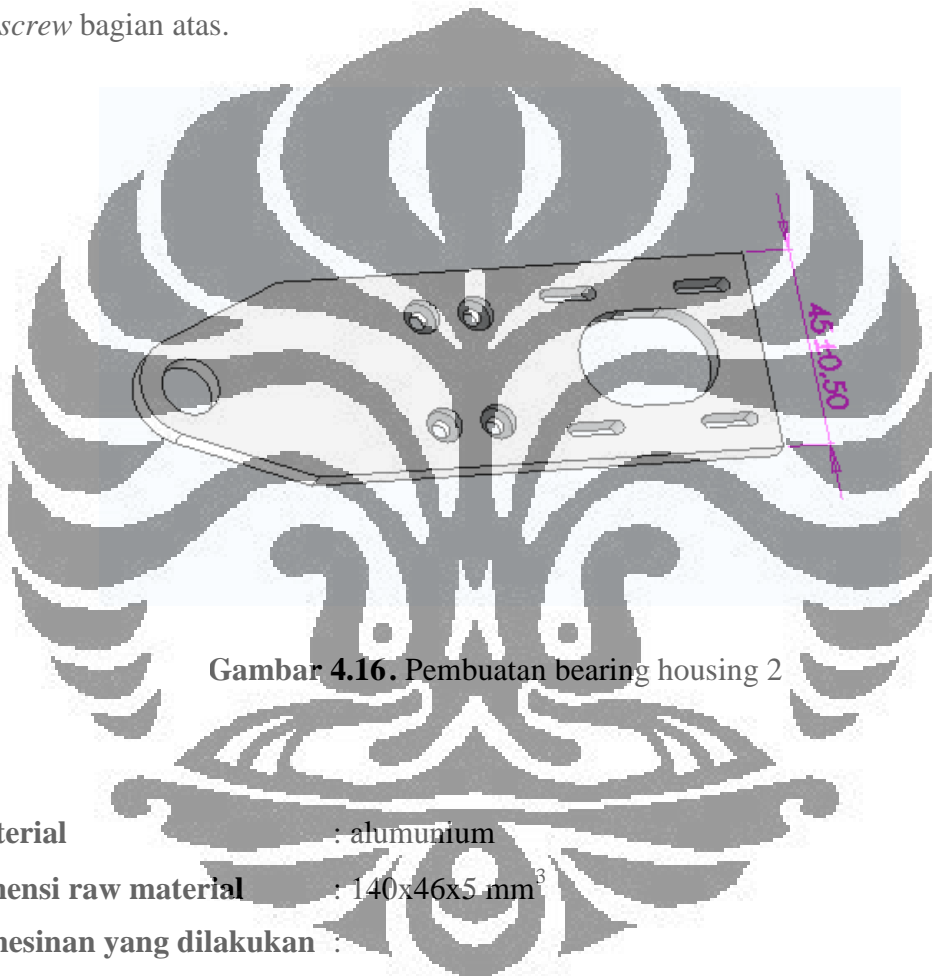
*cutting speed* = 15 mm/min

$$t_m = \frac{20 + \sqrt{0.5(5 - 0.5)}}{(15)} = 1,4$$

Estimasi waktu pemesinan= 3 menit

#### 4.5.2.6 Pembuatan Bearing Housing 2

Bearing housing 2 merupakan komponen sumbu-z. Komponen ini menahan poros *ballscrew* bagian atas.



Gambar 4.16. Pembuatan bearing housing 2

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 140x46x5 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan** :

##### a. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 8 mm, 4 mm, dan 10 mm = 0,1 menit.

Maka waktu untuk proses drilling = 0,1 x 5 = 0,5 menit

##### b. Milling

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_{\Gamma})$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  depth of cut (mm)

$n_T$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat

Diketahui :

diameter pahat = 5 mm

depth of cut = 0,5

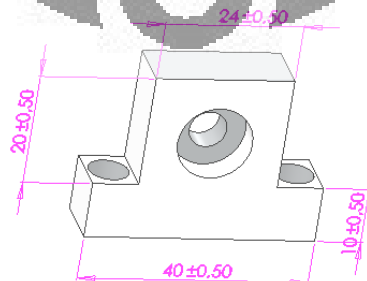
cutting speed = 15 mm/min

$$t_m = \frac{20 + \sqrt{0.5(5 - 0.5)}}{(15)} = 1,4$$

Estimasi waktu pemesinan = 7,5 menit

#### 4.5.2.7 Pembuatan Bearing Housing 1

Bearing housing 1 merupakan tempat bearing yang digunakan untuk komponen sumbu x dan sumbu y. Komponen ini menahan beban dari poros *ballscrew*. Untuk sumbu x dan sumbu y digunakan jenis bearing housing yang hampir sama.



**Gambar 4.17.** Pembuatan bearing housing 1

**Material** : alumunium  
**Dimensi raw material** : 41x31x20 mm<sup>3</sup>  
**Pemesinan yang dilakukan** :

**a. Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *Cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
 Number of teeth : 4  
 Feed per tooth : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
 Cutting speed : 25 fpm  
 Panjang benda : 20 mm = 0,78 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 0,78 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,2 menit (satu sisi)  
 = 0,2 x 5 = 1 menit

**b. Drilling**

Asumsi drilling untuk lubang dengan diameter 8 mm dan 4 mm = 0,1 menit.

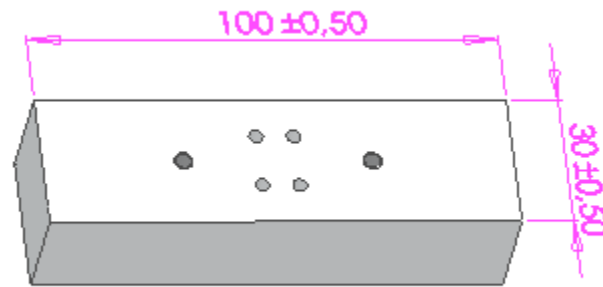
Maka waktu drilling = 0,1 x 3 = 0,3 menit.

Estimasi waktu pemesinan = 1,3 menit

#### 4.5.2.8 Pembuatan Braket Samping

Braket samping merupakan komponen yang dipasangkan dengan linear guideway. Pembuatan komponen ini harus presisi khususnya untuk lubang baut yang mengunci linear guideway karena ukuran baut yang digunakan hanya 2 mm. Apabila terjadi kesalahan sedikit saja, baut tidak akan dapat masuk.





Gambar 4.18. Pembuatan braket samping

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 102x31x25 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan** :

a. **Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *Cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : **Diameter tool** : 10 mm (0,4 inchi)

**Number of teeth** : 4

**Feed per tooth** : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT

**Cutting speed** : 25 fpm

**Panjang benda** : 100 mm = 3,9 inchi

**Cutting time** = panjang benda / *feed rate*

= 3,9 inchi / 5,736 inchi/menit

= 0,7 menit (satu sisi)

= 0,7 x 2 = 1,4 menit

### b. Drilling

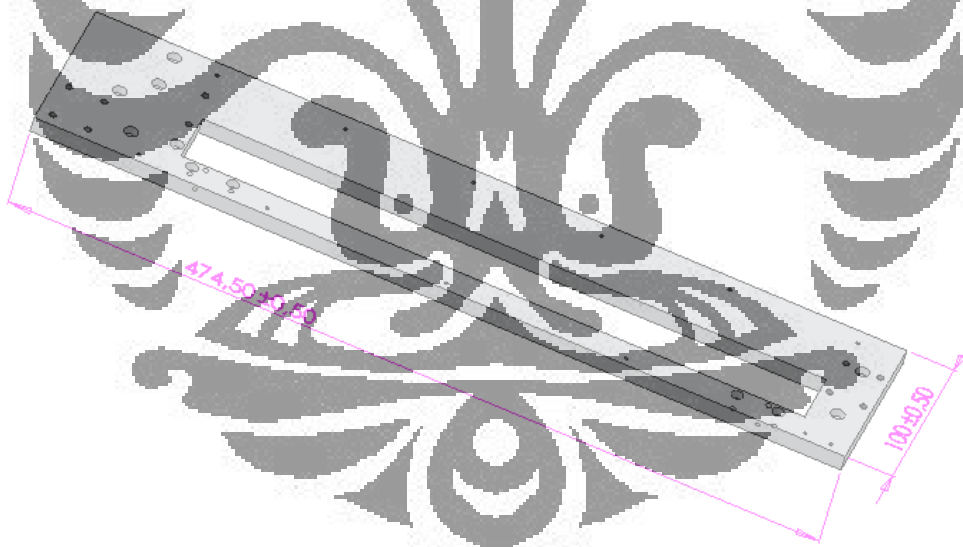
Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 3 mm = 0,1 menit

Maka waktu drilling untuk 6 lubang diameter 3 mm =  $0,1 \times 6 = 0,6$  mm

Estimasi waktu pemesinan = 2 menit

#### 4.5.2.9 Pembuatan Dudukan Komponen Ekstruder

Dudukan komponen ekstruder berfungsi sebagai penopang komponen ekstruder sekaligus tempat diletakkannya dua buah *linear guideway*. Komponen ini harus dibuat datar, tidak boleh melengkung. Hal ini dikhawatirkan dapat membuat poros *ballscrew* bending. Banyak sekali lubang-lubang baut pada komponen ini sehingga perlu diperhatikan pada saat pengeboran agar letaknya tepat sesuai.



**Gambar 4.19.** Pembuatan dudukan komponen ekstruder

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** :  $480 \times 102 \times 10 \text{ mm}^3$

**Pemesinan yang dilakukan :**

**a. Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
*Number of teeth* : 4  
*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
*Cutting speed* : 25 fpm  
 Panjang benda : 474,5 mm = 18,7 inchi

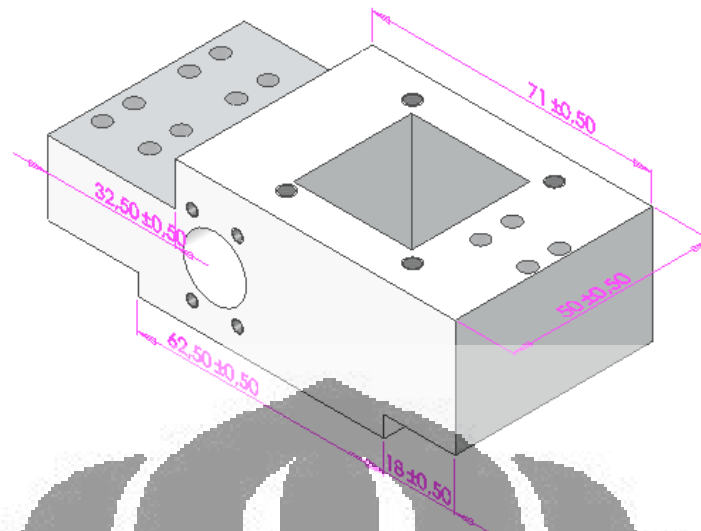
*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 18,7 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 3,3 menit (satu sisi)  
 = 3,3 x 2 = 6,6 menit

**b. Drilling**

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4 mm dan 3 mm = 0,1 menit  
 Maka waktu total drilling untuk 20 lubang = 2 menit.

**4.5.2.10 Pembuatan Braket Ekstruder**

Braket ekstruder berfungsi sebagai dukungan untuk komponen ekstruder. Komponen ini berhubungan langsung dengan *nut ballscrew* dan *linear guideway* sehingga tidak boleh ada kesalahan saat proses pembuatan. Terutama untuk lubang baut *linear guideway*. Komponen ini berhubungan langsung dengan dua *linear guideway* yang keduanya harus saling sejajar. Apabila tidak sejajar dapat mengganggu pergerakan.



**Gambar 4.20.** Pembuatan braket ekstruder

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 105x52x40 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan :**

a. **Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

**Keterangan :**

$t_c$  = *cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

**Diketahui :** Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

*Number of teeth* : 4

*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT

*Cutting speed* : 25 fpm

Panjang benda : 105 mm = 4,13 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*

$$= 4,13 \text{ inchi} / 5,736 \text{ inchi/menit}$$

$$= 0,72 \text{ menit (satu sisi)}$$

$$= 0,7 \times 2 = 1,4 \text{ menit}$$

### b. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4 mm = 0,1 menit

Maka waktu drilling untuk 20 lubang diameter 4 mm =  $20 \times 0,1 = 2$  menit

### c. Milling 2

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_f)$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  depth of cut (mm)

$n_f$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat

Diketahui :

diameter pahat = 5 mm

depth of cut = 0,5

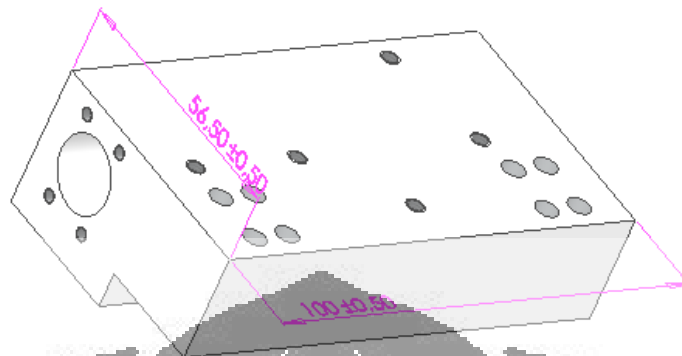
cutting speed = 15 mm/min

$$t_m = \frac{40 + \sqrt{0,5(5 - 0,5)}}{15} = 2,8$$

Estimasi waktu pemesinan = 6,2 menit

#### 4.5.2.11 Pembuatan Braket y

Braket y fungsinya sama halnya dengan braket ekstruder. Namun braket y hanya berhubungan dengan nut ballscrew dan linear guideway.



**Gambar 4.21.** Pembuatan braket y

**Material** : aluminium

**Dimensi raw material** : 105x60x35 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan :**

a. Milling 1

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = cutting time (menit)

$V$  = volume yang di remove

$V_t$  = chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

Number of teeth : 4

Feed per tooth : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT

Cutting speed : 25 fpm

Panjang benda : 105 mm = 4,13 inchi

$$\begin{aligned}
 \text{Cutting time} &= \text{panjang benda} / \text{feed rate} \\
 &= 4,13 \text{ inchi} / 5,736 \text{ inchi/menit} \\
 &= 0,72 \text{ menit (satu sisi)} \\
 &= 0,72 \times 5 = 1,44 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

### b. Drilling

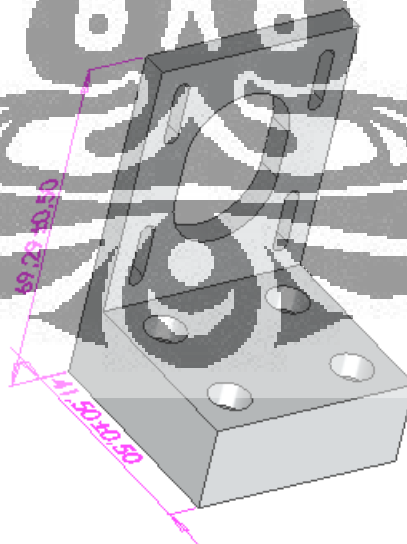
Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4 mm = 0,1 menit

Maka untuk drilling 17 lubang =  $17 \times 0,1 = 1,7$  menit

Estimasi waktu pemesinan = 3,14 menit

#### 4.5.2.12 Pembuatan *Motor base* 1 dan 2

*Motor base* merupakan tempat dudukan motor stepper. Pada mesin RP FDM ini menggunakan 3 motor stepper sehingga membutuhkan 3 *Motor base*. *Motor base* untuk sumbu z memiliki fungsi lain selain menjadi dudukan motor yaitu sebagai rumah bearing (bearing housing). Sedangkan *Motor base* untuk sumbu x dan y memiliki bentuk yang sama namun dimensinya berbeda yang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi. Pada *Motor base* dibuat slot untuk baut dengan tujuan agar saat pemasangan motor dan sistem gerak lainnya dapat diatur ketegangan beltnya.



**Gambar 4.22.** Pembuatan *Motor base* 2

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 70x42x18 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan :**

**a. Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *Cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

*Number of teeth* : 4

*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT

*Cutting speed* : 25 fpm

Panjang benda : 70 mm = 2,8 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*

= 2,8 inchi / 5,736 inchi/menit

= 0,5 menit (satu sisi)

= 0,5 x 2 = 1 menit

**b. Drilling**

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4 mm = 0,1 menit

Maka waktu drilling = 4 x 0,1 = 0,4 menit

**c. Milling**

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_T)$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  *depth of cut* (mm)

$n_T$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat



Diketahui :

diameter pahat = 5 mm

*depth of cut* = 0,5

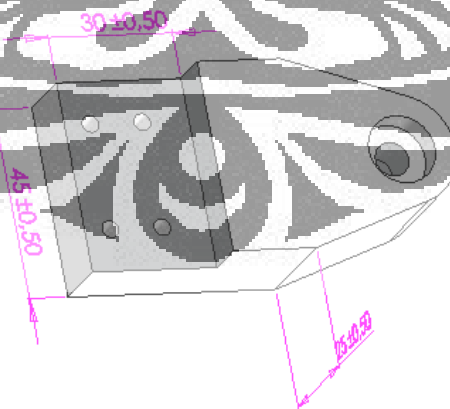
*cutting speed* = 15 mm/min

$$t_m = \frac{20 + \sqrt{0.5(5 - 0.5)}}{15} = 1,4$$

Estimasi waktu pemesinan = 5,6 + 0,4 + 1 = 7 menit

#### 4.5.2.13 Pembuatan Bearing Housing 4

*Bearing housing 4* merupakan komponen yang berfungsi sebagai rumah bearing pada sumbu z. Komponen ini menahan bobot dari poros *ballscrew* tegak yang diterima oleh bearing. *Bearing housing* ini dipasang pada batang alumunium bawah yang berfungsi sebagai referensi. Pemasangan komponen *bearing housing* pada batang alumunium harus kuat, sedangkan untuk mengatur posisi poros menggunakan sistem *adjust*.



**Gambar 4.23.** Pembuatan bearing housing 4

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 80x50x30 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan :**

**a. Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = cutting time (menit)

$V$  = volume yang di remove

$V_t$  = chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
 Number of teeth : 4  
 Feed per tooth : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
 Cutting speed : 25 fpm  
 Panjang benda : 80 mm = 3,14 inchi

Cutting time = panjang benda / feed rate  
 = 3,14 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,55 menit (satu sisi)  
 = 0,55 x 2 = 1,1 menit

**b. Drilling**

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 4 mm = 0,1 menit

Maka waktu drilling = 4 x 0,1 = 0,4 menit

**c. Milling**

$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_f)$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  depth of cut (mm)

$n_f$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat

Diketahui :

diameter pahat = 5 mm

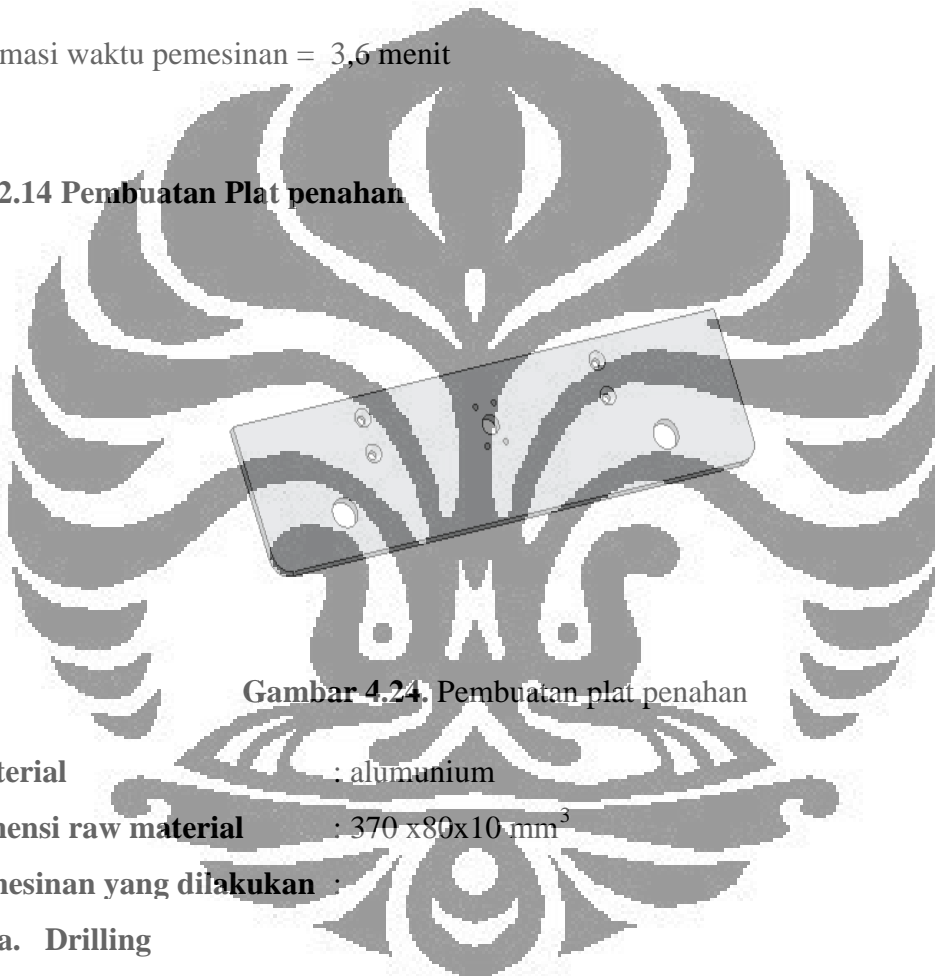
*depth of cut* = 0,5

*cutting speed* = 15 mm/min

$$t_m = \frac{30 + \sqrt{0.5(5 - 0.5)}}{(15)} = 2,1$$

Estimasi waktu pemesinan = 3,6 menit

#### 4.5.2.14 Pembuatan Plat penahan



Gambar 4.24. Pembuatan plat penahan

**Material** : aluminium

**Dimensi raw material** : 370 x 80 x 10 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan** :

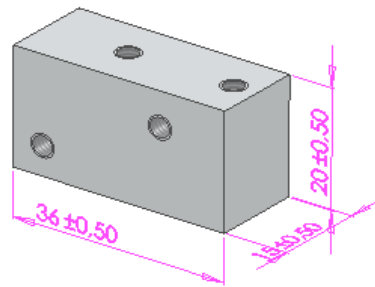
##### a. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 3 mm, 4 mm, dan 10 mm = 0,1 menit.

Maka untuk pembuatan 11 lubang = 1,1 menit

Estimasi waktu pemesinan plat penahan = 1,1 menit

#### 4.5.2.15 Pembuatan Dudukan Meja Samping



Gambar 4.25. Pembuatan dudukan meja samping

**Material** : aluminium  
**Dimensi raw material** : 37 x 15 x 21 mm<sup>3</sup>  
**Pemesinan yang dilakukan** :

a. Milling 1

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = cutting time (menit)

$V$  = volume yang di remove

$V_t$  = chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

Number of teeth : 4

Feed per tooth : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT

Cutting speed : 25 fpm

Panjang benda : 36 mm = 1,4 inchi

**Cutting time** = panjang benda / feed rate  
 = 1,4 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,24 menit (satu sisi)  
 = 0,24 x 2 = 0,48 menit

### b. Milling 2

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *cutting time* (menit)

$V$  = Volume yang di *remove*

$V_t$  = *Chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
*Number of teeth* : 6  
*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
*Cutting speed* : 25 fpm  
 Panjang benda : 25 mm = 1 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 1 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,2 menit (satu sisi)  
 = 0,2 x 2 = 0,4 menit

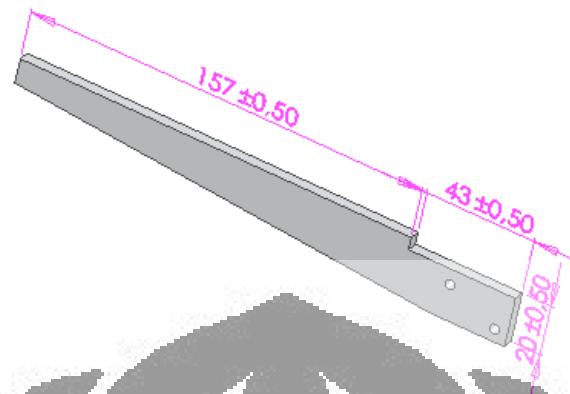
### c. Drilling

Asumsi *boring* untuk lubang dengan diameter 3 mm = 0,1 menit

Maka untuk pembuatan 4 lubang diameter 3mm = 0,4 menit

Estimasi waktu pemesinan dudukan meja samping = 1,28 menit

#### 4.5.2.16 Pembuatan Penyangga Meja Samping



**Gambar 4.26.** Pembuatan penyangga meja

**Material** : alumunium

**Dimensi raw material** : 200 x 27 x 5 mm<sup>3</sup>

**Pemesinan yang dilakukan** :

a. **Milling 1**

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

**Keterangan :**

$t_c$  = *Cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

**Diketahui :** Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)

*Number of teeth* : 4

*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT

*Cutting speed* : 25 fpm

Panjang benda : 43 mm = 1,7 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*

= 1,7 inchi / 5,736 inchi/menit

= 0,3 menit (satu sisi)

$$= 0,3 \times 2 = 0,6 \text{ menit}$$

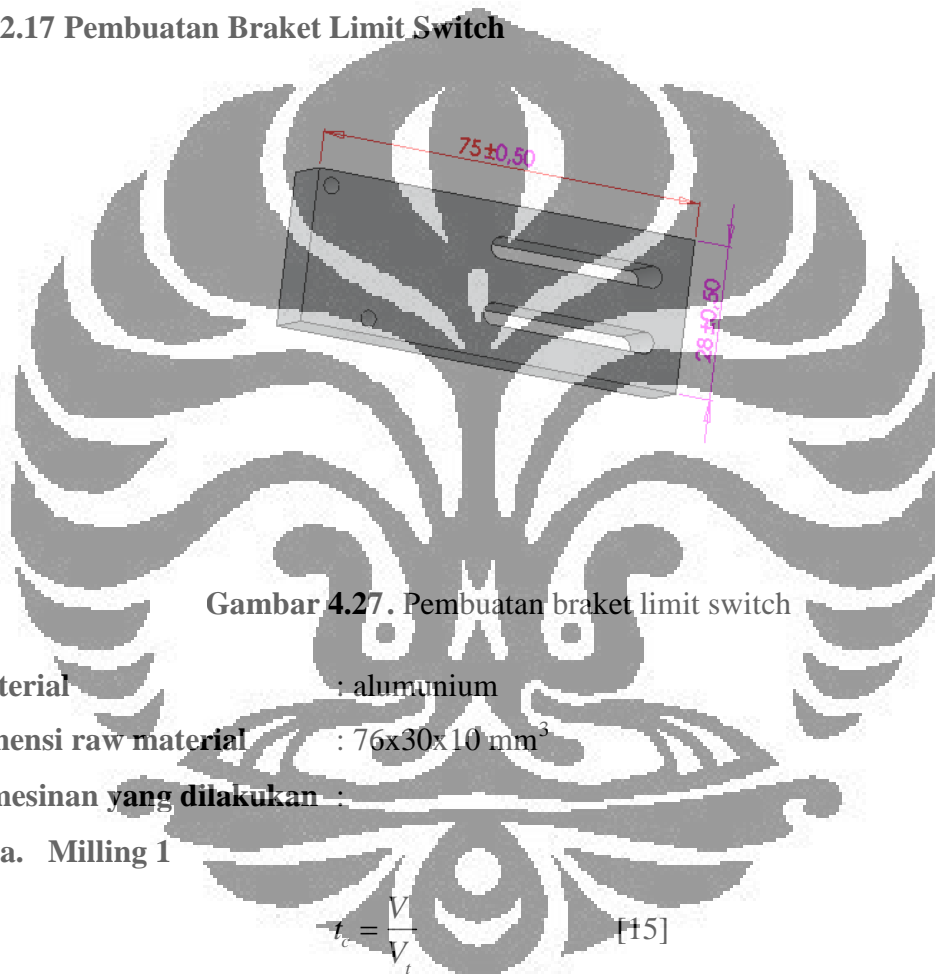
### b. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 3 mm = 0,1 menit

Maka untuk pembuatan 2 lubang diameter 3mm = 0,2 menit

Estimasi waktu pemesinan penyangga meja samping = 0,8 menit

#### 4.5.2.17 Pembuatan Braket Limit Switch



Gambar 4.27. Pembuatan braket limit switch

Material : aluminium

Dimensi raw material : 76x30x10 mm<sup>3</sup>

Pemesinan yang dilakukan :

#### a. Milling 1

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = cutting time (menit)

$V$  = volume yang di remove

$V_t$  = chip removal rate

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
*Number of teeth* : 4  
*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
*Cutting speed* : 25 fpm  
 Panjang benda : 75 mm = 3 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 3 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,5 menit (satu sisi)  
 = 0,5 x 2 = 1 menit

#### b. Milling 2

$$t_c = \frac{V}{V_t} \quad [15]$$

Keterangan :

$t_c$  = *cutting time* (menit)

$V$  = volume yang di *remove*

$V_t$  = *chip removal rate*

Diketahui : Diameter tool : 10 mm (0,4 inchi)  
*Number of teeth* : 4  
*Feed per tooth* : 0,1 mm per tooth = 0,004 IPT  
*Cutting speed* : 25 fpm  
 Panjang benda : 25 mm = 1 inchi

*Cutting time* = panjang benda / *feed rate*  
 = 1 inchi / 5,736 inchi/menit  
 = 0,17 menit (satu sisi)  
 = 0,17 x 2 = 0,34 menit

#### c. Drilling

Asumsi boring untuk lubang dengan diameter 3 mm = 0,1 menit

Maka untuk pembuatan 2 lubang diameter 3mm = 0,2 menit

#### d. Milling



$$t_m = (l_w + \sqrt{a_e(d_t - a_e)}) / (n_T)$$

ket :  $t_m$  waktu pemesinan (min)

$l_w$  panjang benda (mm)

$a_e$  depth of cut (mm)

$n_T$  laju pemakanan (mm/min)

$d_t$  diameter pahat

Diketahui :

diameter pahat = 5 mm

depth of cut = 0,5

cutting speed = 15 mm/min

$$t_m = \frac{20 + \sqrt{0.5(5 - 0.5)}}{15} = 1,4$$

(15)

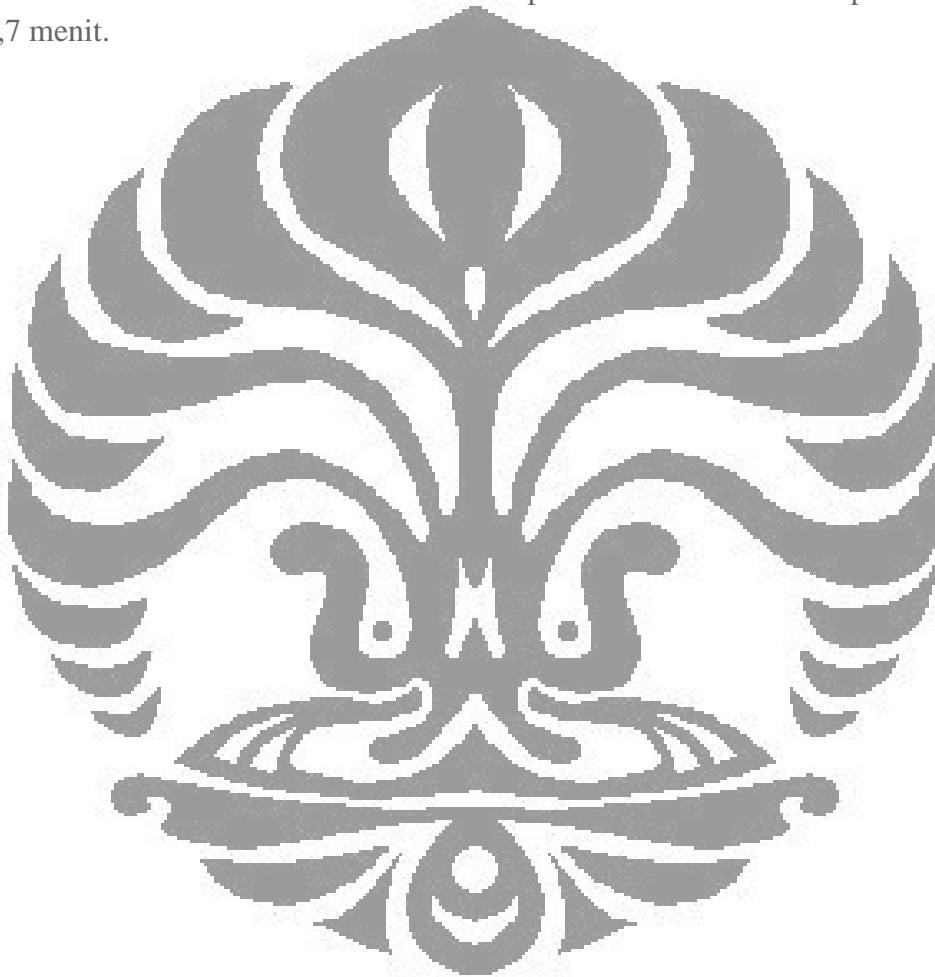
Estimasi waktu pemesinan braket limit switch = 2,94 menit

**Tabel 4.6.** Total waktu pemesinan

Komponen	Jumlah	waktu	waktu total (menit)
Base (rangka)	1	4,7	4,7
Dudukan Aluminium Bawah	1	1,5	1,5
Batang Atas 1	1	2,1	2,1
Batang Atas 2	1	2,1	2,1
Batang Atas 3	1	2,1	2,1
Batang Atas 4	1	2,1	2,1
Dudukan Adjust	4	4,46	17,8
Bearing Housing	4	3	12
Bearing Housing 2 (z)	1	7,5	7,5
Bearing Housing 1 (x,y)	4	1,3	5,2
Braket Samping	1	2	2
Dudukan Komp. Ekstruder	1	2	2
Braket Ekstruder	1	6,2	6,2
Braket y	1	3,14	3,1
Motor base 1 dan 2	2	7	14

Bearing Housing 4	1	3,6	3,6
Plat penahan	1	1,1	1,1
Dudukan Meja Samping	1	1,28	1,28
Penyangga Meja Samping	2	0,8	1,6
Braket Limit Switch	6	2,94	17,6
	36	TOTAL	109,7

Dari tabel di atas bisa dilihat kira-kira waktu pemesinan untuk 36 komponen adalah 109,7 menit.



## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS KEAKURASIAN MESIN DENGAN MENGGUNAKAN CMM

#### 5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui akurasi dari komponen mesin *rapid prototyping*. Akurasi ini berupa kedataran, kesejajaran, *angularity*, kelurusan, dan kerataan dari komponen.

#### 5.2 Prosedur Penggunaan CMM

CMM (*Coordinate Measuring Machine*) merupakan mesin yang digunakan untuk mengukur dimensi baik jarak maupun sudut suatu benda berdasarkan koordinat bidang yang terdapat pada benda tersebut [4]. Pengukuran dengan mesin CMM dilakukan setelah mesin selesai dirakit. Mesin yang digunakan yaitu “Mitutoyo-Crysta Plus M443” yang terdapat di Laboratorium Metrologi DTM Universitas Indonesia. Prosedur penggunaan mesin CMM adalah sebagai berikut :

- 1) Langkah pertama adalah mehidupkan dan mempersiapkan mesin CMM serta jarum probe yang akan digunakan. Pilih probe yang akan digunakan, karena ada berbagai jenis probe dengan diameter yang berbeda. Pada pengujian ini peneliti menggunakan probe dari RENISHAW dengan diameter 0,975 mm.

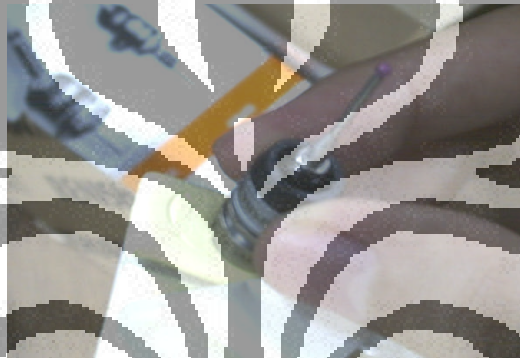


**Gambar 5.1.** Berbagai jenis probe yang biasa digunakan



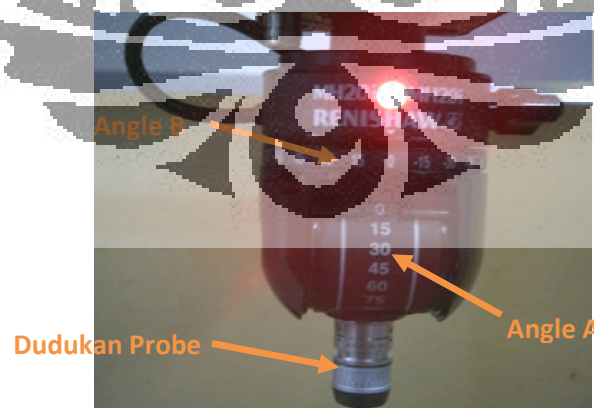
**Gambar 5.2.** Probe dipasang pada dudukannya

- 2) Kemudian dudukan probe dibersihkan dengan pembersih yang sudah disediakan.



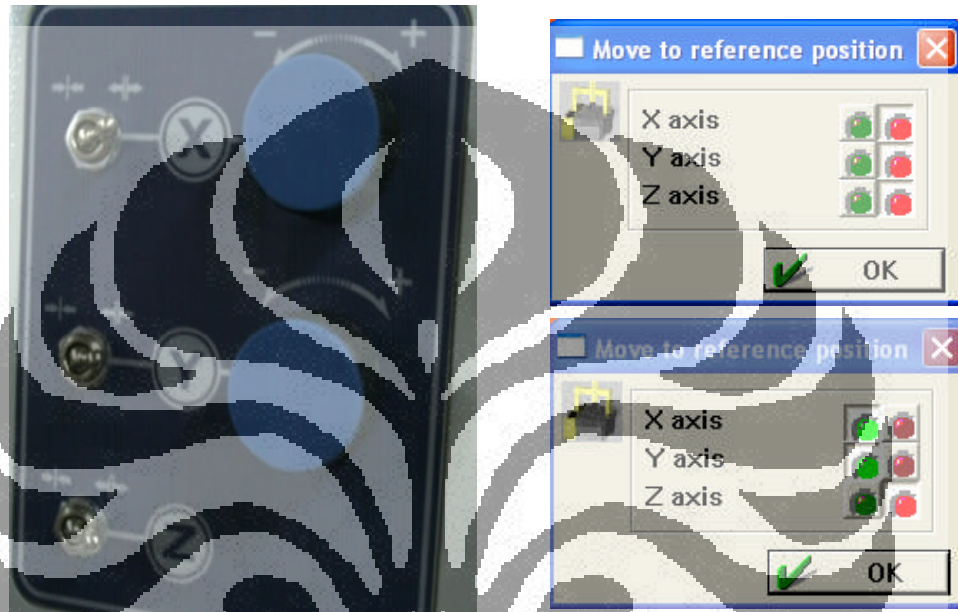
**Gambar 5.3.** Dudukan probe dibersihkan

- 3) Setelah itu, dudukan tersebut dipasang pada mesin CMM, dengan sudut  $A=0^{\circ}$  dan  $B=0^{\circ}$ .



**Gambar 5.4.** Dudukan probe dipasang pada head mesin CMM

- 4) Setelah persiapan selesai, maka beralih ke perangkat lunak bawaan dari Mitutoyo pada komputer (PC), klik OK untuk proses penentuan MCS (*Machine Coordinate System*) pada mesin CMM.
- 5) Kemudian, buka semua katup pada mesin CMM, dan gerakkan secara manual, pada arah x, y, dan z sampai lambang hijau pada software aktif yang artinya siap digunakan.



**Gambar 5.5.** Proses penentuan titik referensi pada mesin CMM

- 6) Setelah mendapatkan titik referensi mesin atau MCS, maka pada perangkat lunak akan menampilkan koordinat posisi *head* probe pada CMM.



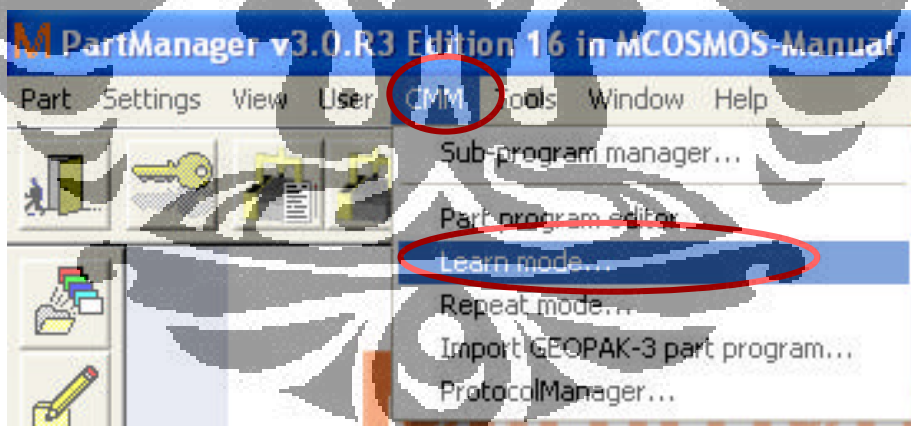
**Gambar 5.6.** Posisi *head* probe pada CMM

- 7) Setelah mendapatkan titik referensi, kemudian keluar dari tampilan dan buka perangkat lunak bawaan dari Mitutoyo yang ada pada desktop.



**Gambar 5.7.** Buka program MCOSMOS v.3 - manual

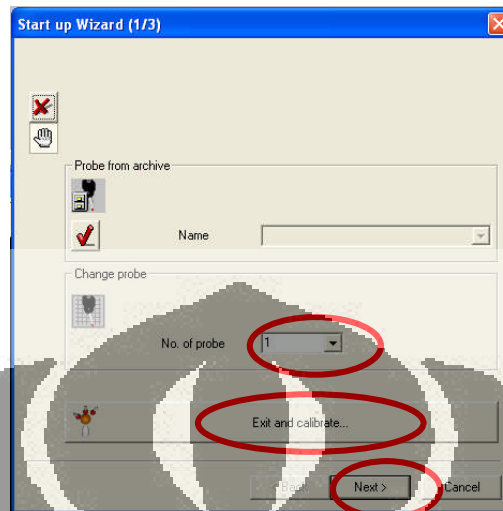
- 8) Setelah masuk program MCOSMOS, buatlah program baru dengan pilih pada *toolbar* > CMM > *learn mode*.



**Gambar 5.8.** Pilih menu *learn mode* untuk memulai pengukuran

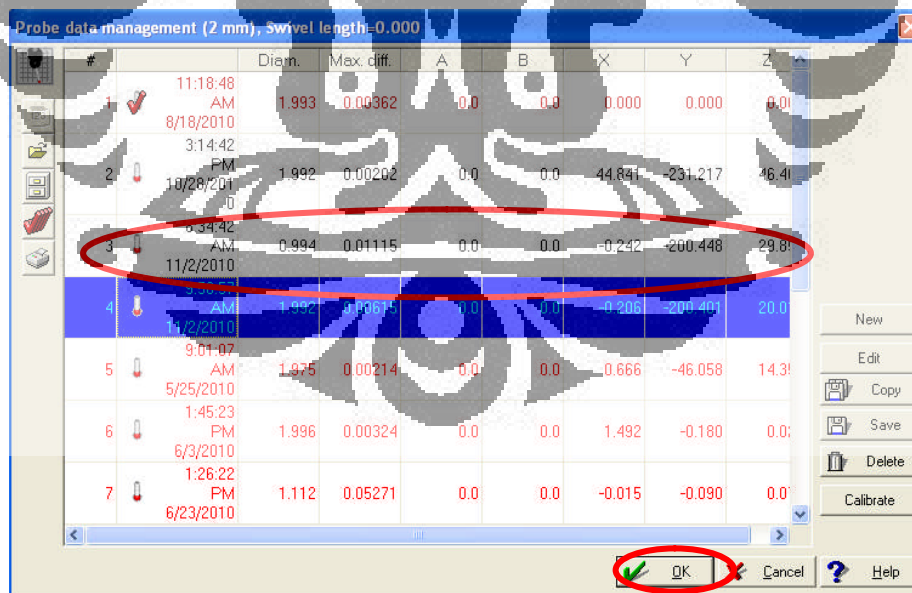
- 9) Setelah memilih mode *learn mode*, untuk memulai pengukuran baru maka langkah selanjutnya adalah proses kalibrasi probe. Proses kalibrasi yaitu dengan menyentuhkan ujung probe sebanyak 10 kali untuk mendapatkan nilai diameter, posisi dan sudut probe. Jika sudah diketahui jenis probe-nya dan pilih probe ke berapa, maka bisa langsung '*Next*', atau jika menginginkan

kalibrasi ulang probe dan melihat jenis-jenis probe yang sudah dikalibrasi pilih menu 'Exit and calibrate'.




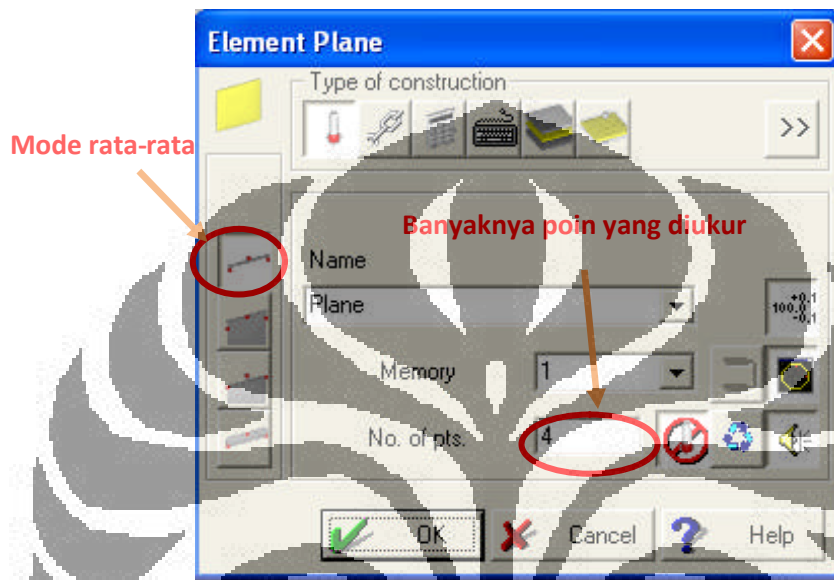
**Gambar 5.9.** Pilih jenis probe atau kalibrasi ulang

- 10) Pilih button 'Exit and calibrate', untuk proses kalibrasi ulang dan melihat jenis probe yang sudah di kalibrasi. Pilih jenis probe yang ke-4 dengan diameter 1,992 mm, kemudian 'OK'.



**Gambar 5.10.** GUI probe data management

- 11) Jika probe sudah dipilih, langkah selanjutnya adalah memilih *button*  untuk mengukur bidang datar atau *plane*.
- 12) Kemudian pilih mode pengukuran rata-rata, dan pilih *button* toleransi, jika diinginkan diketahui apakah bidang datar tersebut melewati toleransi apa tidak.

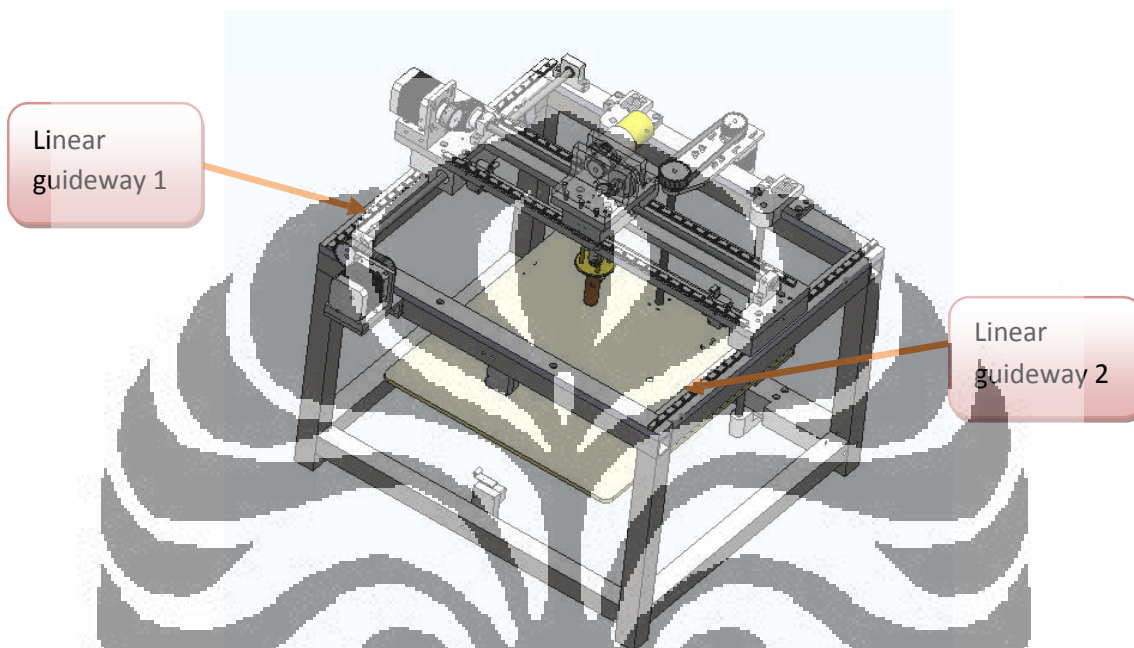


Gambar 5.11. Metode pengukuran elemen *plane*



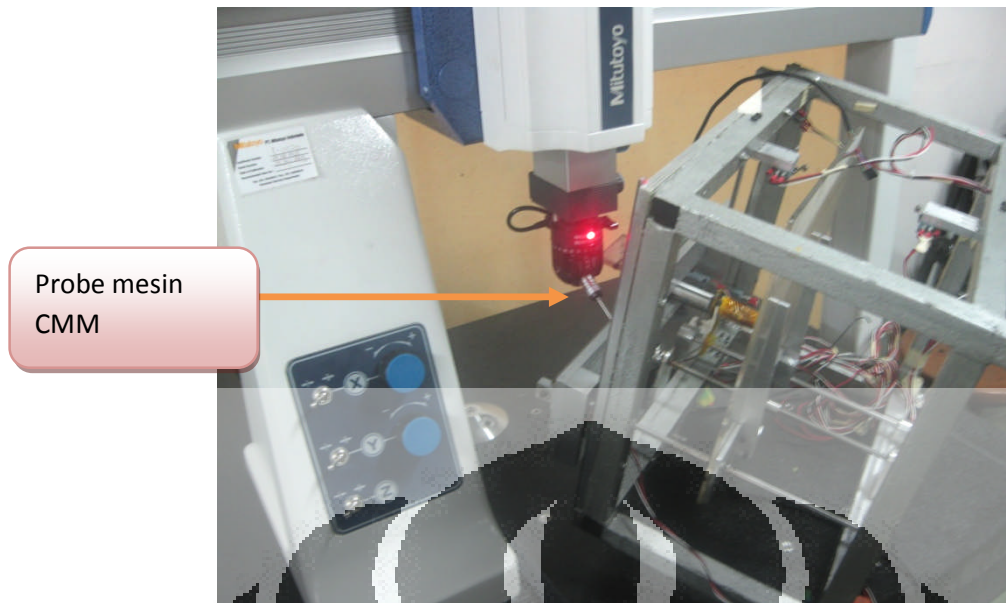
### 5.3 Pengukuran Pada Komponen Gerak Sumbu y

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui kesejajaran dari *linear guideway*. *Linear guideway* terdiri dari 2 batang yang merupakan komponen gerak pada sumbu y. *Plane* atau bidang dibentuk dari masing-masing batang *linear guideway*, kemudian diukur besarnya kesejajaran antara *linear guideway* 1 dan 2.



Gambar 5.12. *Linear guideway* 1 dan 2 pada sumbu y

*Linear guideway* 1 dan 2 diukur kesejajarannya dengan membuat satu bidang di masing-masing batang. Bidang ini dibentuk dari titik-titik yang ditandai oleh probe berupa kordinat. Kemudian dari titik-titik tersebut dibuat sebuah bidang yang mewakili. Kemudian kedua bidang tersebut diukur berapa kesejajaran dan *angularity*-nya. Bidang yang dibuat pada sisi samping *linear guideway* akan diukur kesejajarannya, sedangkan bidang yang dibentuk pada sisi atas akan diukur *angularity*-nya.



Probe mesin  
CMM

Gambar 5.13. Metode pengukuran pada sumbu y



Probe mesin  
CMM

ear  
deway

Gambar 5.14. Pengukuran *linear guideway* sumbu y

00002	Plane Mean Plane (1)	X= Y= Z=	-34.542 -19.540 -1.803	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	29:36:01 60:32:15 87:23:55
00005	Plane Mean Plane (2)	X= Y= Z=	333.272 190.156 16.412	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	29:47:58 60:19:19 87:33:03
00008	Parallelism (2) Plane (1) Plane		0.073 0.000		0.100

**Gambar 5.15.** Hasil pengukuran kesejajaran *linear guideway* sumbu y

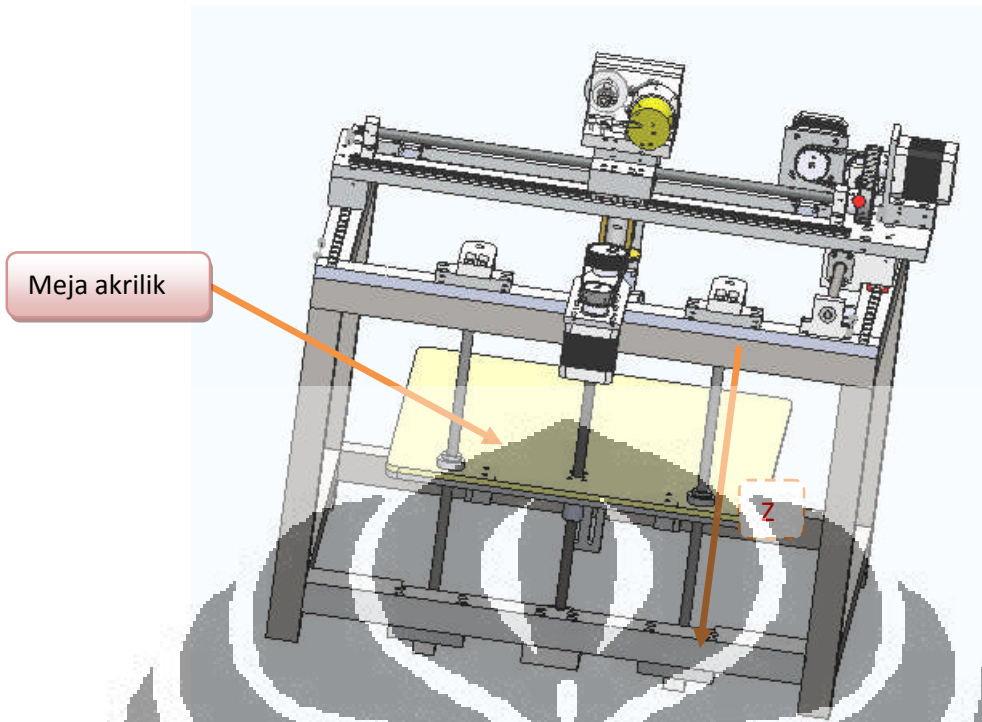
00076	Plane Mean Plane (21)	X= Y= Z=	24.383 -41.787 -10.842	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	119:27:29 32:33:43 77:22:08
00079	Plane Mean Plane (22)	X= Y= Z=	24.560 -41.306 -10.994	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	119:19:49 32:27:29 77:20:01
00082	Angularity (22) Plane (21) Plane		0.012 0.000		0:00:00 0.100
	Angle Angle			$A=$	0:07:46

**Gambar 5.16.** Hasil pengukuran *angularity linear guideway* sumbu y

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa kesejajaran antara *linear guideway* 1 dan 2 pada sumbu y adalah sebesar 0,073 mm, yang artinya bahwa besarnya error yang terjadi pada kesejajaran *linear guideway* sumbu y adalah  $\pm 0,073$  mm. Besarnya error *angularity linear guideway* adalah sebesar 0:07:46 (7 menit 46 detik) bila dirubah menjadi derajat menjadi  $0,1^\circ$  atau  $\pm 0,012$  mm.

#### 5.4 Pengukuran Pada Komponen Gerak Sumbu z

Untuk mengukur akurasi pada sumbu z, pengukuran dilakukan dengan membuat bidang pada meja akrilik. Bidang ini dibuat dengan cara menandai titik-titik pada meja, kemudian dari titik-titik ini dibuat suatu bidang. Bidang 1 dibuat saat meja akrilik berada di posisi *default*. Kemudian bidang 2 dibuat setelah meja akrilik dijalankan sejauh 20 mm. Pembuatan bidang 2 sama dengan cara pembuatan bidang 1. Setelah itu bidang 1 dan bidang 2 diukur berapa kesejajarannya.



**Gambar 5.17.** Pengukuran sistem gerak sumbu z



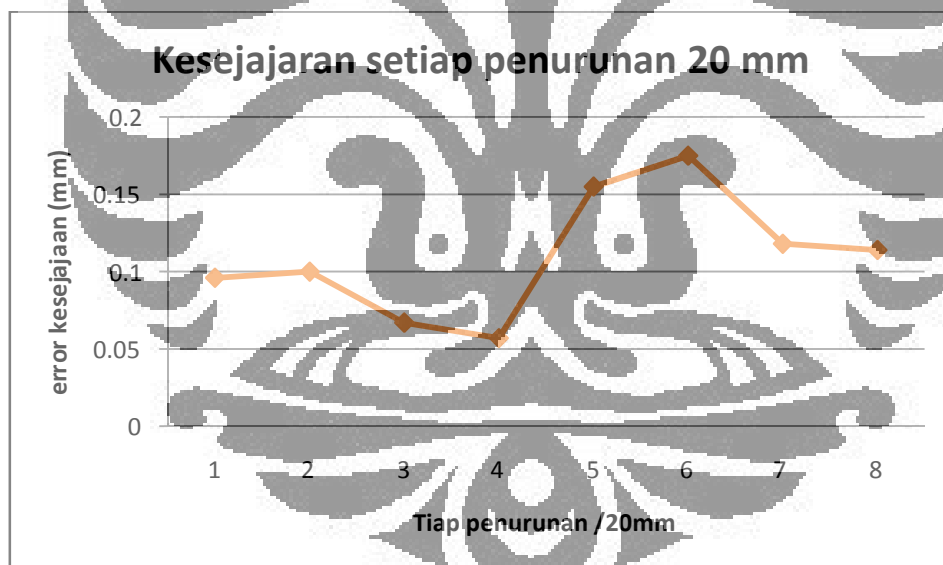
**Gambar 5.18.** Metode pengukuran sistem gerak sumbu z

Meja akrilik ditandai titik-titik dengan menggunakan *probe*, kemudian titik-titik tersebut dibentuk menjadi sebuah bidang. Setelah itu meja diturunkan 20 mm dan dibuat bidang yang lain. Pengukuran dilakukan sampai didapat 10 bidang dengan

menurunkan meja akrilik. Kemudian dari bidang-bidang yang sudah didapat diukur keseajarannya.

**Tabel 5.1.** Kesejajaran sumbu z

posisi	Bidang		Error kesejajaran (mm)
	1	2	
default	1	2	0,09
20 mm	2	3	0,10
40 mm	3	4	0,07
60 mm	4	5	0,057
80 mm	5	6	0,16
100 mm	6	7	0,18
120 mm	7	8	0,12
140 mm	8	9	0,11

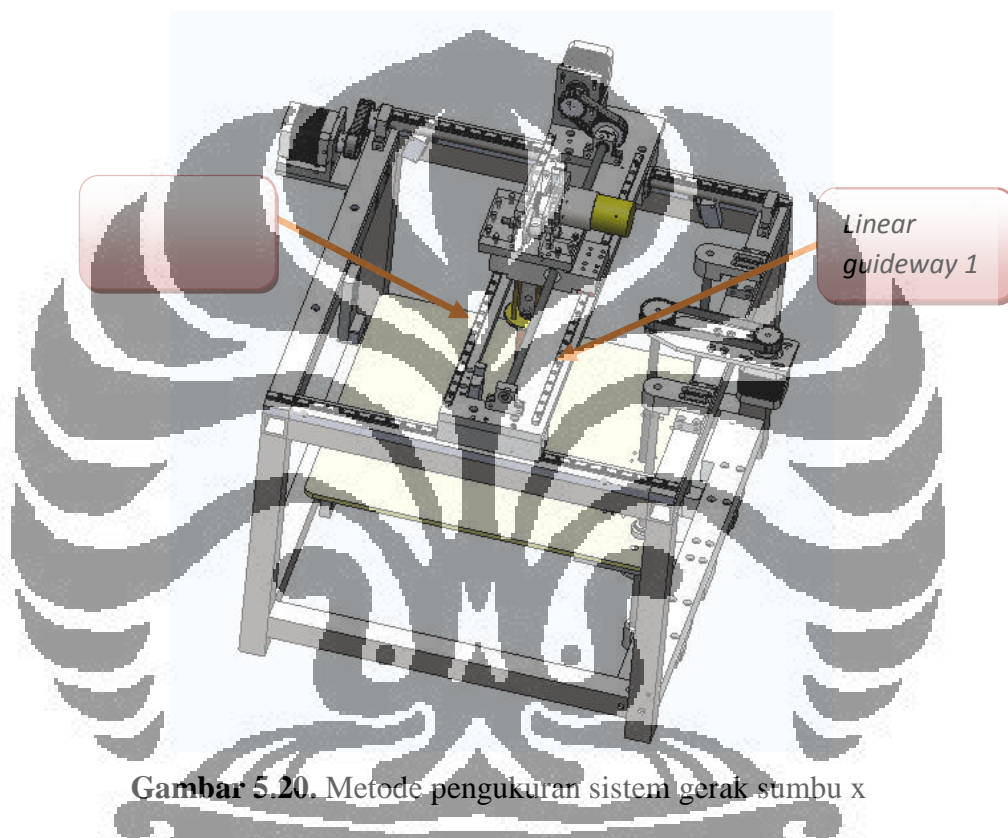


**Gambar 5.19.** Grafik hasil pengukuran sistem gerak sumbu z

Dari hasil pengukuran didapatkan hasil berupa grafik seperti di atas. Grafik menunjukkan bahwa besarnya error kesejajaran paling besar setelah meja akrilik turun 80 mm dan 100 mm. Error yang terjadi yaitu sebesar 0,18 mm. Kemudian error kembali turun saat meja akrilik hampir mencapai batas bawah yaitu sebesar 0,11 mm.

## 5.5 Pengukuran Pada Komponen Gerak Sumbu x

Pengukuran pada komponen gerak sumbu x prinsipnya sama dengan pengukuran pada sumbu y, yaitu dengan mengukur kesejajaran dan *angularity* dari *linear guideway*. Untuk mengukur kesejajaran, dibuat sebuah bidang pada sisi samping dari *linear guideway*. Sedangkan untuk mengukur *angularity*, dibuat sebuah bidang pada sisi atas masing-masing *linear guideway*.



**Gambar 5.20.** Metode pengukuran sistem gerak sumbu x

*Linear guideway 1* dan *2* diukur kesejajarannya dengan membuat satu bidang di masing-masing batang. Bidang ini dibentuk dari titik-titik yang ditandai oleh probe berupa kordinat. Kemudian dari titik-titik tersebut dibuat sebuah bidang yang mewakili. Kemudian kedua bidang tersebut diukur berapa kesejajaran dan *angularity*-nya. Bidang yang dibuat pada sisi samping *linear guideway* akan diukur kesejajarannya, sedangkan bidang yang dibentuk pada sisi atas akan diukur *angularity*-nya.

00031	Plane Mean Plane (9)	X= Y= Z=	-34.359 -19.440 -1.817	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	29:36:26 60:32:03 87:21:51
00034	Plane Mean Plane (10)	X= Y= Z=	333.674 190.175 16.814	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	29:46:36 60:21:02 87:29:36
00037	Parallelism (10) Plane (9) Plane			0.049 0.000	0.100

**Gambar 5.21.** Hasil pengukuran kesejajaran sistem gerak sumbu x

00059	Plane Mean Plane (17)	X= Y= Z=	24.403 -42.034 -10.874	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	119:20:19 32:26:24 77:23:19
00062	Plane Mean Plane (18)	X= Y= Z=	24.643 -42.446 -11.011	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	119:20:07 32:27:10 77:21:18
00065	Angularity (17) Plane (18) Plane		0.010 0.000		0:00:00 0.100
00066	Angle Angle (1)				0:02:02

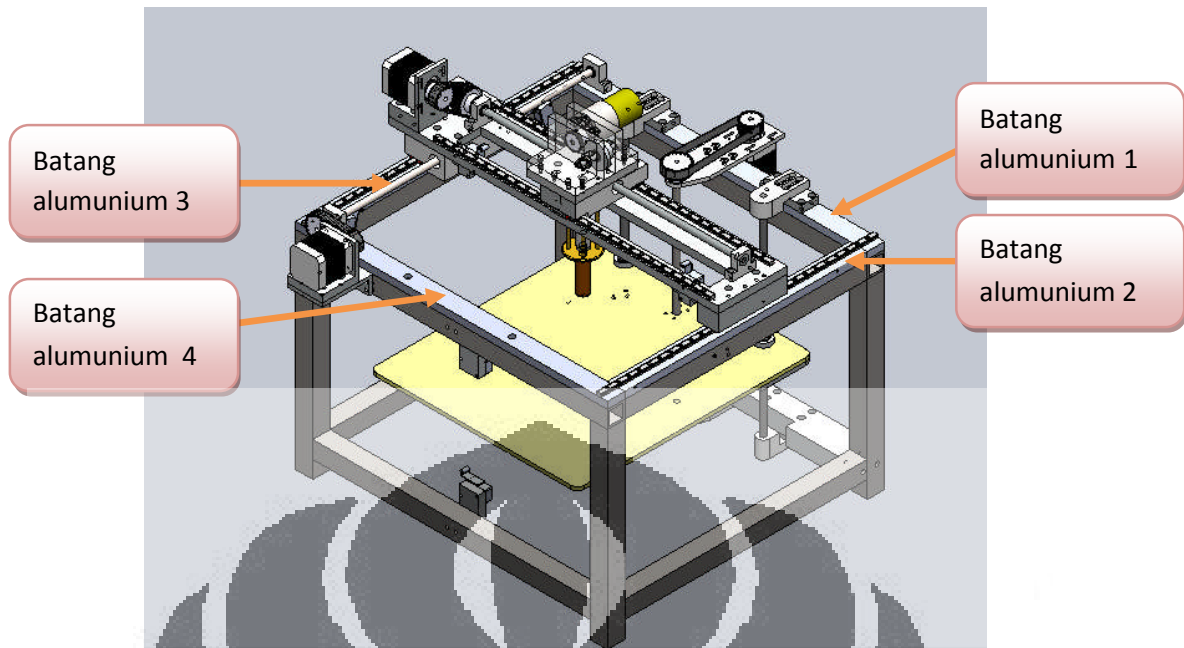
**Gambar 5.22.** Hasil pengukuran *angularity* sistem gerak sumbu x

Dari hasil pengukuran diperoleh besarnya error kesejajaran pada sistem gerak sumbu x adalah sebesar 0,05 mm, yang artinya besarnya kesalahan yang terjadi yaitu sebesar  $\pm 0,05$  mm. Sedangkan error *angularity* yang dihasilkan yaitu sebesar 0,01 mm dan 2 menit 2 detik ( 0,03°).

## 5.6 Pengukuran Batang Aluminium Atas

Batang aluminium atas merupakan komponen yang berfungsi sebagaiudukan untuk komponen lain. Terdiri dari 4 batang aluminium yang terpisah satu sama lain. Keempat batang tersebut harus dipasangkan/dirakit menjadi satu kesatuan yang nantinya akan menjadi dasar atau referensi. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran akurasi dari pemasangan batang aluminium tersebut.

Batang aluminium atas 1 dan 2 diukur keakurasiannya dengan cara membuat titik sebanyak 10 pada sisi atas batang. Kemudian dari titik-titik yang sudah ada dibentuk sebuah bidang yang mewakili titik-titik tersebut. Dua bidang yang masing-masing dari batang aluminium 1 dan 2 bisa diukur error *angularity*-nya.



**Gambar 5.23.** Pengukuran batang aluminium atas 1,2,3, dan 4

**Tabel 5.2.** Hasil pengukuran batang atas 1 dan 2

Batang 1	X	-1,246	$\alpha$	88:55:56
	Y	-44,75	$\beta$	28:32:03
	Z	24,3	$\gamma$	118:29:36
Batang 2	X	-0,01	$\alpha$	89:34:51
	Y	1,335	$\beta$	4:46:12
	Z	-0,111	$\gamma$	85:14:55

Bidang	Bidang	keterangan sudut	seharusnya
1	2	0:35:02	0:00:00

**Tabel 5.3.** Hasil pengukuran batang 3 dan 4

Batang 3	x	-1,707	$\alpha$	93:00:37
	y	31,072	$\beta$	17:06:27
	z	9,41	$\gamma$	73:10:32
Batang 4	x	-1,435	$\alpha$	92:26:19
	y	32,202	$\beta$	17:16:34
	z	9,912	$\gamma$	72:54:28

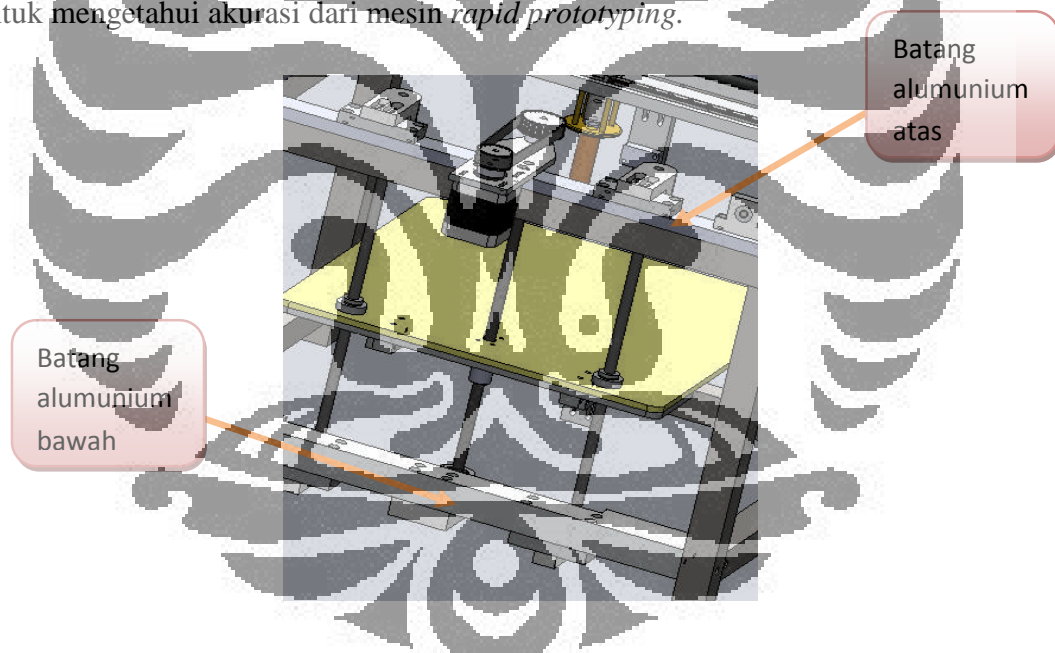


Bidang	Bidang	keterangan sudut	Seharusnya
3	4	0:37:40	0:00:00

Dari hasil pengukuran diperoleh error *angularity* pada batang alumunium atas 1 dan 2 sebesar 35 menit 2 detik atau sebesar  $0,6^\circ$ . Sedangkan error *angularity* pada batang alumunium atas 3 dan 4 sebesar 37 menit 40 detik atau sebesar  $0,9^\circ$ .

### 5.7 Pengukuran Batang Alumunium Atas dan Bawah

Batang alumunium atas merupakan referensi untuk komponen-komponen bagian atas dan batang alumunium bawah merupakan referensi komponen-komponen bawah. Kedua batang ini akan digunakan sebagai dasar pada waktu perakitan komponen sistem gerak sumbu y. Oleh karena itu harus dicari error yang terjadi untuk mengetahui akurasi dari mesin *rapid prototyping*.



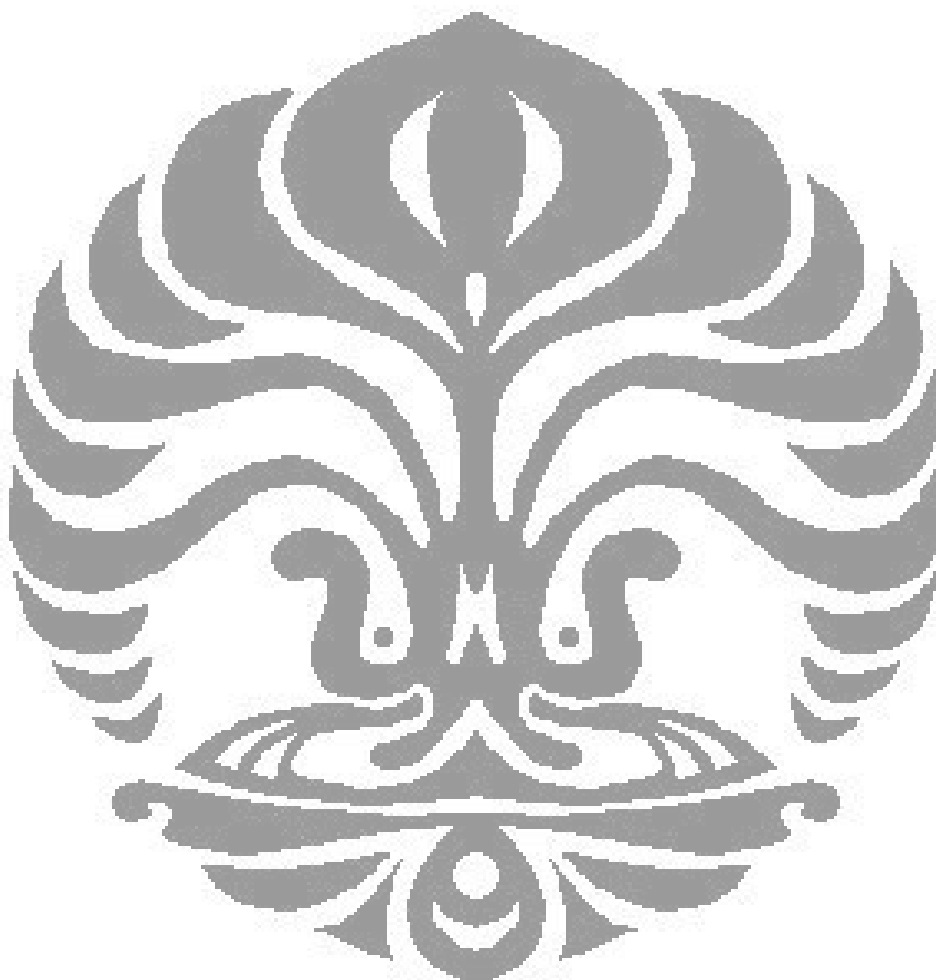
**Gambar 5.24.** Pengukuran batang alumunium atas dan bawah

**Tabel 5.4.** Hasil pengukuran batang alumunium atas dan bawah

Batang 3	X	-0,222	$\alpha$	90:07:33
	Y	100,824	$\beta$	1:10:13
	Z	-2,048	$\gamma$	91:09:48
Batang 4	X	-0,123	$\alpha$	90:04:11
	Y	101,194	$\beta$	1:25:42

Bidang	Bidang	keterangan sudut	Seharusnya
atas	bawah	0:16:09	0:00:00

Dari hasil pengukuran diperoleh error sebesar 16 menit 9 detik atau sebesar  $0,3^\circ$ . Apabila error tersebut dirubah dalam bentuk mm diperoleh error sebesar  $\pm 1$  mm.



## BAB VI

### ANALISIS PENGARUH PANAS TERHADAP KONSTRUKSI MESIN *RAPID PROTOTYPING*

Panas pada nosel mencapai suhu 350° Celcius. Panas ini dikhawatirkan dapat mempengaruhi konstruksi mesin *rapid prototyping*. Oleh karena itu kami menganalisis apakah panas tersebut berpengaruh besar pada konstruksi. Untuk mengetahui hal tersebut, kami mengukur besarnya suhu dari tiap-tiap komponen mesin *rapid prototyping* kemudian kami hitung besarnya pemuaian yang terjadi.

#### 6.1 Pengukuran Suhu Komponen

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel yang berjenis tipe K. Termokopel ini sama dengan yang dipakai pada pemanas sistem *feeder*. Pengukuran dilakukan setelah mesin dinyalakan selama kurang lebih 30 menit dengan tujuan agar diperoleh kondisi kerja dari mesin *rapid prototyping* kemudian termokopel ditempelkan di permukaan yang hendak diukur.



**Gambar 6.1.** Termokopel tipe K

Pengukuran dilakukan pada sembilan komponen yang dianggap mengalami perubahan setelah terkena panas yang keluar dari sistem *feeder*. Di bawah ini merupakan hasil dari pengukuran besarnya panas dari tiap-tiap komponen :

**Tabel 6.1.** Temperatur komponen

No	Komponen	Material	Temperatur (°C)
1	meja akrilik	akrilik	50
2	<i>ballscrew</i> sumbu z	steel	30
3	poros vertikal	steel	29
4	<i>barier</i>	teflon	63
5	braket teflon	teflon	39
6	<i>ballscrew</i> sumbu y	steel	37
7	<i>linear guideway</i> y	steel	32
8	braket ekstruder	aluminium	38
9	<i>pulley</i> nosel	aluminium	33

Dari tabel di atas bisa dilihat besarnya temperatur kerja pada komponen. Temperatur ini dikhawatirkan dapat berpengaruh terhadap komponen dan mekanisme kerja komponen sehingga dilakukan perhitungan besarnya pemuaian dari tiap-tiap komponen.

## 6.2 Perhitungan Besarnya Pemuaian

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besarnya pemuaian volume yang terjadi pada masing-masing komponen. Pemuaian volume ini disebabkan karena komponen menerima panas dari luar sehingga dikhawatirkan mempengaruhi mekanisme kerja dari mesin *rapid prototyping*.

Pemuaian volume adalah penambahan volume yang disebabkan oleh kenaikan temperatur. Besarnya pemuaian volume dipengaruhi oleh dua faktor yaitu besar kenaikan suhu dan jenis material. Tiap-tiap material memiliki koefisien muai volume yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan tabel di atas. Persamaan muai volume bisa dinyatakan ke dalam persamaan sebagai berikut :

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad [16]$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \alpha_v \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \int_{T_0}^{T_0+50} \alpha_v(T) dT$$

Keterangan :

$\alpha$  = koefisien muai volume

$V$  = volume awal

$\Delta V$  = beda volume

$dT$  = perubahan suhu

Tabel 6.2. Koefisien muai volume [16]

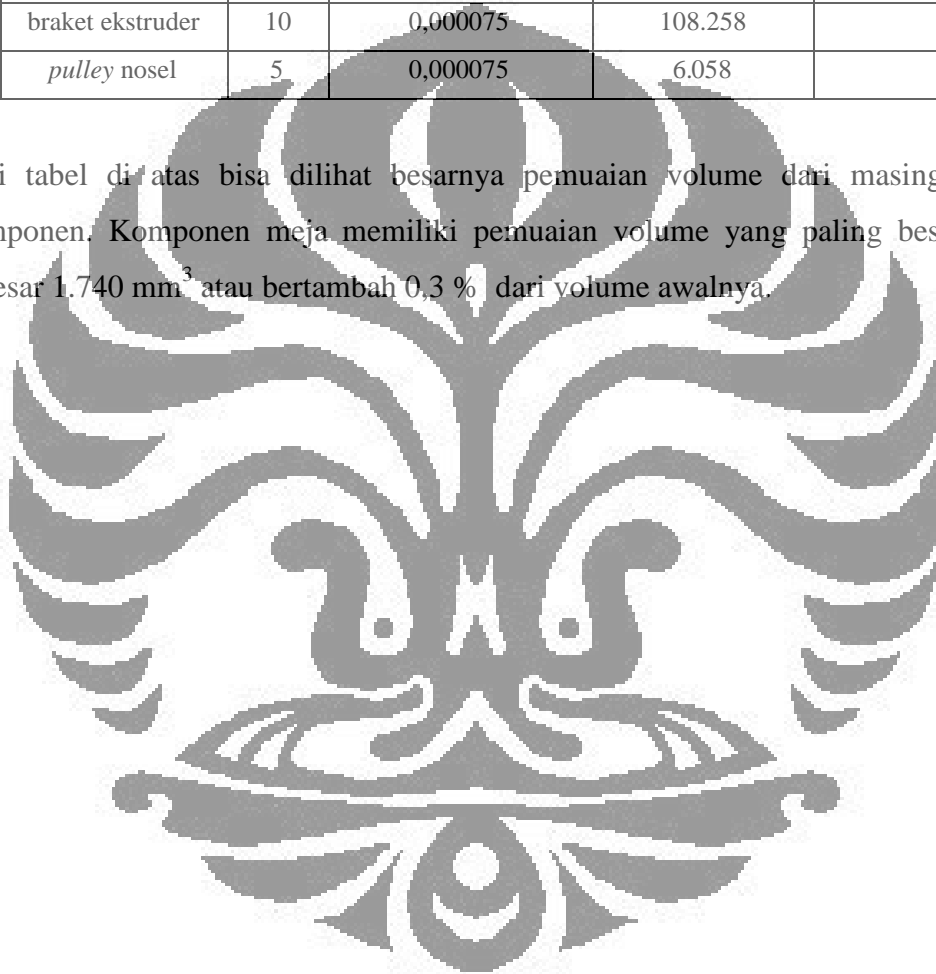
	Benda	Koefisien muai volume ( $K^{-1}$ atau $(C^{\circ})^{-1}$ )
Padat	Timah hitam	$87 \times 10^{-6}$
	Aluminium	$75 \times 10^{-6}$
	Kuningan	$56 \times 10^{-6}$
	Tembaga	$51 \times 10^{-6}$
	Besi atau Baja	$36 \times 10^{-6}$
	Beton dan Bata	Mendekati $36 \times 10^{-6}$
	Kaca (Biasa)	$27 \times 10^{-6}$
	Grafit	$23,7 \times 10^{-6}$
	Kaca (Pyrex)	$9 \times 10^{-6}$
	Marmar	$4 - 10 \times 10^{-6}$
	Invar	$3,6 \times 10^{-6}$
	Invar (Paduan besi - nikel)	$2,7 \times 10^{-6}$
	Kwarsa	$1 \times 10^{-6}$
	Cair	Karbon disulfida
Ethyl alkohol		$1100 \times 10^{-6}$
Bensin		$950 \times 10^{-6}$
Etanol		$750 \times 10^{-6}$
Gliserin		$500 \times 10^{-6}$
Air		$210 \times 10^{-6}$
Gas	Air Raksa	$180 \times 10^{-6}$
	Udara	$3400 \times 10^{-6}$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan di atas akhirnya didapatkan besarnya pemuaian di masing-masing komponen sebagai berikut :

**Tabel 6.3.** Besarnya muai volume

No	Komponen	Beda suhu	Muai volume coeficient	Volume awal(mm kubik)	Besar pemuaian(mm kubik)
1	meja akrilik	22	0,000156	507.269	1.740
2	<i>ballscrew sumbu z</i>	2	0,000036	14.401	1
3	poros vertikal	1	0,000036	14.587	0,5
6	<i>ballscrew sumbu y</i>	9	0,000036	14.401	4,7
7	<i>linear guideway y</i>	4	0,000036	11.473	1,6
8	braket ekstruder	10	0,000075	108.258	81,2
9	<i>pulley nosel</i>	5	0,000075	6.058	2,3

Dari tabel di atas bisa dilihat besarnya pemuaian volume dari masing-masing komponen. Komponen meja memiliki pemuaian volume yang paling besar yaitu sebesar 1.740 mm<sup>3</sup> atau bertambah 0,3 % dari volume awalnya.



## BAB VII

### PENELITIAN LEBIH LANJUT

#### 7.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengembangan desain dan konstruksi mesin *rapid prototyping*
  - a. Setelah dilakukan perubahan desain berulang-ulang akhirnya didapatkan desain mesin *rapid prototyping* yang paling baik.
  - b. Setelah dilakukan simulasi pembebanan statik, didapatkan bahwa bagian yang paling kritis adalah meja akrilik. Pada meja akrilik terjadi *displacement* sebesar 3.6 mm di bagian ujung meja. Sehingga untuk kedepannya material untuk meja harus diganti.
  - c. Pengembangan mesin *rapid prototyping* dilakukan untuk meningkatkan performa mesin. Pengembangan ini berhasil dilakukan dan hasilnya lebih baik dibandingkan mesin sebelumnya.
  - d. Pada pengembangan mesin *rapid prototyping* adanya penambahan meja, panel, dan penutup mesin. Penambahan ini diperlukan untuk menjaga temperatur kerja di dalam mesin.
2. Analisis akurasi dengan menggunakan CMM
  - a. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui akurasi mesin *rapid prototyping* setelah dilakukan proses perakitan.
  - b. Pada pengukuran pertama yaitu untuk mengukur akurasi sumbu x didapatkan error kesejajaran sebesar 0,05 mm.
  - c. Pada pengukuran kedua yaitu untuk mengukur akurasi sumbu z didapatkan error maksimal sebesar 0,18 mm.
  - d. Pada pengukuran ketiga yaitu untuk mengetahui akurasi sumbu y diperoleh error sebesar 0,073 mm.

3. Analisis pengaruh panas terhadap konstrukai
  - a. Panas dari nosel menyebabkan komponen disekitarnya mengalami pemuaian volume.
  - b. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa pemuaian volume paling besar terjadi pada meja akrilik yaitu sebesar  $1740 \text{ mm}^3$  atau bertambah 0,3 % dari volume awalnya.

## 7.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

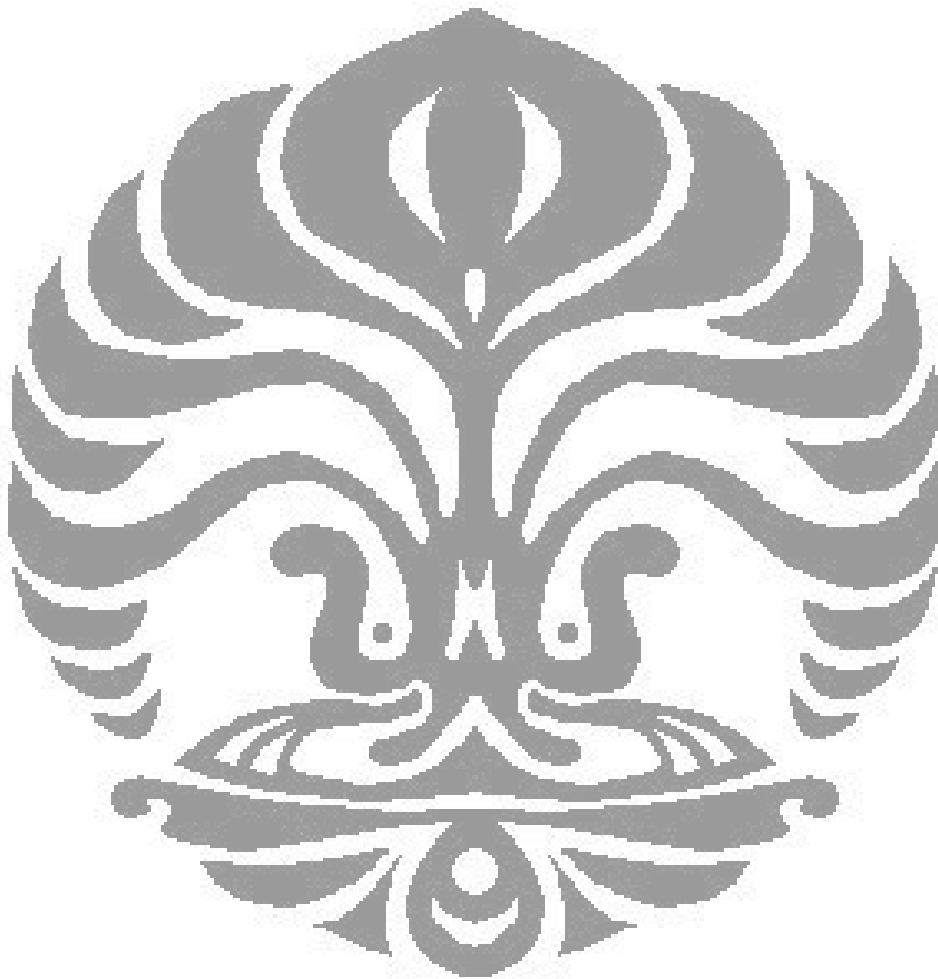
1. Pada saat proses desain, sebaiknya desain diperiksa dengan detail supaya tidak menyulitkan pada saat proses pembuatan. Hal-hal kecil juga harus diperhatikan seperti lubang baut.
2. Pemilihan sistem gerak yang digunakan juga harus benar-benar dipertimbangkan. Sistem gerak yang paling sesuai dengan kondisi konstruksi mesin.
3. Setelah semua komponen dibuat segera lakukan pengukuran dengan CMM, jangan lakukan perakitan terlebih dahulu karena akan mengalami kesulitan saat pengukuran.



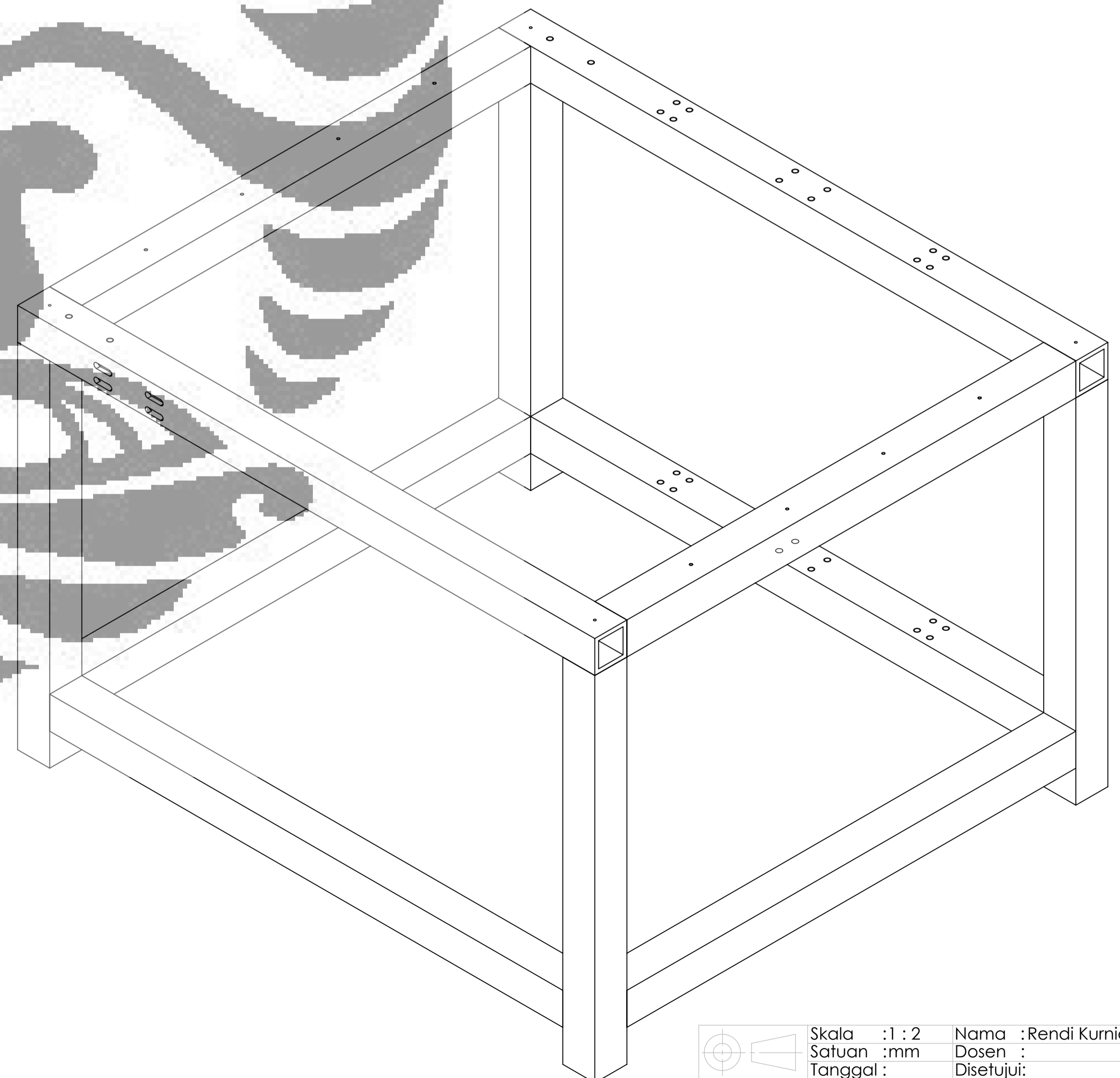
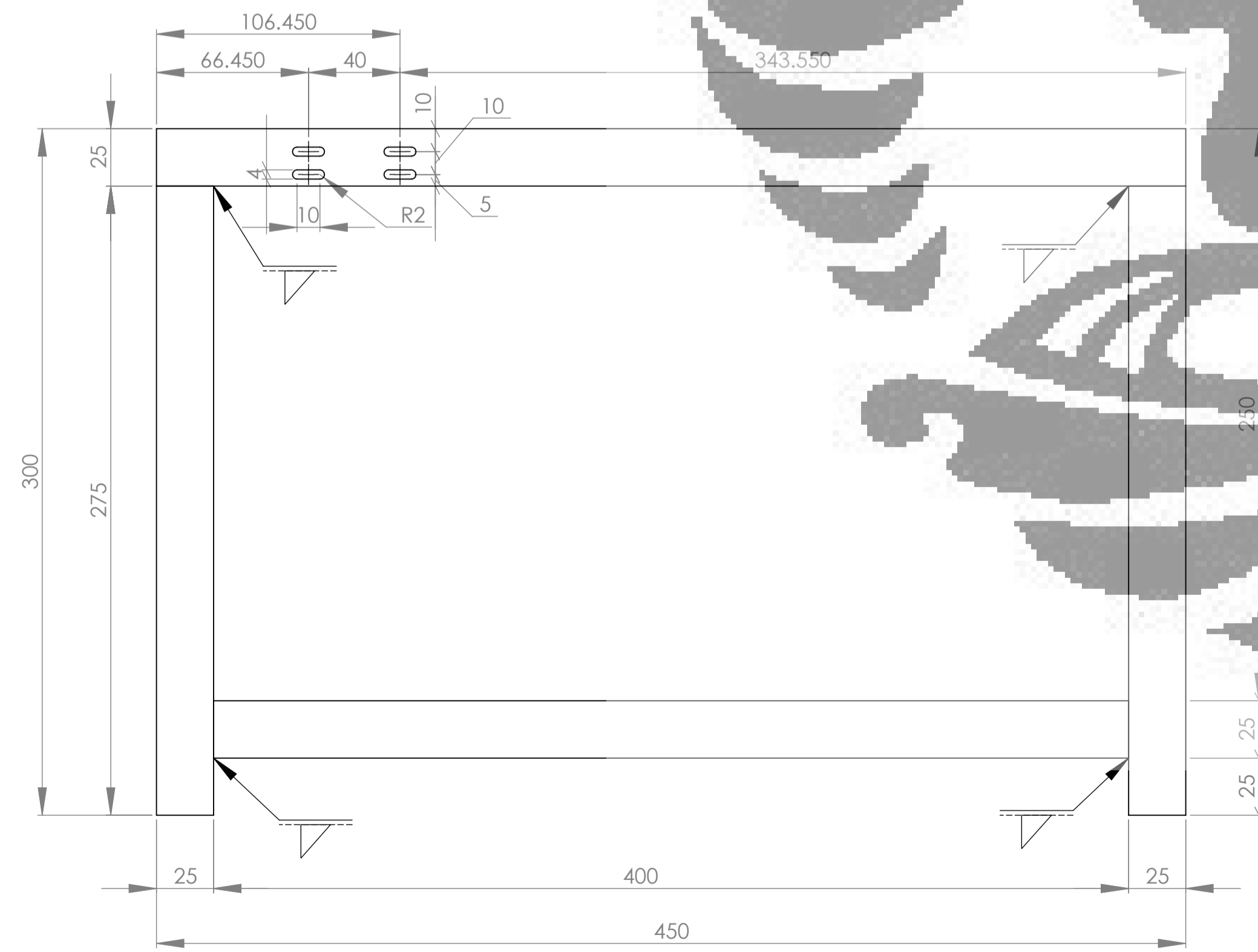
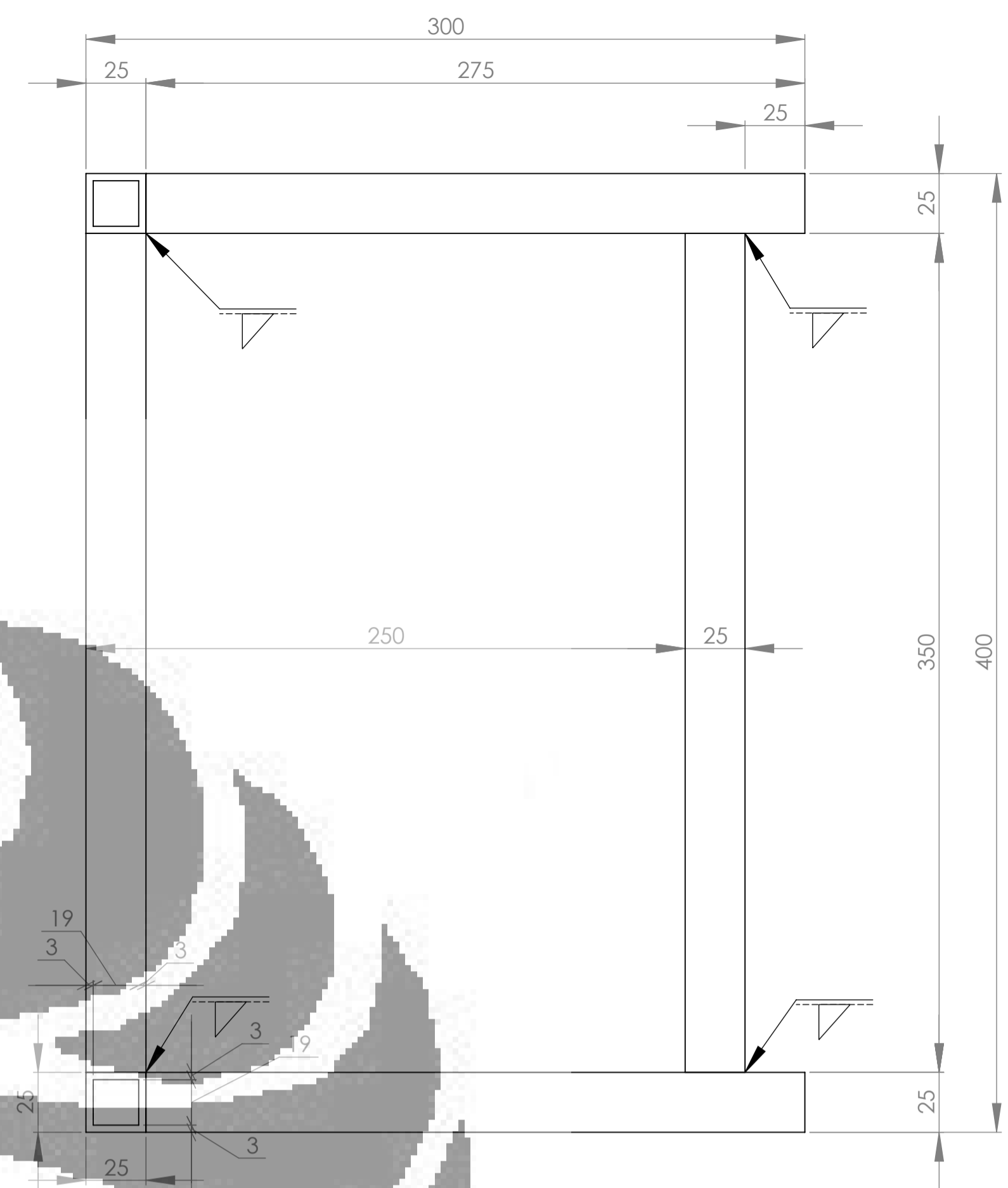
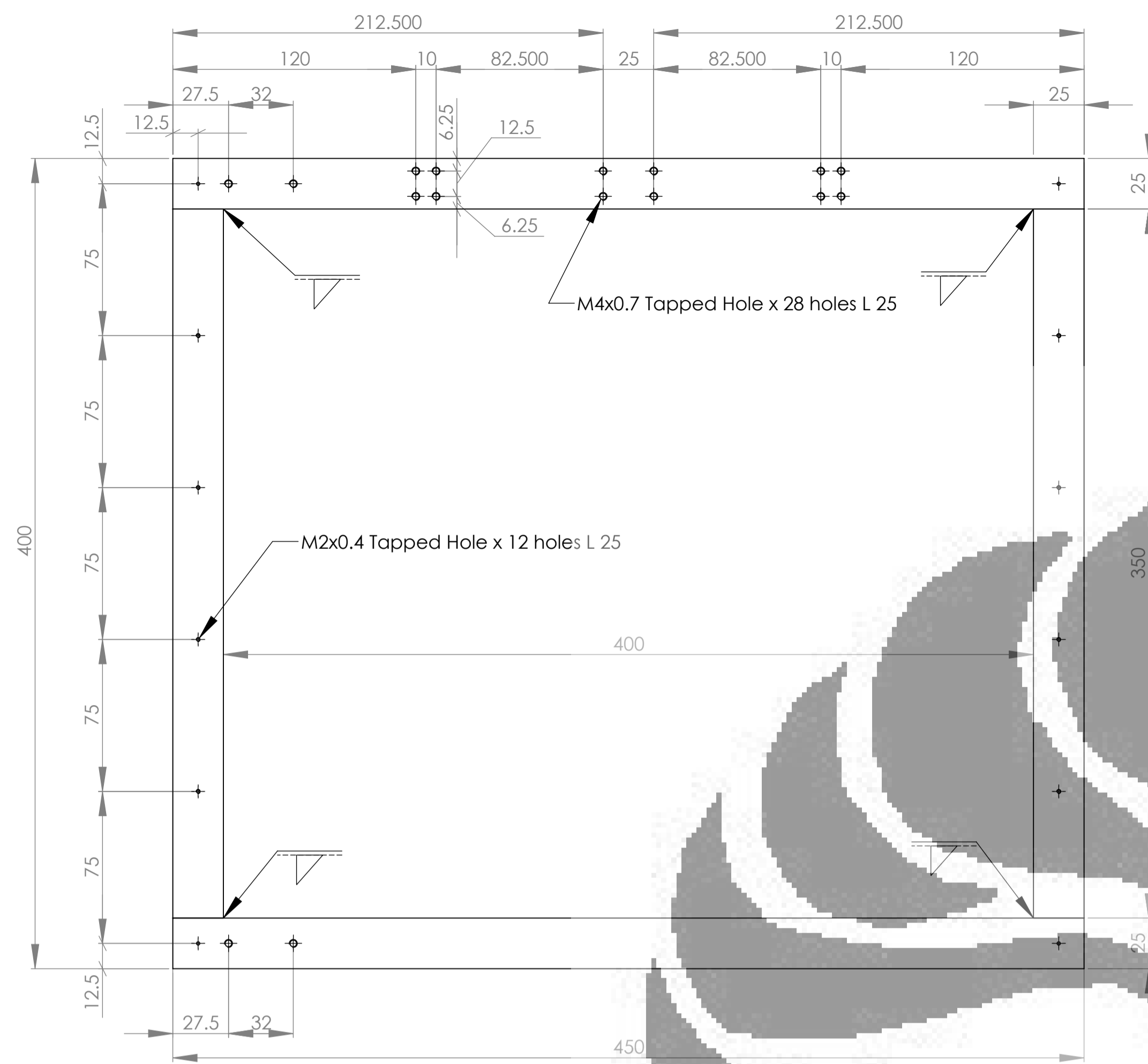
## DAFTAR REFERENSI

- [1] Fieldingmfg.com,"rapid prototyping". Diakses 20 November 2010 dari <http://www.fieldingmfg.com/rapid-prototyping.asp/>
- [2] Wikipedia.org, "Rapid Prototyping". Diakses pada November 2010 dari [http://en.wikipedia.org/wiki/Rapid\\_prototyping](http://en.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping).
- [3] Hamrock. Bernard, Jacobson. Bo.1999. Fundamentals of Machine Elements. Singapura : McGraw-Hill.
- [4] Wikipedia.org, "Coordinate measuring machine". Diakses pada November 2010 dari [http://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring\\_machine](http://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine)
- [5] Ali.K. Kamrani, Emad Abouel Nasr, Rapid Prototyping: Theory And Practice.Birkhäuser, 2006
- [6] <http://www.proto3000.com/services.aspx?topidcol=5&lowidcol=12>
- [7] <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- [8] [http://www.flickr.com/photos/organ\\_printer/878476066/](http://www.flickr.com/photos/organ_printer/878476066/)
- [9] <http://express.redeyondemand.com/FDM.aspx>
- [10] <http://id.wikipedia.org/wiki/Termoplastik>
- [11] <http://express.redeyondemand.com/Materials.aspx>
- [12] Katalog Hiwin
- [13] Katalog Autonics
- [14] Katalog Solidworks 2010

- [15] Schey. John.1999. Introduction to Manufacturing Processes. Ontario : Mc Graw Hill
- [16] Wikipedia.org, “Volume expansion”
- [17] Lennon, John. *Product Design For Manufacture and Assembly* (New Delhi: McGraw-Hill, 1989) hal 1-335

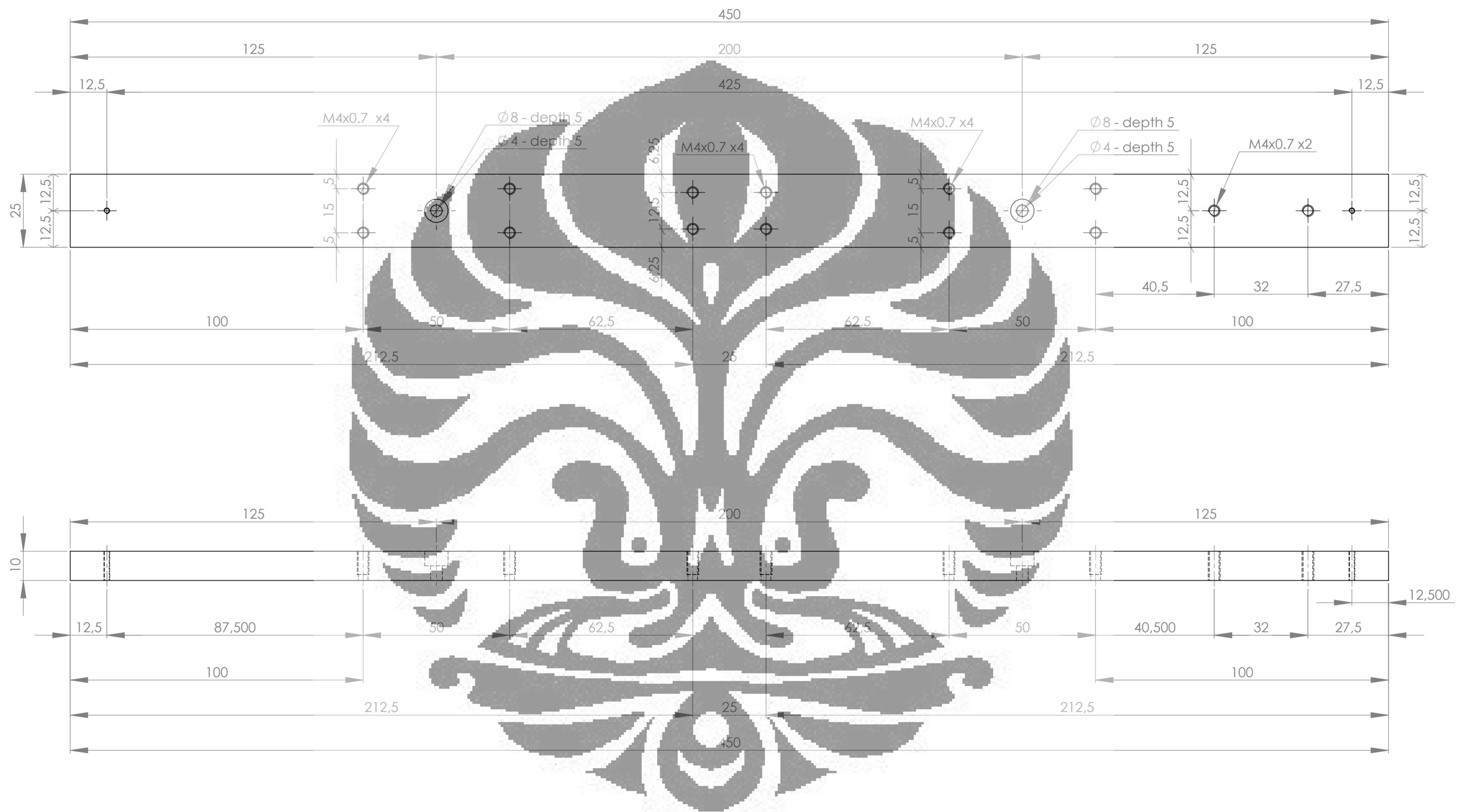






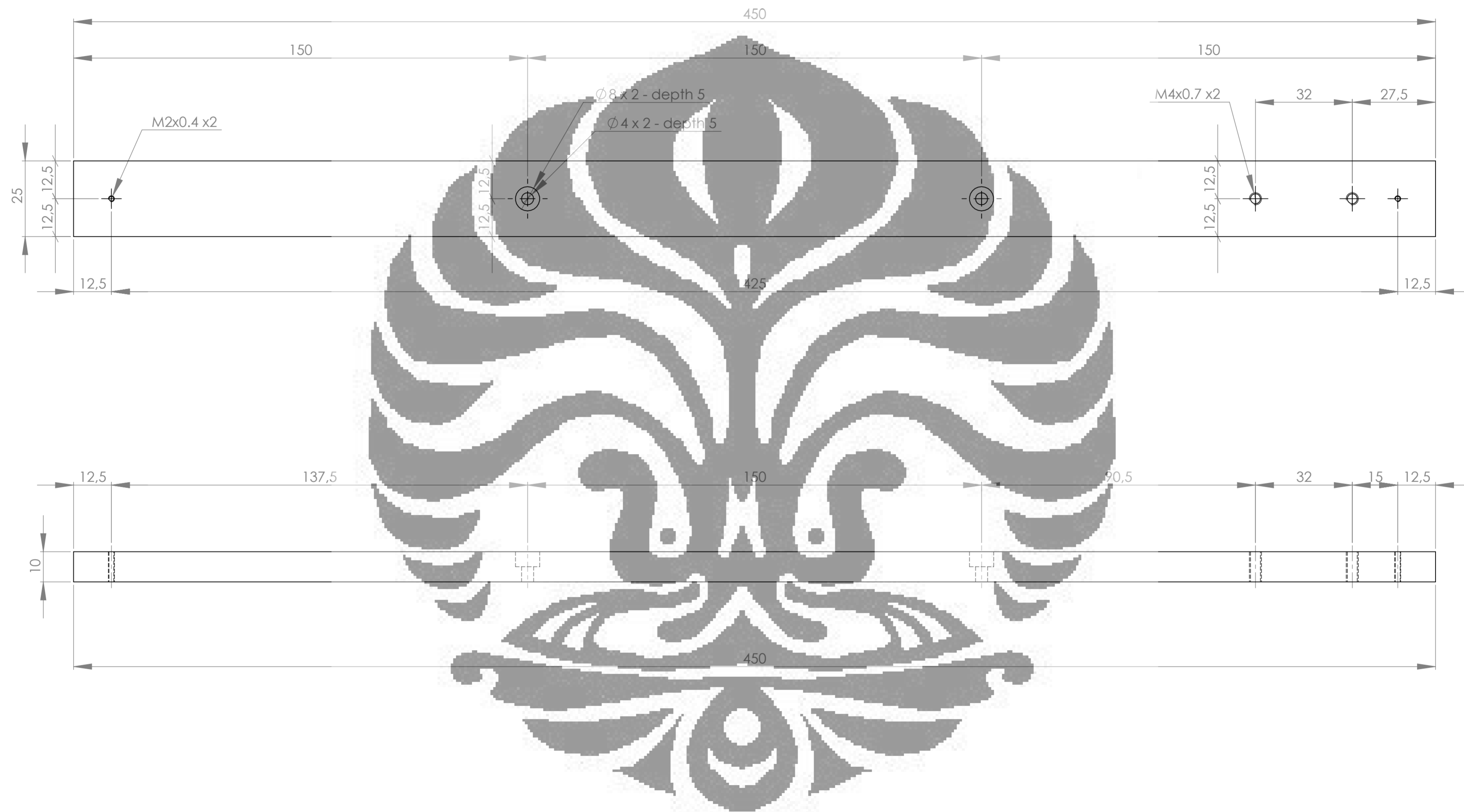
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION	QTY.
1	Base	Steel Hollow 25x25x13	Di Cat Hitam	1

Skala : 1 : 2	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
Satuan : mm	Dosen :	
Tanggal :	Disetujui:	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Base</b>	<b>A1</b>



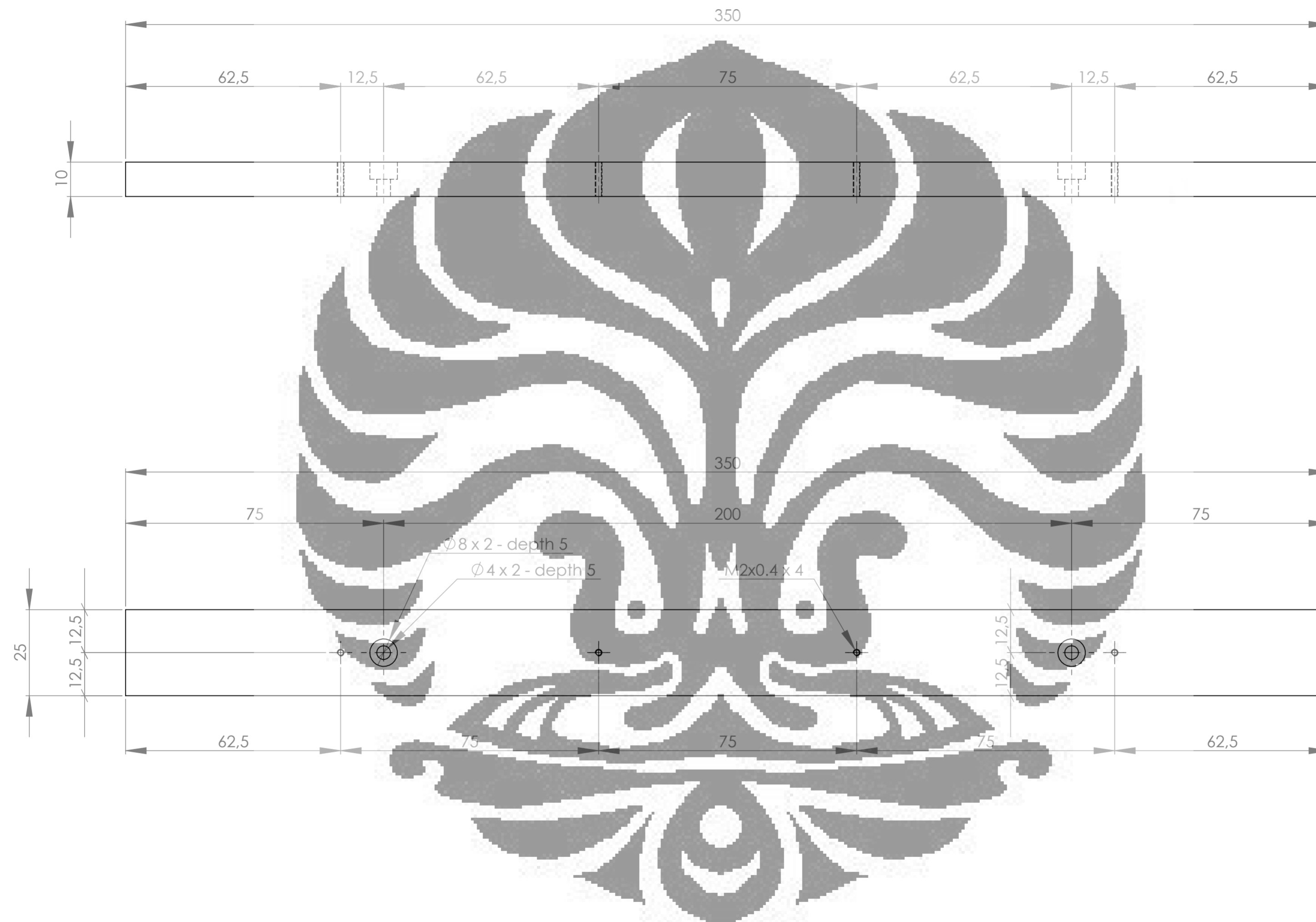
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	batang baru1	DURALUMIN (2024-Al Alloy)	1

	Skala : 1 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal: 29/5/10	Disetujui :	
DTM FTUI	Batang Baru 1		A2



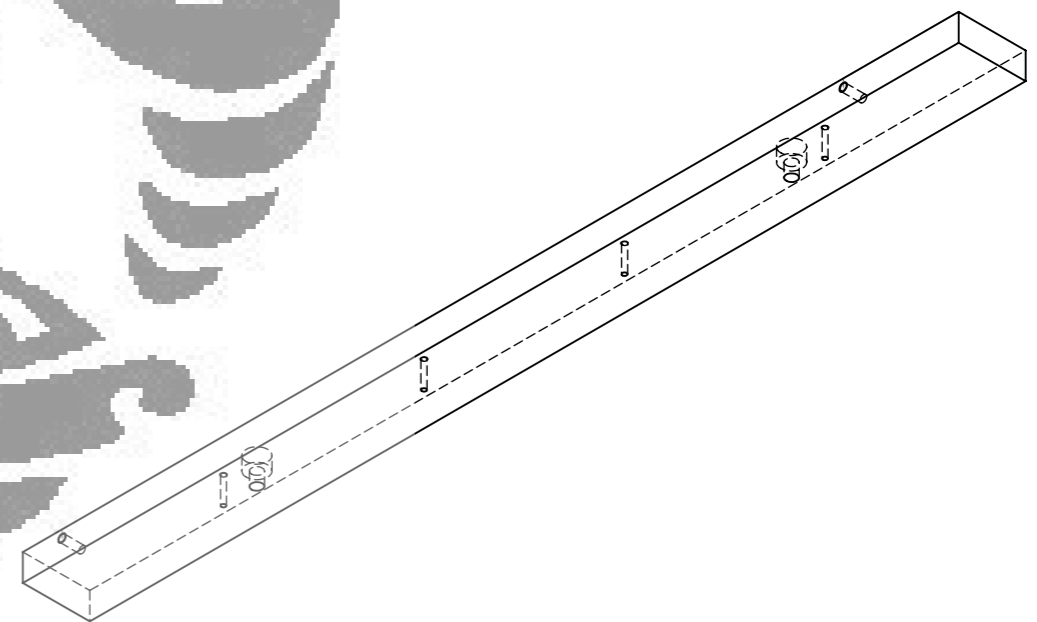
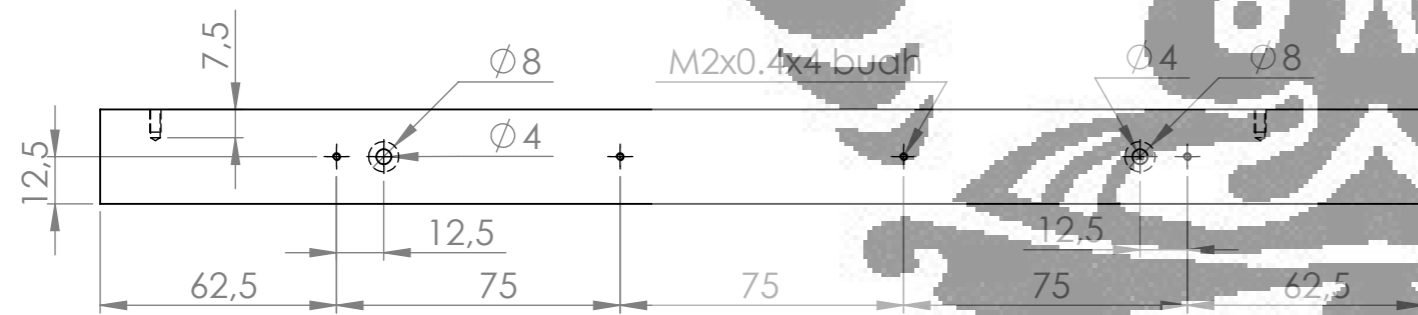
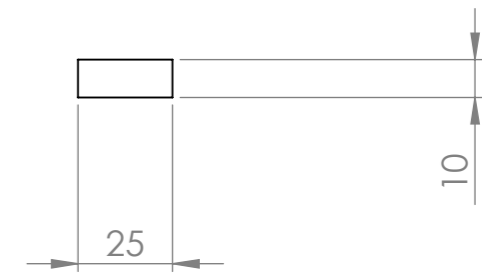
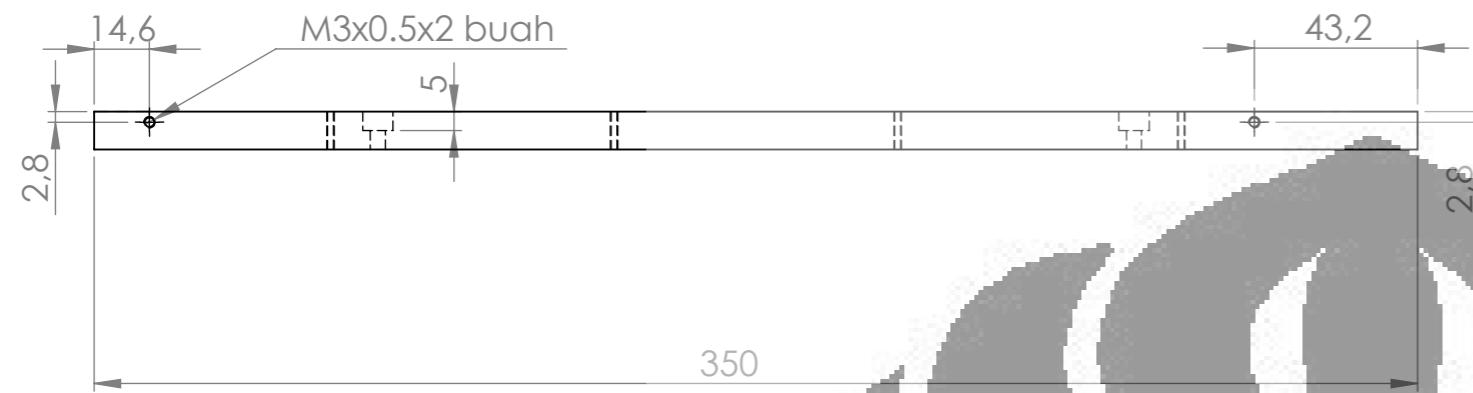
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	batang baru2	DURALUMIN (2024-Al Alloy)	1

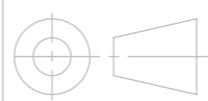
	Skala : 1 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal: 29/5/10	Disetujui :	
DTM FTUI	Batang Baru 2		A2



ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	batang baru3	DURALUMIN (2024-Al Alloy)	1

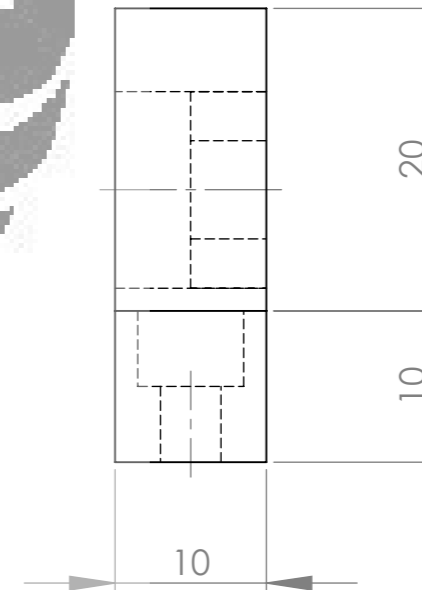
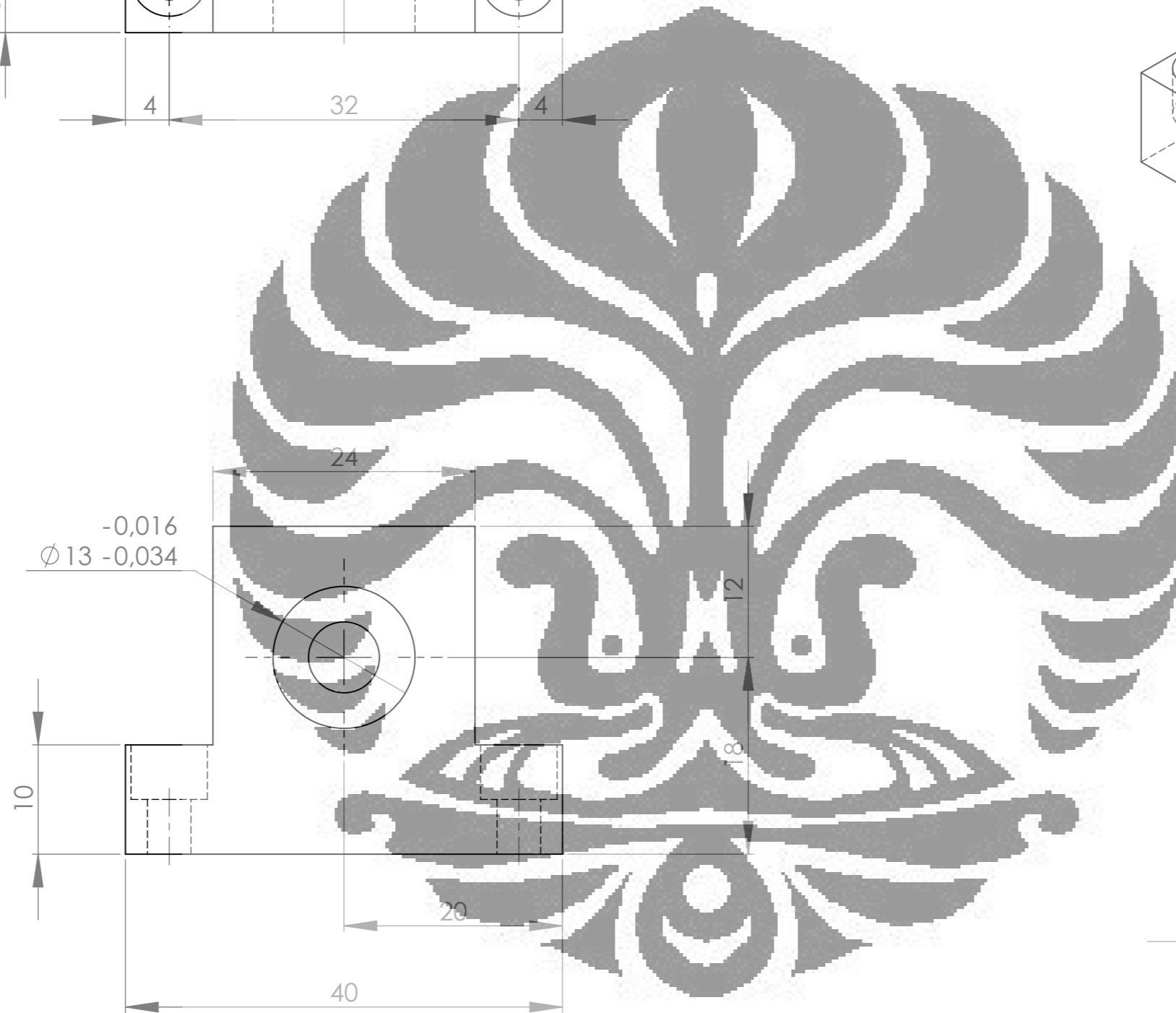
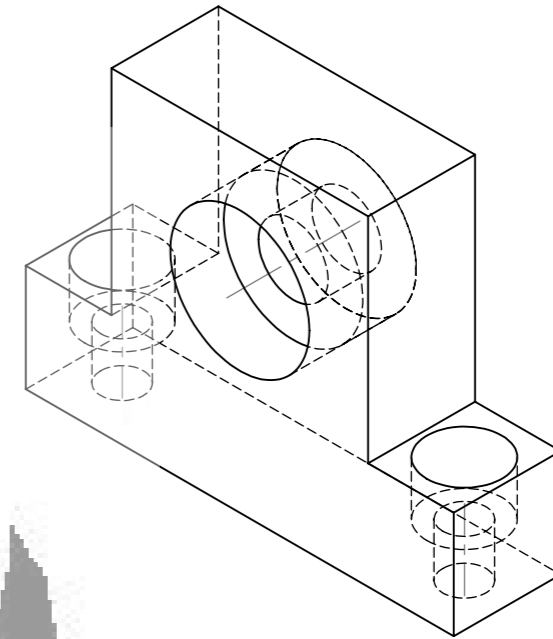
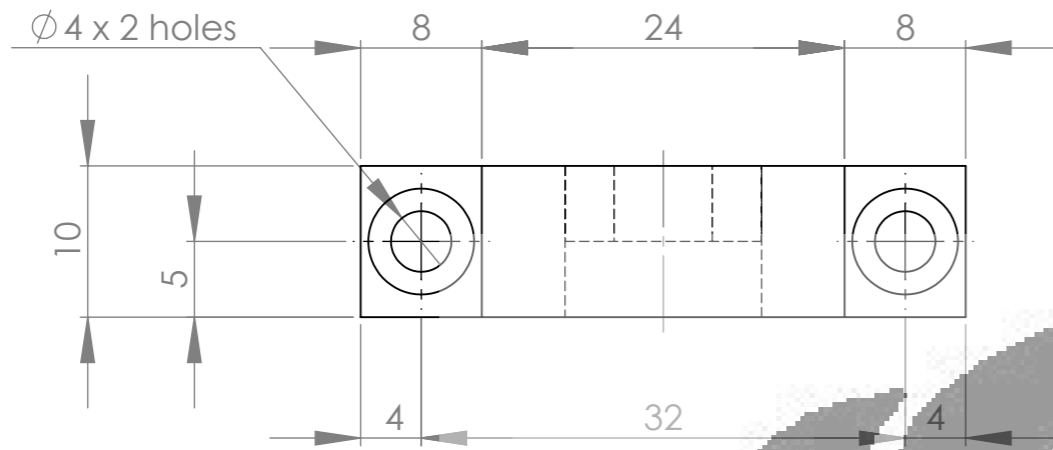
	Skala : 1 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal:	Disetujui :	
DTM FTUI	Batang Baru 3		A2

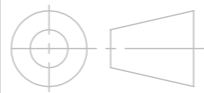


	Skala : 1:2	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	Dudukan slidesway kiri		<b>A3</b>

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Dudukan slidesway	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1

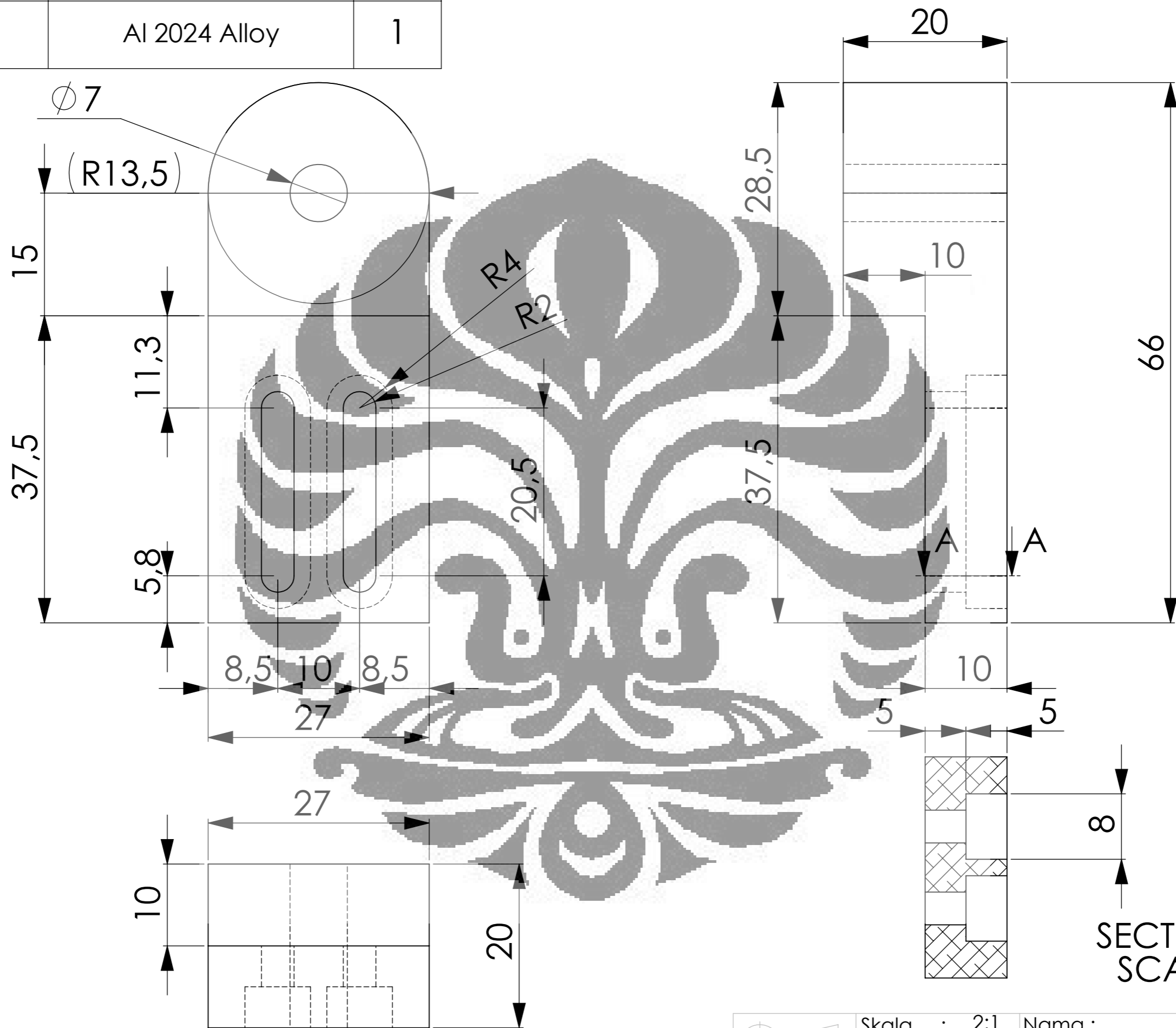




	Skala : 2 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>BEARING HOUSING 1</b>		<b>A3</b>

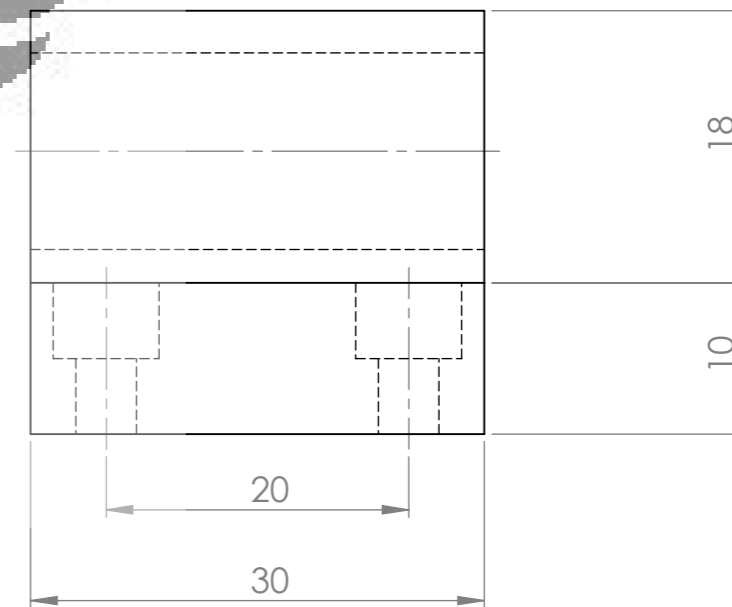
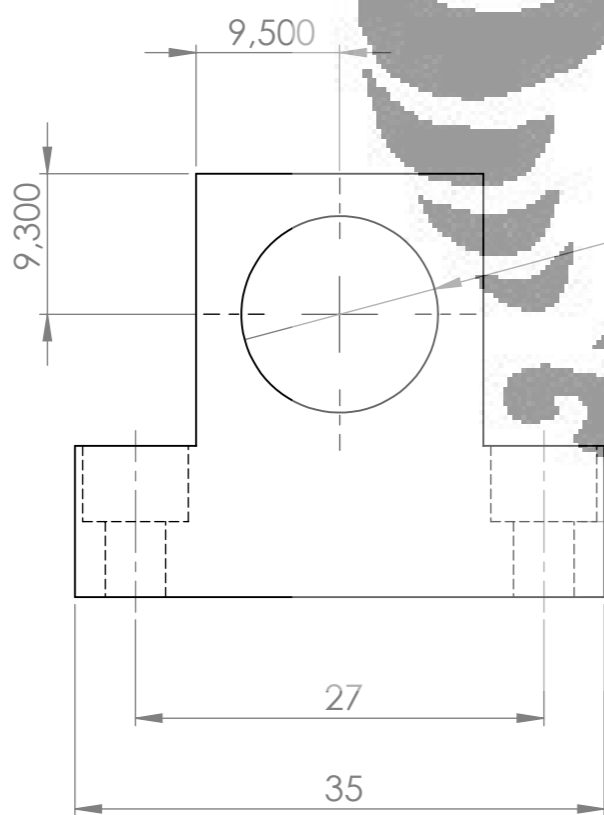
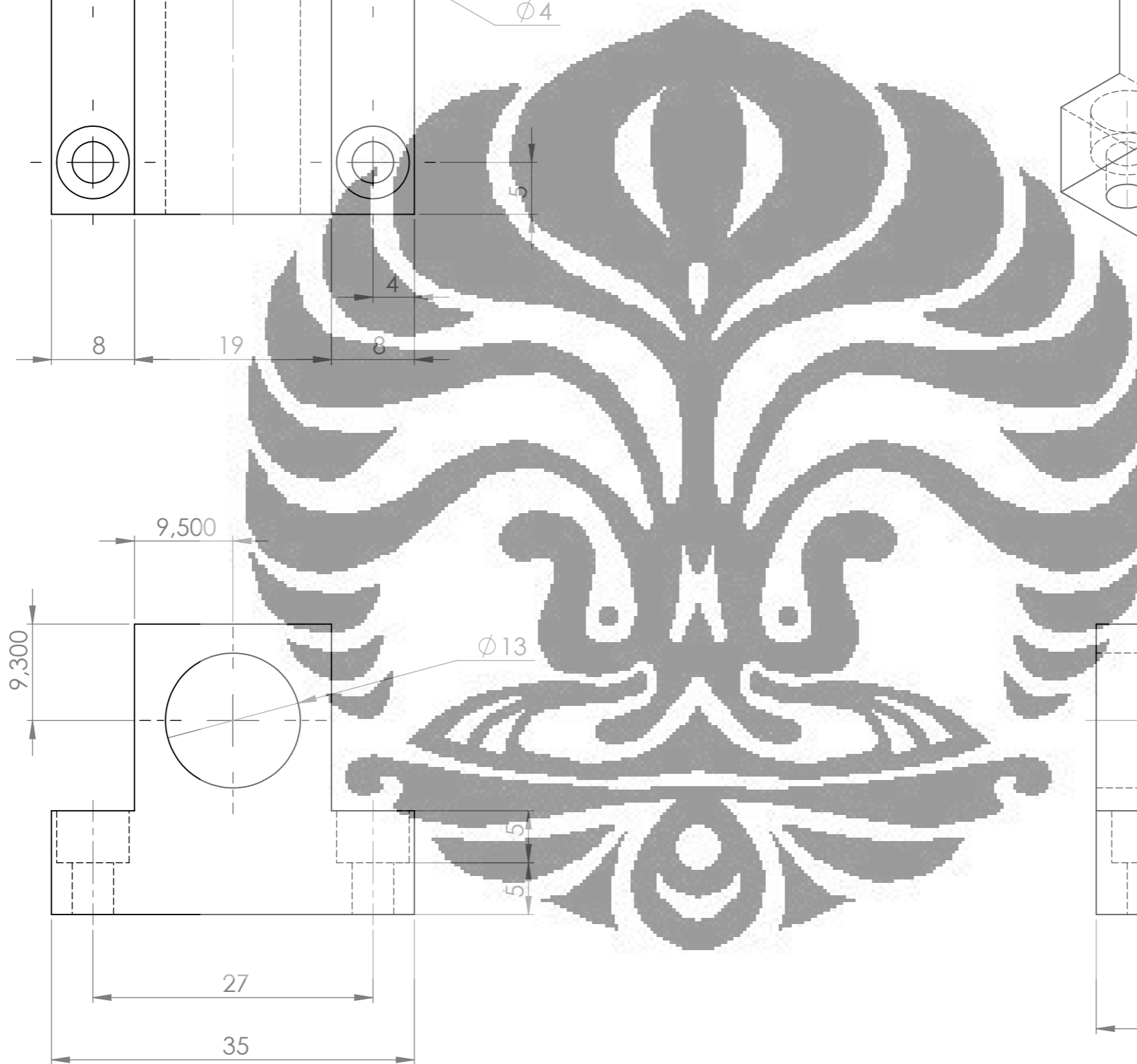
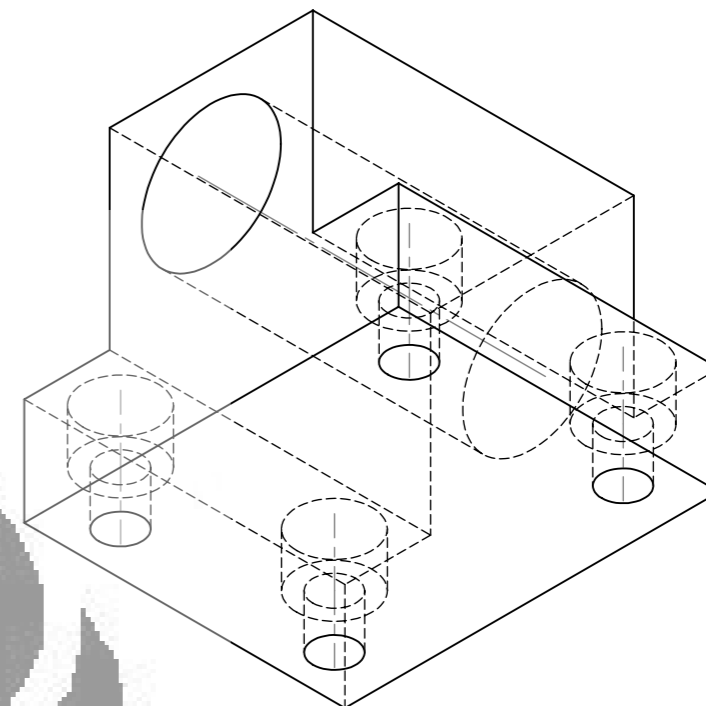
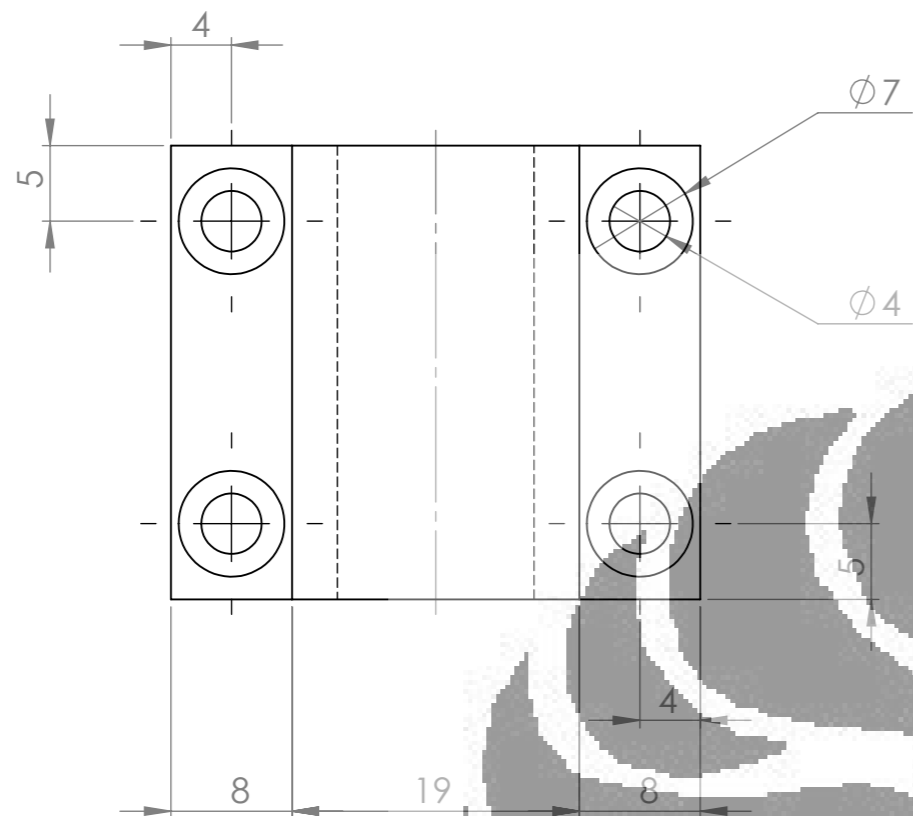
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	bearing housing 1	Al 2024 Alloy	2

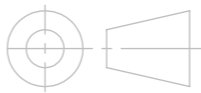
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	bearing housing 3.2	Al 2024 Alloy	1



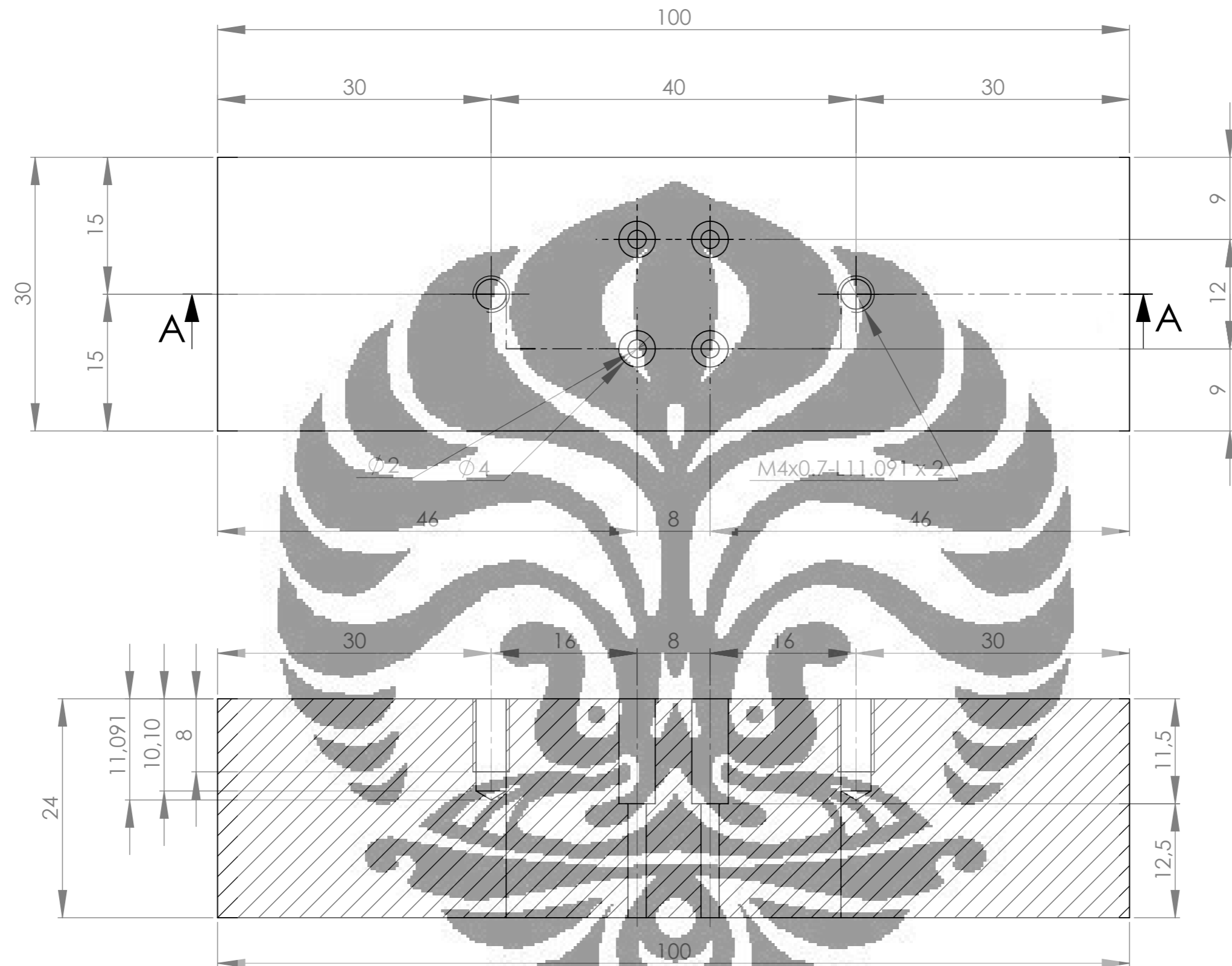
SECTION A-A  
SCALE 2 : 1

	Skala : 2:1	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
DTM FTUI			A3



	Skala : 2:1	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	Braket bearing		<b>A3</b>

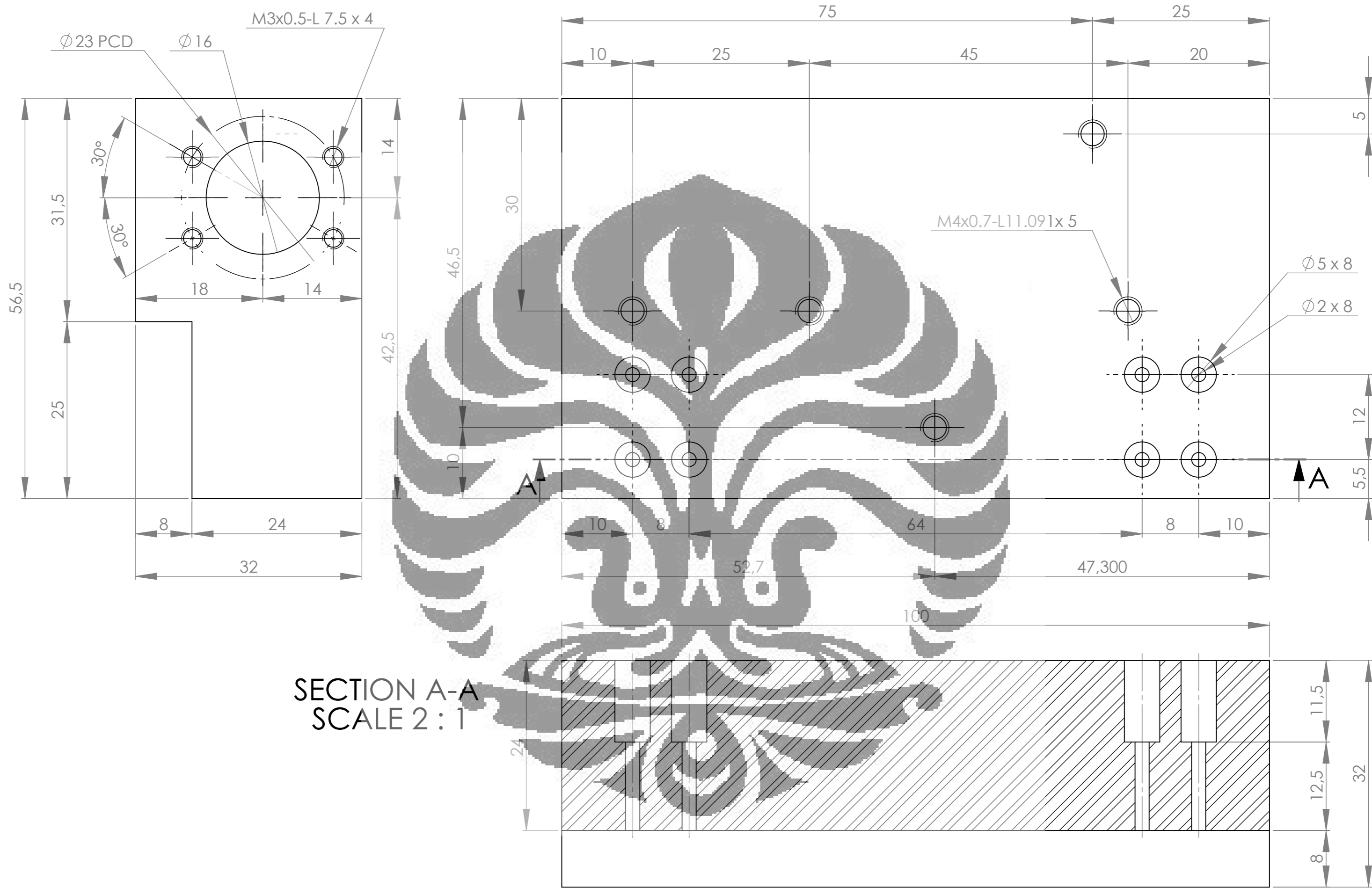
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Braket bearing	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1




SECTION A-A  
SCALE 2 : 1

	Skala : 2 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Braket Samping</b>		<b>A3</b>

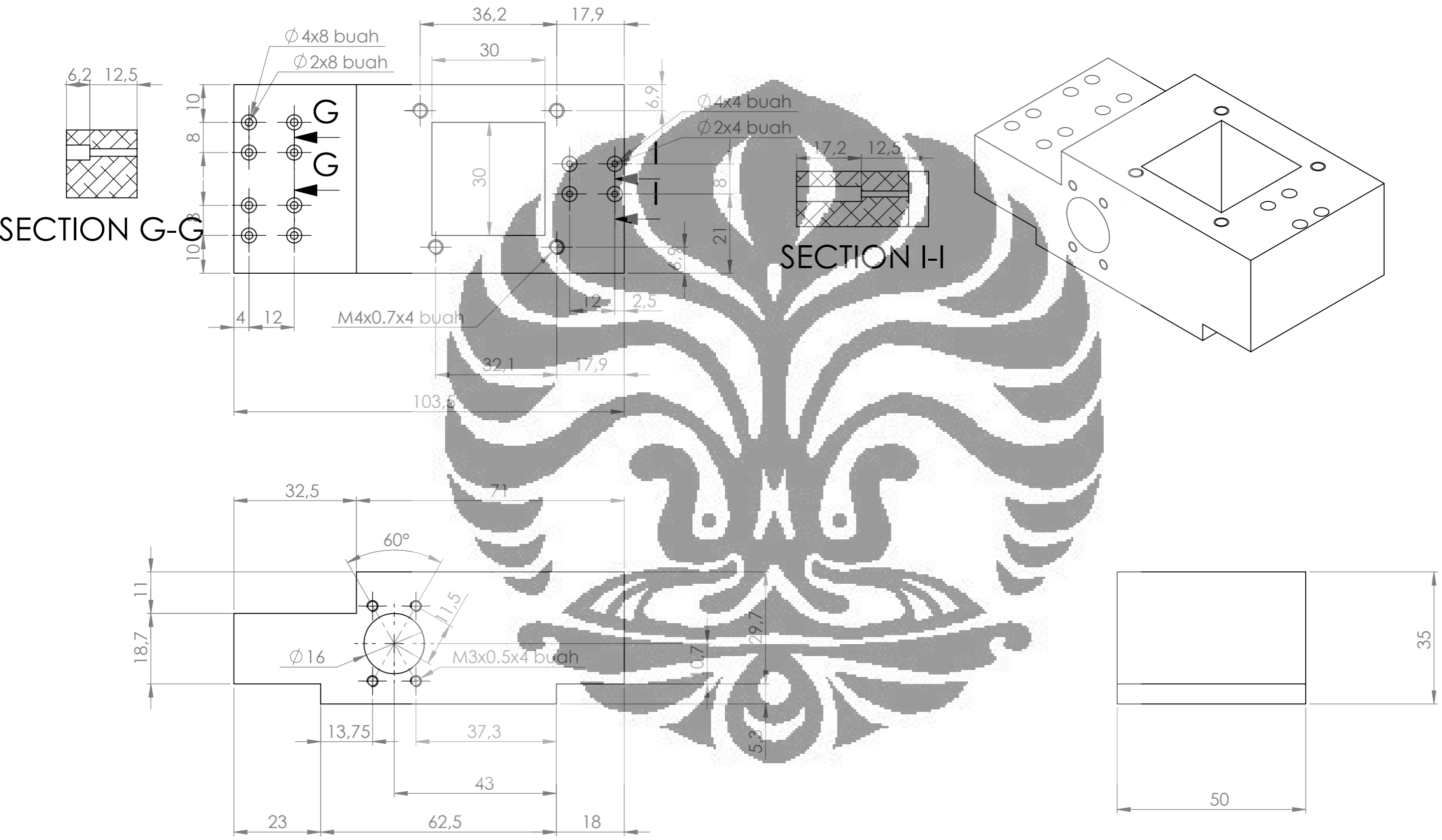
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	braket samping	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1

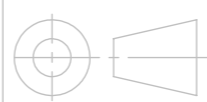


SECTION A-A  
SCALE 2 : 1

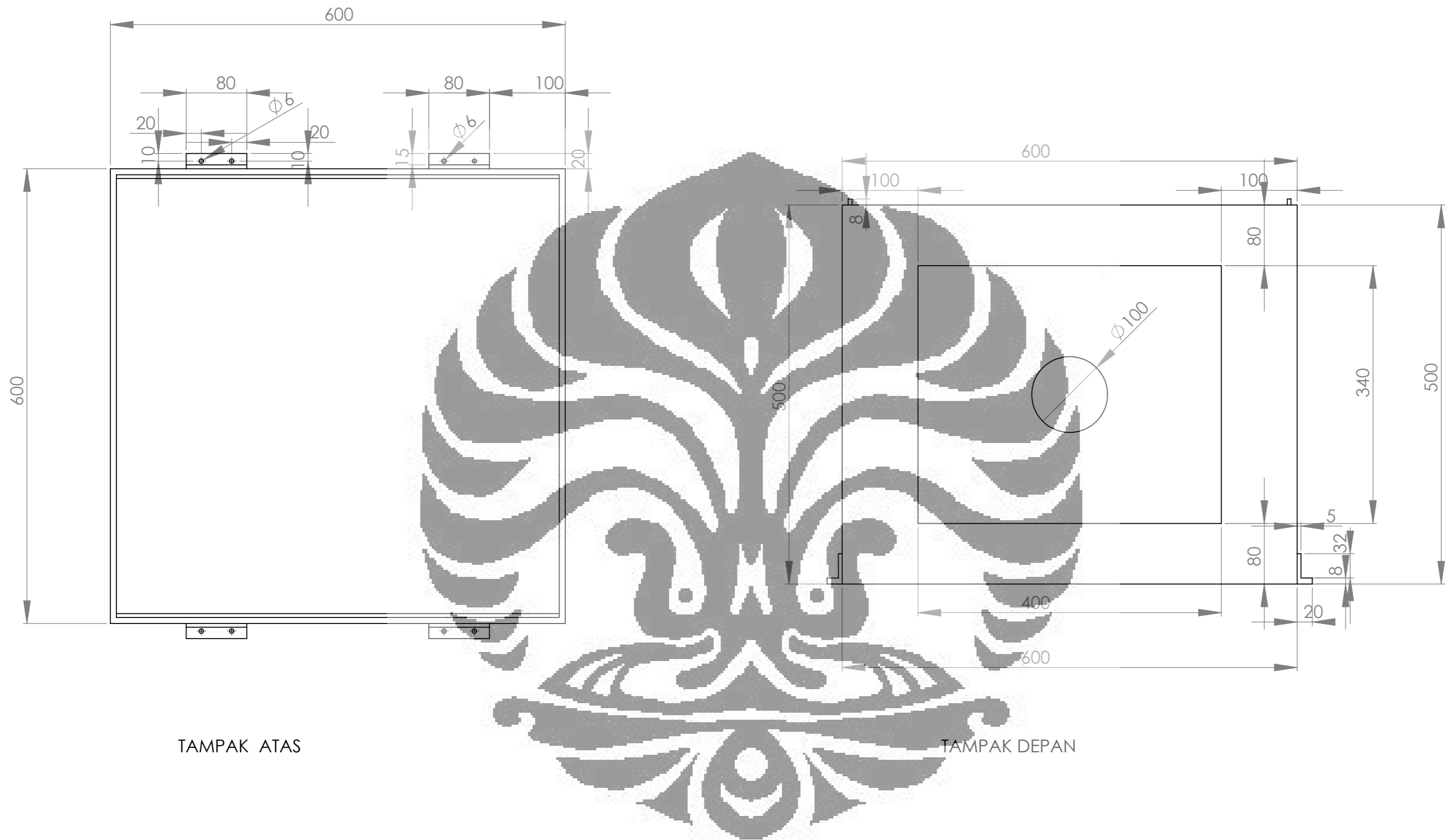
	Skala : 2:1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Braket</b>		<b>A3</b>

ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	Braket	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1



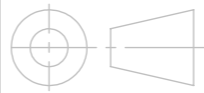
	Skala : 1:1	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	Braket nozzle		<b>A3</b>

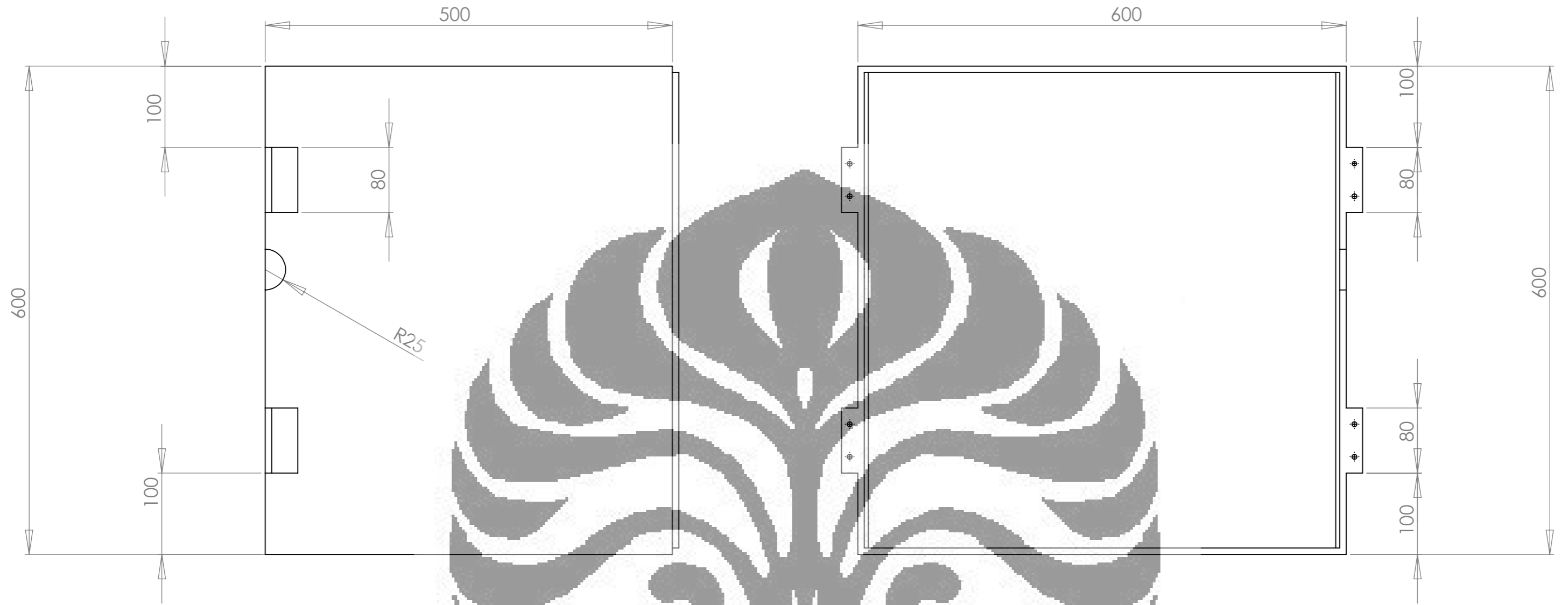
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Braket_Nozzle	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1



TAMPAK ATAS

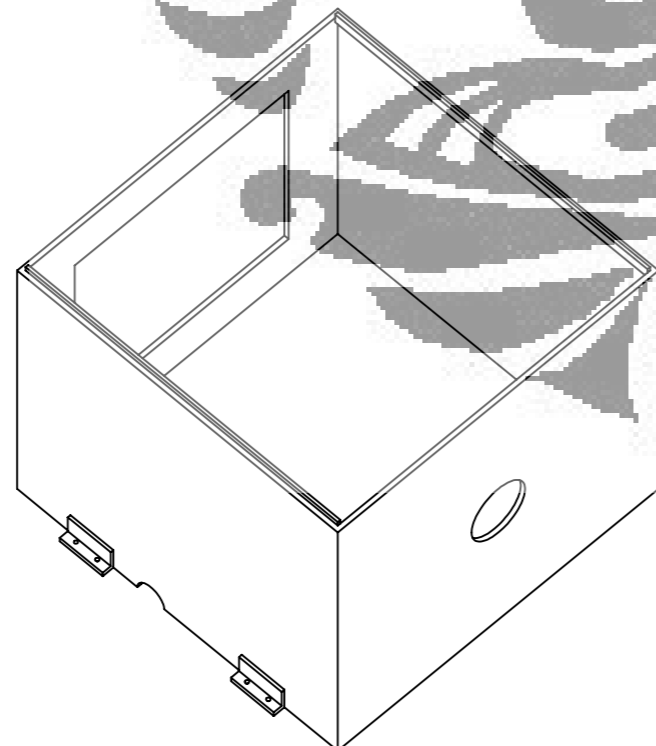
TAMPAK DEPAN

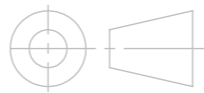
	Skala :	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	CASING		<b>A3</b>



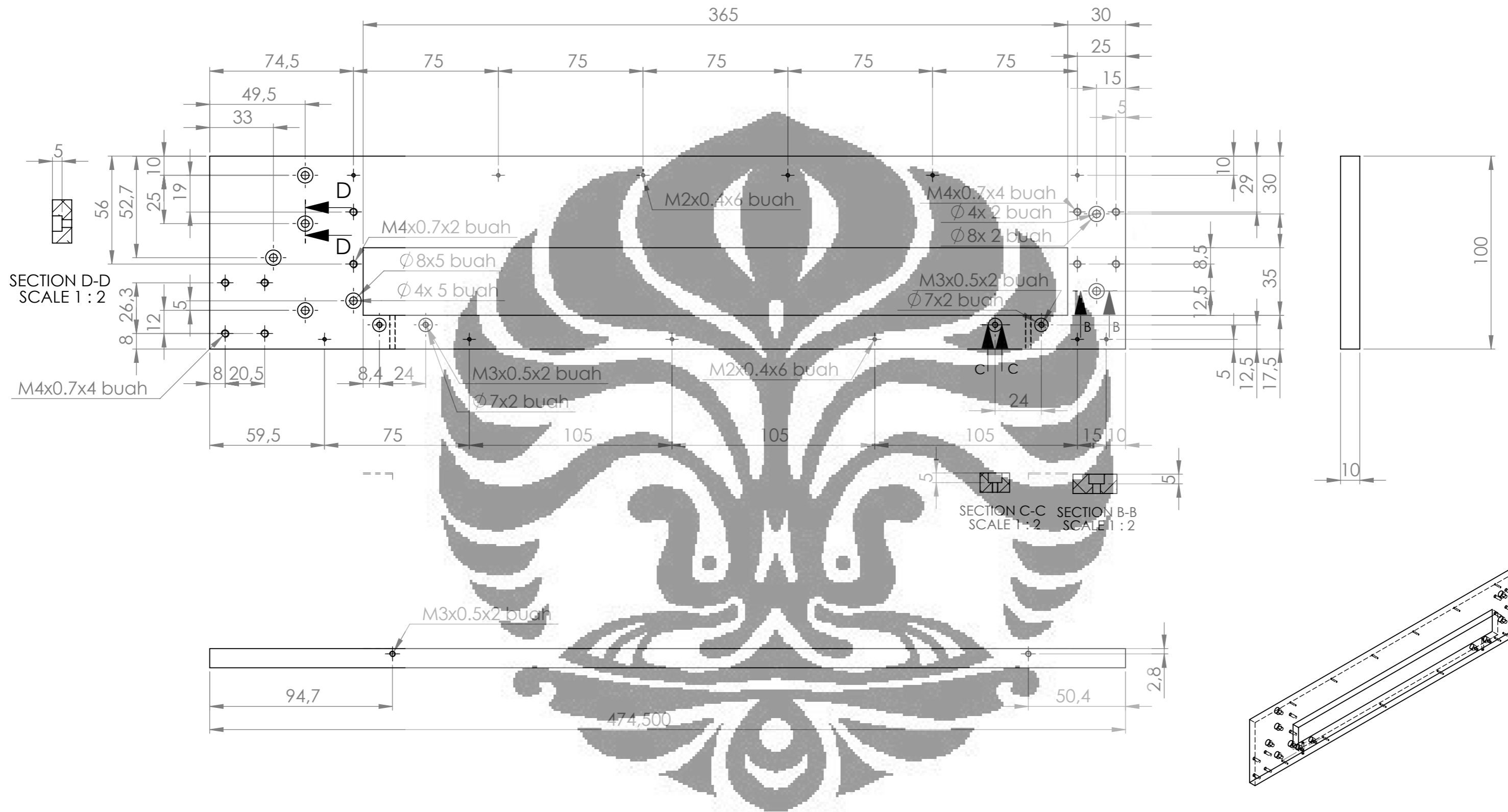
TAMPAK SAMPING KANAN

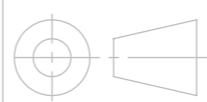
TAMPAK BAWAH



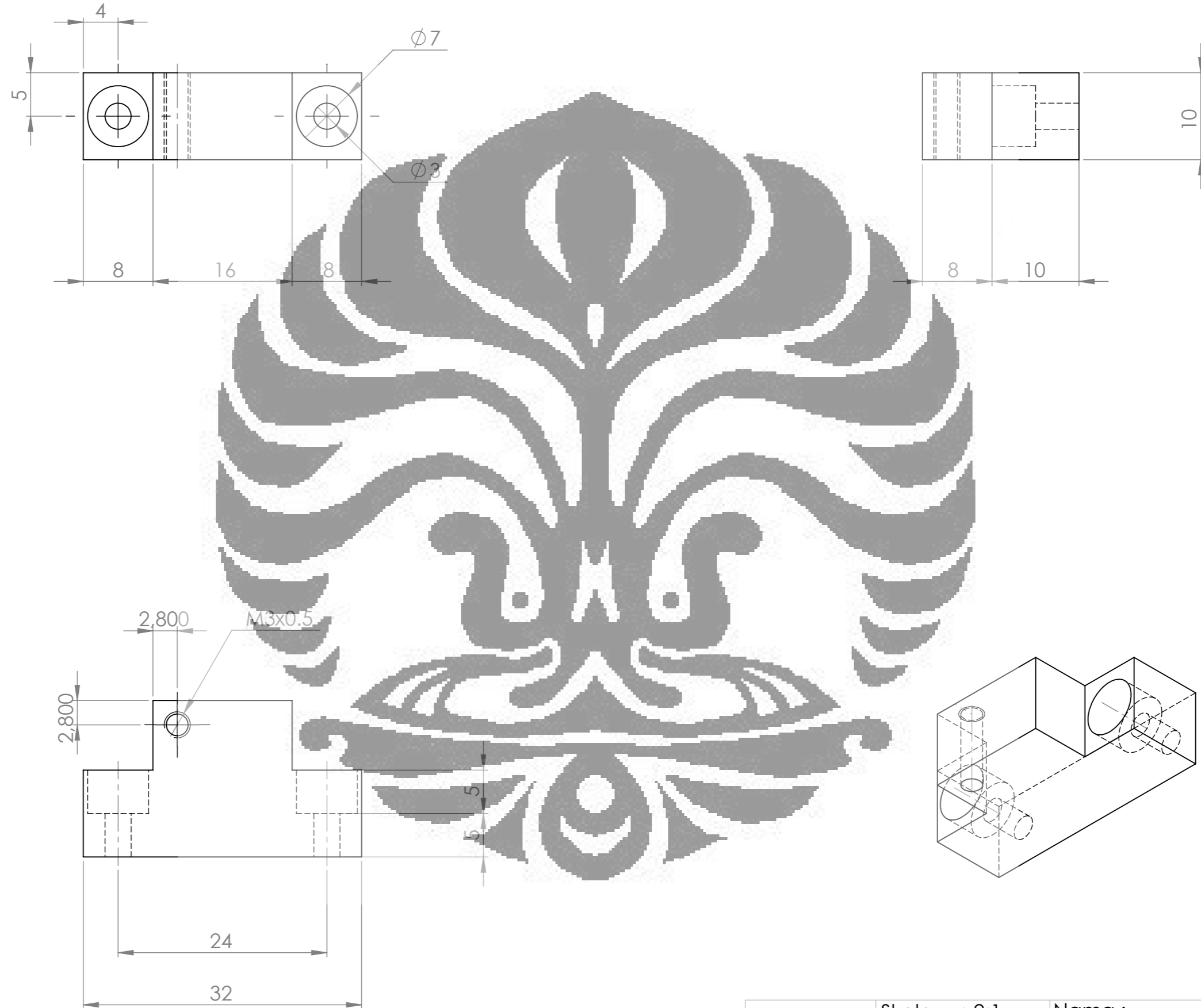
	Skala :	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	CASING 2		<b>A3</b>

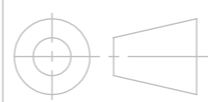




	Skala : 1:2	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	Dudukan Nozzle		<b>A3</b>

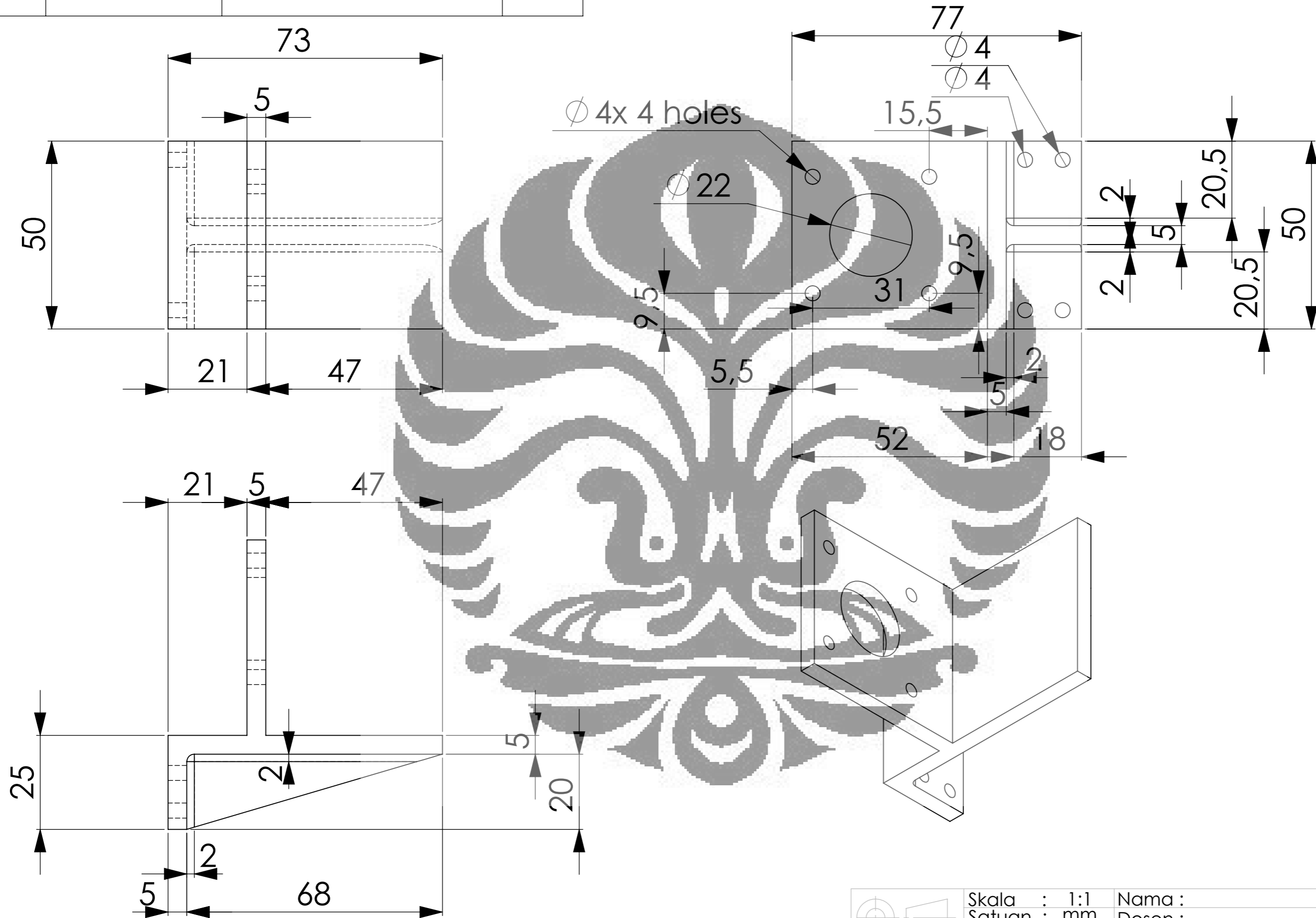
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	dudukan nozle	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1



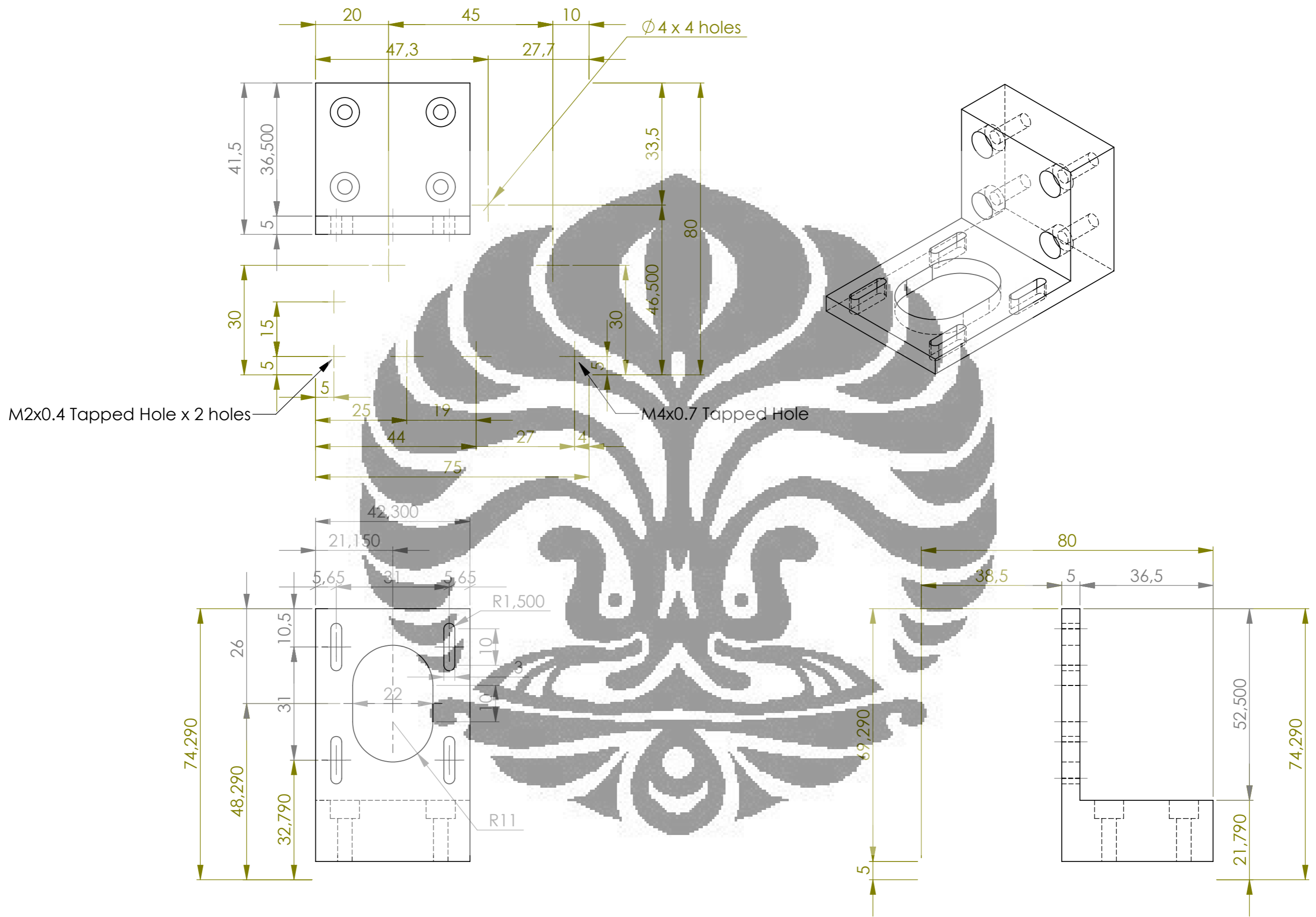
	Skala : 2:1	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	Braket limit switch		<b>A3</b>

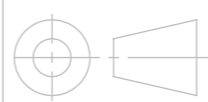
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Braket limit switch	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Motor Base 1	aluminium	1



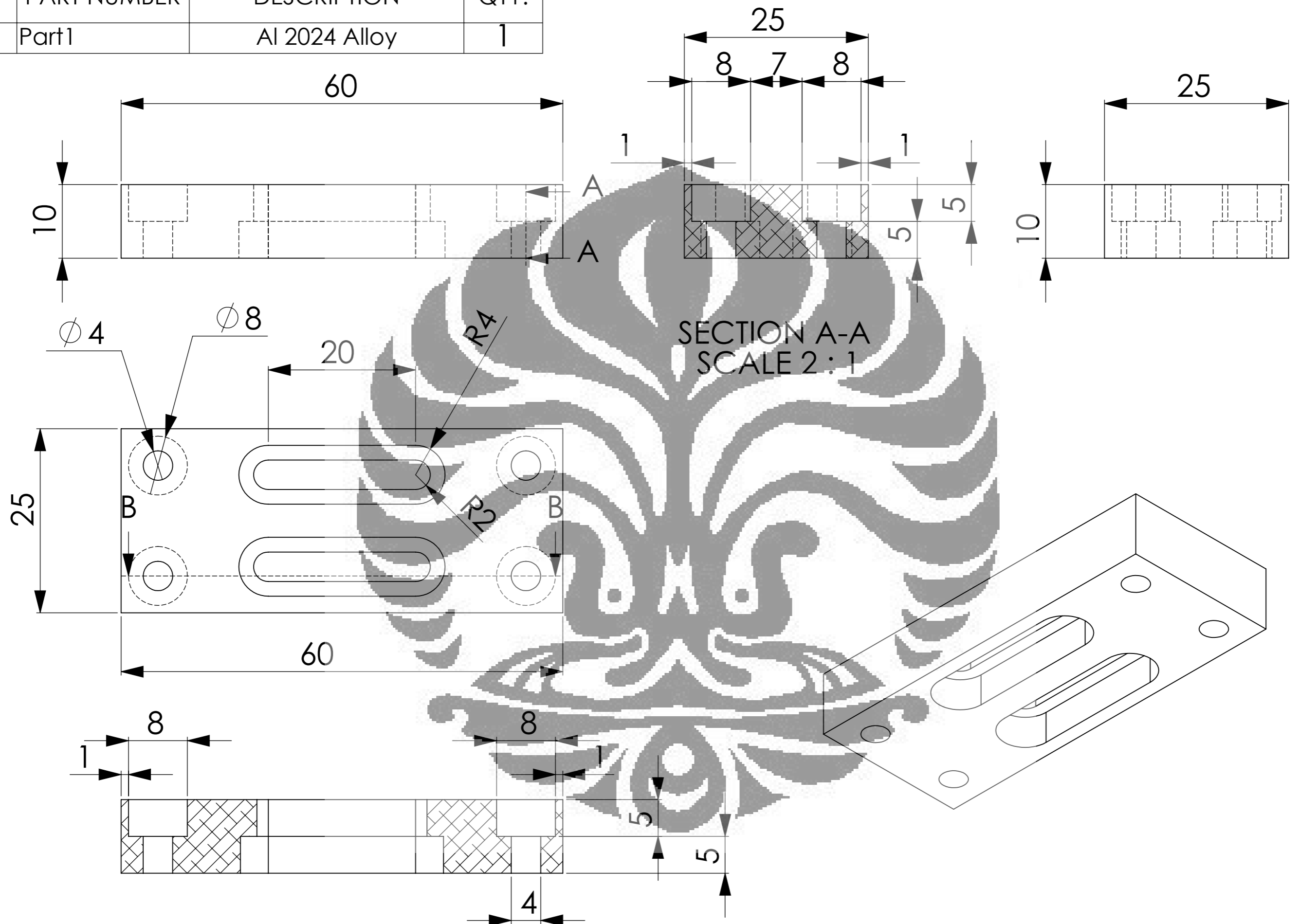
	Skala : 1:1	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>			A3



	Skala : 1 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Motor Base 2</b>		<b>A3</b>

ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	Motor Base 2	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1

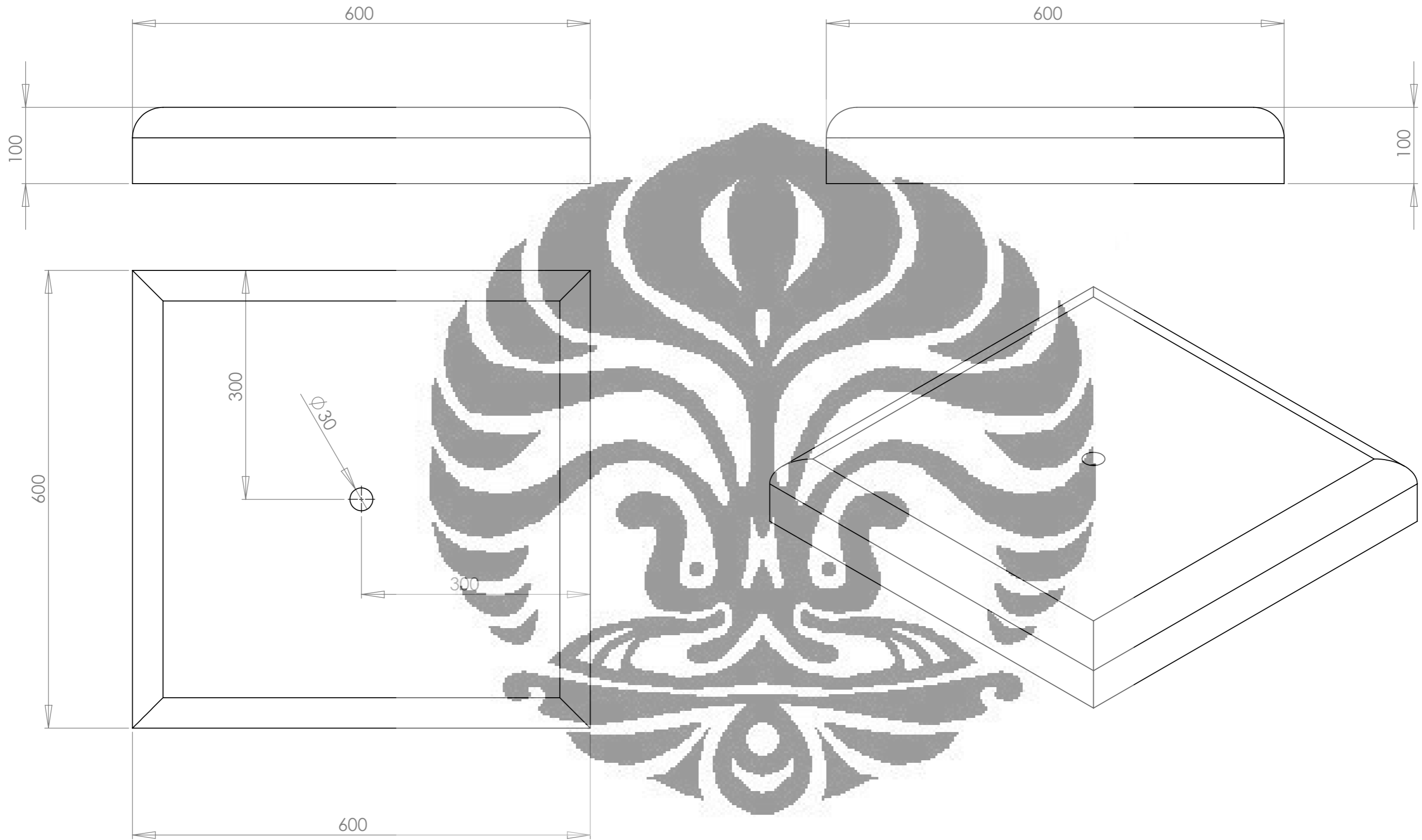
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Part1	Al 2024 Alloy	1



SECTION A-A  
SCALE 2 : 1

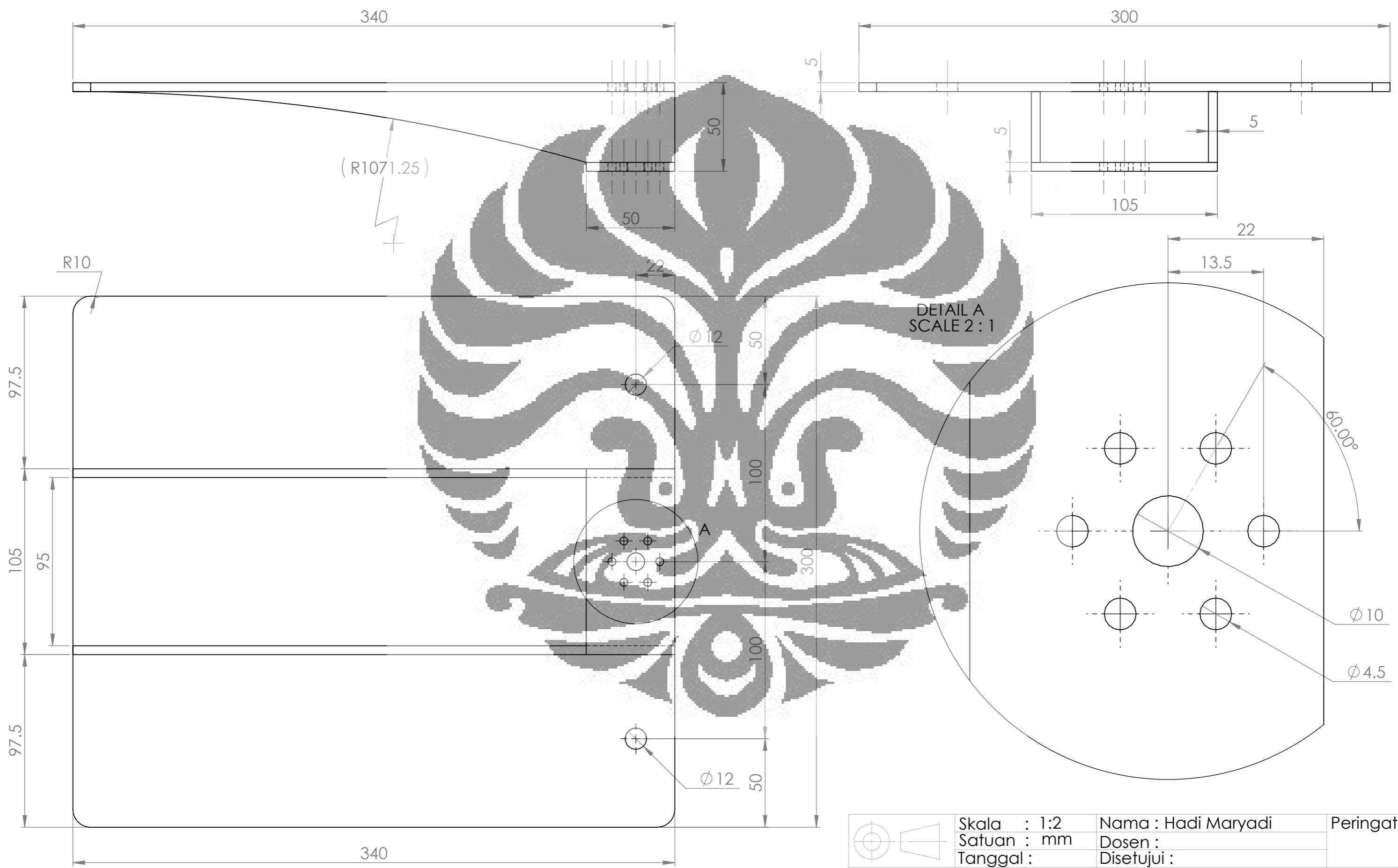
SECTION B-B  
SCALE 2 : 1

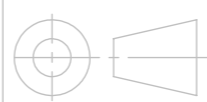
	Skala : 2:1	Nama :	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	

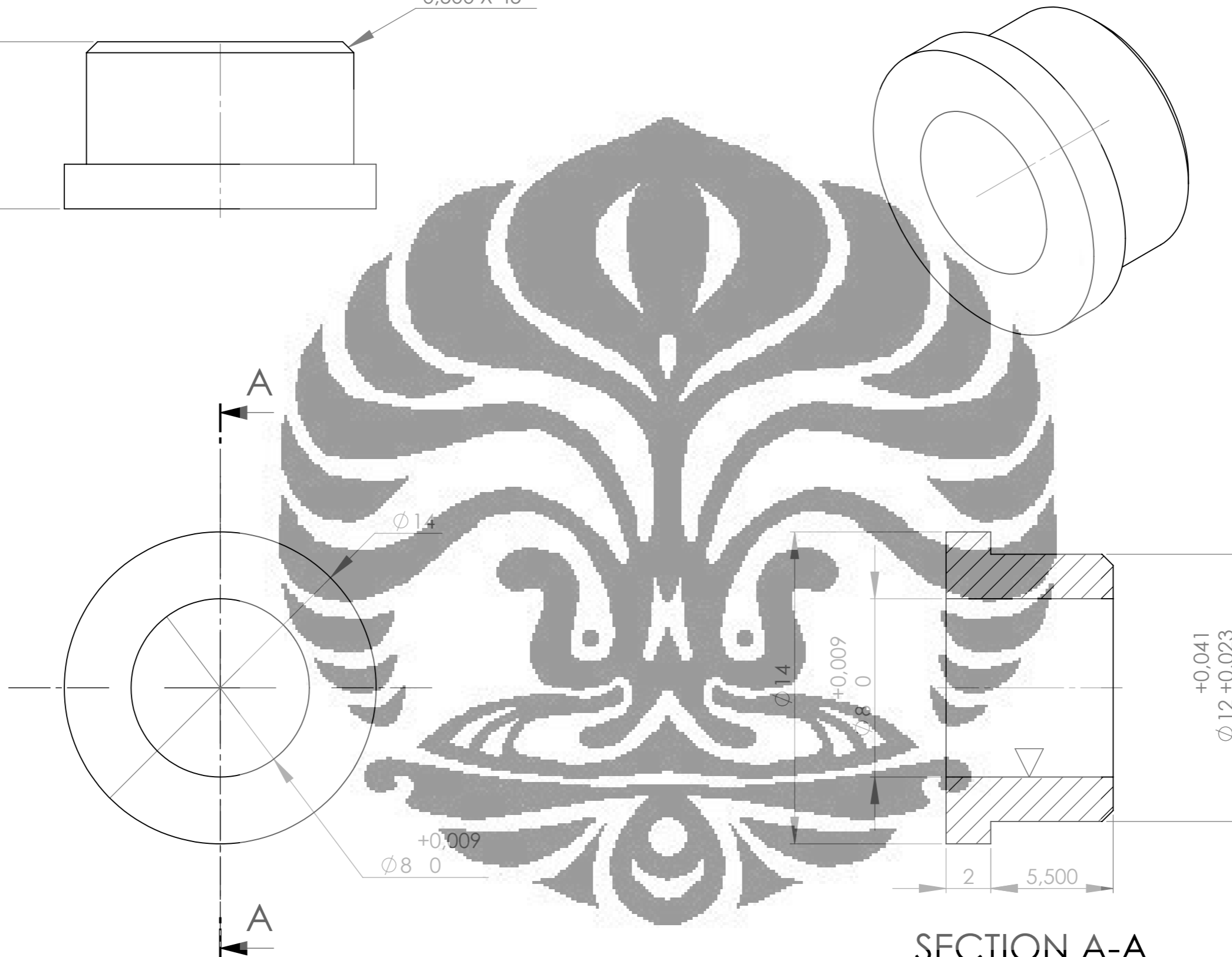
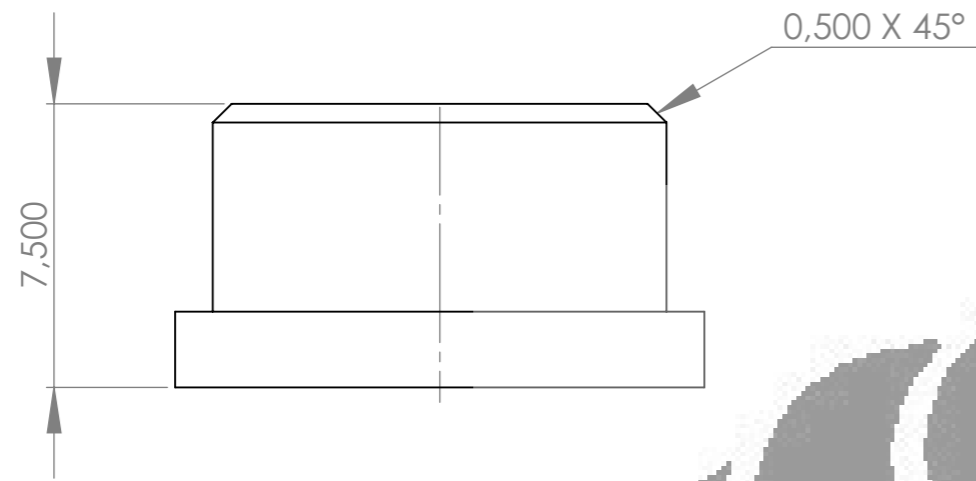


	Skala :	Nama :	Peringatan
	Satuan :mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	TUTUP CASING		<b>A3</b>

ITEM NO.	PART NAME	MATERIAL	QTY.
1	Plat	Wood	1



	Skala : 1:2	Nama : Hadi Maryadi	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>PLAT</b>		<b>A3</b>

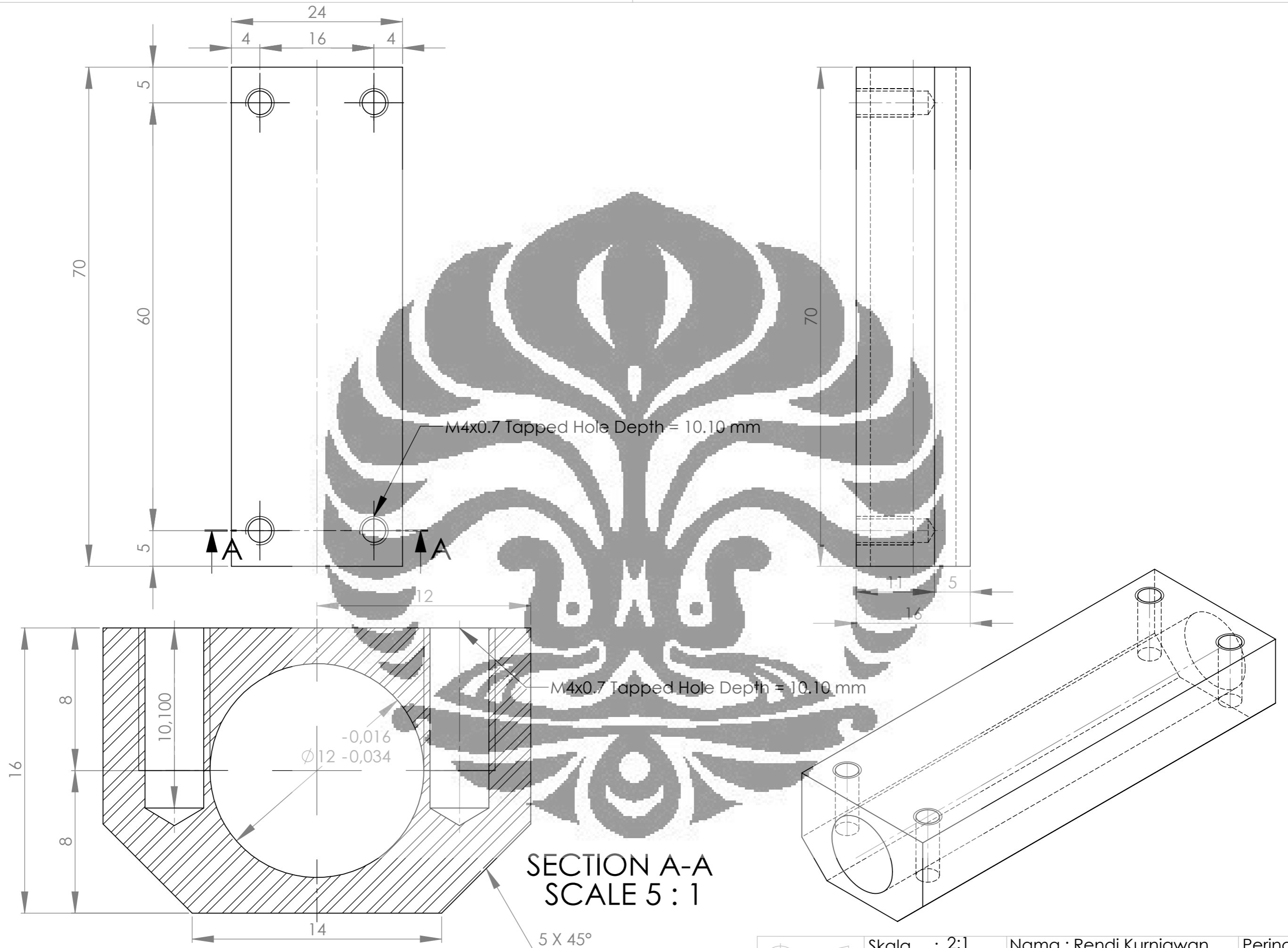


SECTION A-A

	Skala : 5 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Sliding Bearing</b>		<b>A3</b>

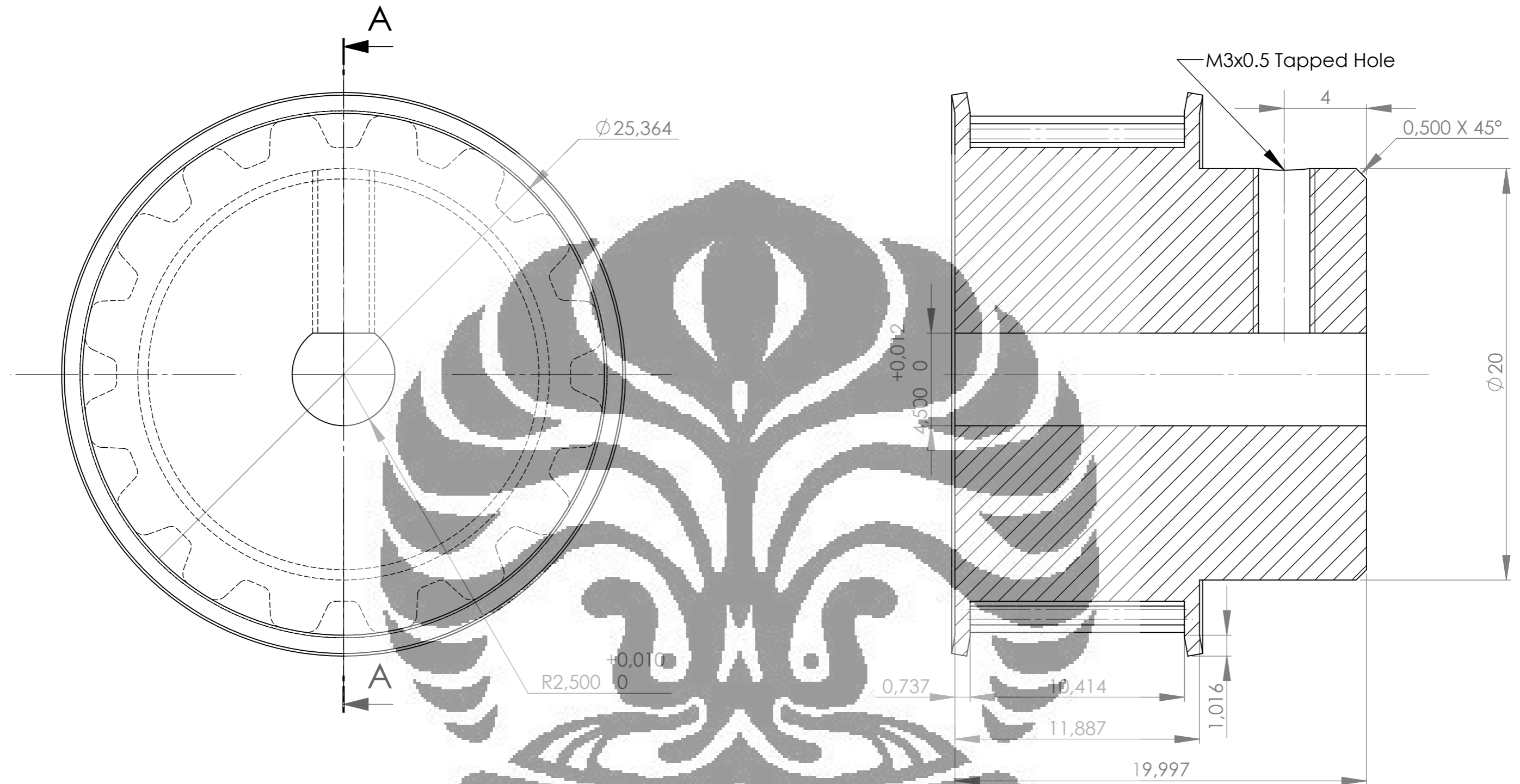
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	Sliding Bearing	Brass	2





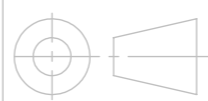
	Skala : 2:1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>SLIDING BRACKET</b>		<b>A3</b>

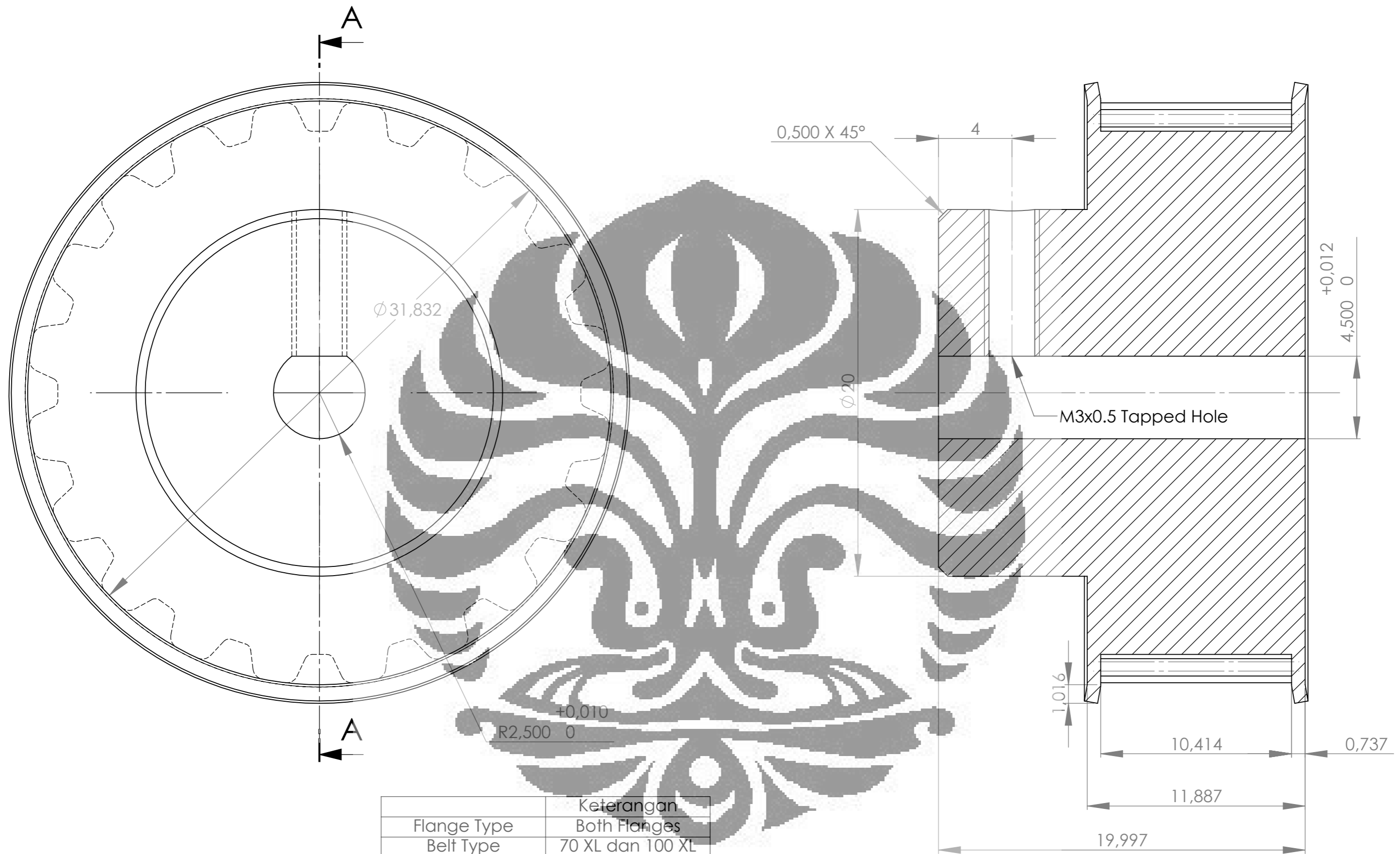
ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	Sliding Braket	Al 2024 Alloy (Duralumin)	1



SECTION A-A  
SCALE 5 : 1

Keterangan	
Flange Type	Both Flanges
Belt Type	70 XL dan 100 XL
Jumlah Gigi	16
Diameter Pitch	25.872 mm
Material	Al 2024 Alloy
Sudut Serang	25 deg
Power Ratio	4 : 5
Jumlah	3

	Skala : 5 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Synchronous Pulley 1</b>		<b>A3</b>



**SECTION A-A  
SCALE 5 : 1**

	Keterangan
Flange Type	Both Flanges
Belt Type	70 XL dan 100 XL
Jumlah Gigi	20
Diameter Pitch	32.340 mm
Material	Al 2024 Alloy
Sudut Serang	25 deg
Power Ratio	4 : 5
Jumlah	3

	Skala : 5 : 1	Nama : Rendi Kurniawan	Peringatan
	Satuan : mm	Dosen :	
	Tanggal :	Disetujui :	
<b>DTM FTUI</b>	<b>Synchronous Pulley 2</b>		<b>A3</b>