



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**DESAIN RANCANG BANGUN MESIN KOMPAKSI HIDROLIK  
OTOMATIS TIPE-H UNTUK APLIKASI PRODUKSI AMUNISI  
FRANGIBLE**

**ADHY PRIHATMIKO WIBOWO  
NRP. 02511640000137**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**





**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**DESAIN RANCANG BANGUN MESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS TIPE-H UNTUK APLIKASI  
PRODUKSI AMUNISI FRANGIBLE**

ADHY PRIHATMIKO WIBOWO  
NRP. 02511640000137

Dosen Pembimbing  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 184834**

**THE DESIGN OF H-TYPE AUTOMATIC HYDRAULIC  
COMPACTING MACHINE FOR FRANGIBLE BULLET  
PRODUCTION**

**ADHY PRIHATMIKO WIBOWO**  
NRP. 02511640000137

Supervisors  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(This page is intentionally left blank)*

**DESAIN RANCANG BANGUN MESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS TIPE-H UNTUK APLIKASI  
PRODUKSI AMUNISI FRANGIBLE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ADHY PRIHATMIKO WIBOWO**  
NRP 02511640000137

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr.Widyastuti, S.Si., M.Si. .... (Pembimbing I)
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



*(This page is intentionally left blank)*



**DESAIN RANCANG BANGUNMESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS TIPE-H UNTUK APLIKASI  
PRODUKSI AMUNISI FRANGIBLE**

**Nama** : Adhy Prihatmiko Wibowo  
**NRP** : 0251164000137  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Dr.Widyastuti, S.Si., M.Si.  
**Pembimbing II** : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

**Abstrak**

*Amunisi frangible adalah amunisi yang didesain agar dapat terfragmentasi ketika terjadi tumbukan dengan permukaan yang keras. Produksi amunisi menggunakan metode metalurgi serbuk yang melibatkan proses kompaksi. Saat ini, proses produksi masih manual maka harus dirancang mesin kompaksi yang dapat memproduksi amunisi ini secara otomatis. Pada tugas akhir kali ini akan dilakukan pendesainan mesin hidrolis otomatis dengan rangka tipe-H dan simulasi pada rangka mesin menggunakan metode elemen hingga. Spesifikasi mesin didapatkan dari hasil perhitungan. Dari hasil perhitungan didapatkan desain dan dimensi dimana hasil tersebut disimulasi menggunakan Ansys Workbench dan hasilnya menunjukkan distribusi tegangan tidak melebihi batas aman. Dengan menggunakan simulasi, didapatkan rata-rata lifetime dari komponen utama mesin kompaksi sebesar 1,3 tahun.*

**Kata Kunci:** *Amunisi frangible, Mesin kompaksi hidrolis otomatis, Desain, Spesifikasi, Dimensi, Simulasi.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# THE DESIGN OF H-TYPE AUTOMATIC HYDRAULIC COMPACTING MACHINE FOR FRANGIBLE BULLET PRODUCTION

**Student Name** : Adhy Prihatmiko Wibowo  
**NRP** : 02511640000137  
**Department** : Materials and Metalurgical Engineering  
**Supervisor** : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
**Co-Supervisor** : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

## **Abstract**

*Frangible ammunition is a type of bullet which is disintegrated after hitting hard object. Production of frangible uses powder metallurgy method that include powder compaction process. Frangible production still use manual process so it is crucial to design automatic compacting machine that can produce automatically for industrial purpose. This final project will focus on designing and simulating the main component of the machine using finite element method. Machine specification will be obtained through calculation. The calculation result consist of dimension and design so they can be simulated by using Ansys Workbench. Simulation results show that stress distributions do not exceed the permissible stress so the design is safe. By using simulation, lifetime of machine can be predicted and the result of simulation shows that the machine lifetime is 1,3 years.*

**Keywords:** *Ammunition, Frangible, Automatic compaction machine, Design, Specification, Dimension, Simulation.*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Desain Rancang Bangun Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis Tipe-H Untuk Aplikasi Produksi Amunisi Frangible**”. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
3. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. dan Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang memotivasi, memberi bimbingan dan pelajaran yang tak ternilai harganya.
4. Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberi masukan rencana studi selama kuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama

Surabaya, 16 Januari 2020  
Penulis

Adhy Prihatmiko Wibowo

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Projektil Frangible.....	5
2.2 Komposit Cu-Sn.....	6
2.3 Metalurgi Serbuk .....	7
2.3.1 Mixing .....	7
2.3.2 Kompaksi .....	8
2.3.3 Sintering .....	18
2.4 Mesin Kompaksi .....	19
2.5 Sistem Hidrolik .....	22
2.5.1 Hukum Pascal.....	25
2.5.2 Hukum Bernouli .....	26
2.5.3 Aliran .....	27
2.5.4 Steady State Modelling Sistem Hidrolik.....	28
2.5.5 Komponen Sistem Hidrolik .....	30
2.5.6 Komponen Struktural .....	46
2.5.7 Komponen Elektronik.....	49
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	50
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir .....	63

3.1.1	Diagram Alir Perancangan Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis.....	63
3.1.2	Diagram Alir Permodelan Komponen Struktural.....	64
3.2	Konsep Desain .....	65
3.3	Pra Desain Sistem Hidrolik.....	66
3.3.1	Penentuan Kapasitas Mesin .....	67
3.3.2	Penentuan Tekanan Hidrolik yang Dibutuhka.....	67
3.3.3	Penentuan Pompa yang dibutuhkan .....	67
3.3.4	Penentuan Kecepatan Silinder Hidrolik .....	68
3.3.5	Penentuan Power Pack.....	68
3.3.6	Oli.....	70
3.3.7	Pipa.....	71
3.4	Pra Desain Komponen Struktural.....	71
3.5	Simulasi dan Analisa Tegangan pada Komponen Struktural.....	73
3.5.1	Geometri dari Komponen Mesin .....	74
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Rancangan Dasar.....	77
4.1.1	Desain Mesin .....	87
4.2	Validasi Desain Menggunakan Software ANSYS .....	93
4.3	<i>Assembly</i> Mesin Kompaksi .....	100
4.4	Mekanisme Kompaksi.....	104
4.5	Kecepatan Produksi .....	105
4.6	Menentukan <i>Lifetime</i> Komponen Mesin dengan Ansys .....	105
4.7	Analisis Desain Mesin.....	117
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	121
5.2	Saran .....	122
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>123</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>125</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Amunisi frangible .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Proses Metalurgi serbuk.....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Densitas saat proses kompaksi .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	<i>Particle bridging</i> .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Degree of pore saturation</i> .....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Grafik densitas vs tekanan .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Proses kompaksi skala partikel .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Axial dan isostatic compression</i> .....	14
<b>Gambar 2.9</b>	Penekanan single dan double action .....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Proses kompaksi.....	18
<b>Gambar 2.11</b>	Proses sintering .....	19
<b>Gambar 2.12</b>	Mesin kompaksi otomatis.....	20
<b>Gambar 2.13</b>	Proses mesin kompaksi .....	21
<b>Gambar 2.14</b>	Sistem hidrolik sederhana .....	22
<b>Gambar 2.15</b>	(a)Hydraulic jack (b)motor reversing sistem (c)open centered sistem (d)closed centered sistem.....	24
<b>Gambar 2.16</b>	Hukum pascal.....	26
<b>Gambar 2.17</b>	Hukum bernoulli .....	27
<b>Gambar 2.18</b>	Laminar dan turbulen .....	28
<b>Gambar 2.19</b>	Konservasi energi pada suatu sistem .....	30
<b>Gambar 2.20</b>	Hubungan Viskositas dan Efisiensi .....	33
<b>Gambar 2.21</b>	Klasifikasi fluida hidrolik.....	34
<b>Gambar 2.22</b>	Komponen motor induksi.....	36
<b>Gambar 2.23</b>	Postive displacement pump.....	39
<b>Gambar 2.24</b>	(a)Pompa external gear (b) pompa internal gear.....	40
<b>Gambar 2.25</b>	Valve pengatur tekanan .....	41
<b>Gambar 2.26</b>	Valve pengatur arah aliran .....	42
<b>Gambar 2.27</b>	Single dan double acting silinder hidrolik .....	44
<b>Gambar 2.28</b>	Frame tipe C.....	47
<b>Gambar 2.29</b>	Frame tipe H .....	48

<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Perancangan Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	63
<b>Gambar 3.2</b>	Permodelan Komponen Struktural .....	64
<b>Gambar 3.3</b>	Desain mesin kompaksi hidrolik otomatis .....	65
<b>Gambar 3.4</b>	Proses kompaksi otomatis .....	66
<b>Gambar 3.5</b>	Desain Power Pack .....	69
<b>Gambar 3.6</b>	Desain awal rangka .....	72
<b>Gambar 3.7</b>	Desain Silinder Hidrolik .....	73
<b>Gambar 3.8</b>	Gambar teknik <i>base plate</i> .....	74
<b>Gambar 3.9</b>	Gambar teknik rangka .....	74
<b>Gambar 3.10</b>	Gambar teknik pipa hidrolik .....	75
<b>Gambar 3.11</b>	Gambar teknik silinder hidrolik .....	75
<b>Gambar 4.1</b>	Dimensi Baja Struktural .....	85
<b>Gambar 4.2</b>	Desain Silinder Hidrolik .....	88
<b>Gambar 4.3</b>	Desain Ketebalan Pipa .....	89
<b>Gambar 4.4</b>	Gambar teknik dari rangka .....	90
<b>Gambar 4.5</b>	Desain 3D dari rangka .....	91
<b>Gambar 4.6</b>	Gambar teknik dari base plate .....	92
<b>Gambar 4.7</b>	Desain 3D base plate .....	92
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil simulasi (a) Distribusi tegangan (b) Deformasi total .....	93
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil simulasi pipa (a) distribusi tegangan (b) distribusi tegangan di dalam pipa (c) deformasi total .....	95
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil simulasi dari rangka (a) distribusi tegangan (b) distribusi tegangan pada plat rangka (c) tegangan tertinggi pada rangka (d) deformasi total .....	97
<b>Gambar 4.11</b>	(a) Distribusi tegangan (b) Deformasi total dari base plate .....	98
<b>Gambar 4.12</b>	Assembly silinder hidrolik dengan rangka .....	100
<b>Gambar 4.13</b>	Assembly power pack .....	101
<b>Gambar 4.14</b>	Assembly Valve Solenoid .....	102
<b>Gambar 4.15</b>	Assembly total mesin kompaksi .....	103

<b>Gambar4.16</b>	Mekanisme kompaksi : (a) Kondisi normal (b) Proses <i>feeding</i> (c) Proses kompaksi (d) Proses eaksi.....	104
<b>Gambar4.17</b>	Hasil simulasi fatig (a) <i>lifecycle</i> rangka (b) perbesaran gambar <i>lifecycle</i> (c) perbesaran gambar <i>lifecycle</i> (d) tingkat keamanan (e) perbesaran gambar tingkat keamanan (f) perbesaran gambar.....	108
<b>Gambar4.18</b>	Kurva <i>fatigue sensitivity</i> rangka mesin.....	109
<b>Gambar4.19</b>	Hasil simulasi fatig dari <i>base plate</i> a.) <i>lifecylce</i> b.) tingkat keamanan.....	110
<b>Gambar4.20</b>	Kurva <i>fatigue sensitivity</i> dari <i>base plate</i> .....	111
<b>Gambar4.21</b>	Hasil simulasi fatig dari silinder hidrolis a.) <i>lifetime</i> b.) tingkat keamanan.....	112
<b>Gambar4.22</b>	<i>Fatigue Sensitivity</i> dari silinder hidrolis.....	113
<b>Gambar4.23</b>	Hasil simulasi fatig dari pipa (a) <i>lifecycle</i> (b) <i>cross section</i> gambar <i>lifecycle</i> (c) tingkat keamanan (d) <i>cross section</i> gambar tingkat keamanan (e) perbesaran gambar tingkat keamanan.....	115
<b>Gambar4.24</b>	<i>Fatigue Sensitivity</i> dari pipa.....	116

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Perbandingan <i>hot</i> dan <i>cold compaction</i> .....	13
<b>Tabel 2.2</b>	Perbandingan axial dan isosatic compression .....	15
<b>Tabel 2.3</b>	Perbandingan single action dan double action .....	16
<b>Tabel 2.4</b>	Perbandingan mesin kompaksi hidrolik dan mekanik .....	21
<b>Tabel 2.5</b>	Tabel perbandingan pompa positif dan non-positif.....	37
<b>Tabel 2.6</b>	Perbandingan jenis-jenis pompa .....	38
<b>Tabel 2.7</b>	Perbandingan Tipe Pompa .....	38
<b>Tabel 2.8</b>	Penelitian sebelumnya .....	50
<b>Tabel 2.9</b>	Penelitian frangible .....	60
<b>Tabel 3.1</b>	Perbandingan pompa.....	68
<b>Tabel 3.2</b>	Spesifikasi oli .....	70
<b>Tabel 4.1</b>	Gaya dan tekanan hidrolik yang dibutuhkan .....	78
<b>Tabel 4.2</b>	Debit yang dibutuhkan.....	79
<b>Tabel 4.3</b>	Tenaga pompa pada kecepatan ram .....	80
<b>Tabel 4.4</b>	Debit saat proses kompaksi.....	81
<b>Tabel 4.5</b>	Kecepatan ram saat proses kompaksi.....	81
<b>Tabel 4.6</b>	Spesifikasi pompa yang dibutuhkan.....	82
<b>Tabel 4.7</b>	Spesifikasi fuida hidrolik .....	83
<b>Tabel 4.8</b>	Dimensi silinder hidrolik .....	85
<b>Tabel 4.9</b>	Tebal base plate yang dibutuhkan .....	87
<b>Tabel 4.10</b>	Dimensi komponen silinder hidrolik.....	88
<b>Tabel 4.11</b>	Dimensi Rangka.....	91
<b>Tabel 4.12</b>	Tabel validasi komponen .....	99
<b>Tabel 4.13</b>	Tabel data perhitungan kecepatan .....	105
<b>Tabel 4.14</b>	Tabel <i>lifecycle</i> komponen mesin .....	116
<b>Tabel 4.15</b>	<i>Lifetime</i> dalam tahun.....	117
<b>Tabel 4.16</b>	Analisa mesin kompaksi untuk perbaikan generasi selanjutnya.....	119

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Amunisi *frangible* merupakan amunisi yang didesain sedemikian rupa agar dapat pecah atau hancur ketika terjadi dampak dengan permukaan yang keras. Dengan demikian, bagian yang hancur dari amunisi ini akan dengan cepat kehilangan energi kinetiknya sehingga dapat mengurangi risiko melukai target yang tidak diinginkan (Komenda, 2017). Amunisi *frangible* diproduksi dengan menggunakan metode metalurgi serbuk dengan material komposit Cu-Sn. Terdapat beberapa proses utama dalam metode metalurgi serbuk yaitu proses kompaksi dan sintering. Kompaksi merupakan proses penting yang memiliki peranan dalam pemberian bentuk (*shaping*). Proses kompaksi dimulai dengan memasukkan serbuk komposit matriks logam pada cetakan (*die*) yang sudah terdapat profil amunisi didalamnya (Thummler, 1993). Dan kemudian mengaplikasikan tekanan dari mesin kompaksi pada serbuk logam Cu-Sn dengan waktu tekan dan besar tekanan yang sudah ditentukan. Kesesuaian dimensi dan densitas dari amunisi ini sangat bergantung pada proses kompaksi sehingga, proses ini sangat menentukan keberhasilan dalam memproduksi amunisi *frangible*. Pada skala laboratorium, proses kompaksi menggunakan mesin yang belum terotomasi sehingga, jumlah dan waktu produksi amunisis sangat terbatas. Oleh karena itu dibutuhkan proses otomasi dari mesin kompaksi yang manual ke mesin kompaksi otomatis yang dapat memenuhi kebutuhan proses produksi amunisis ini dalam skala industri. Untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar dalam skala industri, maka harus ditentukan komponen-komponen mesin kompaksi yang dapat memproduksi amunisis ini dengan efektif dan efisien.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Vicko (2014), menyatakan bahwa pengkompaksian serbuk Cu-Sn memiliki densitas sinter tertinggi dengan tekanan kompaksi sebesar 500 MPa. Dengan tekanan tersebut, porositas yang dihasilkan selama

proses kompaksi yaitu sebesar 14,586%. Nilai yang didapat sangat bergantung pada proses kompaksi. Dengan pengaplikasian tekanan yang tepat saat proses pengkompaksian dapat menghasilkan amunisi yang sesuai standar. Menurut Qin Zhang (2009), sistem hidrolik memiliki kelebihan seperti efisiensi yang lebih tinggi daripada mesin mekanik, membutuhkan ruang yang kecil, kebutuhan karantina yang rendah dan proses instalasi yang fleksibel. Oleh karena itu mesin kompaksi hidrolik yang digunakan untuk memproduksi amunisi frangible. Menurut Basuki (2006) mesin kompaksi manual dapat memproduksi hasil kompaksi sebanyak 1 buah per 3 menit, sedangkan mesin kompaksi otomatis dapat memproduksi 2 buah per 1,5 menit.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan pembuatan mesin kompaksi hidrolik otomatis dan pemilihan komponen-komponen yang tepat agar dapat merancang mesin kompaksi dengan tekanan yang efektif untuk memproduksi amunisi yang sesuai standar dengan efektif dan efisien. Pertama dengan pengumpulan data fisik komponen mesin kompaksi dan dilanjutkan dengan pendesainan. Terakhir dilanjutkan dengan permodelan dan pengujian hasil proses kompaksi untuk memastikan kesesuaian dengan standar yang telah ditentukan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara merancang desain dan spesifikasi mesin kompaksi hidrolik otomatis yang optimal?
2. Bagaimana menganalisis kondisi operasi mesin kompaksi hidrolik otomatis yang optimal?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar didapat hasil akhir yang baik dan sesuai dengan tujuan perancangan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada perancangan ini adalah sebagai berikut :



1. Tekanan yang dihasilkan sesuai dengan penelitian sebelumnya
2. Desain *Die* sudah tetap dan ideal
3. Proses yang digunakan adalah *single action* berdasarkan penelitian sebelumnya
4. Sistem elektronik yang digunakan sudah tetap dan ideal

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendesain spesifikasi mesin kompaksi hidrolik otomatis yang optimal.
2. Menganalisis kondisi operasi mesin kompaksi hidrolik otomatis yang optimal.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan Mesin Kompaksi Hidrolik Terotomasi yang efektif dan efisien dan dapat menghasilkan amunisi yang sesuai standar. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai pengembangan teknologi Mesin Kompaksi Hidrolik dalam dunia industri.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Projektil Frangible**

Projektil frangible merupakan projektil yang didesain sedemikian rupa agar dapat pecah atau hancur ketika terjadi dampak dengan permukaan yang keras. Dengan demikian, bagian yang hancur dari amunisi ini akan dengan cepat kehilangan energi kinetiknya sehingga dapat mengurangi risiko melukai target yang tidak diinginkan (Banovic, 2006). Sifat frangibility dari projektil dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Amunisi frangible (Komenda, 2017)

Frangible sangat unik karena sifat terminal balistiknya. Amunisi jenis ini memiliki kapabilitas penetrasi yang terbatas dan bahaya akibat pemantulan yang kecil akibat dari hancurnya amunisi ketika terkena permukaan yang keras. Sifat balistik dari amunisi frangible sangat bergantung pada proses manufakturnya. Proses manufaktur amunisi frangible biasanya menggunakan

Teknik metalurgi serbuk dari komposit bermatriks logam dengan bahan dasar logam serbuk halus (seperti tembaga, besi, zinc, timah, bismuth dan tungsten). Amunisis ini relative tidak berbahaya terhadap lingkungan karena tidak menggunakan ataupun mengandung timbal.

Menurut Hansen (2006) yang dikutip oleh Faisal (2019) densitas yang dimiliki oleh amunisis frangible sebesar 1,75 – 8,25 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan untuk amunisis frangible yang sesuai dengan karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1–8,5 g/cm<sup>3</sup>. Kekerasan yang harus dimiliki oleh amunisis frangible sebesar 44-119 HV dan memiliki compressive strength sebesar 31-310 MPa (Kruachatturat, 2009). Dari penjelasan diatas, amunisis frangible dapat diproduksi dengan menggunakan metode metalurgi serbuk dengan material komposit Cu-Sn.

## 2.2 Komposit Cu-Sn

Komposit adalah gabungan dari matriks dan penguatnya untuk mendapatkan material yang memiliki sifat lebih baik daripada bahan penyusunnya (matriks dan penguatnya). Matriks adalah material pengikat yang berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat, menahan penyebaran retakan dan melindungi penguat dari lingkungan. Sedangkan penguat berfungsi memberikan kontribusi kekuatan pada material tersebut. Sifat-sifat dari material komposit secara umum bila dibandingkan dengan komponen-komponen penyusunnya memiliki sifat-sifat yang lebih baik antara lain ketangguhan dan kekuatan yang lebih baik.

Amunisis frangible yang dibahas dalam penelitian ini memiliki komposisi yang tersusun atas serbuk logam Cu dan Sn dengan persentase berat 90% Cu dan Sn 10%. Pemilihan material tembaga sebagai material dominan dalam proyektil frangible karena unsur ini tidak beracun dan bersifat lunak sehingga dapat menjadi pelumas ketika amunisis diaplikasikan pada senjata api. Sedangkan adanya penambahan unsur timah dalam komposisi proyektil frangible bertujuan untuk menambah kekuatan matriks dari tembaga sehingga mempengaruhi modulus elastisitas komposit

Cu-Sn. Timah ini merupakan unsur yang memiliki melting point (titik leleh) yang rendah sehingga dapat digunakan sebagai pengikat agar lebih mudah membasahi serbuk tembaga. Kemudian ditambahkan zinc stearate sebagai pelumas untuk memudahkan proses kompaksi dan pelarut ethanol untuk memudahkan proses pencampuran (Sulistya, 2019).

### 2.3 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses dimana padatan logam, paduan atau keramik yang berbentuk partikel kering (normalnya memiliki diameter dibawah 150 mikron) yang dibentuk menjadi suatu komponen Teknik dna sudah ditentukan bentuk dan karakteristik pemrosesannya. Metelurgi serbuk digunakan untuk membuat komponen yang mustahil diproduksi menggunakan proses forming ataupun casting. Proses ini menghasilkan desain yang rumit dengan ketelitian yang tinggi dan kecepatan produksi yang lebih cepat. Proses metalurgi serbuk terdiri dari proses mixing, kompaksi dan sintering (dapat dilihat pada Gambar 2.2).



**Gambar 2.2** Proses Metalurgi serbuk (Thummler, 1993)

#### 2.3.1 Mixing

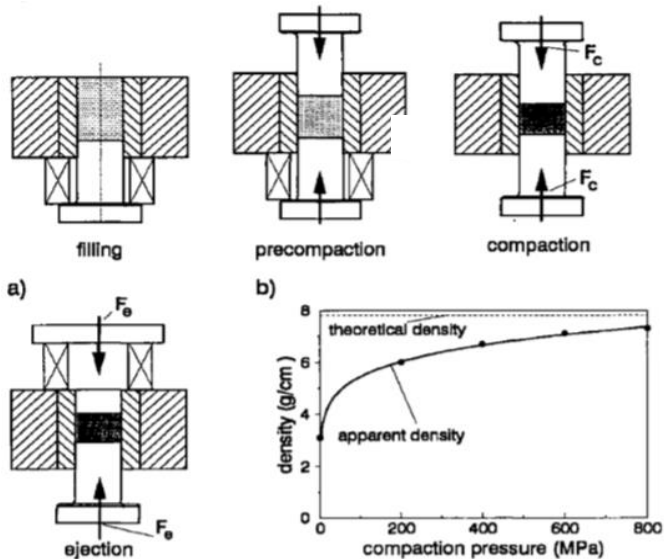
Proses *mixing* adalah proses pencampuran material serbuk, pada produksi amunisis *frangible* menggunakan campuran Cu dan Sn, yang bertujuan untuk mendapatkan campuran yang homogen atau merata. Mekanisme dalam proses pengadukan yaitu difusi, konveksi, dan *shear*. Campuran difusi terjadi karena adanya gerakan dari tiap partikel masuk ke permukaan serbuk lainnya di dalam bejana yang berputar. Campuran konveksi terjadi karena

perpindahan serbuk yang berdekatan dari satu lokasi ke lokasi lainnya dalam pengaduk berulir. Campuran *shear* terjadi karena adanya aliran serbuk dari perputaran bidang datar dalam *blade mixer* (German, 1984).

Pada proses *mixing* untuk produksi amunisi *frangible*, dibutuhkan tingkat homogenitas yang tinggi agar dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan standar. Proses pencampuran serbuk terbagi menjadi dua, yaitu pencampuran kering dan pencampuran basah. Pencampuran basah dilakukan untuk logam – logam yang mudah teroksidasi seperti tembaga Cu, sehingga perlu ditambahkan pelarut polar seperti ethanol. Dalam proses pembuatan proyektil amunisis *frangible*, komposisi yang digunakan adalah 90% Cu, 10% Sn, dan tambahan 0,5% zinc stearate. Pelarut polar yang digunakan adalah ethanol sebesar 10 ml tiap 10 butir proyektil amunisis *frangible* (Anugraha, 2014).

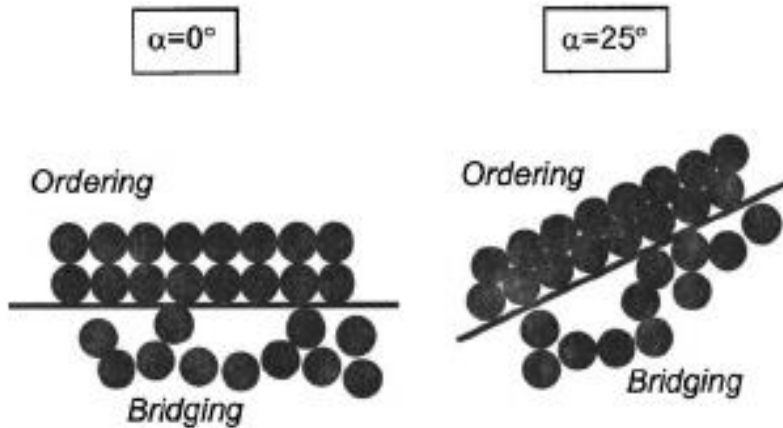
### 2.3.2 Kompaksi

Kompaksi adalah proses pemadatan dari material serbuk di dalam *die* (cetakan) dengan penggunaan tekanan. Fungsi utama dari kompaksi adalah untuk memadatkan material serbuk ke bentuk yang diinginkan, menghasilkan produk dengan dimensi akhir yang sesuai akibat dari perubahan yang disebabkan oleh proses sintering, menghasilkan produk dengan porositas yang diinginkan, dan menghasilkan produk dengan kekuatan yang cocok untuk pengerjaan lebih lanjut. Serbuk logam yang dipadatkan dengan proses kompaksi, memiliki densitas kurang dari densitas teoritisnya karena adanya porositas. Hubungan densitas dan tekanan kompaksi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Densitas saat proses kompaksi (Thummler, 1993)

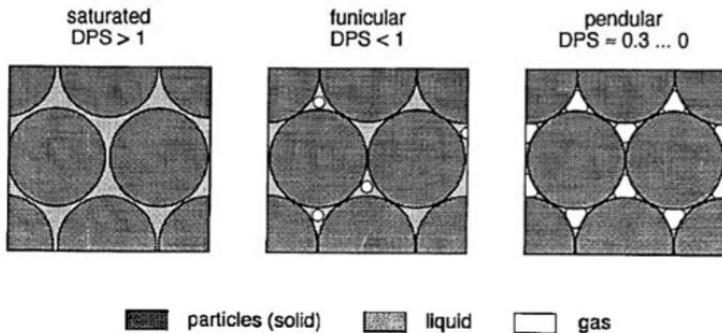
Proses densifikasi dari proses kompaksi terjadi karena penyusunan kembali partikel-partikel padat yang disebut dengan *packing*. *Packing* yang terjadi pada proses kompaksi diakibatkan oleh gaya yang mengasilkan tekanan pada partikel serbuk pada cetakan oleh mesin kompaksi. Proses ini dapat terhambat dan menghasilkan produk dengan densitas yang lebih rendah karena terjadi *particle bridging*. *Particle bridging* merupakan kondisi dimana partikel serbuk menyatu akibat dari gaya gesek antar partikel berbentuk seperti jembatan. Hambatan yang terjadi akibat proses ini dapat dihindari dengan cara penambahan tekanan saat proses kompaksi atau dengan penambahan pelumasan untuk mengurangi gaya gesek antar partikel. Skema *particle bridging* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Particle bridging (Thummler, 1993)

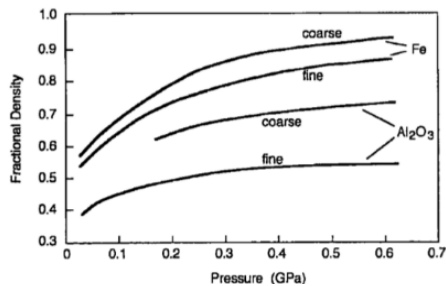
Penambahan lubrikan pada saat proses kompaksi harus disesuaikan dengan proses yang digunakan. Fraksi volume dari lubrikan merupakan variable yang penting selama proses kompaksi berlangsung. Fraksi volum lubrikan dikategorikan berdasarkan *degree of pore saturation* (DPS). DPS merupakan fraksi volume rongga antar partikel serbuk yang terisi oleh lubrikan. DPS dari lubrikan dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada proses *injection moulding*, digunakan lubrikan dengan DPS lebih dari satu atau bisa disebut dengan *saturated*. Pada proses *die compaction*, lubrikan yang digunakan hanya dalam jumlah yang kecil (DPS sekitar 0,3). Hal ini terjadi karena tegangan normal yang diaplikasikan untuk proses kompaksi material serbuk akan terbagi antara partikel serbuk dan lubrikan, sehingga membutuhkan gaya yang lebih besar. Contoh kasus pada *saturated liquid suspension*, proses densifikasi tidak akan terjadi sebelum lubrikan mengering.



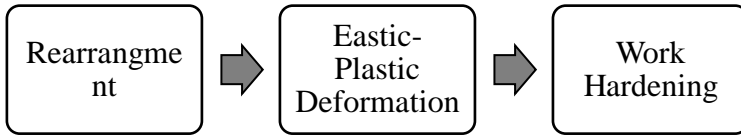


**Gambar 2.5** Degree of pore saturation (Thummler, 1993)

Pemadatan serbuk yang terjadi selama proses kompaksi sangat bergantung pada ukuran partikel. Semakin halus partikel, maka tekanan yang dibutuhkan akan lebih besar dibanding partikel yang memiliki ukuran yang lebih besar. Material serbuk yang memiliki keuletan yang tinggi juga mudah untuk diproses menggunakan proses kompaksi. Semakin kecil ukuran partikel, gaya gesek akan semakin besar karena luas permukaan yang saling bersentuhan semakin besar sehingga partikel yang berukuran kecil semakin mudah mengalami *particle bridging*. Skema densitas proses kompaksi menurut perbedaan ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 2.6. Proses densifikasi yang terjadi pada proses kompaksi terbagi dalam tiga tahap, yaitu penyusunan ulang, deformasi elastis-plastis kemudian *work hardening*. Skema ini ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.6** Grafik densitas vs tekanan (Thummler, 1993)



**Gambar 2.7** Proses kompaksi skala partikel (Thummler, 1993)

Untuk mengetahui sifat dari hasil proses kompaksi dan tekanan selama proses selain pengambilan data dari eksperimen, juga bisa didapatkan dengan teori. Dengan menggunakan Persamaan 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4.

Berat spesifik

$$\rho = \frac{m}{vt} \quad (2.1)$$

Densitas Kompak

$$\delta = \frac{m}{vb} \quad (2.2)$$

Porositas

$$\emptyset = 1 - \frac{\delta}{\delta_{th}} \quad (2.3)$$

Tekanan Kompaksi

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- $\rho$  = Berat spesifik
- $m$  = Massa serbuk
- $Vt$  = Volume sebenarnya
- $\delta$  = Densitas kompak

- Vb = Volume setelah kompaksi  
 $\delta th$  = Densitas teoritis  
 $\emptyset$  = Porositas  
P = Tekanan  
F = Gaya  
A = Area

### 1. Proses Kompaksi Berdasarkan Temperatur Kerja

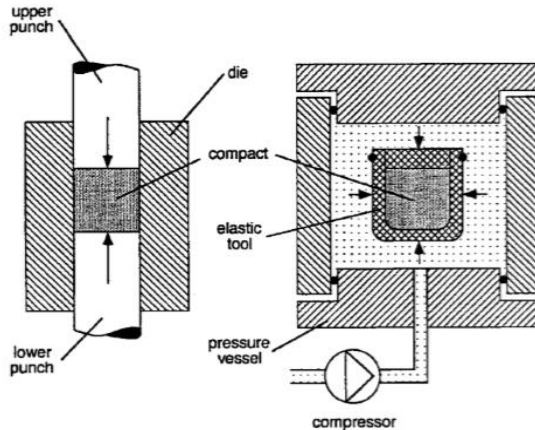
Operasi kompaksi yang dibantu dengan tekanan dapat dibagi menjadi metode *cold* dan *hot compaction*. Ditinjau dari materialnya, *cold compaction* dilakukan pada rentang temperature yang mana mekanisme deformasi temperature tinggi seperti dislokasi ataupun *creep* dapat diabaikan. Pada kebanyakan kasus *cold compaction*, dilakukan pada temperature ruang (rendah) sedangkan *hot compaction* dilakukan pada temperature yang lebih tinggi. (Upadhaya, 2002) Material yang memiliki titik leleh yang rendah mengalami kompaksi dengan metode *hot compaction* walaupun pada temperature ruang. *Cold Pressing* merupakan metode kompaksi paling penting dalam metalurgi serbuk. Perbedaan kedua proses kompaksi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Perbandingan *hot* dan *cold compaction* (Thummler, 1993)

<b>Aspek yang Dibandingkan</b>	<b><i>Hot Comapction</i></b>	<b><i>Cold Compaction</i></b>
<b>Temperatur Kerja</b>	100-200°C	Temperatur kamar
<b>Kecepatan Produksi</b>	Lebih Cepat	Lebih lambat
<b>Densitas Akhir (tekanan 500 MPa)</b>	8,144 g/cm <sup>3</sup>	8,1 g/cm <sup>3</sup>

## 2. Proses Kompaksi Berdasarkan Arah Gaya

Pada proses penekanan aksial, serbuk dikompaksi pada cetakan yang kaku dan diberi tekanan menggunakan *punch* (penekan) yang segaris. Pada proses ini, tekanan kompaksi didapatkan dengan membagi beban *punch* dengan luas permukaannya. Pada penekanan isostatis, material serbuk ditempatkan pada cetakan elastis dan diberikan tekanan hidrostatis yang berasal dari fluida. Skema axial dan isostatic compression dapat dilihat pada Gambar 2.8. Dan perbandingan dari kedua jenis proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.



**Gambar 2.8** Axial dan isostatic compression (Thummler, 1993)

Hubungan tekanan kompaksi dan porositas dapat diperoleh dengan Persamaan 2.5 Konopicky.

$$P = \frac{1}{C_1} \ln \frac{U_0}{U} \quad (2.5)$$

Dimana:

P = Tekanan

C<sub>1</sub> = Konstanta

U<sub>0</sub> = Porositas saat P=0 (porositas awal)

U = Porositas setelah kompaksi

**Tabel 2.2** Perbandingan axial dan isostatic compression  
(Thummler, 1993)

Aspek yang Dibandingkan	Axial	Isostatic
<b>Kecepatan Produksi</b>	Lebih cepat	Lebih lambat
<b>Distribusi Densitas</b>	Kurang homogeny	Lebih Homogen
<b>Biaya pembuatan</b>	Mahal	Murah
<b>Green Compact Design</b>	Flexible	Terbatas

### 3. Proses Kompaksi Berdasarkan Arah Penekanan

Penekanan pada cetakan (*die*) yang diam dibagi menjadi dua, yaitu *single action* dan *double action*. Pada penekanan *single action*, cetakan dan *punch* bawah dalam keadaan tetap (stasioner). Proses penekanan hanya dilakukan oleh *punch* atas. Pada penekanan *single action*, gesekan dari dinding cetakan mengakibatkan ketidak homogenan distribusi tekanan sehingga densitas yang dekat *punch* atas lebih besar daripada yang ada dibawah. Pada penekanan *double action*, *punch* atas dan *punch* bawah bergerak bersamaan selama proses penekanan material serbuk. Hal ini mengakibatkan densitas yang tinggi pada hasil penekanan di dekat *punch* atas maupun *punch* bawah. Untuk bagian tengah tetap menjadi zona netral yang memiliki sifat relatif lemah. (Thummler, 1993). Perbandingan proses kompaksi ini dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Proses dan parameter material yang dapat mempengaruhi proses densifikasi dapat ditulis dengan model matematika seperti Persamaan 2.6.

$$F = \left(\frac{q}{\sigma_m}\right)^2 + \alpha(1 - \rho)^\beta \left(\frac{P}{\sigma_m}\right)^2 - \rho^\delta \quad (2.6)$$

Persamaan diatas mengasumsikan tidak ada heating effect. Dan kalkulasi untuk menentukan nilai  $\sigma_m$  dapat menggunakan Persamaan 2.7.

$$\sigma_m = a_m + b_m e_m^{n_m} \quad (2.7)$$

Berdasarkan pengujian kompresi dan tension uniaxial yang dilakukan oleh Shima dan Oyane, dapat ditentukan bahwa faktor parameter material  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\delta$  pada matriks Cu adalah sebesar 6,2 ; 1,028; dan 5; sehingga persamaannya menjadi Persamaan 2.8.

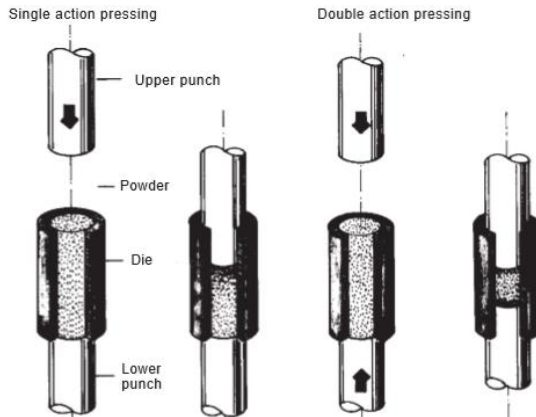
$$F = \left(\frac{q}{\sigma_m}\right)^2 + 6,2(1 - \rho)^{1,028} \left(\frac{P}{\sigma_m}\right)^2 - \rho^5 \quad (2.8)$$

Dimana:

- q = tegangan efektif
- $\rho$  = densitas relative
- P = tekanan hidrostatik
- $\sigma_m$  = flow stress matriks Cu
- a dan b = parameter material
- e = Effective Strain dari Cu

**Tabel 2.3** Perbandingan single action dan double action  
(Thummler, 1993)

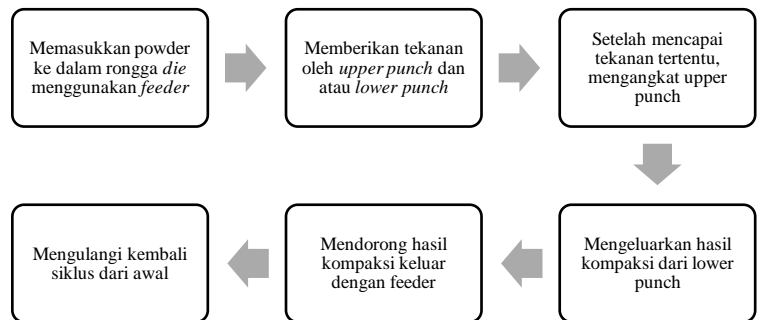
<b>Aspek yang Dibandingkan</b>	<b>Single Action</b>	<b>Double Action</b>
<b>Kecepatan Produksi</b>	Lebih cepat	Lebih lambat
<b>Distribusi Densitas</b>	Kurang homogen	Lebih Homogen
<b>Biaya pembuatan</b>	Mahal	Murah
<b>Green Compact Design</b>	Flexible	Terbatas



**Gambar 2.9** Penekanan single dan double action

#### 4. Proses Kompaksi

Tahap *filling*, yaitu mengisi rongga cetakan (*die cavity*) dengan material serbuk dengan jumlah yang dibutuhkan. Tahap selanjutnya yaitu menekan (*pressing*) material serbuk dengan *punch* sehingga didapatkan *green density* yang diinginkan. Setelah *pressing*, *punch* atas kemudian ditarik dan dilanjutkan proses *ejection*. Proses *ejection* adalah proses pengeluaran hasil kompaksi dari cetakan. Peralatan *ejection* yang digunakan harus sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan produk yang layak. Proses *ejection* dari produk yang memiliki tingkat kerumitan yang tinggi lebih sulit untuk dilakukan daripada produk yang sederhana karena proses ini melibatkan gaya gesek antara dinding cetakan dan *green part*. Material yang telah dipress harus memiliki ketahanan bending yang tinggi agar tidak mudah rusak karena gaya yang ditimbulkan saat proses *ejection*. (Sulistya, 2019). Skema proses kompaksi dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Proses kompaksi (Sulistya, 2019)

### 2.3.3 Sintering

*Sintering* ialah proses peningkatan temperature atau pemanasan *green compact* atau produk hasil kompaksi pada temperature tertentu yang dilakukan untuk membentuk suatu ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom sehingga kekuatan produk awal meningkat dengan skema pada Gambar 2.11. Adapun parameter proses *sintering* yang perlu diperhatikan sebagai berikut (German, 1984):

1. Temperatur *sintering*

Semakin tinggi temperature *sintering* maka akan terjadi *shrinkage* yang lebih besar, pertumbuhan butir, dan biaya semakin mahal.

2. Ukuran partikel serbuk

Semakin halus serbuk maka semakin cepat laju *sintering*, dan level impuritas yang semakin baik.

3. Waktu *sintering*

Semakin lama proses *sintering* berlangsung maka diameter serbuk semakin besar.

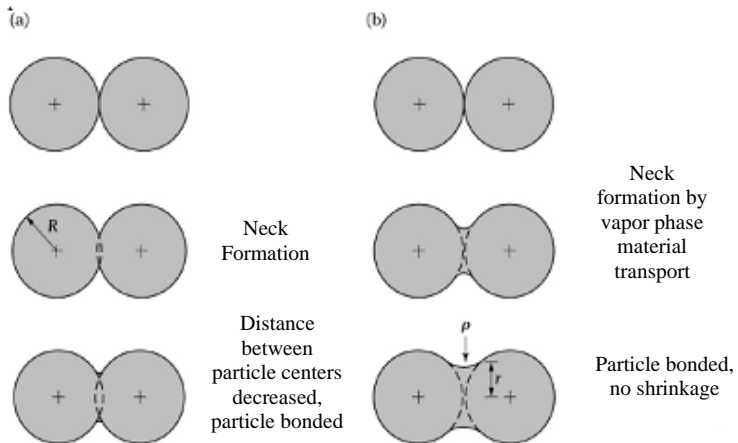
4. *Green density*

Densitas hasil kompaksi yang semakin tinggi mengakibatkan terjadinya penyusutan yang semakin kecil, terbentuk porositas yang lebih kecil dan diperoleh dimensi yang seragam.



## 5. Tekanan kompaksi

Semakin tinggi tekanan kompaksi akan memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat *sintering*.



**Gambar 2.11** Proses sintering (German, 1984)

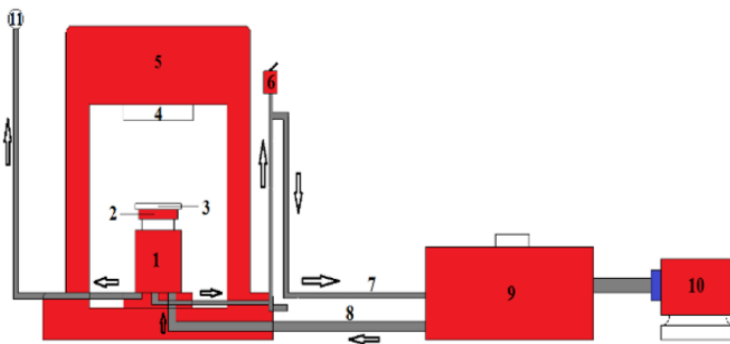
## 2.4 Mesin Kompaksi

Alat penekan dari material serbuk terdiri dari dua jenis, yaitu alat penekan mekanik dan hidrolik. Alat penekan yang tersedia saat ini memiliki kapasitas antara 3 sampai 1000 ton. Alat penekan hidrolik menghasilkan gaya kerja akibat dari penggunaan tekanan fluida pada piston dengan menggunakan pompa, valve, *intensifiers*, dan akumulator. Pada alat penekan mekanik, *flywheel* menyimpan energi dan ditransferkan ke *slide* utama. Pada umumnya, pergerakan *slide* atau tak dari *slide* dapat disesuaikan tergantung kapasitas dari alat penekan. Energi yang tersimpan pada *flywheel* harus mencukupi agar pergerakan dari *slide* tidak mengurangi kecepatan dari *flywheel* lebih dari 10-15 persen (Thummler, 1993).

Kompaksi dengan menggunakan cetakan (*die compaction*) merupakan proses kompaksi yang paling sering digunakan dan

dianggap sebagai Teknik kompaksi yang konvensional. *Die compaction* melibatkan cetakan yang kaku dan penekan hidrolik atau mekanik. Teknik ini dapat menghasilkan produk dengan densitas mencapai 90% dari densitas totalnya. Respon dari material serbuk berbeda dengan respon fluida ketika diberi tekanan. Hasil kompaksi dari serbuk memiliki densitas berbeda setiap prosesnya. Gesekan antara material serbuk, dinding cetakan, dan partikel serbuk menghalangi transmisi dari tekanan. Hasil proses kompaksi yang homogen dapat dihasilkan berdasarkan Teknik kompaksi, tipe perkakas, material yang akan dikompaksi, dan *lubricant*.

Mesin kompaksi berfungsi sebagai pengepres campuran bahan menjadi *compact*. Mesin ini menggunakan sistem tenaga hidrolik dan otomatis. Pembuatan amunisi frangible dengan alat ini akan lebih cepat, menghemat waktu dan biaya sehingga dapat meningkatkan hasil produksi amunisi frangible dengan menggunakan mesin kompaksi hidrolik. Gambar mesin kompaksi hidrolik dan perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Tabel 2.4.



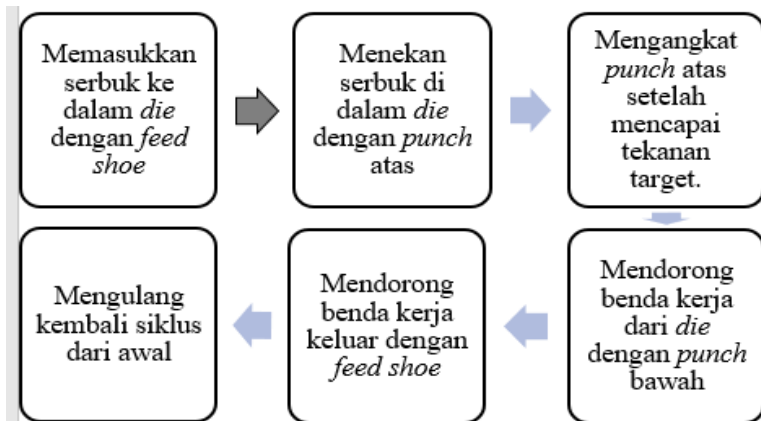
**Gambar 2.12** Mesin kompaksi otomatis (Pramono, 2006)

**Tabel 2.4** Perbandingan mesin kompaksi hidrolik dan mekanik

Mesin Kompaksi Mekanik	Mesin Kompaksi Hidrolik
3/2 – 5 kali	1 kali
1/2 kali	3/4 kali
3/2 kali	2 kali

### 2.4.1 Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Mesin kompaksi hidrolik otomatis ada mesin yang memadatkan material serbuk yang ada pada dalam cetakan dengan menggunakan sistem hidrolik dan bekerja secara otomatis. Karena menggunakan sistem hidrolik, mesin ini menggunakan media fluida untuk mentransmisikan gaya atau tekanan. Tahapan proses kompaksi hidrolik otomatis dapat dilihat pada Gambar 2.13.



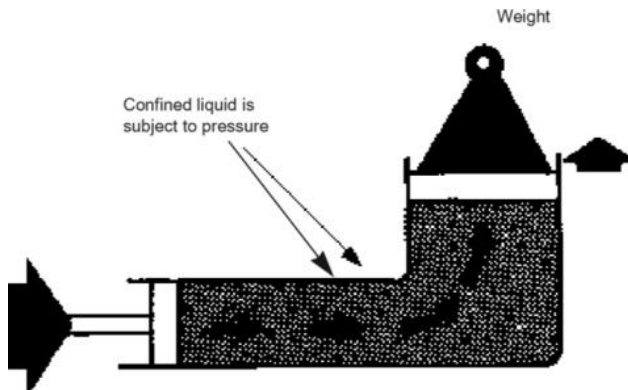
**Gambar 2.13** Proses mesin kompaksi (Sulistya, 2019)

Kelebihan menggunakan sistem hidrolik adalah sebagai berikut:

1. Desain sederhana
2. Fleksibel
3. Suara yang ditimbulkan tidak terlalu berisik
4. Efisiensi tinggi
5. Terdapat sistem proteksi ketika terjadi overload (valve)

## 2.5 Sistem Hidrolik

Hidrolik adalah ilmu pengetahuan tentang penyaluran gaya atau gerakan pada medium fluida yang tertutup. Tekanan pada sistem hidrolik dapat digenerasikan dengan penekanan pada fluida yang tertutup. Tekanan pada sistem hidrolik dapat digenerasikan dengan melakukan penekanan pada fluida yang tertutup (di dalam wadah) yang memiliki hambatan. Ada dua acara untuk memberikan penekanan pada fluida di sistem hidrolik yaitu dengan pompa mekanik atau dengan berat fluida itu sendiri. Sistem hidrolik sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Sistem hidrolik sederhana (Akers, 2006)

Hubungan antara gaya, tekanan dan luas permukaan dapat dilihat pada Persamaan 2.9.

$$F = P \cdot A \quad (2.9)$$

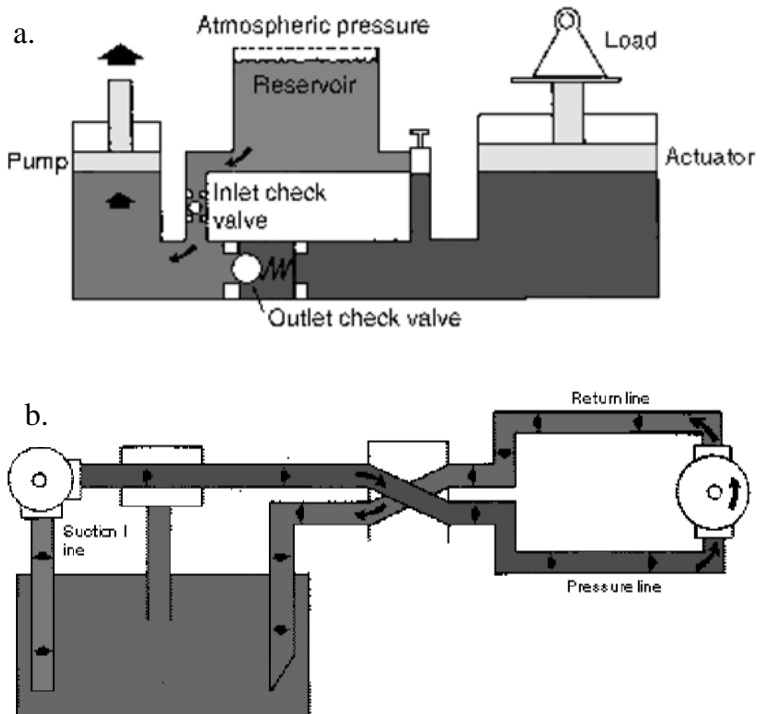
Dimana:

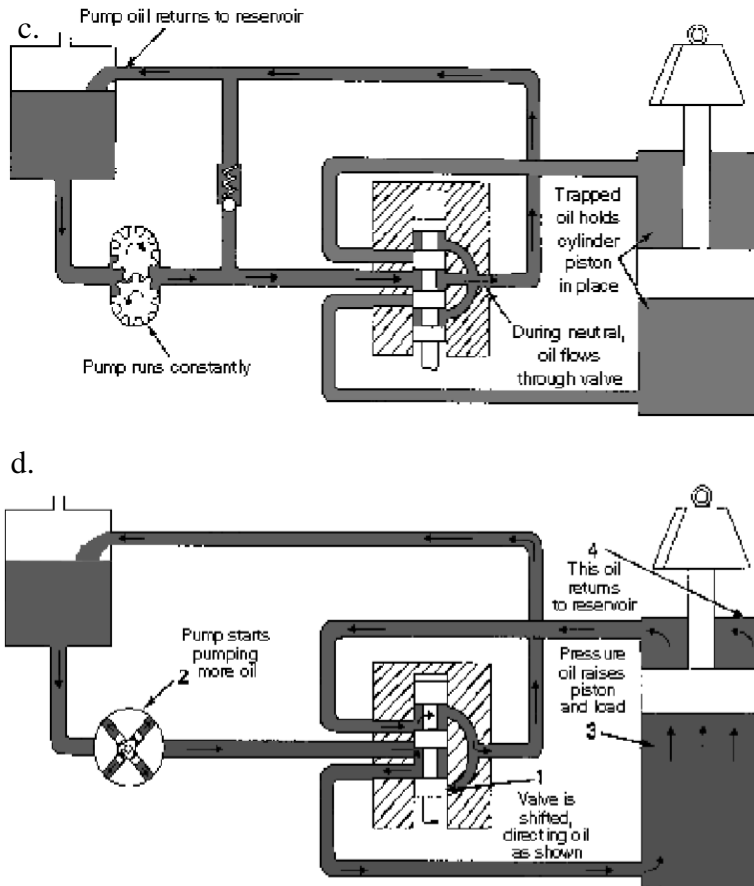
F = Gaya

P = Tekanan

A = Luas permukaan

Dasar sistem hidrolik dibagi menjadi empat jenis, yaitu *hydraulic jack*, *motor reversing sistem*, *open center sistem*, dan *closed center sistem*.





**Gambar 2.15** (a)Hydraulic jack (b)motor reversing sistem (c)open centered sistem (d)closed centered sistem (Zhang, 2009)

Dalam sistem *hydraulic jack* (Gambar 2.15 (a)), reservoir dan system katup telah ditambahkan ke tuas hidrolik untuk menggerakkan silinder kecil atau pompa secara terus menerus dan angkat piston besar atau aktuator takik dengan setiap goresan. Gambar tersebut menunjukkan *intake stroke*. Ceck valve tertutup oleh tekanan di bawah beban, dan check valve inlet terbuka sehingga cairan dari reservoir mengisi ruang pompa. Gambar selanjutnya menunjukkan pompa melakukan stroke ke bawah. Katup cek inlet tertutup oleh tekanan dan katup outlet terbuka. Lebih banyak cairan dipompa di bawah piston untuk menaikannya. Untuk menurunkan beban, katup ketiga (jarum katup) terbuka, yang membuka area di bawah piston besar ke reservoir. Muatan kemudian dorong piston ke bawah dan paksa cairan ke reservoir.

Pada Gambar 2.15 (b), menunjukkan pompa yang digerakkan dengan motor rotari reversibel. Katup pembalik mengarahkan cairan ke kedua sisi motor dan kembali ke reservoir. Sebuah katup pengaman melindungi sistem terhadap tekanan berlebih dan dapat mem-bypass output pompa ke reservoir, jika tekanan naik terlalu tinggi.

Dalam sistem ini, spool katup kontrol harus terbuka di tengah untuk memungkinkan pompa mengalir melewati katup dan kembali ke reservoir. Gambar 2.15 (c), menunjukkan sistem ini pada posisi netral. Untuk mengoperasikan beberapa fungsi secara bersamaan, sistem open-center harus memiliki koneksi yang benar, yang dibahas di bawah ini. Sebuah sistem open-center efisien pada fungsi tunggal tetapi dibatasi dengan banyak fungsi.

Dalam sistem ini, sebuah pompa dapat berhenti ketika oli tidak diharuskan mengoperasikan suatu fungsi. Ini berarti bahwa katup kontrol ditutup di tengah, menghentikan aliran dari oli dari pompa. Gambar 2.15 d, menunjukkan sistem pusat tertutup.

### **2.5.1 Hukum Pascal**

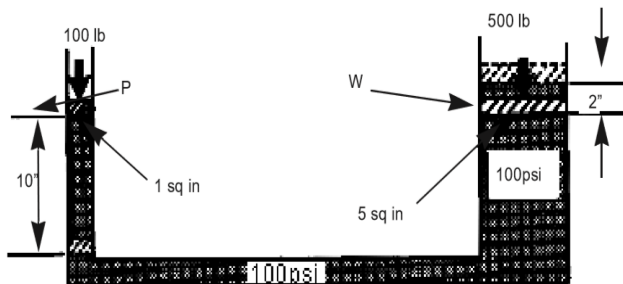
Blaise Pascal menemukan formula/rumus dari hokum dasar hidrolik. Dia mengemukakan bahwa tekanan yang dipaksakan

masuk pada fluida memiliki kuantitas yang sama pada segala arah. Hukum pascal menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada fluida tertutup tidak akan berkurang dan bertindak pada gaya yang sama pada luas permukaan yang sama. Dapat dituliskan dengan Persamaan 2.10.

$$P_1 = P_2 \quad (2.10)$$

Pada Gambar 2.16 merupakan sisem hidrolik sederhana yang mana menjelaskan hukum pascal tentang tekan. Dari persamaan 2.10 Dapat didapatkan Persamaan 2.11.

$$D_2 = \frac{F_1 \times D_1}{F_2} \quad (2.11)$$



**Gambar 2.16** Hukum pascal

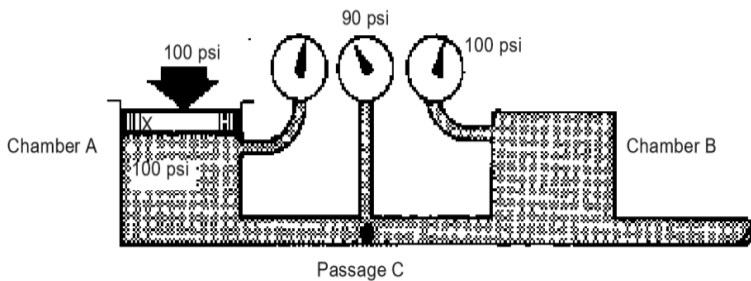
### 2.5.2 Hukum Bernouli

Hukum Bernoulli merupakan sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup



sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tekanan statis dari fluida yang bergerak berbanding terbalik terhadap kecepatan. Hukum Bernoulli dapat dituliskan sebagai Persamaan 2.12.

$$P + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstan} \quad (2.12)$$



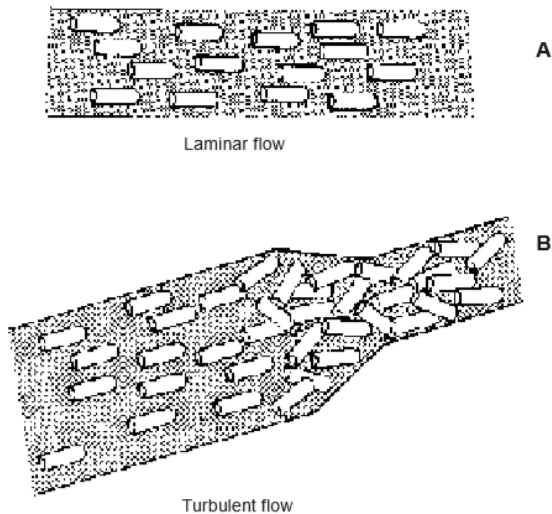
**Gambar 2.17** Hukum Bernoulli

Pada Gambar 2.15 dapat dilihat bahwa tekanan di titik C lebih rendah daripada tekanan di A dan B karena memiliki kecepatan yang lebih besar akibat dari luas penampang yang lebih kecil.

### 2.5.3 Aliran

Aliran merupakan gerakan dari fluida yang disebabkan oleh perbedaan tekanan antara dua titik. Pada sistem hidrolik, perbedaan tekanan dihasilkan oleh pompa. Ada tiga jenis energi yang berperan dalam sistem ini yaitu potensial, kinetik dan panas. Pada umumnya, hukum Pascal mengabaikan gesekan yang terjadi antara fluida. Namun, pada kenyataannya gesekan antara fluida dan dinding pipa dapat menghasilkan panas dan mengurangi energi kinetik dari fluida. Energi yang hilang ini dikonversikan menjadi energi panas. Gaya gesek yang sangat tinggi diakibatkan oleh beberapa hal yaitu

1. Pipa yang terlalu panjang
2. Terlalu banyak tekukan pada perpipaan
3. Kecepatan fluida yang tinggi dengan diameter pipa yang kecil Aliran pada fluida terbagi menjadi dua jenis, yaitu laminar dan turbulen. Aliran laminar terjadi pada pipa yang lurus dengan kecepatan yang rendah. Partikel fluida bergerak sejajar dan searah dengan aliran dan heat loss pada aliran laminar minimum. Aliran turbulen terjadi akibat dari perubahan kecepatan akibat luas penampang yang berbeda. Skema aliran dapat dilihat pada Gambar 2.18.



**Gambar 2.18** Laminar dan turbulen (Zhang, 2009)

#### 2.5.4 Steady State Modelling Sistem Hidrolik

Model matematis dapat digunakan untuk memahami suatu sistem dan meningkatkan performanya. Dengan permodelan matematis dapat membantu pemilihan komponen dan bagian tertentu untuk mendapatkan sistem yang diinginkan. Pada kasus sistem hidrolik, permodelan matematis sangat dibutuhkan untuk

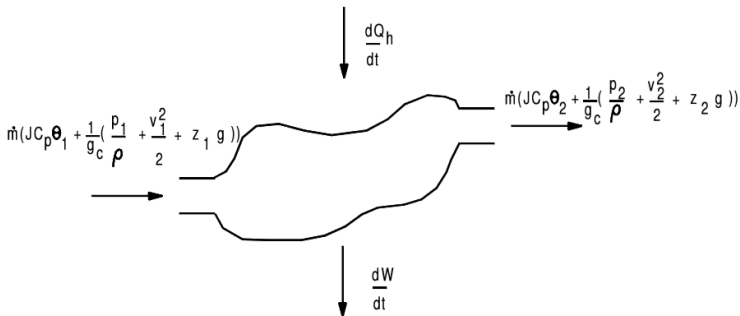
mempertimbangkan distribusi energi. Penambahan energi adalah suatu hal yang pasti pada sistem hidrolik agar dapat menghasilkan kerja dengan besar yang diinginkan. Sebagaimana energi pada sistem hidrolik akan terkonversi menjadi energi lain. Proses konversi ini biasa disebut *heat loss*. Hal ini terjadi karena gaya gesek pada fluida yang mengalir dengan saluran yang ada. (Akers, 2006) Sistem hidrolik juga menerapkan hukum kekekalan energi dan massa, sehingga dapat digunakan Persamaan 2.13 dan 2.14.

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out} \quad (2.13)$$

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (2.14)$$

Aliran fluida,  $Q$ , dapat diekspresikan ke unit volume per detik atau massa per detik. Persamaan dibawah ini biasa disebut persamaan prinsip kontinuitas. Hukum konservasi energi atau hukum I termodinamika sangat berguna dalam menjelaskan energi dalam sistem hidrolik. (Akers, 2006) Skema konservasi energi dapat dilihat pada Gambar 2.19 dan Persamaan 2.15.

$$\frac{dQ_h}{dt} - \frac{dW}{dt} + \dot{m} \left( J C_p \theta_1 + \frac{1}{g_c} \left( \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + z_1 g \right) \right) = \dot{m} \left( J C_p \theta_2 + \frac{1}{g_c} \left( \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + z_2 g \right) \right) \quad (2.15)$$



**Gambar 2.19** Konservasi energi pada suatu sistem (Akers, 2006)

### 2.5.5 Komponen Sistem Hidrolik

Adapun komponen yang digunakan untuk system hidrolik sebagai berikut :

#### 1. Fluida Hidrolik

Fluida adalah zat, dapat berupa cairan atau gas, yang tidak dapat menahan tegangan geser salah satu contohnya adalah oli. Pada sistem hidrolik, fluida digunakan untuk mentransmisikan tekanan. Fluida yang sering digunakan adalah oli oleh karena itu karakteristik sifat-sifat fluida sangat dibutuhkan. (Akers, 2006). Beberapa sifat oli yang harus diketahui antara lain viskositas absolut, viskositas kinematis dan modulus kompresi.

Viskositas absolut merupakan ukuran dari resistansi fluida untuk bergerak pada area yang terbasahi. Viskositas absolut fluida dapat dirumuskan sebagai Persamaan 2.16.

$$\mu = \frac{F_v}{A\left(\frac{v}{l}\right)} \quad (2.16)$$

Dimana:

$\mu$  = viskositas absolut

F = gaya

A = luas permukaan

v = kecepatan

$l$  = tebal

Viskositas kinematic ditunjukkan pada Persamaan 2.17.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.17)$$

Dimana:

$v$  = viskositas kinematic

$\mu$  = viskositas absolut

$\rho$  = massa jenis

Pada umumnya, fluida seperti oli dianggap tidak dapat dimampatkan. Namun dalam sistem hidrolik, oli berada pada kondisi dimana tekanan operasi memiliki efek pada kompresibiliti dapat mempengaruhi sistem hidrolik. Kompresibiliti fluida dapat ditunjukkan oleh modulus kompresinya. Jika tekanan kerja kurang dari modulus kompresi maka tidak akan terjadi perubahan volume. Sifat-sifat diatas sangat penting untuk suatu sistem hidrolik karena

- Sangat berpengaruh pada fundamental sistem hidrolik seperti respon kecepatan.
- Dengan data diatas didapatkan koefisien yang dapat dimungkinkan untuk memastikan tekanan

Persamaan 2.18 dapat digunakan untuk mencari modulus kompresi dari oli.

$$\beta = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (2.18)$$

Udara yang tidak larut dalam oli sangat mempengaruhi modulus kompresi. Karena pada oli terdapat udara yang tidak larut maka modulus kompresi efektifnya ditunjukkan pada Persamaan 2.19.

$$\frac{1}{\beta_e} = -\frac{\Delta P}{\Delta P \times V} = -\frac{\Delta V_{oli} + \Delta V_{udara}}{\Delta P \times V_t} \quad (2.19)$$

Dapat disusun ulang menjadi Persamaan 2.10.

$$\frac{1}{\beta_e} = -\frac{\frac{\Delta V_{oli}}{V_{oli}} V_{oli}}{\Delta P} + \frac{-\left(\frac{\Delta V_{udara}}{V_{udara}}\right) V_{udara}}{\Delta P} \quad (2.20)$$

Disederhanakan menjadi Persamaan 2.21.

$$\frac{1}{\beta_e} = \frac{1}{\beta_{oli}} \left( \frac{V_{total} - V_{udara}}{V_{total}} \right) + \frac{1}{\beta_{udara}} \frac{V_{udara}}{V_{total}} \quad (2.21)$$

Karena  $\frac{V_{udara}}{V_{total}} \gg 1$  maka menjadi Persamaan 2.22.

$$\frac{1}{\beta_e} = \frac{1}{\beta_{oli}} + \frac{V_{udara}}{V_{total}} \frac{1}{\beta_{udara}} \quad (2.22)$$

Fluida hidrolik terdiri dari beberapa jenis seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20.

a. Fluida Hidrolik Berbasis Mineral Oil

Fluida hidrolik yang berbasis mineral oil memiliki performa yang baik dengan harga yang murah. Fluida jenis ini diklasifikasikan menjadi fluida hidrolik tipe HH, HL, dan HM. Tipe HH adalah fluida hidrolik yang dimurnikan tanpa adanya penambahan zat aditif. Fluida jenis ini dapat mentransmisikan tenaga tetapi dengan sifat lubrikasi yang buruk dan tidak tahan temperatur tinggi. Biasanya, fluida tipe HH digunakan untuk mesin hidrolik manual dan hidrolik system dengan tekanan yang rendah. Selanjutnya adalah fluida hidrolik tipe HL yaitu fluida hidrolik yang terbuat dari mineral oil yang dimurnikan dengan penambahan inhibitor karat yang dapat melindungi system dari serangan kimia dan kontaminasi air. Fluida tipe ini biasa digunakan pada pompa piston. Untuk fluida hidrolik tipe HM sama seperti tipe HL namun dengan penambahan zat aditif anti aus. Fluida ini

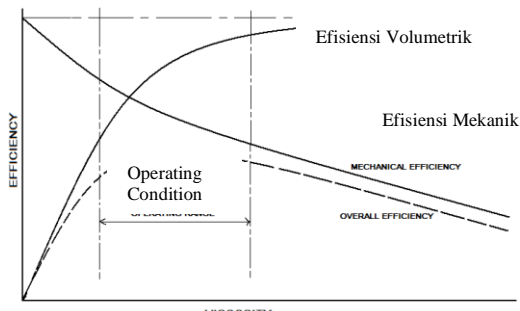
menggunakan fosfor, zinc dan sulfur untuk mendapatkan sifat anti aus.

b. Fluida Hidrolik Tahan Api

Fluida hidrolik jenis ini menghasilkan panas yang lebih rendah dibandingkan fluida jenis mineral oil. Seperti Namanya, fluida jenis ini digunakan pada industri yang memiliki kemungkinan terjadi kebakaran seperti foundry, militer, die-casting dan industry logam lain. Dibandingkan mineral oil, fluida jenis ini memiliki BTU yang lebih rendah contohnya seperti *water-glycol*, *phosphate ester* dan poli ester. ISO mengklasifikasikan fluida jenis ini menjadi beberapa yaitu: HFAE (oli yang dapat terlarut), HFAS (*high water-based fluid*), HFB (emulsi), HFC (*water glycol*), HFDR (ester fosfat), dan HRDU (poli ester).

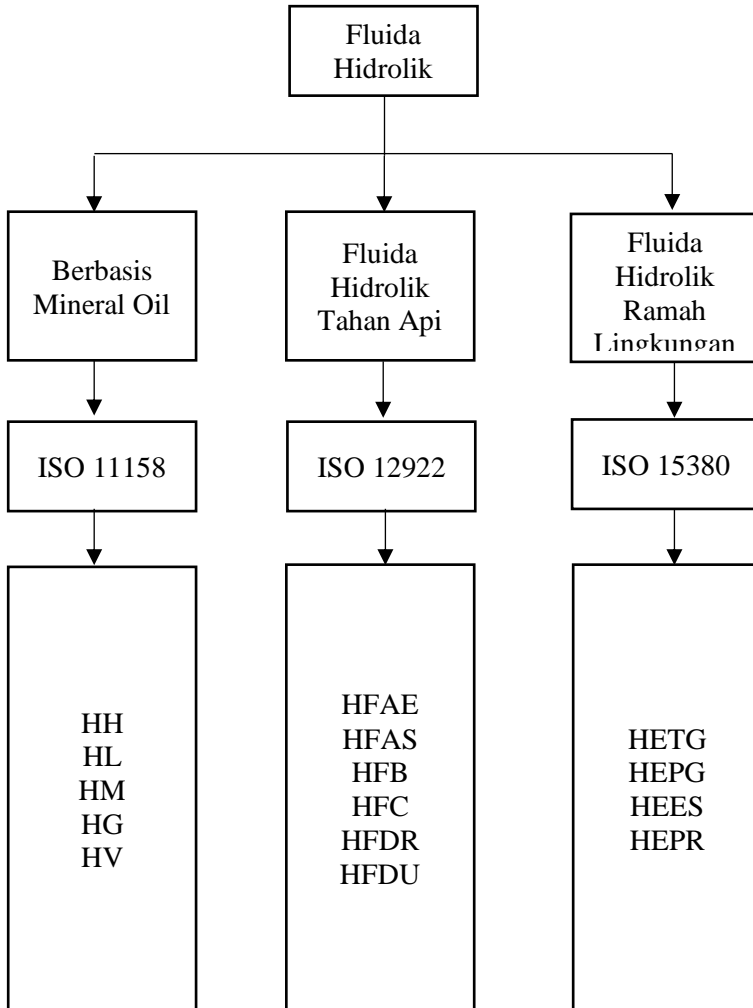
c. Fluida Hidrolik Ramah Lingkungan

Fluida jenis ini digunakan ketika terdapat kemungkinan terjadi kebocoran dan mencemari lingkungan yang dapat menimbulkan kerusakan. Fluida jenis ini tidak berbahaya terhadap kehidupan air dan juga bersifat *biodegradable*. Fluida jenis ini digunakan untuk aplikasi di dalam bidang kehutanan (alat pemotong tumbuhan), *drilling* lepas pantai, bendungan dan industry maritime. ISO mengklasifikasikan fluida ini menjadi beberapa macam yaitu: tipe HETG (berbasis *vegetable oil*), HEES (berbasis ester sintetis).



**Gambar 2.20** Hubungan Viskositas dan Efisiensi (Hydro-Electric Machinery Premises, 2010)

Gambar 2.20 menunjukkan hubungan antara efisiensi dan viskositas dari fluida hidrolis. Rentang viskositas yang efisien adalah pada 13-860 cSt. Klasifikasi fluida hidrolis dapat dilihat pada Gambar 2.21.



**Gambar 2.21** Klasifikasi fluida hidrolis



## 2. Pipa

Pipa adalah komponen dari sistem hidrolik yang memiliki kegunaan untuk mentransferkan fluida kerja atau oli yang memiliki tekanan dari pompa bermotor ke rongga dalam silinder hidrolik.

Pada saat fluida melewati pipa, terjadi gaya gesek yang menyebabkan penurunan tekanan. Hal yang paling berpengaruh dalam aliran fluida adalah viskositas dan inersia. Rasio antara inersia terhadap viskositas disebut Reynold *Number* dapat dilihat pada Persamaan 2.23.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{4PQ}{\pi \mu d} \quad (2.23)$$

Ketika Reynold *number* kurang dari 2000, jenis aliran yang terjadi adalah laminar. Ketika Reynold *number* lebih dari 4000, jenis aliran yang terjadi adalah turbulen. Dan jika Reynold *number* antara 2000 dan 4000 jenis alirannya adalah transisi.

Penurunan tekanan pada pipa atau selang sirkular (Persamaan 2.24).

$$\Delta P = \frac{f l \rho v^2}{2d} \quad (2.24)$$

Untuk jenis aliran laminar, nilai  $f$  dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.25.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.25)$$

Untuk jenis aliran turbulen, nilai  $f$  dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.26.

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (2.26)$$

Dimana:

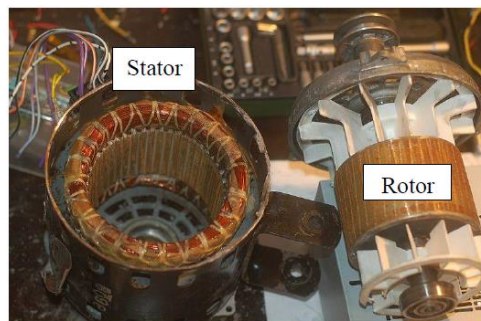
$\Delta P$  = Perubahan tekanan

- Re = *Reynold number*  
f = heat loss friction  
 $\nu$  = viskositas kinematic  
d = diameter  
 $\rho$  = densitas

### 3. Motor

Sistem hidrolik menggunakan motor induksi. Motor induksi adalah motor yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi menggunakan arus AC sebagai penggerak mesin. Prinsip kerja dari motor induksi berasal dari medan magnet yang berotasi dimana saat terdapat medan magnet akan ada gaya yang arahnya tegak lurus terhadap medan magnet sehingga dapat memutar rotor (Therib, 2017). Motor induksi memiliki beberapa jenis yaitu *single phase* dan *three phase*. *Single phase* merupakan motor yang disambungkan pada power supply berfasa tunggal. Motor *single phase* hanya memiliki satu lilitan (*winding*) dan lilitan pembantu (*auxilarry winding*).

Motor Induksi tiga fasa atau *three phase induction motor* adalah motor induksi yang mana memiliki lilitan (*winding*) yang disambungkan dengan sumber listrik tiga fasa. Penyusunan lilitan dilakukakan dengan sedemikian rupa (Gambar 2.21) agar terjadi medan magnet yang berotasi. Pada sistem ini memiliki kelebihan yaitu *self-starting* (Therib, 2017).



**Gambar 2.22** Komponen motor induksi

#### 4. Pompa

Pompa hidrolik ini digerakkan secara mekanis oleh motor listrik. Pompa hidrolik berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik dengan cara menekan fluida hidrolik ke dalam sistem. Dalam sistem hidrolik, pompa merupakan suatu alat untuk menimbulkan atau membangkitkan aliran fluida (untuk memindahkan sejumlah volume fluida) dan untuk memberikan daya sebagaimana diperlukan. Apabila pompa digerakkan motor (penggerak utama), pada dasarnya pompa melakukan dua fungsi utama :

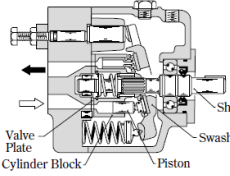
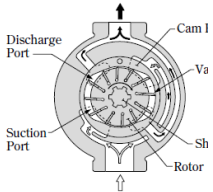
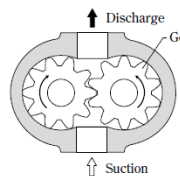
- a. Pompa menciptakan kevakuman sebagian pada saluran masuk pompa. Vakum ini memungkinkan tekanan atmosfer untuk mendorong fluida dari tangki (reservoir) ke dalam pompa.
- b. Gerakan mekanik pompa menghisap fluida ke dalam rongga pemompaan, dan membawanya melalui pompa, kemudian mendorong dan menekannya ke dalam sistem hidrolik.

Pompa diklasifikasikan menjadi non positive displacement dan positive displacement. Non positive displacement pump menghasilkan gaya pada fluida secara konstan pada setiap kecepatan pompa. Untuk positive displacement akan menyalurkan volume fluida dengan jumlah tertentu pada setiap siklusnya. Perbandingan pompa dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan 2.6.

**Tabel 2.5** Tabel perbandingan pompa positif dan non-positif

<b>Aspek yang dibandingkan</b>	<b>Non-positive Displacement</b>	<b>Positive Displacement</b>
<b>Aliran</b>	Halus dan kontinyu	Batch/siklik
<b>Tekanan</b>	Terjadi pengurangan tekanan	Tekanan stabil
<b>Self priming</b>	x	v

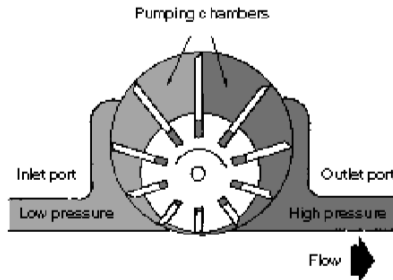
**Tabel 2.6** Perbandingan jenis-jenis pompa

Aspek	Pompa Piston	Pompa Vane	Pompa Gear
<b>Struktur</b>			
<b>Prinsip Operasi</b>	Mengeluarkan dan Menekan volume dalam silinder <i>block</i> dengan pergerakan piston	Mengeluarkan dan menekan volume diantara vane dan cam ring	Gerakan dari volume diantara roda gigi dan selubungnya
<b>Efisiensi</b>	Paling tinggi. (Katup plat dengan mudah rusak dan efisiensi menurun ketika plat aus)	Rendah. (dapat seimbang ketika vane aus)	Rendah. (efisiensi turun ketika gear aus)
<b>Daya Hisap</b>	Rendah	Medium	Tinggi
<b>Size dan Harga</b>	Ukuran besar dan berat, harganya mahal	Ukuran nya terkecil dan harganya murah	Ukuran nya kecil dan harganya murah

**Tabel 2.7** Perbandingan tipe pompa

Jenis Pompa	Tekanan Operasi Maks (Mpa/Psi)	Perpindahan Maks ( $\text{cm}^3/\text{rev}$ ) (cu in/rev)	Efisiensi Keseluruhan (%)	Kecepatan Poros Maks. (r/min)
Pompa Piston Axial	45 (6527)	1000 (61)	85 - 95	5600
Pompa Piston Radial	70 (10153)	500 (30,5)	80 - 92	2900

<b>Vane Pump</b>	40 (5802)	350 ( 21,3)	75 - 90	4200
<b>Gear Pump</b>	35 (5076)	500 (30,5)	75 - 90	6000



**Gambar 2.23** Postive displacement pump (Zhang, 2009)

Pompa berdasarkan letak gear nya terdiri dari dua jenis yaitu eksternal dan internal.

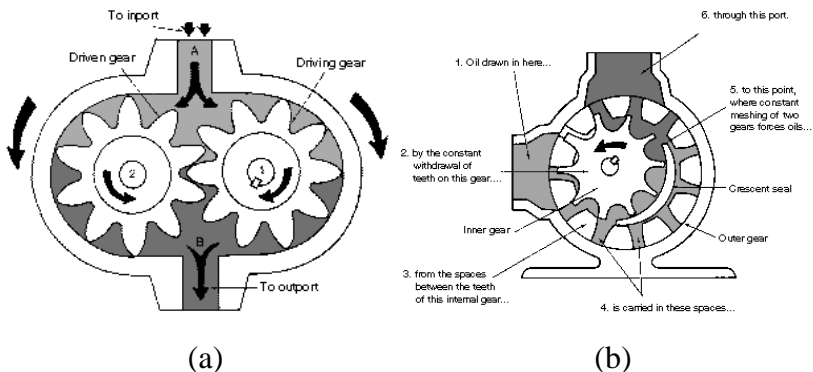
a. External Gear

Pada Gambar 2.24 (a) menunjukkan prinsip operasi pompa eksternal gear. Terdiri dari roda gigi dan roda gigi yang digerakkan tertutup dalam pompa yang dipasang erat. Roda gigi berputar berlawanan arah dan jala pada titik di perumahan antara port inlet dan outlet. Kedua set gigi menonjol keluar dari pusat gigi. Saat gigi dua gigi terpisah, sebagian vakum terbentuk dan menarik cairan melalui port inlet ke dalam ruang A. Fluida pada ruang A terperangkap di antara gigi dua roda gigi dan *chamber* sehingga dibawa melalui dua jalur yang terpisah di sekitar ke ruang B. Saat gigi kembali menyatu, mereka menghasilkan kekuatan yang mendorong cairan melalui port outlet.

b. Internal Gear

Gambar 2.23 menunjukkan pompa internal gear. Salah satu gigi dari gear memroyeksikan ke luar, sedangkan gigi dari proyek gigi lainnya ke dalam menuju pusat kota pompa.

Satu roda gigi berdiri di dalam yang lain. Ini jenis roda gigi bisa berputar, atau bisa diputar oleh, dibangun sesuai gigi pendamping. Sebuah gigi eksternal secara langsung melekat pada poros penggerak sebuah pompa dan ditempatkan di luar pusat dalam kaitannya dengan internal gigi. Kedua roda gigi saling bertautan satu sisi ruang pompa, antara inlet dan discharge. Di sisi yang berlawanan kamar, bentuk berdiri di ruang antara kedua roda gigi untuk memberikan toleransi yang dekat. Rotasi gigi internal oleh poros menyebabkan gigi eksternal berputar, karena keduanya ada di jala. Segala sesuatu di ruangan berputar kecuali bulan sabit, menyebabkan cairan terjebak di ruang roda gigi saat mereka melewati bulan sabit. Cairan dibawa dari inlet ke debit, di mana ia dipaksa keluar dari pompa oleh persneling gigi. Saat cairan dibawa keluar dari sisi inlet pompa, tekanannya berkurang, dan cairan dipaksa masuk dari sumber pasokan. Ukuran bulan sabit yang memisahkan internal dan eksternal roda gigi menentukan volume pengiriman pompa ini. Bulan sabit kecil memungkinkan lebih banyak volume cairan per revolusi daripada a bulan sabit yang lebih besar.



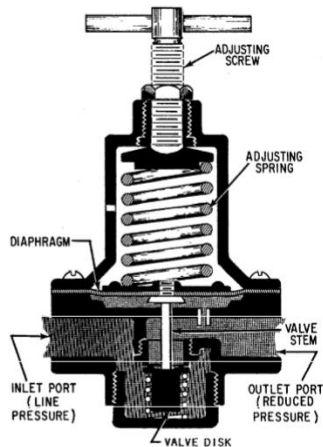
**Gambar 2.24** (a) Pompa external gear (b) pompa internal gear  
(Zhang, 2009)

## 5. Valve

Dalam sistem hidrolik, katup berfungsi sebagai pengatur tekanan dan aliran fluida yang sampai ke silinder kerja. Menurut pemakaiannya, katup hidrolik dibagi menjadi tiga macam, antara lain :

### a. Valve pengatur tekanan

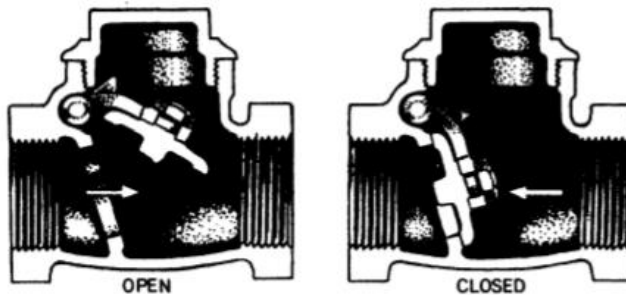
Valve pengatur tekanan digunakan untuk melindungi pompa dan katup pengontrol dari kelebihan tekanan dan untuk mempertahankan tekanan tetap dalam sirkuit hidrolik minyak. Cara kerja katup ini adalah berdasarkan kesetimbangan antara gaya pegas dengan gaya tekan fluida. Dalam kerjanya katup ini akan membuka apabila tekanan fluida dalam suatu ruang lebih besar dari tekanan katupnya, dan katup akan menutup kembali setelah tekanan fluida turun sampai lebih kecil dari tekanan pegas katup.



**Gambar 2.25** Valve pengatur tekanan (Akers, 2006)

### b. Valve pengatur arah aliran

Katup pengontrol arah adalah sebuah saklar yang dirancang untuk menghidupkan, mengontrol arah, mempercepat dan memperlambat suatu gerakan dari silinder kerja hidrolik. Fungsi dari katup ini adalah untuk mengarahkan dan menyuplai fluida tersebut ke tangki reservoir.



**Gambar 2.26** Valve pengatur arah aliran (Akers, 2006)

c. Valve pengatur jumlah aliran

Katup pengontrol jumlah aliran adalah sebuah katup yang berfungsi untuk mengatur kapasitas aliran fluida dari pompa ke silinder, jumlah untuk mengatur kecepatan aliran fluida dan kecepatan gerak piston dari silinder. Dari fungsi diatas dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan gerak piston silinder ini tergantung dari berapa fluida yang masuk kedalam ruang silinder di bawah piston tiap satuan waktunya. Ini hanya mampu dilakukan dengan mengatur jumlah aliran fluidanya.

Untuk menentukan daya yang hilang dari katup maka dapat digunakan rumus sebagai berikut (Kogyo, 1986) :

Untuk satuan SI dapat dilihat pada Persamaan 2.26.

$$L = \frac{\Delta P \cdot Q}{60} \quad (2.26)$$

Untuk satuan US dapat dilihat pada Persamaan 2.27.



$$L = \frac{\Delta P \cdot Q}{1714} \quad (2. 27)$$

Dimana :

L = Daya yang hilang dari *valve* (kW atau HP)

$\Delta P$  = Selisih tekanan ( $P_1 - P_2$ ) (Mpa atau Psi)

Q = Kecepatan aliran (L/min atau US GPM)

## 6. Silinder Hidrolik

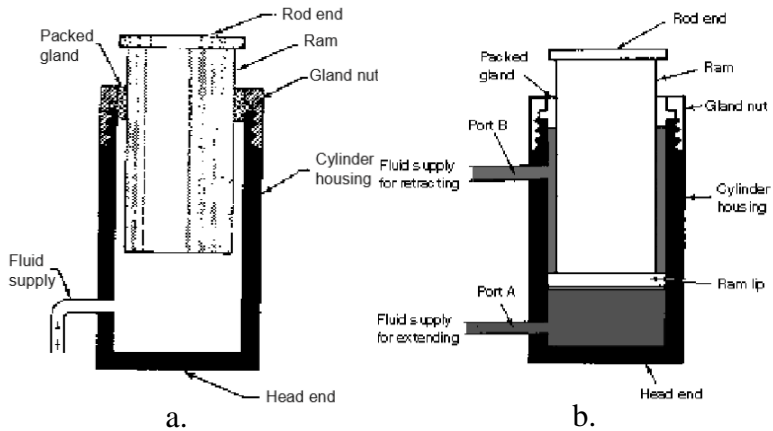
Silinder kerja hidrolik merupakan komponen utama yang berfungsi untuk merubah dan meneruskan daya dari tekanan fluida, dimana fluida akan mendesak piston yang merupakan satu-satunya komponen yang ikut bergerak untuk melakukan gerak translasi yang kemudian gerak ini diteruskan ke bagian mesin melalui batang piston. Menurut konstruksi, silinder kerja hidrolik dibagi menjadi dua macam tipe dalam sistem hidrolik, antara lain :

a. Silinder kerja penggerak tunggal (*single Acting*).

Silinder kerja jenis ini hanya memiliki satu buah ruang fluida kerja didalamnya, yaitu ruang silinder di atas atau di bawah piston. Kondisi ini mengakibatkan silinder kerja hanya bisa melakukan satu buah gerakan, yaitu gerakan tekan. Sedangkan untuk kembali ke posisi semula, ujung batang piston didesak oleh gravitasi atau tenaga dari luar.

b. Silinder kerja penggerak ganda (*double Acting*).

Silinder kerja ini merupakan silinder kerja yang memiliki dua buah ruang fluida didalam silinder yaitu ruang silinder di atas piston dan di bawah piston, hanya saja ruang di atas piston ini lebih kecil bila dibandingkan dengan yang di bawah piston karena sebagian ruangnya tersita oleh batang piston. Dengan konstruksi tersebut silinder kerja memungkinkan untuk dapat melakukan gerakan bolak-balik atau maju-mundur.



**Gambar 2.27** Single dan double acting silinder hidrolik (Akers, 2006)

### 7. Persamaan Dasar dalam Perhitungan Sistem Hidrolik

Tenaga dari motor dan pompa pada kondisi ideal dapat dilihat pada Persamaan 2.28.

$$P = \Delta p Q = T \omega \quad (2.28)$$

Jika kecepatan sama pada seluruh sistem maka menjadi Persamaan 2.29 dan 2.30.

$$Q = D_m \omega \quad (2.29)$$

$$\dot{m} = \rho Q \quad (2.30)$$

Atau Persamaan 2.31.

$$T = D_m \Delta p \quad (2.31)$$

Untuk kondisi tidak ideal, efisiensi motor dan pompa menjadi Persamaan 2.32.

$$\eta_{total} = \eta_{pompa}\eta_{motor} \quad (2.32)$$

Flow rate (Persamaan 2.33).

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (2.33)$$

Gaya yang dihasilkan pada actuator (Persamaan 2.34).

$$F = P_1 A_1 - P_2 A_2 \quad (2.34)$$

Tenaga pada system (Persamaan 3.35).

$$\frac{dW}{dt} = \frac{\dot{m}p_1}{g_c\rho} - \frac{\dot{m}p_2}{g_c\rho} \quad (2.35)$$

Heat loss (Persamaan 2.36).

$$\frac{dQ}{dt} = \eta \frac{dW}{dt} \quad (2.36)$$

Temperature oli (Persamaan 2.37).

$$\frac{dQ_h}{dt} + m\dot{C}_p\theta_1 = m\dot{C}_p\theta_2 \quad (2.37)$$

Dimana:

Q = flow rate

F = gaya

T = torsi

$\omega$  = kecepatan sudut

---

### 2.5.6 Komponen Struktural

Komponen mekanik pada mesin kompaksi hidrolik otomatis merupakan bagian yang bertindak sebagai penopang komponen hidrolik dan elektronik.

Komponen hidrolik terbagi menjadi beberapa komponen yaitu *frame*, *base plate* dan silinder hidrolik. Komponen struktural dapat dilihat pada bagian di bawah ini.

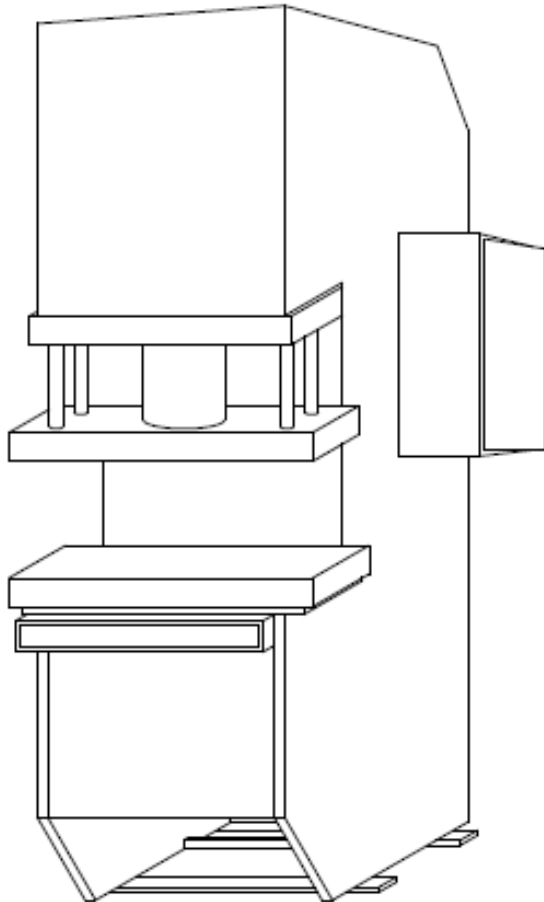
#### 1. Frame

Frame dari mesin hidrolik merupakan bagian paling penting dari mesin kompaksi hidrolik. Frame mentransferkan gaya-gaya yang terjadi selama mesin bekerja. Bagian ini juga menjadi tumpuan stabilitas dan kekuatan mesin selama operasi. Ukuran dan bentuk dari struktur frame harus mampu menahan proses operasi dengan aman dan juga mampu beroperasi dengan aman dan juga mampu menahan tegangan dan deformasi tanpa melebihi batas tertentu. Ada dua jenis *frame* yang digunakan pada mesin kompaksi hidrolik yaitu tipe H dan tipe C.

##### a. Frame Tipe C

Dalam frame jenis ini, bentuk dari rangka mesin membentuk huruf C. Ketika membutuhkan tempat penekanan yang bebas pada ke tiga sisi, desain frame jenis ini dapat digunakan. Jenis penekan ini paling rapuh, rentan terhadap defleksi dan retak dari sudut dalam, jika tidak dirancang dan digunakan benar dibandingkan dengan jenis frame lainnya. Sebagai silinder utama ditempatkan eksentrik ke pusat sumbu badan pers, itu berlaku eksentrik memuat pada tubuh pers karena itu lebih berat badan pers diperlukan

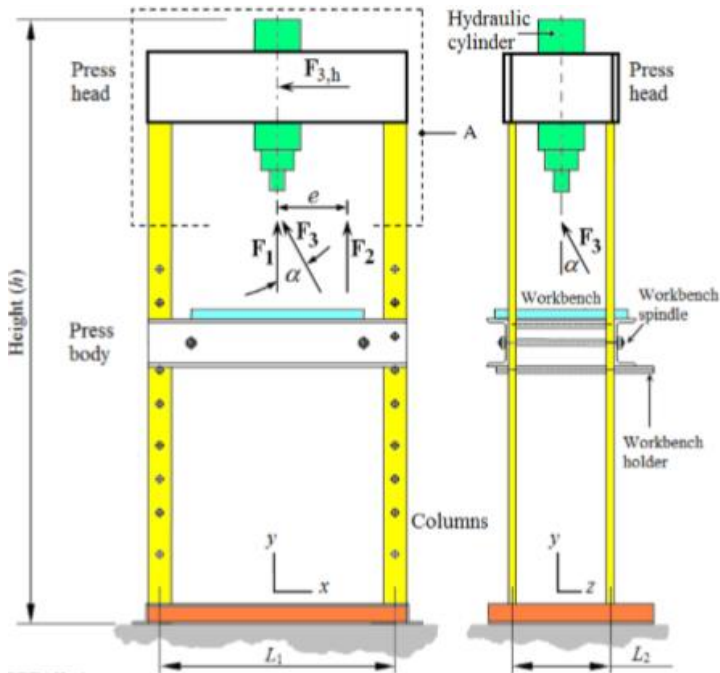
dibandingkan dengan kapasitas yang samadari jenis pers lainnya. Frame tipe C dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.28** Frame tipe C

### b. Frame Tipe H

Frame tipe digunakan ketika mesin hidrolik yang memerlukan keakurat yang tinggi dan selalu menekan beban tetap di poros tengah utama silinder, dan juga tidak ada peluang mengambil beban eksentrik,. Sebagai contoh, Ekstrusi kawat timah dan solder tekan. Dalam jenis bahan pers selalu dimasukkan dalam wadah tetap dan beban diterapkan oleh pendorong terpasang pada Ram. Karenanya beban selalu tetap di pusat sumbu silinder utama. Hidrolik universal mesin uji tarik adalah contoh lain dari jenis mesin pers ini.



**Gambar 2.29** Frame tipe H (More, 2015)

## 2. Desain Silinder Hidrolik

Untuk menentukan kapasitas (volume) silinder digunakan Persamaan 2.38.

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}} \quad (2.38)$$

Untuk menentukan tebal silinder digunakan Persamaan 2.39.

$$t = r \left( \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_t - 2P}} - 1 \right) \quad (2.39)$$

Untuk mengukur diameter luar digunakan Persamaan 2.40.

$$D = d + 2t \quad (2.40)$$

Tebal base plate dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.41.

$$t_{base\ plate} = \frac{6M}{b\delta_f} \quad (2.41)$$

### 2.5.7 Komponen Elektronik

Adapun komponen-komponen elektronik yaitu:

#### 1. Pressure Transmitter

Differential Pressure transmitter adalah salah satu jenis peralatan instrument yang paling banyak digunakan sebagai alat ukur dalam industri, karena memiliki banyak fungsi diantaranya untuk mengukur tekanan positif, untuk mengukur tekanan vakum, untuk mengukur perbedaan tekanan, untuk mengukur ketinggian permukaan isi tangki (Level) dan untuk pengukuran laju alir (flow).

Pada press machine pencetak amunisis pressure transmitter digunakan untuk mengukur besar tekanan aliran oli. Cara kerjanya differential pressure transmitter (transmitter perbedaan tekanan) yaitu mengukur tekanan pada dua titik, membandingkan besarnya kedua tekanan tersebut lalu menghasilkan output. Pada press machine pencetak amunisis digunakan pressure transmitter.

## 2. HMI

HMI ini merupakan display yang langsung terintegrasi dengan controller berupa PLC (Programmable Logic Controller). Merupakan monitor tipe sentuh analog dengan pengaturan tag yang lebih beragam dibandingkan dengan tipe sentuhan matriks. Fungsi logger data dapat mendukung berbagai pengumpulan data dan back-up juga. Dengan koneksi antarmuka berupa Ethernet dan USB Host / Device sehingga memudahkan pengguna.

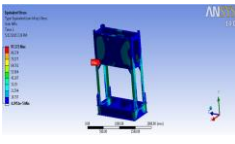
## 3. Relay

Relay merupakan saklar (switch) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen electromechanical (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni : Elektromagnet (coil) dan mekanikal. Relay menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (low power) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.

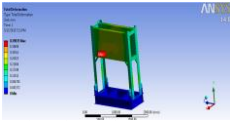
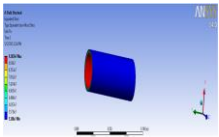
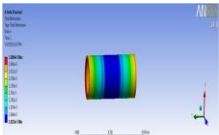
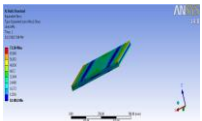
## 2.6 Penelitian Sebelumnya

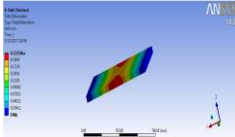
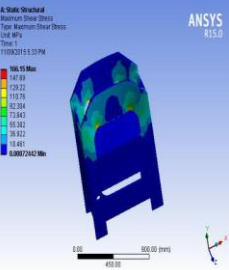
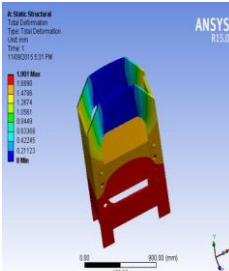
Berikut adalah daftar penelitian sebelumnya untuk menunjang penelitian kali ini,

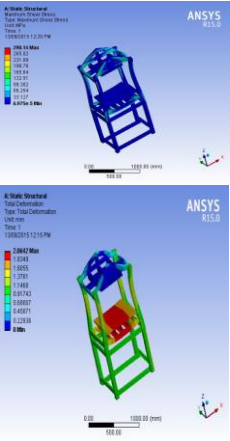
**Tabel 2.8** Penelitian sebelumnya

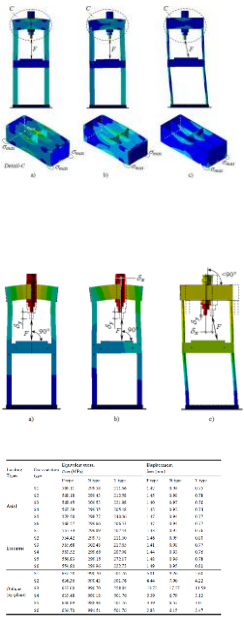
No	Peneliti	Judul	Hasil
1.	Deepak Annasaheb More (2015)	Design, Development and Optimization of Hydraulic Press	



			 <p>Distribusi tegangan maksimal pada rangka: 97.171 MPa Deformasi total pada rangka: 0.39035 mm</p>   <p>Distribusi tegangan pada silinder hidrolis: 92.829 MPa Deformasi total pada silinder hidrolis: 0.03106 mm</p> 
--	--	--	--

			 <p>Distribusi tegangan pada <i>base plate</i>: 73.184 MPa Deformasi total pada <i>base plate</i>: 0.2215 mm</p>
<p>2.</p>	<p>Prof. (Dr.) J.S. BAGI (2016)</p>	<p>Design, Development and Analysis of A 20 Ton Hydraulic Press</p>	<p><b>Desain awal</b></p>  

			<p>Distribusi tegangan maksimal: 166.15MPa Deformasi total: 1.901mm</p> <p><b>Desain baru</b></p>  <p>Distribusi tegangan: 298.14 MPa Deformasi total: 2.0642mm</p>
3.	Malachy Sumaila and Akii Okonigbon	Design and Manufacture of a	-Flange thickness
			$t_f = (6M)/(b\delta_f),$

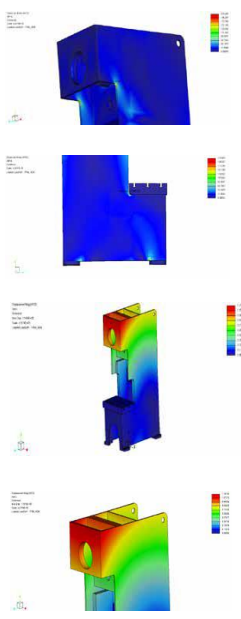
	Akaehomen Ibhadode (2011)	30-ton Hydraulic Press																																																																																																																																																																									
4.	Mehmet Aydin (2013)	Hydraulic press design under different loading conditions using finite element analysis	 <table border="1" data-bbox="677 774 896 933"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No</th> <th rowspan="2">Elemen</th> <th colspan="3">Elemen Atas</th> <th colspan="3">Elemen Bawah</th> </tr> <tr> <th>Elemen</th> <th>Tebal</th> <th>Tinggi</th> <th>Elemen</th> <th>Tebal</th> <th>Tinggi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>200.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>27</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>31</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>100.0</td> <td>200.00</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Rumus desain komponen: -Diameter dalam silinder</p> $d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot P}}$ <p>- Tebal silinder hidrolik</p>	No	Elemen	Elemen Atas			Elemen Bawah			Elemen	Tebal	Tinggi	Elemen	Tebal	Tinggi	11	200.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	12	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	13	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	14	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	15	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	16	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	17	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	18	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	19	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	20	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	21	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	22	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	23	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	24	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	25	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	26	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	27	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	28	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	29	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	30	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	31	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00	32	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00
No	Elemen	Elemen Atas				Elemen Bawah																																																																																																																																																																					
		Elemen	Tebal	Tinggi	Elemen	Tebal	Tinggi																																																																																																																																																																				
11	200.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
12	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
13	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
14	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
15	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
16	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
17	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
18	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
19	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
20	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
21	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
22	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
23	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
24	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
25	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
26	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
27	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
28	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
29	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
30	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
31	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					
32	100.0	200.00	10.00	10.00	1.00	10.00																																																																																																																																																																					

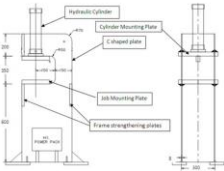
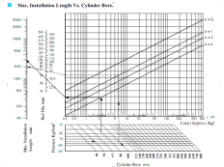
			$S_o = \sqrt{\frac{1.7 \cdot d_i \cdot P \cdot S}{200 \cdot \sigma_y}}$
<p>5.</p>	<p>Tejas Patel (2015)</p>	<p>Design and Development of Hydraulic Press with Die</p>	

---

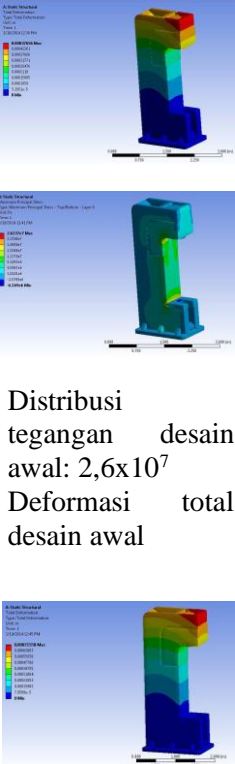
---

--	--	--	--

<p>6.</p>	<p>H. N. Chauhan (2013)</p>	<p>Design &amp; Analysis of Frame of 63 Ton Power Press Machine by Using Finite Element Method</p>	
-----------	---------------------------------	--	---

<p>7.</p>	<p>Nikhil Mahajan (2016)</p>	<p>Design of C- Frame Type Hydraulic Punching Machine</p>	 <p>Rumus perhitungan</p> $\sigma_{permissible} = \frac{F}{A} + \frac{M_b \times Y}{I}$ 
-----------	----------------------------------	---	--

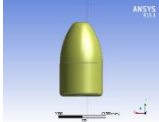
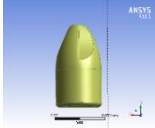


<p>8.</p>	<p>B.PARTHIBAN (2014)</p>	<p>DESIGN AND ANALYSIS OF C TYPE HYDRAULIC PRESS STRUCTURE AND CYLINDER</p>	 <p>Distribusi tegangan desain awal: <math>2,6 \times 10^7</math> Deformasi total desain awal</p>
-----------	-------------------------------	---	--

Penelitian dan pengembangan tentang proyektil *frangible* telah dilakukan sejak 2009 di Laboratorium Fisika Material ITS. Berikut adalah daftar hasil penelitian tersebut yang dapat menunjang penelitian ini:

**Tabel 2.9** Penelitian *frangible*

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Saiful, Dyah Sawitri (2012)	Perancangan Sistem Kompaksi hidrolik manual dengan membuat desain sistem mekanik dan hidrolik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin kompaksi hidrolik manual</li> <li>• Kinerja yang dihasilkan dilihat dari serbuk kayu natrium kalium briket karbon dan kalsium menghasilkan bentuk cukup baik, namun kekuatan yang dihasilkan rendah karena masih rapuh.</li> </ul>
2	Supatmo, Agus D (2012)	Perancangan Sistem Kompaksi hidrolik otomatis dengan menambahkan sensor otomatis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menghasilkan mesin kompaksi dengan sistem otomatis dengan menggunakan mikrokontroller atmega 85355</li> </ul>
3	Anugraha dan Widyastuti (2014)	Komposisi 5, 10, 15%Sn P= 300, 400, 500 MPa T = 260°C h = 30 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densitas 7,19-7,44 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Kekerasan 39-83 HRF</li> <li>• Kekuatan tekan 143,86 – 275,72 MPa</li> </ul>
4	Firmansyah dan Widyastuti (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komposisi Cu-12%Sn</li> <li>• Metode wet mixing T=90°C selama 5 menit</li> <li>• Tekanan kompaksi 600 MPa selama 5 menit</li> <li>• T=200, 300, 400, 500, 600°C</li> <li>• h=30 menit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semakin tinggi temperatur sinter nilai <i>Frangibility Factor</i> makin rendah</li> <li>• Variasi temperatur sintering yang menghasilkan nilai FF paling besar adalah 200°C yaitu sebesar 9,34</li> </ul>
5	Jhony dan Widyastuti	Komposisi Cu-10%Sn P = 600 MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densitas 7,19-7,44 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Kekerasan 21,33 – 60,67 HRF</li> </ul>

		T = 300, 500, 700°C h = 30, 60, 90 menit	• Kekuatan tekan 204,4 – 796,25 MPa
6	Mia, Widyastuti dan Mas Irfan (2017)	Optimasi Parameter eksperimen dengan metode Taguchi & Neural Network desain eksperimen amunisis <i>frangible</i>	Parameter optimum didapatkan pada kombinasi 5%Sn, tekanan kompaksi 200 MPa dan Temperatur sintering 250°C dengan prediksi nilai FF Taguchi 20,40 dan NN nilai FF 20,07
7	Heti, Widyastuti dan Vania Mitha (2018)	Analisa Pengaruh Desain Proyektil terhadap terminal balistik gelatin dengan menggunakan metode elemen hingga	Perbedaan desain pada amunisis menghasilkan efek terminal yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa total penetrasi dan temporary cavity desain amunisis I lebih besar daripada desain amunisis II
		 <p>Desain Amunisis I</p>	
		 <p>Desain Amunisis II</p>	
8	Utomo dan Rahmadiansah (2017)	Rancang bangun sistem kontrol mesin tekan dengan hidrolik dan kalibrasi terhadap sistem control pressure	Rancang bangun sistem kontrol mesin pencetak amunisis dengan prinsip hidrolik secara otomatis dengan nilai akurasi sebesar 98,9997%.

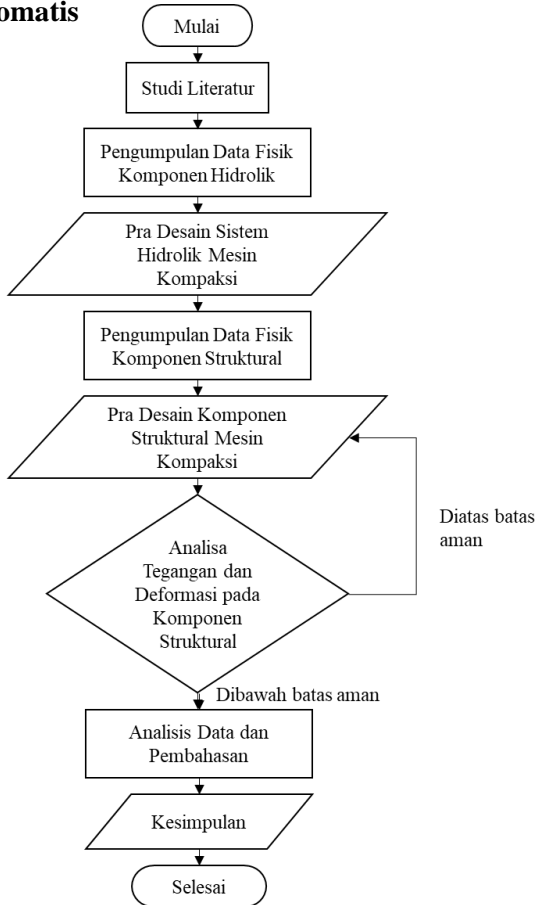
- 
- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 9 | Sulistya, F. F.,<br>Widyastuti, &<br>Pratiwi, V.M.<br>(2019) | <ul style="list-style-type: none"><li>• Desain Proses<br/>Produksi dan<br/>Tata Letak<br/>Pabrik<br/>Proyektil<br/>Frangible<br/>dengan Metode<br/>Metalurgi<br/>Serbuk<br/>Berkapasitas<br/>50.000.000<br/>Butir/Tahun.</li><li>• Metode<br/>pendekatan<br/>simulasi<br/><i>production line</i><br/>dengan<br/><i>Tecnomatix<br/>Plant<br/>Simulation,</i></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Desain proses produksi<br/>proyektil frangible<br/>berkapasitas 50.000.000<br/>butir/tahun</li><li>• Desain tata letak pabrik<br/>proyektil frangible<br/>berkapasitas 50.000.000<br/>butir/tahun</li></ul> |
|---|--|---|---|
-

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

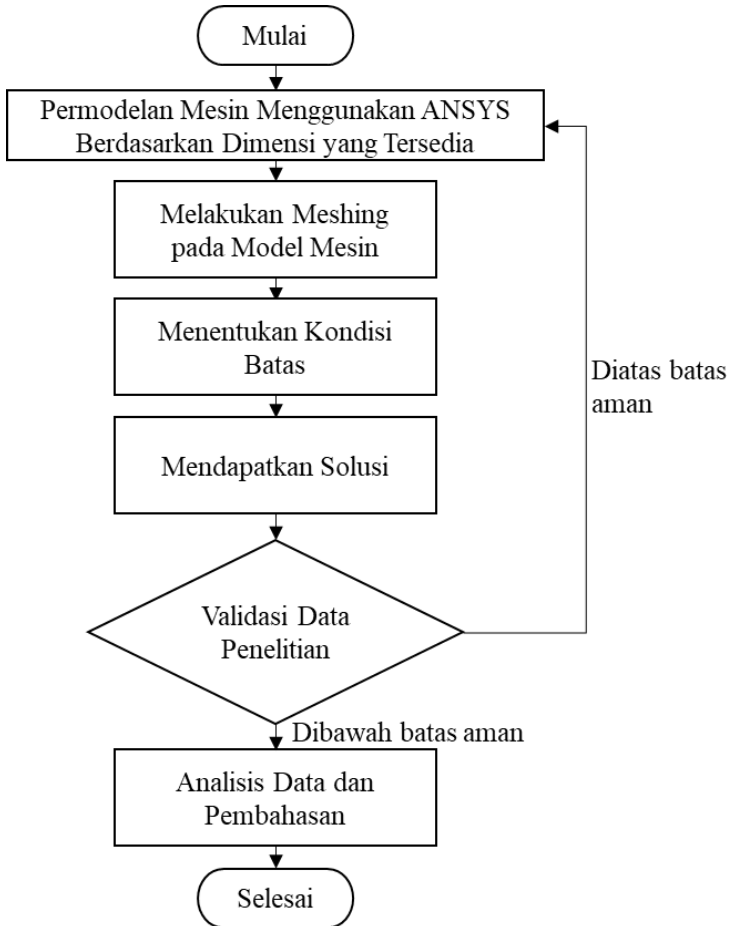
Adapun diagram alir pada penelitian kali ini yaitu:

#### 3.1.1 Diagram Alir Perancangan Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis



**Gambar 3.1** Diagram Alir Perancangan Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

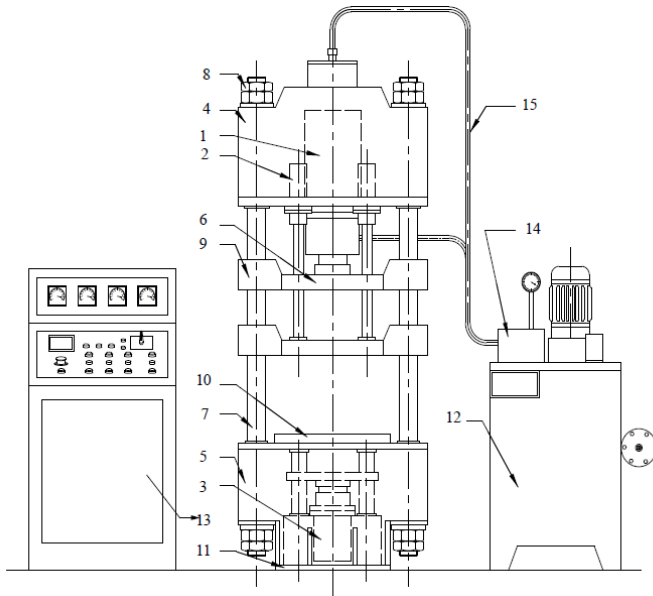
### 3.1.2 Diagram Alir Permodelan Komponen Struktural



**Gambar 3.2** Permodelan Komponen Struktural

### 3.2 Konsep Desain

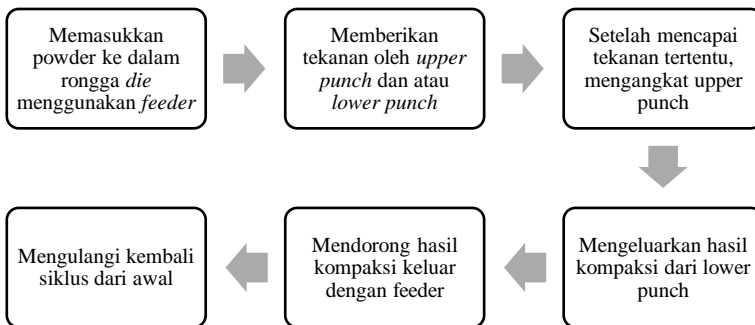
Komponen utama mesin hidrolik otomatis terbagi menjadi tiga yaitu sistem hidrolik, komponen structural dan komponen otomasi. Komponen hidrolik terdiri atas motor (power pack), pompa hidrolik, katup (valve), oli dan pipa. Untuk komponen structural, komponen-komponennya terdiri dari *frame*, *base plate*, dan silinder hidrolik. Komponen otomatis pada mesin ini menggunakan sistem pemrograman menggunakan ladder programming dengan ditunjang penggunaan komponen seperti relay, dan contactor. Rancangan mesin kompaksi hidrolik otomatis dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Desain mesin kompaksi hidrolik otomatis (Hydro-Electric Machinery Premises, 2010)

## Keterangan:

- |   |                |
|---|----------------|
| 1. Silinder utama<br>Guide                | 9. Side        |
| 2. <i>Blank Holding Cylinder</i><br>Table | 10. Press      |
| 3. Silinder ejektor                       | 11. Base Plate |
| 4. Platten atas<br>Pack                   | 12. Power      |
| 5. Platten bawah<br>Panel                 | 13. Control    |
| 6. Platten bebas                          | 14. Pompa      |
| 7. Pilar                                  | 15. Perpipaan  |
| 8. Mur                                    |                |



**Gambar 3.4** Proses kompaksi otomatis (Sulistya, 2019)

### 3.3 Pra Desain Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik merupakan sistem transmisi daya dengan media fluida cair berupa oli. Prinsip dalam rangkaian hidrolik adalah menggunakan fluida kerja berupa zat cair yang dipindahkan



dengan pompa hidrolik untuk menjalankan suatu sistem tertentu (Ranald, 1986).

### 3.3.1 Penentuan Kapasitas Mesin

Untuk menentukan kapasitas mesin yang dibutuhkan dapat menggunakan Persamaan 3.1 (Thummler, 1993) sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan tekanan kompaksi optimal yang telah diteliti sebelumnya oleh Vicko (2014) yaitu sebesar 500 MPa dan dimensi punch yang juga sudah diteliti sebelumnya, akan didapatkan gaya optimal yang dibutuhkan dalam proses kompaksi.

### 3.3.2 Penentuan Tekanan Hidrolik yang Dibutuhkan

Dengan gaya yang didapat dari hasil penentuan kapasitas mesin dan dimensi *bore diameter* dari silinder hidrolik yang didapat dari referensi yang didapat dapat ditentukan tekanan yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya yang dibutuhkan dengan Persamaan 3.2.

$$F_{silinder} = P_{hidrolik} \times A_{silinder} \quad (3.2)$$

### 3.3.3 Penentuan Pompa yang dibutuhkan

Dari hasil perhitungan tekanan hidrolik pada silinder hidrolik, maka dapat ditentukan pompa yang dibutuhkan pada system dengan membandingkan spesifikasi pompa hidrolik pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Perbandingan pompa (Yuken Kogyo CO., LTD., 1995)

Jenis Pompa	Tekanan Operasi Maks (Mpa/Psi)	Perpindahan Maks (cm <sup>3</sup> /rev) (cu in/rev)	Efisiensi Keseluruhan (%)	Kecepatan Poros Maks. (r/min)
Pompa Piston Axial	45 (6527)	1000 (61)	85 - 95	5600
Pompa Piston Radial	70 (10153)	500 (30,5)	80 - 92	2900
Vane Pump	40 (5802)	350 (21,3)	75 - 90	4200
Gear Pump	35 (5076)	500 (30,5)	75 - 90	6000

### 3.3.4 Penentuan Kecepatan Silinder Hidrolik

Dari hasil spesifikasi pompa dapat dihitung kecepatan penekanan dari silinder hidrolik dengan Persamaan 3.3.

$$v = \frac{Q}{A_{\text{silinder}}} \quad (3.3)$$

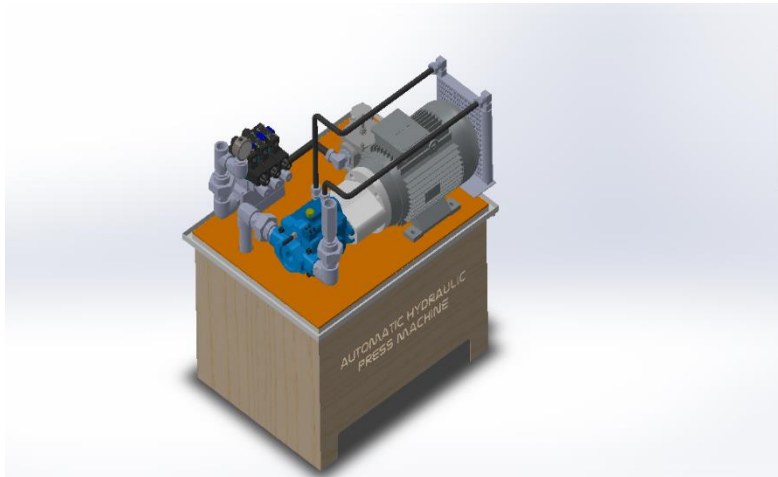
### 3.3.5 Penentuan Power Pack

Dari hasil perhitungan dan data diatas, dapat ditentukan motor dan pompa yang dibutuhkan untuk mednapatkan tekanan yang optimal. Power Pack pada sistem hidrolik terdiri dari kombinasi antara tangki minyak, pompa, motor dan relief valve. Disamping itu hand kontrol valve dan peralatan perlengkapan dipakai sesuai keperluan. Desain power pack dapat dilihat pada Gambar 3.4. Jenis motor yang dipakai pada desain mesin hidrolik ini menggunakan motor induksi tiga fasa. Kelebihan dari motor listrik induksi tiga fasa adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi sederhana dan simple
2. Murah
3. Tidak yang dihasilkan tinggi

4. Efisiensi tinggi
5. menimbulkan percikan api
6. Torsi Tangki oli harus memenuhi kapasitas oli yang dibutuhkan selama proses berjalan. Kapasitas tangki yang dibutuhkan untuk memenuhi proses adalah 5-10 kali dari kapasitas discharge atau flow rate-nya. (Hydro-Electric Machinery Premises, 2010)

Pompa yang digunakan pada sistem hidrolik adalah pompa jenis gigi eksternal. Desain *power pack* dapat dilihat pada Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Desain Power Pack

### 3.3.6 Oli

Oli merupakan fluida yang digunakan pada sistem hidrolisk sebagai penyalur daya. Spesifikasi oli untuk sistem hidrolisk dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Spesifikasi Oli (Hydro-Electic Machinery Premises, 2010)

Fluid type		Typical operating temperature range. (As per ISO)	Bulk modulus (N/m <sup>2</sup> )	Kinematic viscosity at 40°C according to ISO (cSt)
Mineral oil based	Mineral oil(paraffin)	37 to 70° C	1-1.66 ·10 <sup>9</sup>	9 - 165
Fire resistant fluids	HFAE(Oil in water emulsions)	5 to 50° C	2.5·10 <sup>9</sup>	6 - 60
	HFAS(Synthetic aqueous fluids)	5 to 50° C	2.5·10 <sup>9</sup>	6 - 60
	HFB(water in oil / invert emulsions)	5 to 50° C	2.5·10 <sup>9</sup>	41.4-110
	HFC(water polymer solutions/water glycols)	-20 to 50° C	3.5·10 <sup>9</sup>	19.8-74.8
	HFDR(phosphate esters)	-20 to 150° C	2.3-2.8.10 <sup>9</sup>	13.5-110
	HFDU(polyol esters)	-20 to 150° C	2.3-2.8.10 <sup>9</sup>	13.5-110
Environmentally acceptable hydraulic fluids	HETG(natural vegetable oils)	-30 to 75° C	1.85·10 <sup>9</sup>	19.8-74.8
	HEES(synthetic esters)	-25 to115° C	2.3-2.8·10 <sup>9</sup>	19.8-110
	HEPG(polyglycol)	-30 to 90° C	2.3-2.8·10 <sup>9</sup>	19.8-74.8
	HEPR(polyalphaol efin)	-25 to 115° C	1.68·10 <sup>9</sup>	19.8-74.8

Dari referensi bahwa viskositas yang efisien pada system hidrolik adalah pada 10-50 cSt maka dapat ditentukan jenis oli yang sesuai untuk aplikasi ini.

### 3.3.7 Pipa

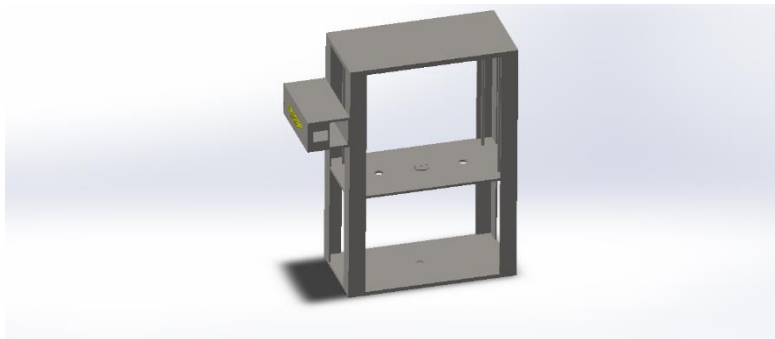
Pipa dalam sitem hidrolik harus menggunakan lekukan yang bertahap. Pipa pada sistem hidrolik harus dibengkokkan sesuai prosedur agar menghindari flattening. Pipa yang digunakan adalah jenis baja karbon JIS G 3445 karena cocok untuk aplikasi pada sistem hidrolik bertekanan tinggi (Kogyo, 1986).

## 3.4 Pra Desain Komponen Struktural

Komponen structural dari mesin kompaksi hidrolik otomatis terdiri dari *frame*, *base plate*, dan silinder hidrolik.

### 1. Frame

Ukuran dan bentuk dari struktur frame harus mampu menahan proses operasi dengan aman dan juga mampu beroperasi dengan aman dan juga mampu menahan tegangan dan deformasi tanpa melebihi batas tertentu. Dalam perancangan mesin kali ini, digunakan rangka mesin dengan tipe-H. Hal ini dikarenakan, rangka tipe ini digunakan ketika diperlukan mesin penekanan dengan keakuratan yang tinggi. Selain itu, rangka tipe H memiliki kelebihan yaitu memiliki ketahanan deformasi yang lebih tinggi daripada rangka tipe-C. (Hydro-Electic Machinery Premises, 2010) Menurut Mehmet (2013), safety factor dari frame mesin hidrolik adalah 3. Desain frame untuk mesin kompaksi hidrolik otomatis dapat dilihat pada Gambar 3.6



**Gambar 3.6** Desain awal rangka

## 2. Silinder Hidrolik

Silinder kerja hidrolik merupakan komponen utama yang berfungsi untuk merubah dan meneruskan daya dari tekanan fluida, dimana fluida akan mendesak piston yang merupakan satusatunya komponen yang ikut bergerak untuk melakukan gerak translasi yang kemudian gerak ini diteruskan ke bagian mesin melalui batang piston. Silinder hidrolik yang digunakan adalah jenis double acting. Untuk mencari dimensi silinder hidrolik digunakan Persmaan 3.4 (More, 2015):

$$t = r \left( \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_t - 2P}} - 1 \right) \quad (3.4)$$

## 3. Base Plate

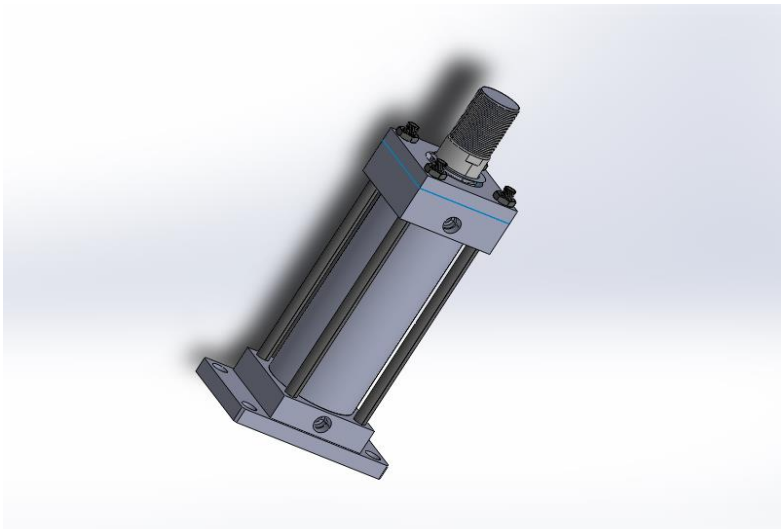
Base plate merupakan tempat *dies* ditempatkan. Untuk mengukur tebal plat yang dibutuhkan digunakan Persamaan 3.5.

$$t_{base\ plate} = \frac{6M}{b\delta_f} \quad (3.5)$$

#### 4. Silinder Hidrolik

Untuk mengukur tebal dan diameter silinder hidrolik dapat digunakan Persamaan 3.6. Desain awal silinder hidrolik dapat dilihat pada Gambar 3.7.

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}} \quad (3.6)$$



**Gambar 3.7** Desain Silinder Hidrolik

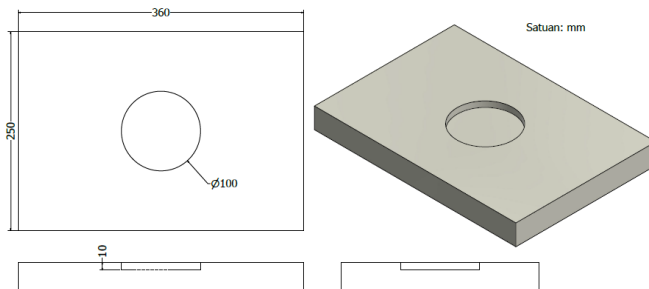
#### 3.5 Simulasi dan Analisa Tegangan pada Komponen Struktural

Simulasi pada rangka, dan base plate dengan menggunakan *Ansys Workbench*. Metode Elemen Hingga atau Finite Element Method (FEM) atau Analisa Elemen Hingga atau Finite Element Analysis (FEA), adalah dasar pemikiran dari suatu bangunan bentuk-bentuk kompleks dengan blok-blok sederhana atau

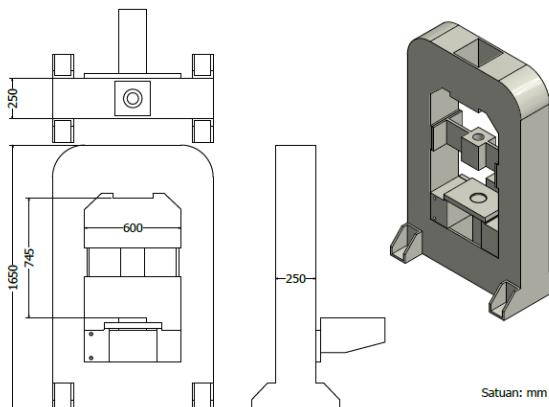
membagi objek yang kompleks kedalam bagian-bagian kecil yang teratur. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui tegangan dan deformasi dari rangka mesin. Setelah proses simulasi, didapatkan data berupa spektrum warna berdasarkan tegangan dan deformasi yang terjadi.

### 3.5.1 Geometri dari Komponen Mesin

Gambar teknik komponen mesin yang akan disimulasi dapat dilihat pada Gambar 3.8; Gambar 3.9; Gambar 3.10; dan Gambar 3.11.

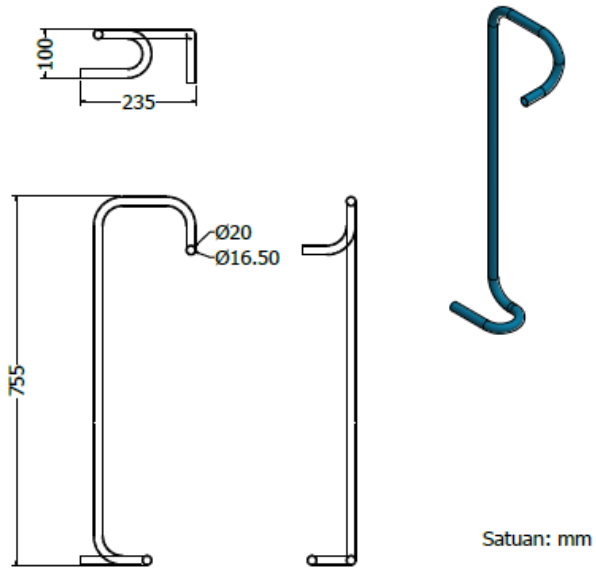


**Gambar 3.8** Gambar teknik *base plate*

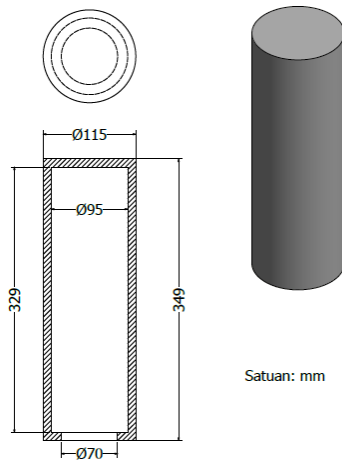


**Gambar 3.9** Gambar teknik rangka





**Gambar 3.10** Gambar teknik pipa hidrolirik



**Gambar 3.11** Gambar teknik silinder hidrolirik

---

Pada proses simulasi kali ini kondisi batas yang digunakan adalah:

1. Tidak ada pengaruh eksternal (panas dll.)
2. Material bersifat isotropic
3. Besar dan arah beban bergantung perhitungan gaya dari silinder hidrolik.
4. Pembebanan pada fatig menggunakan *fully reversed*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Rancangan Dasar

Untuk melakukan perancangan, dibutuhkan data-data dasar dari mesin kompaksi. Data-data yang akan digunakan dan yang ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Tekanan kompaksi : 700 MPa
2. Diameter punch : 8 mm
3. Bore diameter silinder : 95 mm
4. Working pressure pompa : 70 MPa

Working pressure didapatkan dari spesifikasi pompa dan tekanan kompaksi didapatkan dari penelitian sebelumnya. Untuk itu data ini digunakan sebagai dasaran perhitungan. Dari Persamaan 2.4 dapat ditentukan gaya yang dihasilkan maupun gaya yang dibutuhkan dalam proses kompaksi. Gaya maksimal yang dapat dihasilkan oleh mesin ini dapat didapatkan dengan perhitungan berikut ini:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = 70 \text{ MPa} \times \left(\frac{95}{2} \text{ mm}\right)^2 \times \pi$$

$$F = 495923,75 \text{ N}$$

$$F = 49,592375 \text{ ton}$$

Kemudian mencari gaya yang dibutuhkan untuk proses kompaksi dengan tekanan kompaksi sebesar 700 MPa dan jumlah punch sebanyak satu buah. Gaya yang dibutuhkan didapatkan dengan perhitungan dibawah ini:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = 700 \text{ MPa} \times \left(\frac{8}{2} \text{ mm}\right)^2 \times \pi$$

$$F = 35168 \text{ N}$$

Dengan besar gaya dari perhitungan diatas, dapat dihitung tekanan hidrolik yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya tersebut. Perhitungan dari tekanan hidrolik dapat dihitung dengan perhitungan berikut ini:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{35168 \text{ N}}{\left(\frac{95}{2} \text{ mm}\right)^2}$$

$$P = 4,96398892 \text{ MPa}$$

Dengan perhitungan menggunakan rumus yang sama, didapatkan gaya dan tekanan untuk jumlah punch sebanyak tiga dan lima buah. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Gaya dan tekanan hidrolik yang dibutuhkan

Parameter	Jumlah Punch		
	1	3	5
Gaya (N)	35168	105504	175840
Tekanan Hidrolik (MPa)	4,96	14,89	24,82

Dengan tekanan hidrolik diatas dan data di bawah ini, dapat ditentukan kapasitas pompa dan motor yang dibutuhkan. Spesifikasi yang dibutuhkan berdasarkan jurnal pada tekanan rendah (sebelum terjadi proses kompaksi) :

1. Bore diameter silinder : 95 mm
2. Ram speed : 200, 250, atau 300 mm/s

Dengan menggunakan Persamaan 3.3, dapat ditentukan debit yang dibutuhkan agar kecepatan silinder hidrolik memenuhi kriteria diatas.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$Q = v \times A$$

$$Q = 200 \text{ mm/s} \times \left(\frac{95}{2} \text{ mm}\right)^2 \times \pi$$

$$Q = 1416925 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Untuk hasil perhitungan dengan ram speed saat sebelum terjadi proses kompaksi sebesar 250 dan 300 mm/s dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Debit yang dibutuhkan

Data	Speed (mm/s)		
	200	250	300
<b>Flow rate (mm<sup>3</sup>/s)</b>	1416925	1771156,25	2125387,5
<b>Q (L/s)</b>	1,42	1,77	2,13
<b>Q (L/min)</b>	85,02	106,3	127,53
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00142	0,00177	0,00213

Dari data debit diatas, dapat ditentukan daya power pack yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan ram seperti pada Tabel 4.2. Dengan menggunakan Persamaan 3.3, dapat ditentukan daya pompa dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P = \Delta p \times Q$$

$$P = (2 - 0) \text{MPa} \times 0,001416925 \text{ m}^3$$

$$P = 2833,85 \text{ watt}$$

$$P = 2,83 \text{ kW}$$

Untuk daya yang diperlukan untuk ram speed sebesar 250 dan 300 mm/s dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Tenaga pompa pada kecepatan ram

Speed (mm/s)	Power (Watt)	Power (kWh)
<b>200</b>	2833,85	2,83
<b>250</b>	3542,31	3,54
<b>300</b>	4250,78	4,25

Dengan data daya yang dibutuhkan pada Tabel 4.3, maka dapat ditentukan debit pada saat proses kompaksi berlangsung dengan menggunakan Persamaan 3.3. Perhitungan debit saat proses kompaksi berlangsung dapat dilihat pada bagian berikut ini:

$$\text{Power} = \Delta p \times Q$$

$$Q = \frac{\text{Power}}{\Delta p}$$

$$Q = \frac{2833,85 \text{ watt}}{(4,963989 - 2) \text{MPa}}$$

$$Q = 8501,55 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Untuk debit yang dihasilkan selama proses kompaksi dengan daya pompa seperti pada Tabel 4.3 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Debit saat proses kompaksi

Data	Power (kW)		
	2,8	3,5	4,3
Flow rate (mm <sup>3</sup> /s)	8501,55	46050,06	97767,82
Q (L/s)	0,0085	0,046	0,098
Q (L/min)	0,51	2,76	5,87
Q (m <sup>3</sup> /s)	8,50×10 <sup>-6</sup>	4,61×10 <sup>-5</sup>	9,777×10 <sup>-5</sup>

Dari hasil perhitungan debit yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, maka dapat dihitung kecepatan ram saat proses kompaksi berlangsung dengan menggunakan Persmaan 3.3. Perhitungan kecepatan ram dapat dilihat pada bagian berikut ini:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = 8,50155 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{s} \times \left(\frac{95}{2} \text{mm}\right)^2 \times \pi$$

$$v = 1,2 \text{mm/s}$$

Hasil perhitungan untuk daya power pack sebesar 3,5 dan 4,3 kWatt dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Kecepatan ram saat proses kompaksi

Data	Power (kW)		
	2,83	3,5	4,3
Flow rate (mm <sup>3</sup> /s)	8501,55	46050,06	97767,83
v (mm/s)	1,2	6,5	13,8

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat ditentukan spesifikasi pompa dan motor yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan mesin. Spesifikasi yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Spesifikasi pompa yang dibutuhkan

Spesifikasi	Nilai
<b>Daya (kWatt)</b>	2,8 - 4,3
<b>Debit sebelum proses kompaksi (L/s)</b>	85 - 128
<b>Debit saat proses kompaksi (L/s)</b>	0,5 - 5,8
<b>Tekanan kerja (MPa)</b>	5 - 24,5

Dalam pengoperasian mesin kompaksi hidrolik, dibutuhkan oli yang memiliki sifat tahan api (*fire resistance*) untuk menghindari terjadinya kebakaran karena terdapat sumber panas yaitu furnace. Sehingga, dipilih jenis fluida hidrolik dengan tipe HF.

Modulus kompresi dari fluida hidrolik juga sangat berpengaruh terhadap kinerja dari pompa. Untuk itu diperlukan perhitungan modulus kompresi minimal agar system hidrolik dapat bekerja secara efektif. Dengan diasumsikan pengurangan volume maksimal dari fluida hidrolik adalah 6% dari volume total dan tekanan kerja dari pompa adalah 70 MPa, maka dapat dihitung modulus kompresi minimal dengan menggunakan Persamaan 2.18.

$$\beta = \frac{P}{\Delta V/V}$$

$$\beta = \frac{70 \text{ MPa}}{0,06}$$

$$\beta = 1,167 \text{ GPa}$$



Spesifikasi oli yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Spesifikasi fluida hidrolis

Parameter	Spesifikasi
<b>Tipe</b>	HF
<b>Viskositas kinematik</b>	13-860 cSt
<b>Modulus kompresi minimal</b>	1,167 GPa

Dengan tekanan kerja pompa sebesar 70 MPa, diperlukan perhitungan ketebalan pipa minimum agar dapat menahan tekanan fluida tersebut. Dengan baja sebagai materialnya, dapat dihitung ketebalan minimum pipa jika diameter terluar pipa yang digunakan adalah 20 mm maka:

$$Tebal = P_{hidrolis} \frac{D_{luar}}{\sigma_p}$$

$$Tebal = 70 \text{ MPa} \frac{20 \text{ mm}}{200 \text{ MPa}}$$

$$Tebal = 3,5 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan tekanan dan gaya yang dibutuhkan untuk mengkompaksi satu peluru, dapat ditentukan diameter silinder hidrolis yang dibutuhkan dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi \times P}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 35168 \text{ N}}{\pi \times 4,964 \text{ MPa}}}$$

$$d = 94,9758 \text{ mm}$$

$$d \approx 95 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan diameter dalam dari silinder hidrolik yaitu sebesar 95 mm. Dengan diameter dalam yang sudah didapatkan, maka tebal silinder hidrolik yang diperlukan agar dapat menahan tekanan maksimal dari fluida dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$t = r \left( \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_t - 2P}} - 1 \right)$$

$$t = \frac{95 \text{ mm}}{2} \left( \sqrt{\frac{500 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa} - 2 \times 70 \text{ MPa}}} - 1 \right)$$

$$t = 8,48 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dihitung diameter luar silinder hidrolik dengan rumus sebagai berikut:

$$D = d + 2t$$

$$D = 95 \text{ mm} + 2(8,47928) \text{ mm}$$

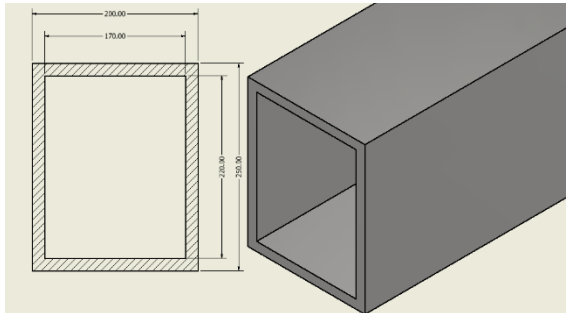
$$D = 111,07 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat didapatkan dimensi silinder hidrolik yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tekanan untuk proses kompaksi. Dimensi silinder hidrolik dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Dimensi silinder hidrolik

Data	Ukuran (mm)
Diameter dalam	95
Tebal	8,5
Diamter luar	111

Dengan hasil perhitungan gaya yang dibutuhkan selama proses kompaksi dan dimensi dari bahan yaitu baja struktural dengan dimensi tertera pada Gambar 4.1 , dapat ditentukan lebar dalam maksimal dari rangka mesin hidrolik. Dengan safety factor sebesar 2,5 dan kekuatan luluh baja diasumsikan 300 MPa, maka didapatkan tegangan yang diperbolehkan atau *permissible stress* pada rangka.



**Gambar 4.1** Dimensi Baja Struktural

$$\sigma_{permissible} = \frac{\sigma_{yield}}{sf}$$

$$\sigma_{permissible} = \frac{300 \text{ MPa}}{2,5}$$

$$\sigma_{permissible} = 120 \text{ MPa}$$

Untuk momen inersia dari baja struktural, dapat dihitung dengan rumus:

$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{b'h'^3}{12}$$

$$I = \frac{200 \times 250^3}{12} - \frac{170 \times 220^3}{12}$$

$$I = 109570000 \text{ mm}^4$$

Dengan *permissible stress* sebesar 120 MPa, dan dimensi *cross section* dari material pada gambar 4. , maka dapat dihitung lebar maksimal rangka.

$$\sigma_{permissible} = \frac{F}{A} + \frac{M_b \times Y}{I}$$

$$120 \text{ MPa} = \frac{175840 \text{ N}}{12600 \text{ mm}^2} + \frac{175840 \text{ N} \times \text{lebar} \times \frac{100 \text{ mm}}{2}}{109570000 \text{ mm}^4}$$

$$\text{Lebar} = 664,38 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan di atas, lebar dalam maksimal dari rangka yang diperbolehkan agar tegangan tidak melebihi *permissible stress* adalah sekitar 664,38 mm. Kemudian, mencari tebal *base plate* yang digunakan untuk menahan beban dari proses kompaksi dengan lebar dan panjang menyesuaikan dimensi baja struktural dan lebar dalam frame.

1. Panjang : 300 mm
2. Lebar : 250 mm
3. *Permissible stress* : 120 MPa

Dengan data diatas dapat dihitung tebal base plate untuk satu punch:

$$\sigma_{permissible} = \frac{3}{4} \times \frac{F \times L}{b \times h^2}$$

$$120 \text{ MPa} = \frac{3}{4} \times \frac{175840 \text{ N} \times 300 \text{ mm}}{250 \text{ mm} \times h^2}$$

$$h = 16,24 \text{ mm}$$

Untuk tebal base plate yang diperlukan pada jumlah punch sebanyak tiga dan lima dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Tebal base plate yang dibutuhkan

Data	Jumlah punch		
	1	2	3
<b>Tebal base plate (mm)</b>	16,24	28,13	36,32

#### 4.1.1 Desain Mesin

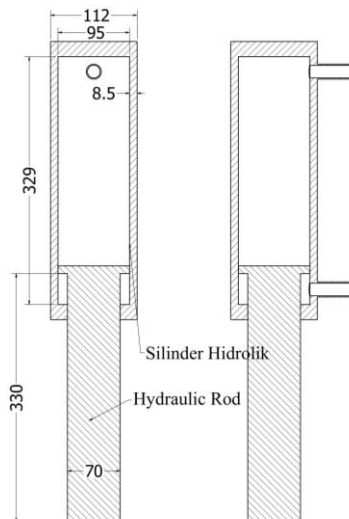
Dari hasil perhitungan, dapat didesain menggunakan dimensi yang telah dihitung dan dimensi yang ditentukan komponen-komponen mesin kompaksi hidrolik otomatis.

Dengan working pressure dari power pack sebesar 70 MPa dan material yang digunakan untuk membuat silinder hidrolik adalah baja karbon, maka didapatkan dimensi silinder hidrolik yang dibutuhkan pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Dimensi komponen silinder hidrolik

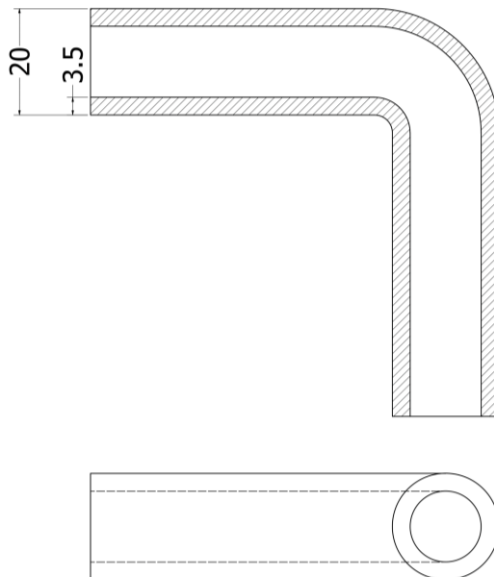
Data	Ukuran (mm)
<b>Diameter dalam</b>	95
<b>Tebal</b>	8,5
<b>Diamter luar</b>	112
<b>Tinggi silinder</b>	329
<b>Panjang rod</b>	329
<b>Diameter rod</b>	70

Tinggi dari silinder hidrolik disesuaikan dengan perpindahan rod yang dibutuhkan dalam proses kompaksi. Dalam mesin ini dibutuhkan tiga buah silinder hidrolik yaitu silinder hidrolik atas, bawah dan samping. Silinder hidrolik atas merupakan bagian terpenting karena gaya berasal dari silinder hidrolik atas. Silinder hidrolik bagian bawah dan samping digunakan untuk proses ejeksi dan loading serbuk kedalam cetakan sehingga tidak diperlukan banyak gaya dalam dua buah silinder ini. Desain dan gambar teknik silinder hidrolik dapat dilihat pada Gambar 4.2.



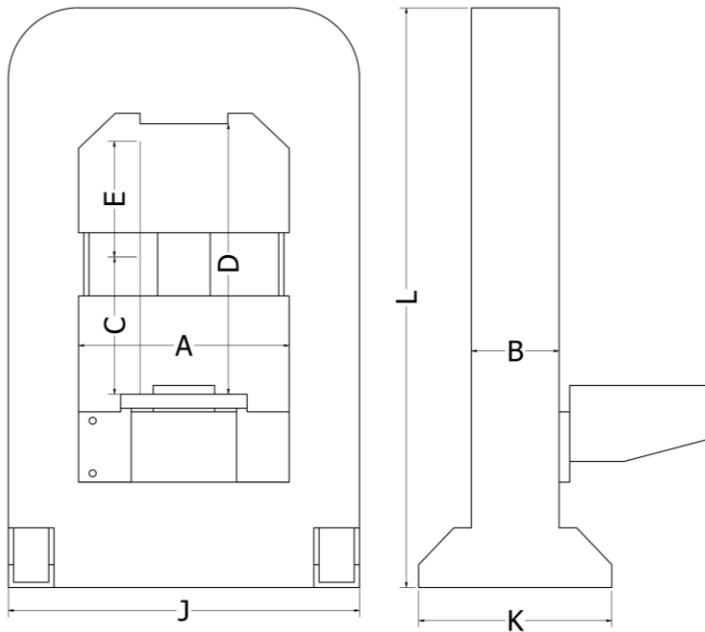
**Gambar 4.2** Desain Silinder Hidrolik

Silinder hidrolik membutuhkan suplai oli dari power pack yang disalurkan melalui pipa. Pemasangan pipa disesuaikan dengan penempatan silinder hidrolik, valve dan juga power pack. Untuk dapat menahan tekanan kerja dari pompa, dibutuhkan tebal minimum sebesar 3,5 mm. Untuk mengetahui bagaimana perilaku pipa jika diberikan tekanan sebesar 70 MPa maka dilakukan simulasi mekanik menggunakan *software Ansys Workbench Mechanical APDL* dengan kondisi yang ditetapkan yaitu material silinder hidrolik adalah baja struktural, kemudian menetapkan tumpuan yaitu pada sisi ujung pipa. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa tegangan tertinggi yang ada pada pipa adalah 215,58 MPa dan deformasi terbesar sebesar 0,1508 mm. Hasil simulasi dan desain tebal pipa dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Desain Ketebalan Pipa

Dari data hasil perhitungan lebar frame yang dibutuhkan, maka dapat ditentukan dimensi dari rangka mesin kompaksi. Penentuan dimensi mesin kompaksi didasari dengan kebutuhan mesin maka didapat dimensi *frame* yang dibutuhkan. Desain (Gambar 4.5) dan dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.11.

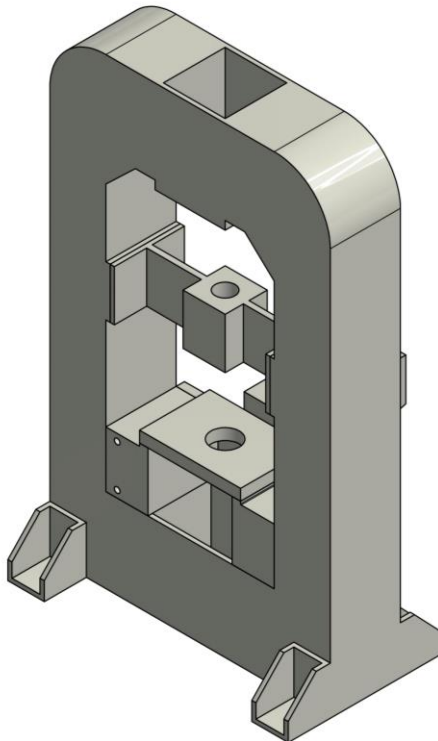


**Gambar 4.4** Gambar teknik dari rangka



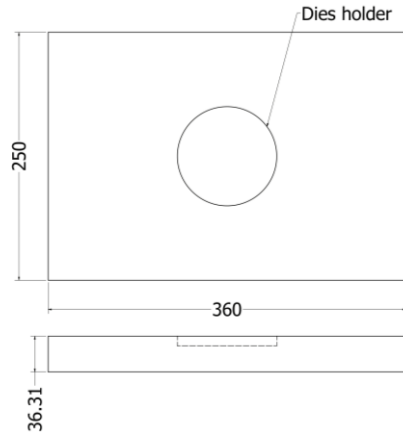
**Tabel 4.11** Dimensi Rangka

Huruf	Data	Dimensi (mm)
A	Lebar dalam	600
B	Tebal rangka tampak samping	250
C	Panjang <i>arm</i> dan <i>punch</i>	391
D	Tinggi dalam rangka	770
E	Perpindahan maksimal silinder	329
J	Lebar luar rangka	1000
K	Lebar support bagian bawah	550
L	Tinggi luar rangka	1650

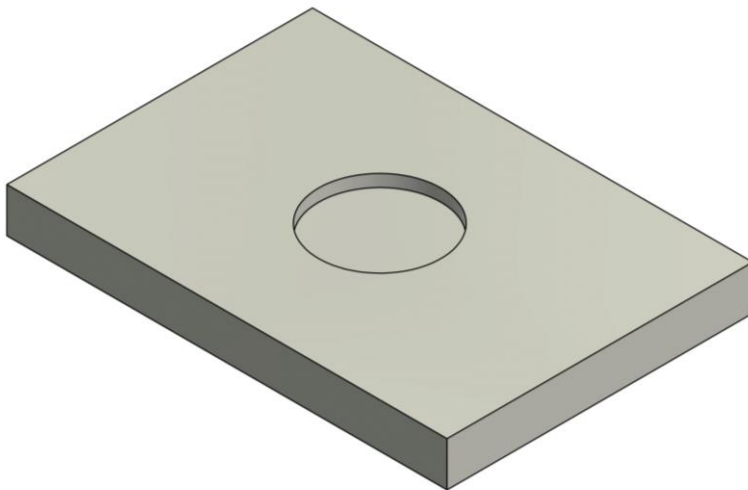


**Gambar 4.5** Desain 3D dari rangka

Dari hasil perhitungan, didapatkan tebal base plate yang dibutuhkan untuk menahan beban sebesar 175840 N adalah 36,31 mm. Desain dari base plate dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



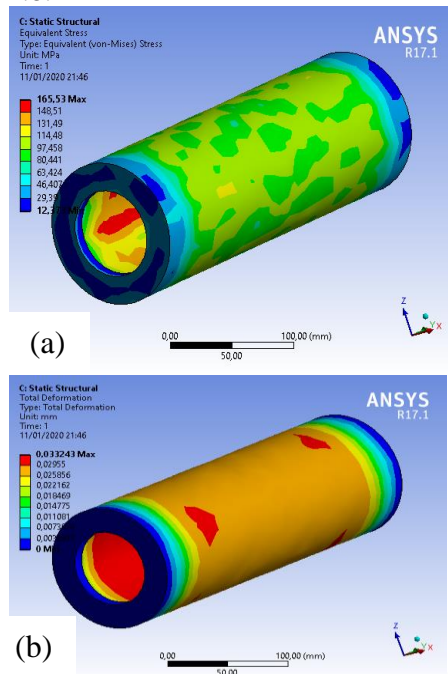
**Gambar 4.6** Gambar teknik dari base plate



**Gambar 4.7** Desain 3D base plate

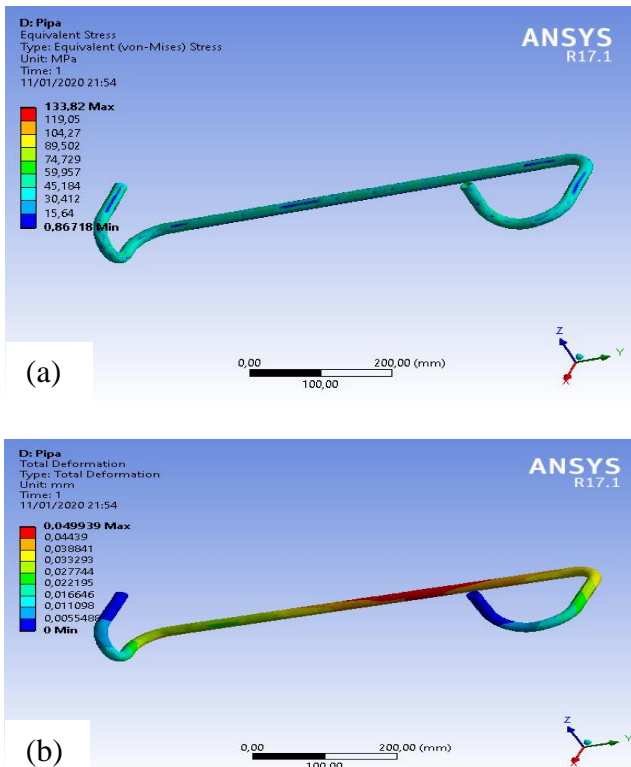
## 4.2 Validasi Desain Menggunakan Software ANSYS

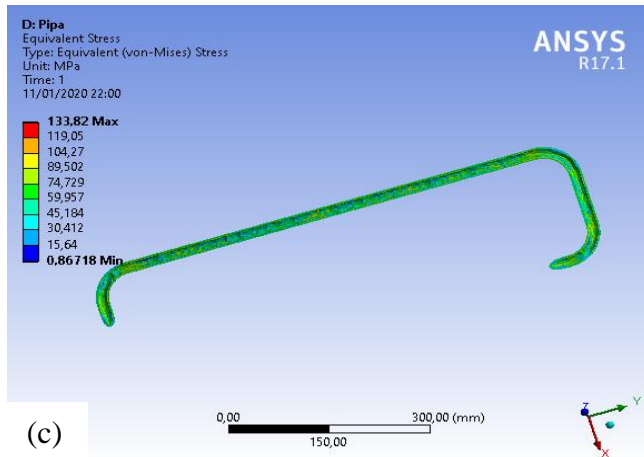
Setelah dilakukan desain dari silinder hidrolik, maka untuk mengetahui bagaimana perilaku silinder hidrolik jika diberikan tekanan sebesar 25 MPa maka dilakukan simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench Mechanical APDL dengan kondisi yang ditetapkan yaitu material silinder hidrolik adalah baja struktural, kemudian menetapkan tumpuan yaitu pada sisi atas dan bawah silinder hidrolik didapatkan hasil bahwa deformasi terbesar yang terjadi sebesar 0,033243 mm dan tegangan tertinggi sebesar 165,53 MPa. Dengan safety sebesar 2,5 desain silinder hidrolik ini dianggap aman. Hasil permodelan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Hasil simulasi (a) Distribusi tegangan (b) Deformasi total

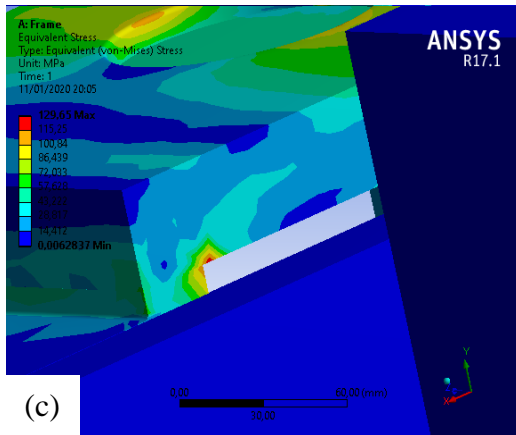
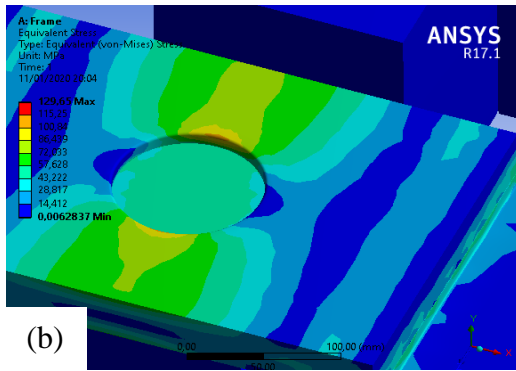
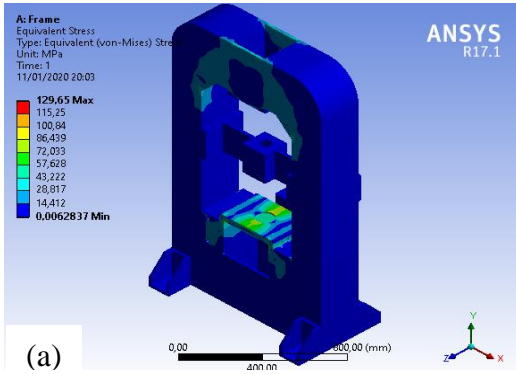
Setelah dilakukan desain dari pipa, maka untuk mengetahui bagaimana perilaku pipa hidrolik jika diberikan tekanan sebesar 25 MPa maka dilakukan simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench Mechanical APDL dengan kondisi yang ditetapkan yaitu material silinder hidrolik adalah baja struktural, kemudian menetapkan tumpuan yaitu pada sisi outlet dan inlet pipa didapatkan hasil bahwa deformasi terbesar yang terjadi sebesar 0,0035169 mm dan tegangan tertinggi sebesar 139,53 MPa. Dengan safety sebesar 2,5 desain silinder hidrolik ini dianggap aman. Hasil permodelan dapat dilihat pada Gambar 4.9.

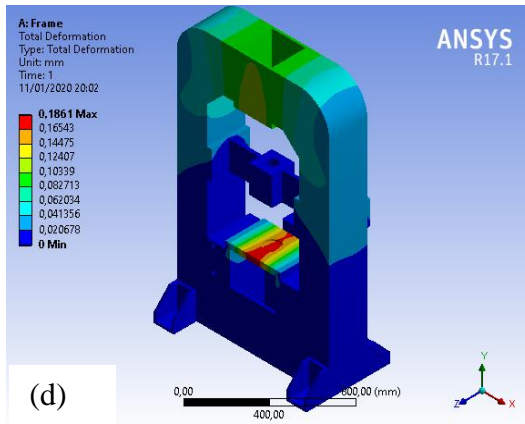




**Gambar 4.9** Hasil simulasi pipa (a) distribusi tegangan (b) distribusi tegangan di dalam pipa (c) deformasi total

Rangka merupakan komponen utama yang berfungsi menahan beban saat proses kompaksi. Untuk mengetahui bagaimana perilaku rangka jika diberikan beban sebesar 175840 N maka dilakukan simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench Mechanical APDL dengan kondisi yang ditetapkan yaitu material rangka adalah baja struktural, kemudian menetapkan tumpuan yaitu pada dasar rangka. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa tegangan tertinggi yang ada pada pipa adalah 129,65 MPa dan deformasi terbesar sebesar 0,1861 mm. Hasil simulasi dan desain tebal pipa dapat dilihat pada Gambar 4.10.

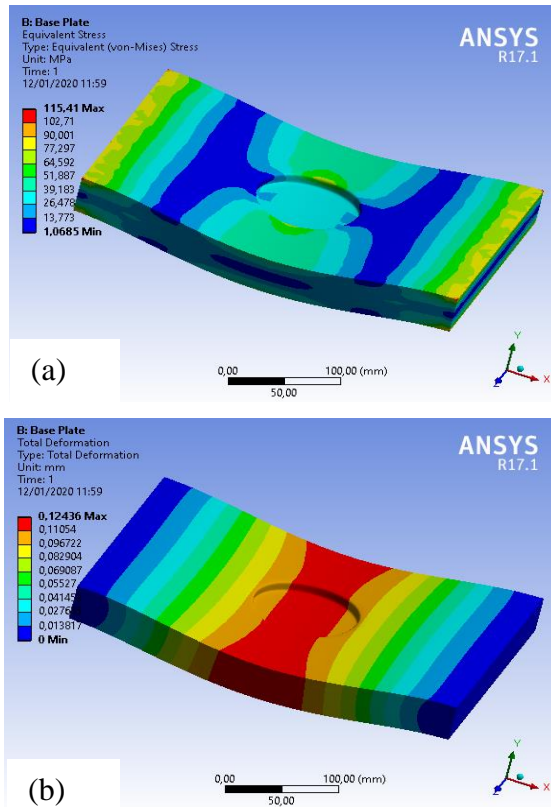




**Gambar 4.10** Hasil simulasi dari rangka (a) distribusi tegangan (b) distribusi tegangan pada plat rangka (c) tegangan tertinggi pada rangka (d) deformasi total

Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa desain rangka bisa dianggap aman. Hal ini dikarenakan tegangan maksimal yang dialami rangka masih dibawah permissile stress dengan safety factor sebesar 2,5. Tegangan tertinggi yang dialami oleh rangka terdapat di bagian sudut plat. Hal ini dapat dihindari dengan memberi jari-jari fillet pada plat supaya tidak terjadi konsentrasi tegangan. Dapat dilihat pula bahwa tinggi dari rangka tidak mempengaruhi distribusi tegangan pada kolom rangka.

Untuk mengetahui bagaimana perilaku base plate jika diberikan beban sebesar 175840 N maka dilakukan simulasi mekanik menggunakan software Ansys Workbench Mechanical APDL dengan kondisi yang ditetapkan yaitu material rangka adalah baja struktural dan tumpuan berada pada sisi samping base plate. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11** (a) Distribusi tegangan (b) Deformasi total dari base plate

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa *base plate* dengan ketebalan 36 mm aman digunakan. Tegangan maksimal yang dialami plat ini hanya sebesar 115,41 MPa dengan deformasi terbesar sebesar 0,12436 mm.

*Permissible stress* digunakan sebagai acuan dari validasi dimensi. Jika distribusi tegangan saat simulasi tidak melebihi



tegangan yang diperbolehkan. Dari hasil simulasi diatas kevalidan desain dari komponen mesin dapat diliat pada Tabel 4.12.

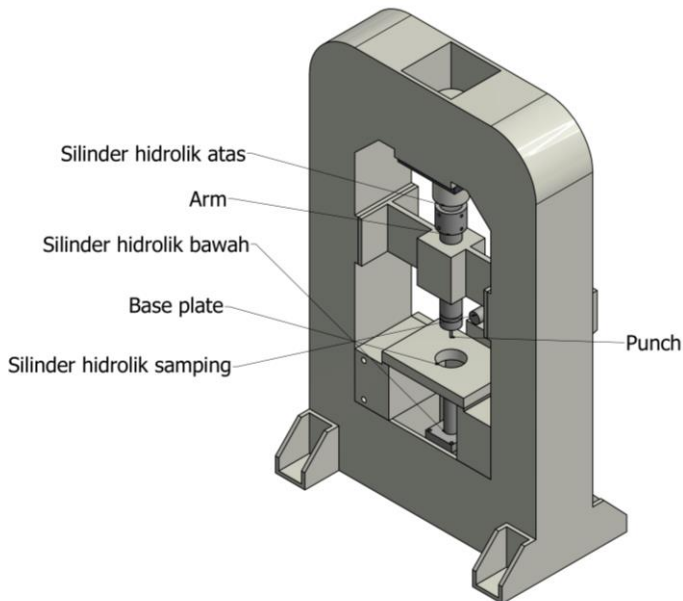
**Tabel 4.12** Tabel validasi komponen

<b>Komponen</b>	<b>Tegangan yang Diperbolehkan (MPa)</b>	<b>Tegangan Maksimal saat Simulasi (MPa)</b>	<b>Valdiasi</b>
<b>Pipa</b>	200	133,82	Valid
<b>Silinder Hidrolik</b>	200	139,53	Valid
<b>Rangka</b>	200	129,65	Valid
<b>Base Plate</b>	200	115,41	Valid

Dari Tabel 4.12, dapat dilihat distribusi tegangan dari rangka dan base plate masih dibawah tegangan yang diperbolehkan saat mesin dioperasikan. Tegangan maskimal yang dialami rangka sebesar 129,65 MPa dan *base plate* sebesar 115,41 MPa. Tegangan maksimal yang dialami komponen tersebut masih berada dibawah tegangan yang diperbolehkan, sehingga aman digunakan untuk pengoperasian mesin kompaksi dengan gaya sebesar 175800 N yang digunakan untuk mengkompaksi lima buah peluru. Untuk pipa, tegangan maksimal yang dialami oleh pipa dan silinder hidrolik akibat dari tekanan fluida yang berasal dari pompa sebear 25 MPa berada dibawah tegangan yang diperbolehkan yaitu sebesar 139,53 dan 133,82 MPa. Tegangan yang dialami pipa dan silinder hidrolik lebih kecil dari *permissible stress* sehingga penggunaan pipa hidrolik dengan material baja struktural untuk tekanan fluida sebesar 25 MPa aman.

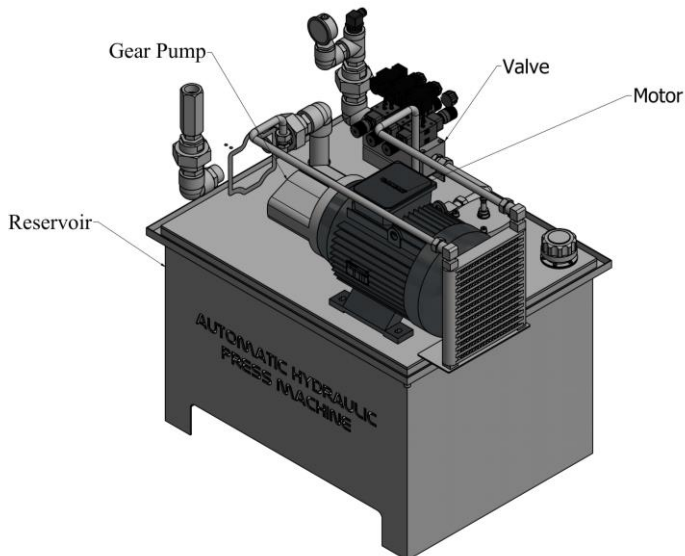
### 4.3 *Assembly Mesin Kompaksi*

Setelah perhitungan dimensi dan simulasi, maka dilakukan *assembly* dari komponen-komponen mesin yang sudah didesain. Dibutuhkan tiga buah silinder hidrolik yaitu silinder hidrolik atas, bawah dan tengah. Fungsi dari silinder hidrolik atas adalah sebagai penekan utama selama proses kompaksi. Pada silinder hidrolik atas, diperlukan perpanjangan lengan (*arm*) agar silinder hidrolik mampu menekan serbuk yang ada pada cetakan. Dengan ditambahkan perpanjangan lengan atau *arm* ini, diperlukan penyetabil punch agar pergerakannya lurus dan dapat dengan tepat masuk ke dalam lubang cetakan. Silinder hidrolik bagian bawah berfungsi sebagai ejektor peluru setelah proses kompaksi. Dan ejektor samping berfungsi sebagai feeding material serbuk ke dalam cetakan. *Assembly* dari mesin kompaksi dapat dilihat pada Gambar 4.12 .



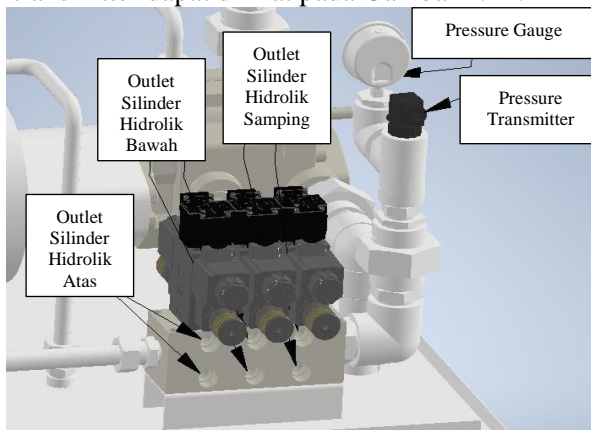
**Gambar 4.12** Assembly silinder hidrolik dengan rangka

Silinder hidrolik memerlukan suplai fluida hidrolik yang berasal dari tangka (reservoir). Untuk dapat menggerakkan fluida digunakan pompa yang mampu memberikan tekanan yang tinggi agar dapat memenuhi kebutuhan tekanan fluida pada silinder hidrolik. Untuk itu, pompa jenis positive displacement dengan tipe gear pump digunakan sebagai penggerak fluida karena mampu memberikan tekanan fluida yang diinginkan. Gear pump merupakan pompa yang memiliki konstruksi yang sederhana dan murah namun mampu memberikan tekanan fluida yang tinggi secara kontinyu. Gear pump juga dapat memberikan discharge oli sebesar 75,3 L/min pada kecepatan 1500 rpm. Untuk dapat menggerakkan pompa, digunakan motor listrik induksi tiga fasa. Motor listrik jenis ini dipilih karena konstruksi yang sederhana dan efisiensi yang tinggi. Desain *assembly power pack* dapat dilihat pada Gambar 4.13.



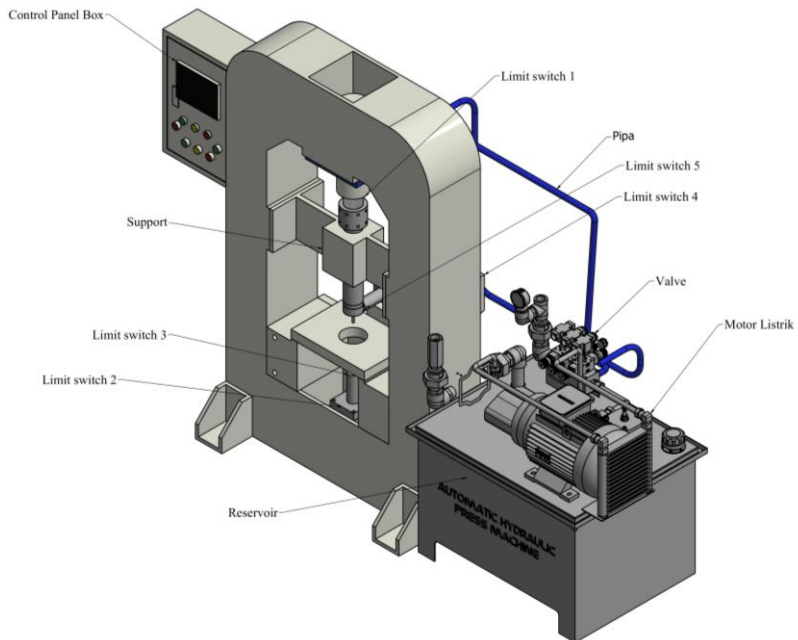
**Gambar 4.13** Assembly power pack

Untuk dapat digunakan secara otomatis, valve yang digunakan adalah valve jenis solenoid. Valve jenis solenoid dapat bekerja secara otomatis karena menggunakan prinsip elektromagnetik yang mana dapat diatur menggunakan HMI. Pada system kali ini, valve yang digunakan berjenis valve dua jalur (two ways). Valve dua jalur digunakan karena silinder hidrolik yang digunakan berjenis double acting. Dengan jumlah silinder hidrolik sebanyak tiga buah, maka dibutuhkan tiga slot valve solenoid. Untuk valve yang disambungkan ke silinder hidrolik atas, digunakan konektor pipa dengan ketebalan minimal 3,5 mm. Untuk konektor pada silinder hidrolik bawah, digunakan selang hidrolik atau *hose*. Silinder hidrolik atas memerlukan material yang mampu menahan tekanan yang lebih tinggi karena silinder bagian ini yang menjadi penekan utama sehingga memiliki tekanan fluida tertinggi dibanding silinder hidrolik yang lain. Silinder hidrolik tengah dan samping hanya digunakan untuk proses ejeksi dan feeding material sehingga tidak memerlukan tekanan fluida dan gaya yang besar. Pada rangkaian valve juga dipasang pressure transmitter yang dihubungkan langsung dengan HMI sehingga penekanan pada silinder hidrolik atas dapat berhenti setelah mencapai tekanan yang sudah ditentukan. Pemasangan valve dan pressure transmitter dapat dilihat pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Assembly Valve Solenoid

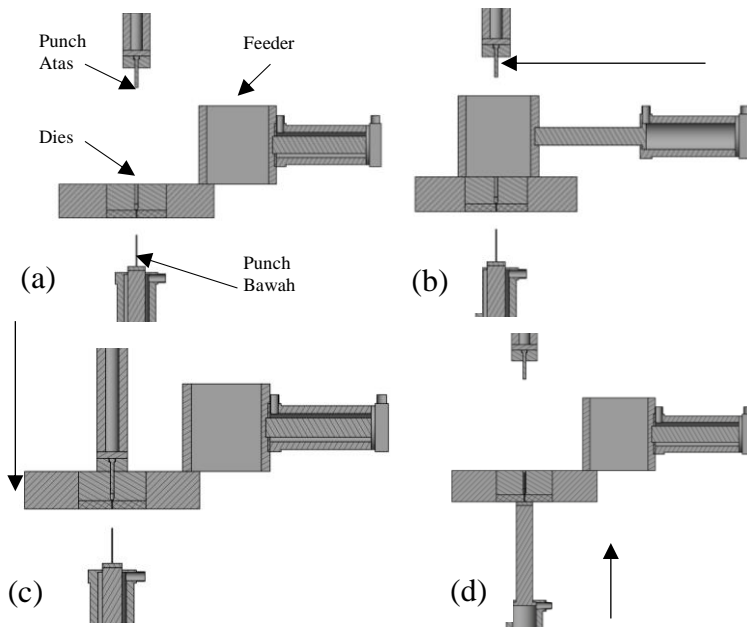
Untuk dapat dioperasikan secara otomatis, digunakan pressure transmitter dan limit switch yang dihubungkan ke HMI. Pressure transmitter dipasang pada rangkaian hidrolis untuk membaca tekanan hidrolis selama proses kompaksi. Limit switch digunakan untuk membatasi pergerakan silinder hidrolis. Ketika ram dari silinder hidrolis telah menyentuh (men-*trigger*) limit switch, secara otomatis valve akan tertutup dan beralih pada proses selanjutnya. HMI yang dipasang pada panel control digunakan untuk men-*setting* kondisi operasi yang diinginkan. *Assembly* keseluruhan dari mesin kompaksi hidrolis otomatis dan penempatan limit switch dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Assembly total mesin kompaksi

#### 4.4 Mekanisme Kompaksi

Setelah semua bagian mesin kompaksi idrolik otomatis terpasang, kemudian merancang proses yaitu tahapan pada mesin mulai dari material serbuk hingga menjadi peluru yang siap disintering. Proses pertama adalah silinder hidrolik samping menggerakkan *feeder* hingga menyentuh limit switch 5. Kemudian silinder hidrolik atas menggerakkan punch atas untuk melakukan proses kompaksi hingga tekanan yang telah ditentukan pada pressure transmitter. Setelah itu, silinder hidrolik bawah melakukan proses ejsksi dengan menggerakkan punch bawah ke atas hingga limit switch 3. Proses secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 4.16.



**Gambar 4.16** Mekanisme kompaksi : (a) Kondisi normal (b) Proses *feeding* (c) Proses kompaksi (d) Proses ejsksi

#### 4.5 Kecepatan Produksi

Dengan data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya yaitu dwelling time selama lima menit dan kecepatan silinder hidrolik yang diperoleh dari perhitungan, maka dapat ditentukan kecepatan produksi dari mesin kompaksi ini. Dengan menjumlahkan waktu yang dibutuhkan silinder hidrolik melakukan satu siklus kompaksi didapatkan total waktu produksi. Data-data untuk perhitungan kecepatan produksi dapat dilihat pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Tabel data perhitungan kecepatan

Data	Nilai
Kecepatan ram ( $v$ )	200 mm/s
Perpindahan ram atas ( $s_1$ )	328 mm
Perpindahan ram samping dan bawah ( $s_2$ )	265 mm
Dwelling time	300 detik

$$t_{total} = \left(2 \times \frac{s_1}{v}\right) + \left(4 \times \frac{s_2}{v}\right) + t_{dwelling}$$

$$t_{total} = \left(2 \times \frac{328 \text{ mm}}{200 \text{ m/s}}\right) + \left(4 \times \frac{265}{200 \text{ m/s}}\right) + 300 \text{ s}$$

$$t_{total} = 308,58 \text{ detik}$$

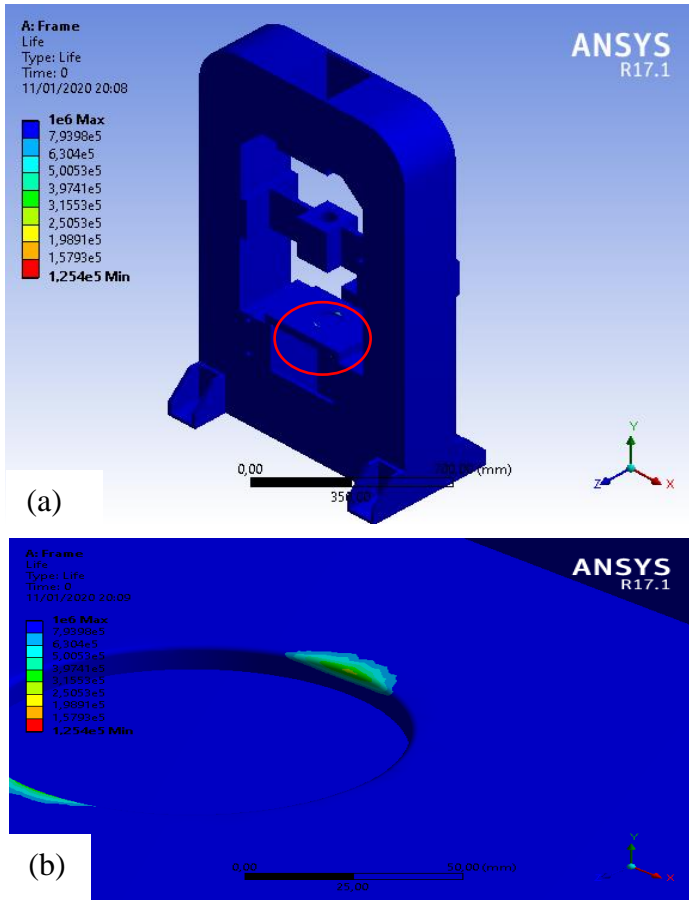
$$t_{total} = 5,143 \text{ menit}$$

Untuk melakukan satu kali siklus kompaksi untuk membentuk serbuk menjadi peluru dibutuhkan waktu selama 5,143 menit atau 308,58 detik.

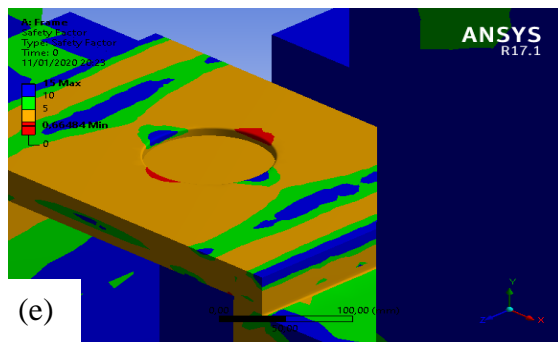
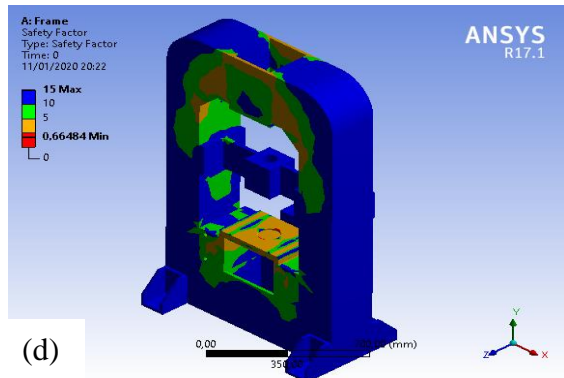
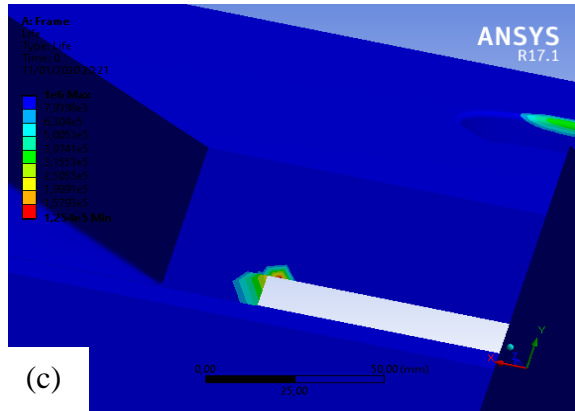
#### 4.6 Menentukan *Lifetime* Komponen Mesin dengan Ansys

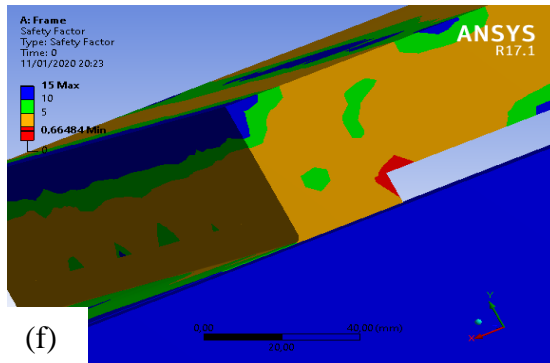
Dengan menggunakan *fatigue tool* pada *Ansys Workbench*, dapat ditentukan *lifetime* dari komponen mesin menggunakan beban dan parameter sama seperti simulasi tegangan dan deformasi.

Rangka mesin diberi pembebanan sebesar 175840 N yang diaplikasikan secara siklik dan material yang digunakan adalah baja struktural. Dengan data diatas, didapatkan *cycle* maksimal yang dapat ditanggung oleh rangka. Hasil simulasi dengan menggunakan *fatigue tool* pada *Ansys* dapat dilihat pada Gambar 4.17.





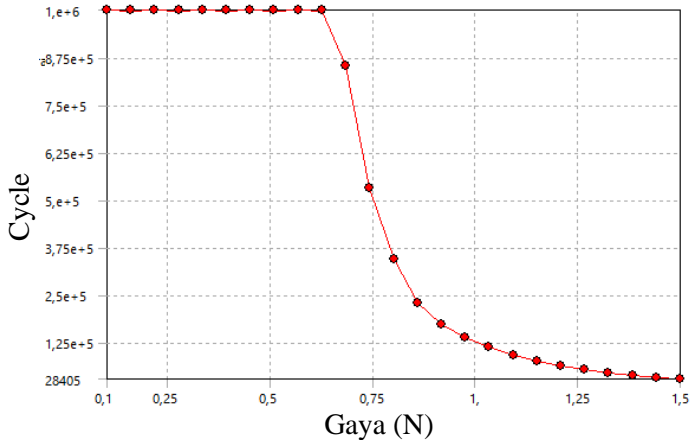




(f)

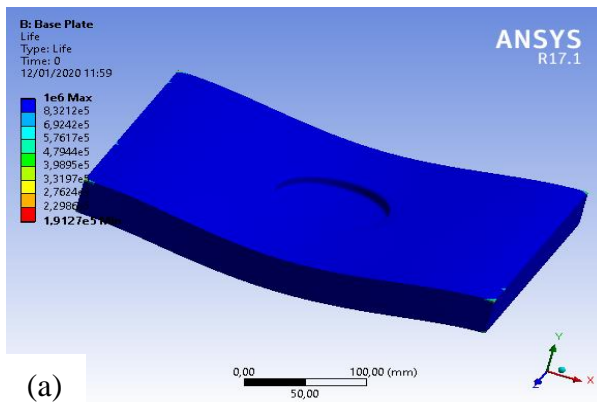
**Gambar 4.17** Hasil simulasi fatig (a) *lifecycle* rangka (b) perbesaran gambar *lifecycle* (c) perbesaran gambar *lifecycle* (d) tingkat keamanan (e) perbesaran gambar tingkat keamanan (f) perbesaran gambar

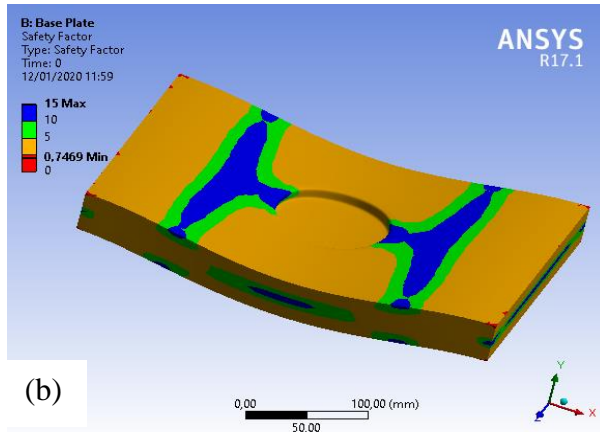
Dari hasil simulasi didapatkan siklus maksimal yang dapat ditanggung adalah sebesar  $10^6$  siklus. Pada gambar yang dilingkari merah, terdapat bagian dari rangka yang rawan terjadi kegagalan. Hal ini ditunjukkan *safety factor* yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 c memiliki nilai dibawah 1 yaitu sebesar 0,66484. Dari Gambar 4.17 c dapat dilihat bahwa persebaran *safety factor* lebih besar daripada 1 sehingga mesin mampu menanggung beban siklik selama proses kompaksi. Namun, terdapat daerah yang memiliki *safety factor* kurang dari 1 yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 b. Sehingga bagian tersebut dapat terlebih dahulu mengalami kegagalan. Ketika rangka mesin hidrolik diaplikasikan gaya sebesar 175840 N dan material dari rangka adalah baja struktural, maka kegagalan fatig akan terjadi ketika sudah mencapai siklus ke  $1,254 \times 10^5$  siklus. Hal ini ditunjukkan pada kurva *fatigue sensitivity* dari mesin kompaksi di Gambar 4.18. Saat rangka mesin dibebankan setengah dari gaya tersebut, maka siklus mesin akan lebih tinggi yaitu sebesar  $10^6$  siklus.



**Gambar 4.18** Kurva *fatigue sensitivity* rangka mesin

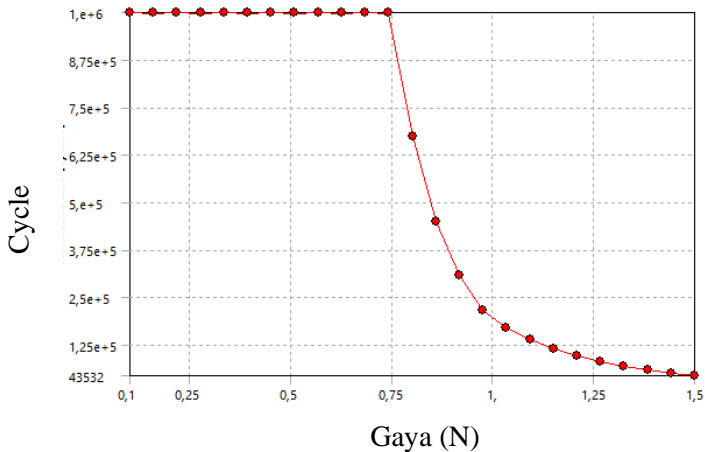
*Base plate* diberi pembebanan sebesar 175840 N yang diaplikasikan secara siklik dan material yang digunakan adalah baja struktural. Dengan data diatas, didapatkan *cycle* maksimal yang dapat ditanggung oleh *base plate*. Hasil simulasi dengan menggunakan *fatigue tool* pada *Ansys* dapat dilihat pada Gambar 4.19.





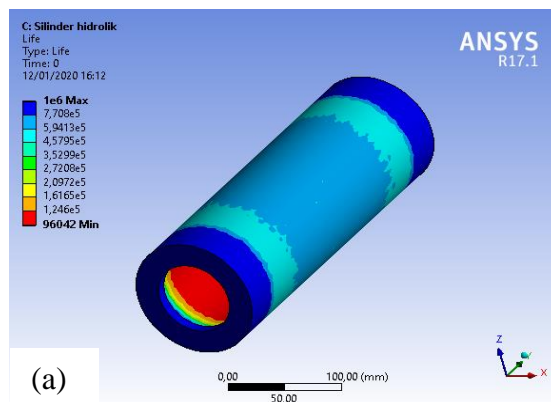
**Gambar 4.19** Hasil simulasi fatig dari *base plate* a.) *lifecylce* b.) tingkat keamanan

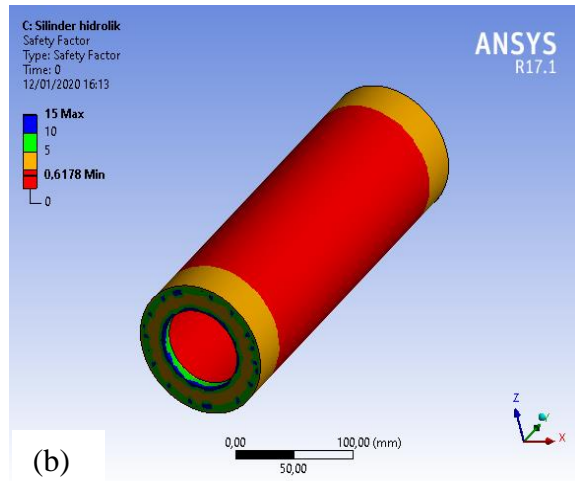
Dari hasil simulasi didapatkan siklus maksimal yang dapat ditanggung *base plate* adalah sebesar  $10^6$  siklus. Pada Gambar 4.19 a terdapat bagian dari *base plate* yang rawan terjadi kegagalan. Hal ini ditunjukkan tingkat keamanan yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 b memiliki nilai dibawah 1 yaitu sebesar 0,7469. Dari Gambar 4.19 b dapat dilihat bahwa persebaran *safety factor* lebih besar daripada 1 sehingga plat mampu menanggung beban siklik selama proses kompaksi. Namun, terdapat daerah yang memiliki *safety factor* kurang dari 1 yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 b. Sehingga bagian tersebut dapat terlebih dahulu mengalami kegagalan. Ketika *base plate* hidrolik diaplikasikan gaya sebesar 175840 N dan material dari rangka adalah baja struktural, maka kegagalan fatig akan terjadi ketika sudah mencapai siklus ke  $1,9127 \times 10^5$ . Hal ini ditunjukkan pada kurva S-N dari mesin kompaksi di Gambar 4.20. Saat *base plate* mesin dibebankan setengah dari gaya tersebut, maka siklus *base plate* akan lebih tinggi yaitu sebesar  $10^6$  siklus.



**Gambar 4.20** Kurva *fatigue sensitivity* dari *base plate*

Pada saat beroperasi silinder hidrolik mengalami pembebanan akibat dari fluida hidrolik yang diaplikasikan secara siklik. Dengan material yang digunakan sebagai silinder hidrolik adalah baja struktural didapatkan *cycle* maksimal yang dapat ditanggung oleh silinder hidrolik dengan menggunakan *fatigue tool* pada *Ansys*. Hasil simulasi silinder hidrolik dapat dilihat pada Gambar 4.21.

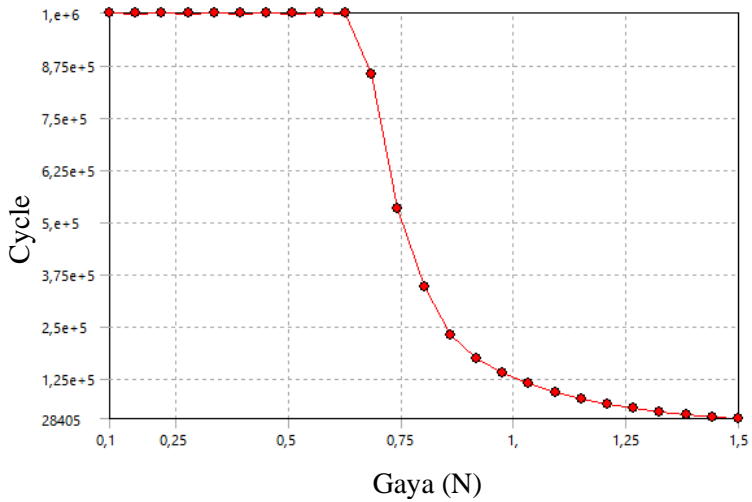




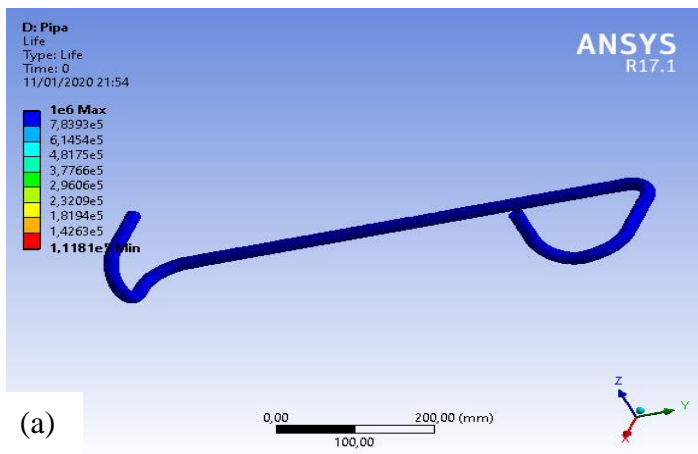
**Gambar 4.21** Hasil simulasi fatig dari silinder hidrolik a.) *lifetime* b.) tingkat keamanan

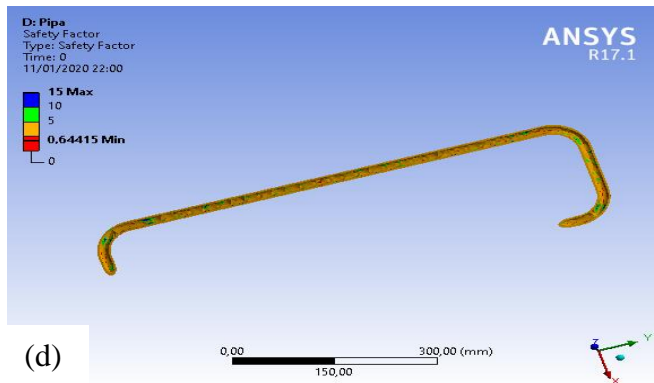
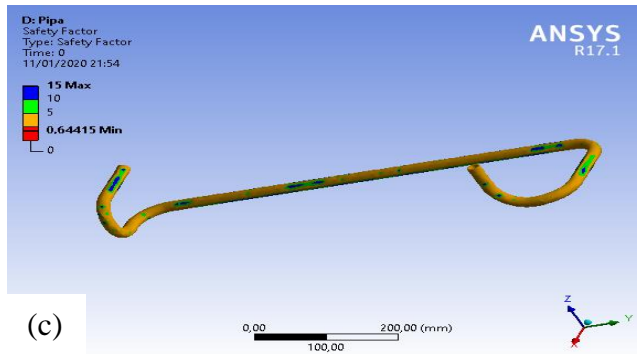
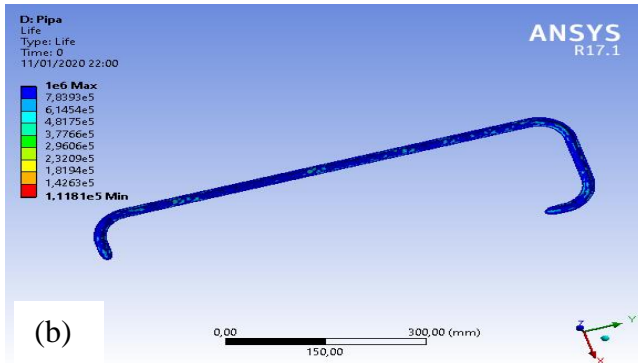
Dari Gambar 4.21 a dapat dilihat bahwa bagian yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah bagian dalam silinder. Silinder hidrolik bagian dalam akan mengalami kegagalan ketika sudah mencapai siklus ke 96042. Dan dapat dilihat pada Gambar 4.21 b dimana sisi yang berwarna merah memiliki *safety factor* kurang dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa bagian yang berwarna merah akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Hal ini ditunjukkan pada kurva S-N dari silinder hidrolik di Gambar 4.22.

Pada saat beroperasi pipa hidrolik mengalami pembebanan akibat dari fluida hidrolik yang diaplikasikan secara siklik. Dengan material yang digunakan sebagai silinder hidrolik adalah baja struktural didapatkan *cycle* maksimal yang dapat ditanggung oleh pipa hidrolik dengan menggunakan *fatigue tool* pada Ansys. Hasil simulasi silinder hidrolik dapat dilihat pada Gambar 4.23.

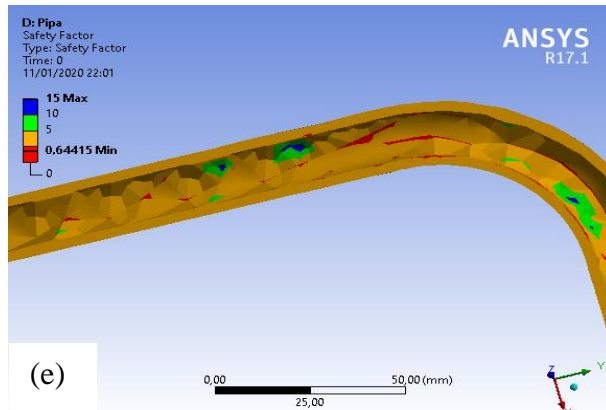


Gambar 4.22 *Fatigue Sensitivity* dari silinder hidraulik



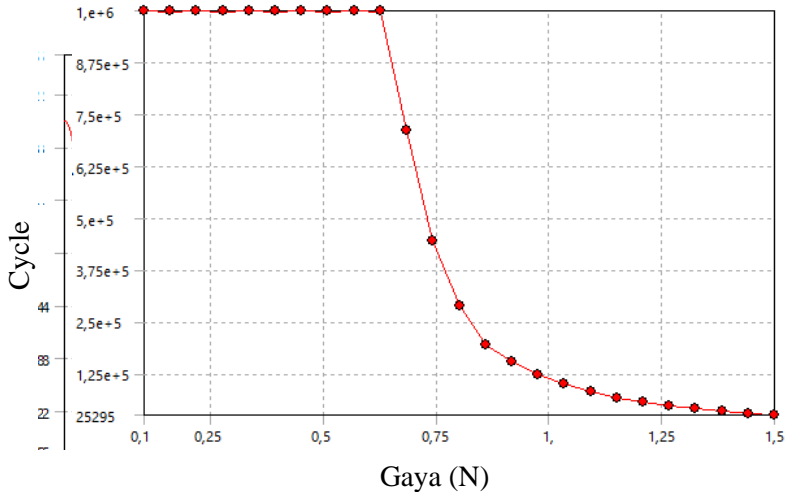






**Gambar 4.23** Hasil simulasi fatig dari pipa (a) *lifecycle* (b) *cross section* gambar *lifecycle* (c) tingkat keamanan (d) *cross section* gambar tingkat keamanan (e) perbesaran gambar tingkat keamanan

Dari Gambar 4.23 (e) dapat dilihat bahwa bagian yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah bagian kecil dalam pipa. Bagian dalam pipa yang berwarna merah pada Gambar 4.23 e akan mengalami kegagalan ketika sudah mencapai siklus ke  $1,1181 \times 10^5$ . Dan dapat dilihat pada Gambar 4.23 (e) dimana bagian yang berwarna merah memiliki *safety factor* kurang dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa bagian yang berwarna merah akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Hal ini ditunjukkan pada kurva S-N dari pipa hidrolik di Gambar 4.24.



**Gambar 4.24** *Fatigue Sensitivity* dari pipa

Dari hasil simulasi menggunakan *fatigue tool* pada *Ansys Workbench*, didapatkan perkiraan *lifetime* dari komponen-komponen utama pada mesin kompaksi hidrolik otomatis. *Lifetime* komponen mesin hidrolik otomatis dapat dilihat pada Tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Tabel *lifecycle* komponen mesin

Nama Komponen	Jumlah Siklus saat Terjadi Kegagalan
Rangka	$1,254 \times 10^5$
Base plate	$1,9127 \times 10^5$
Silinder hidrolik	$0,96042 \times 10^5$
Pipa	$1,1181 \times 10^5$

Jika waktu satu siklus dari perhitungan sebesar 308,58 detik dan setiap hari mesin bekerja selama 8 jam maka dapat dihitung *lifetime* dari komponen mesin kompaksi. Contoh perhitungan dapat dilihat pada perhitungan berikut:

$$lifetime = \frac{jumal\ siklus \times waktu\ siklus}{3600 \times 24 \times 365}$$

$$lifetime = \frac{91397 \times 308,58\ detik}{3600 \times 24 \times 365}$$

$$lifetime = 1,23\ tahun$$

Konversi *lifetime* siklus ke tahun dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.15** *Lifetime* dalam tahun

<b>Nama Komponen</b>	<b><i>Lifetime</i> (tahun)</b>
<b>Rangka</b>	1,28
<b><i>Base plate</i></b>	1,87
<b>Silinder hidrolik</b>	0,95
<b>Pipa</b>	1,1
<b>Rata-rata</b>	1,3

Dari hasil perhitungan *lifetime* rata-rata mesin adalah 1,3 tahun. Saat penggunaan mesin telah mencapai 1,3 tahun, maka akan terjadi kerusakan atau kegagalan pada komponen mesin.

#### **4.7 Analisis Desain Mesin**

Secara umum, desain mesin komponen mesin kompikasi hidrolik dari hasil perhitungan dimensi dan simulasi sudah optimal. Pada hasil simulasi rangka, tegangan tertinggi hanya terjadi pada bagian siku atau sudut-sudut tertentu saja. Hal ini terjadi akibat konsentrasi tegangan pada siku. Tegangan yang terjadi dapat diminimalisir dengan penambahan fillet atau jari-jari. Pada hasil simulasi *base plate*, dapat dilihat bahwa dengan ketebalan 36 mm, plat ini mampu menahan gaya sebesar 175000 N. Hanya bagian kecil dari *base plate* yang rawan terjadinya kegagalan, yaitu pada

siku yang disambungkan pada rangka. Sama halnya seperti *frame*, hal ini dapat dihindari dengan penambahan jari-jari *filet* untuk menghindari konsentrasi tegangan. Hasil simulasi menggunakan *fatigue tool* menunjukkan bahwa *lifecycle* dari rangka dan *base plate* sangat tinggi, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.17 a dan 4.19 a yang mana sebagian besar daerah berwarna biru. Warna biru pada gambar *lifecycle* menunjukkan bahwa komponen berada pada daerah *fatigue limit* yang mana material tidak akan mengalami kegagalan fatig. Hanya bagian kecil dari komponen yang rawan terjadinya kegagalan akibat dari pembebanan siklik.

Pada silinder hidrolik, dilakukan, distribusi tegangan terbesar berada pada sisi dalam silinder. Hal ini terjadi karena sisi dalam silinder berkontak langsung dengan fluida hidrolik. Tegangan terbesar yang dialami silinder hidrolik masih dibawah tegangan yang diperbolehkan. Dari hasil simulasi menggunakan *fatigue tool*, didapatkan bahwa silinder hidrolik memiliki *lifecycle* yang rendah. Tingkat keamanan pada Gambar 4.21 b juga menunjukkan bahwa sebagian besar daerah silinder hidrolik bagian dalam dan luar berwarna merah dan memiliki *safety factor* kurang dari satu. Hal ini menunjukkan bahwa *lifetime* dari silinder hidrolik rendah dan mudah terjadi kegagalan. Hal ini dapat dihindari dengan mengurangi tekanan fluida pada silinder hidrolik, namun untuk menghasilkan gaya yang sama, diameter dalam silinder hidrolik harus diperbesar. Dengan memperbesar diameter dalam silinder hidrolik, tekanan yang dibutuhkan untuk mengasilkan gaya yang sama semakin kecil. Hal ini ditunjukkan pada persamaan 2.4. Untuk pipa, hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi tegangan masih menunjukkan angka yang aman, yaitu di bawah tegangan yang diperbolehkan. Hasil simulasi fatig menunjukkan bahwa bagian kecil di sisi dalam pipa yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu.

**Tabel 4.16** Analisa mesin kompaksi untuk perbaikan generasi selanjutnya

Analisa Penyebab	Saran Perbaikan
<i>Lifecycle</i> silinder hidrolik rendah	Mengurangi tekanan fluida namun dengan penambahan dimensi yaitu diameter dalam silinder.
Terjadi konsetrasi tegangan pada <i>base plate</i> dan rangka	Memberi jari-jari fillet
Daya dan <i>flow rate</i> pompa tidak mencukupi	Mempertimbangkan efektifitas motor dan pompa untuk pemilihan spesifikasi
Mekanisme kerja mesin kompaksi masih belum sempurna	Geometri atau bentuk dari dies atau cetakan sangat mempengaruhi mekanisme kerja dari mesin kompaksi, untuk itu optimalisasi dies perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil kompaksi yang optimal. Ada banyak faktor yang mempengaruhi <i>lifetime</i>
Perhitungan <i>lifetime</i> masih belum sempurna	dari mesin, untuk itu perlu adanya perhitungan lebih lanjut dan pertimbangan faktor-

---

faktor lain seperti cacat, *maintenance* dll.

Ketelitian dalam proses manufaktur mesin

Dalam proses manufaktur mesin kompaksi, dies dan punch harus memiliki error yang kecil atau ketelitian yang tinggi. Pembuatan amunisi sangat bergantung pada toleransi yang kecil sehingga kesalahan dimensi dapat diminimalisir

---

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari studi rancang bangun mesin kompaksi hidrolik otomatis untuk produksi amunisi frangible ini diperoleh kesimpulan:

1. Mesin kompaksi hidrolik otomatis memiliki spesifikasi yaitu kapasitas maksimal penekanan sebesar 49,6 ton, tekanan kerja sebesar 70 MPa, daya minimal yang dibutuhkan sebesar 2,8 kWatt. Untuk fluida hidrolik, spesifikasi yang diperlukan yaitu oli jenis HF dengan viskositas kinematik dengan rentang antara 10-860 cSt dan modulus kompresi minimal sebesar 1,167 GPa.
2. Dimensi silinder yang dibutuhkan adalah: diameter dalam: 95 mm; tebal: 8,5 mm; diameter luar: 112 mm; tinggi silinder: 329 mm; panjang rod: 329 mm. Untuk Dimensi rangka mesin kompaksi hidrolik yang dibutuhkan yaitu: lebar dalam maksimal 664,37; panjang *arm* dan *punch* sebesar 391; tebal rangka tampak samping: 250 mm; tinggi dalam rangka: 770 mm; perpindahan silinder: 329 mm; lebar luar rangka: 1000 mm; lebar support bagian bawah: 550 mm; tinggi luar rangka: 1650 mm; tebal pipa: 3,5 mm; tebal *base plate*: 36,3 mm;.
3. Desain dari komponen mesin kompaksi hidrolik otomatis valid dengan distribusi tegangan dibawah tegangan yang diperbolehkan yaitu: untuk rangka sebesar 129,65 MPa; *base plate* sebesar 115,41 MPa; silinder hidrolik sebesar 139,53 MPa; dan pipa sebesar 133,82 MPa. *Lifecycle* dari komponen mesin hasil dari simulasi adalah sebagai berikut: rangka sebesar  $1,254 \times 10^5$  siklus; *base plate* sebesar  $1,9127 \times 10^5$  siklus; silinder hidrolik sebesar  $0,96042 \times 10^5$ ; pipa sebesar  $1,1181 \times 10^5$  siklus. Untuk *lifetime* komponen mesin adalah: rangka selama 1,277 tahun; *base plate*: 1,87 tahun; silinder hidrolik sebesar 0,95 tahun; dan untuk pipa selama 1,1 tahun.

---

Dan rata-rata *lifetime* dari mesin kompaksi hidrolik otomatis adalah 1,3 tahun.

## 5.2 Saran

Adapun saran untuk tugas akhir kali ini yaitu:

1. Perlu dilakukannya analisis ekonomi dalam rancangan mesin kompaksi hidrolik otomatis ini.
2. Perlu dilakukannya analisa *die* atau cetakan yang digunakan
3. Perlu dilakukannya simulasi perilaku serbuk selama proses kompaksi



## DAFTAR PUSTAKA

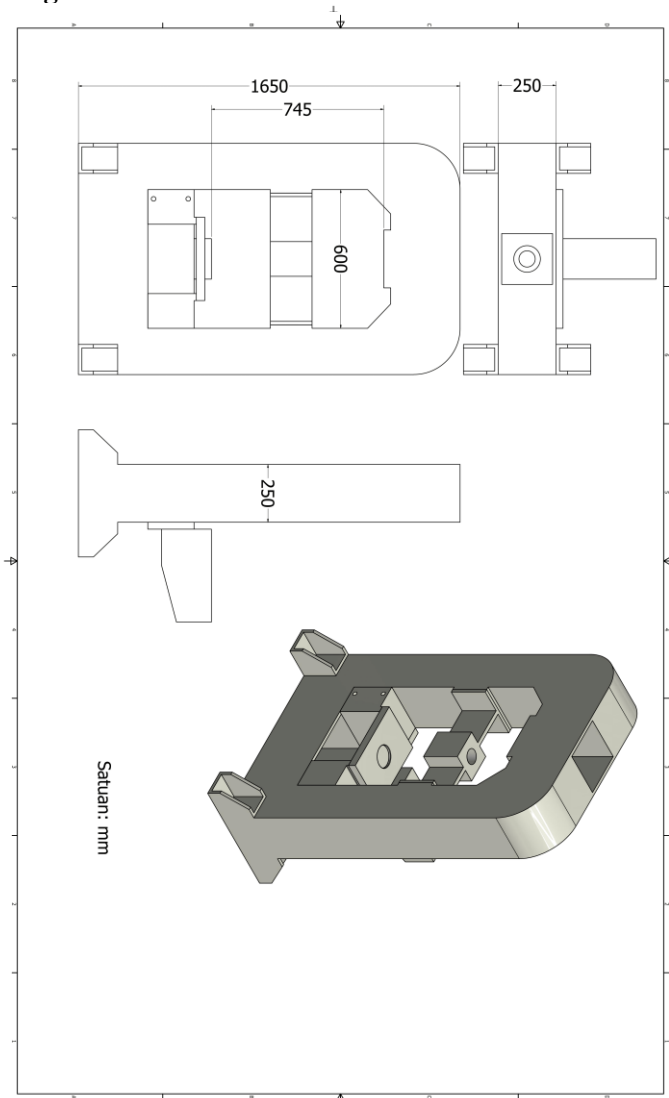
- Akers, A. (2006). **Hydraulic Power Power System Analysis**. Boca Raton.
- Anugraha, V. G. (2014). Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk. Surabaya: **Jurnal Teknik POMITS**.
- Aydin, M. (2013). Hydraulic Press Design Under Different Loading conditions using finite element analysis. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 129-138.
- Dixit, M. (2018). Effect of compaction pressure on microstructure, density and hardness of Copper prepared by Powder Metallurgy route. **International Conference on Mechanical, Materials and Renewable Energy**, 1-7.
- German, R. M. (1984). **Powder Metallurgy Science**. USA: Metal Powder Industries Federation.
- H.N.Chauhan. (2013). Design & Analysis of Frame of 63 Ton Power Press. **Indian Journal of Applied Research**, 285-288.
- Hydro-Electic Machinery Premises. (2010). **Introduction to Hydraulic Presses and Press Body**. 12-A, Ram-Rahim Uduog Nagar, Bus Stop Lane, L.B.S. Marg, TANVEER PUBLICATIONS.
- Kalekar, A. (2015). Stress Analysis of a Frame of a Bush Pressing. **International Journal of Innovative Research in Science**, 521-530.
- Kogyo, Y. (1986). **Hand Book Basic Hydraulic and Components**. Minato-ku, Tokyo: Yuken Kogyo Co.,LTD.
- Komenda, J. (2017). Evaluation Method of Frangible Bullets. **Advances in Military Technology**, 185-193.

- 
- M.KAMATE, A. (2016). Design, Development and Analysis of A 20. **(IJTR) International Journal of Innovative Technology and Research**, No.4, 2560 – 2563.
- Mahajan, N. (2016). Design of C- Frame Type Hydraulic Punching Machine. **ISSN**, 129-133.
- More, D. A. (2015). Design, Development and Optimization of Hydraulic Press. MIDC, Chinchwad, Pune 411019, **India: Department of mechanical engineering Rajarambapu institute of technology**, Sakharale 415414, India.
- PARTHIBAN, B. (2014). DESIGN AND ANALYSIS OF C TYPE HYDRAULIC PRESS STRUCTURE. **International Journal of Research**, 47-56.
- Patel, T. (2015). Design and Development of Hydraulic Press with Die. **5th National Conference on “Recent Advances in Manufacturing (RAM-2015)**, 316-319.
- Sulistya, F. F. (2019). **Desain Proses Produksi dan Tata Letak Pabrik Projektil Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk Berkapasitas 50.000.000 Butir/Tahun**. Surabaya: ITS.
- Sumaila, M. (2014). Design and Manufacture of a 30-ton Hydraulic Press. **AU J.T.**, 196-200.
- Therib, M. A. (2017). Three Phase Induction Motor. **Al-Furat Al-Awsat Technical University**.
- Thummler, F. (1993). **Powder Metallurgy**. London: Intitute of Materials.
- Upadhaya, G. S. (2002). **Powder Metallurgy Technology**. Kanpur: Departement of Materials and Metallurgical Engineering Indian Institution of Technology.
- Yuken Kogyo CO., LTD. (1995). **Basic Hydraulic Components**. Tokyo.
-

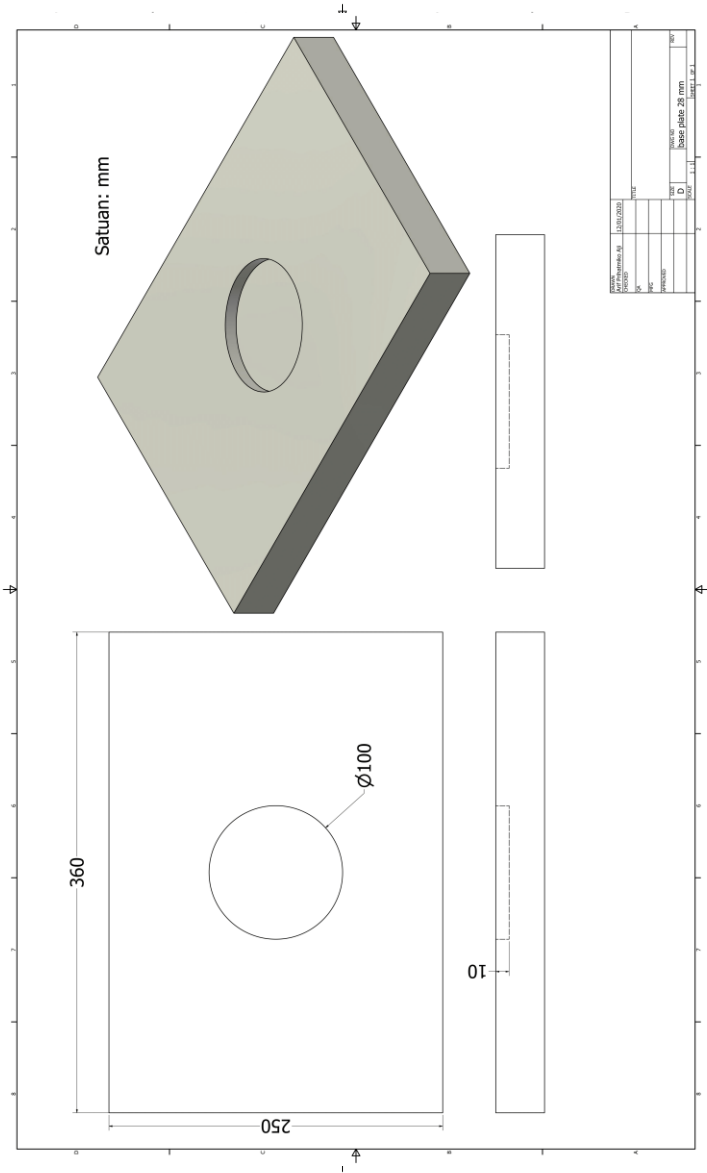
# LAMPIRAN

## Lampiran 1: Gambar Teknik

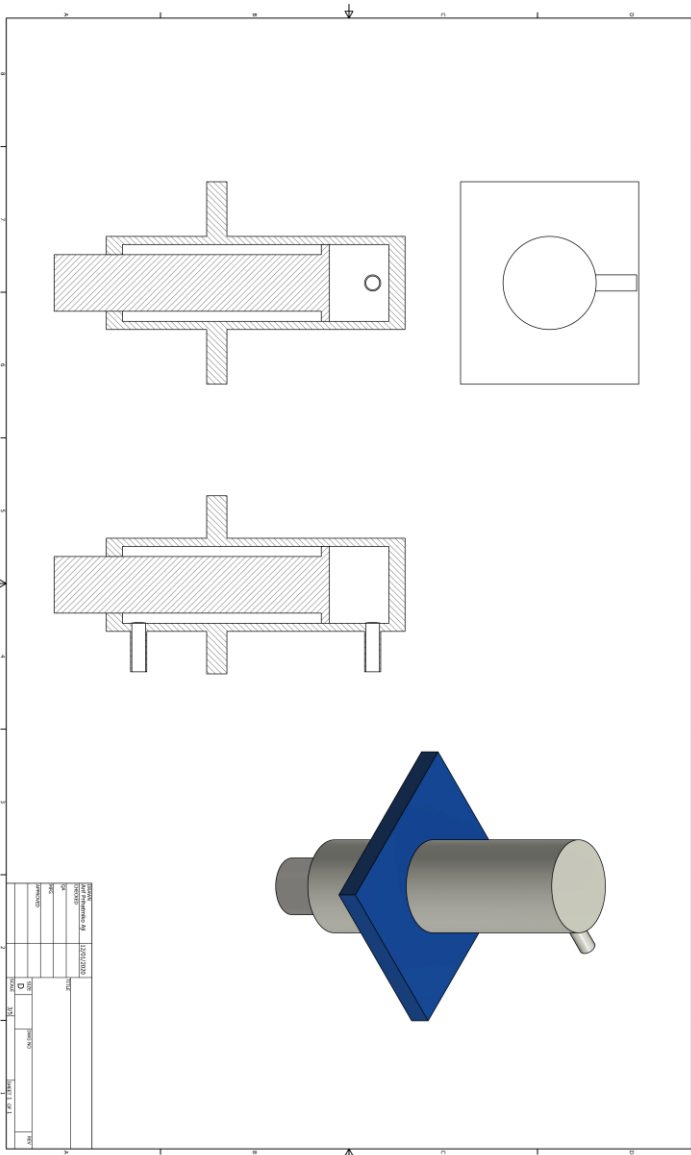
### 1. Rangka



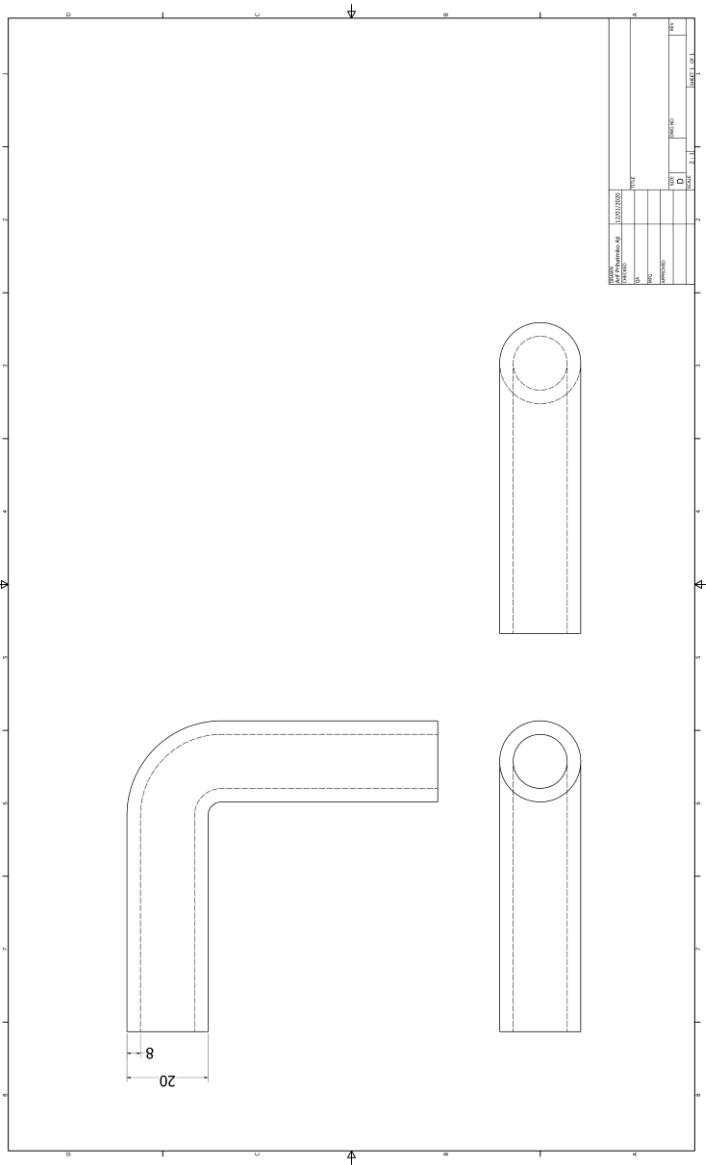
## 2. Base Plate

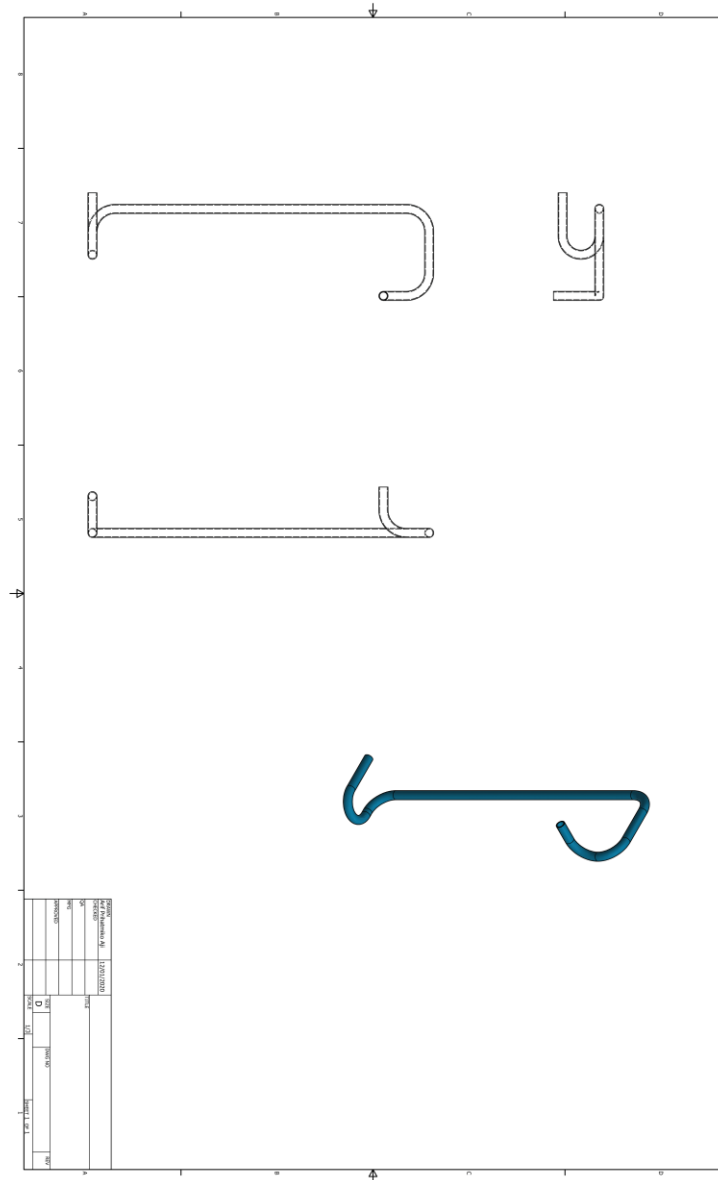


### 3. Silinder hidrolisk



### 4. Pipa

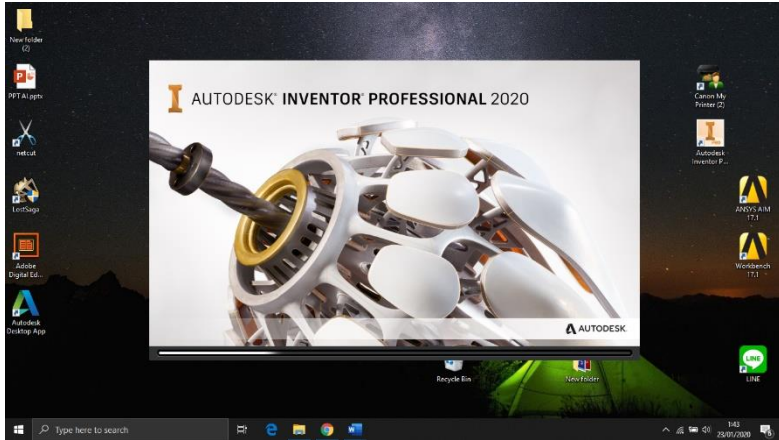




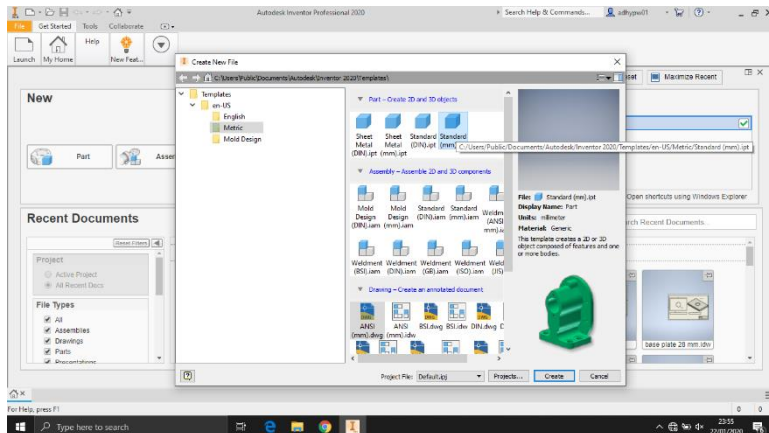
NO. DAFTAR	101
	102
	103
NO. KATALOG	101
	102
	103
NO. PENYUSUNAN	101
	102
	103
NO. PENGANTARAN	101
	102
	103
NO. PENGANTARAN	101
	102
	103
NO. PENGANTARAN	101
	102
	103
NO. PENGANTARAN	101
	102
	103
NO. PENGANTARAN	101
	102
	103

## Lampiran 2: Langkah-langkah Mendesain dengan Inventor dan Simulasi Ansys

### 1. Membuka software Autodesk Inventor 2020

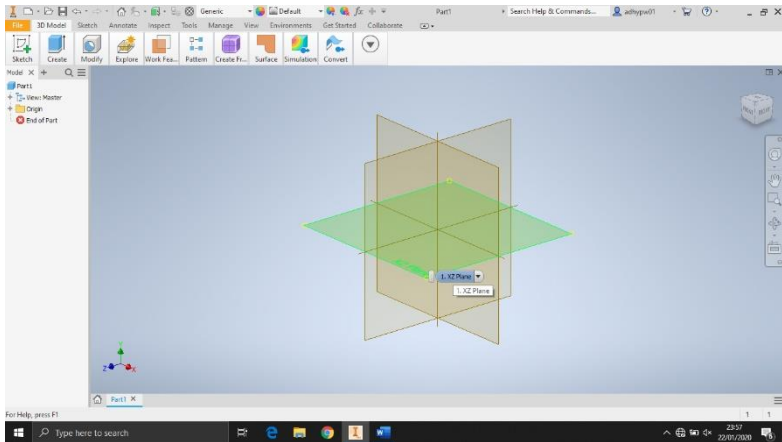


### 2. Membuat file baru dengan meng-click pada tool box dengan Standar mm

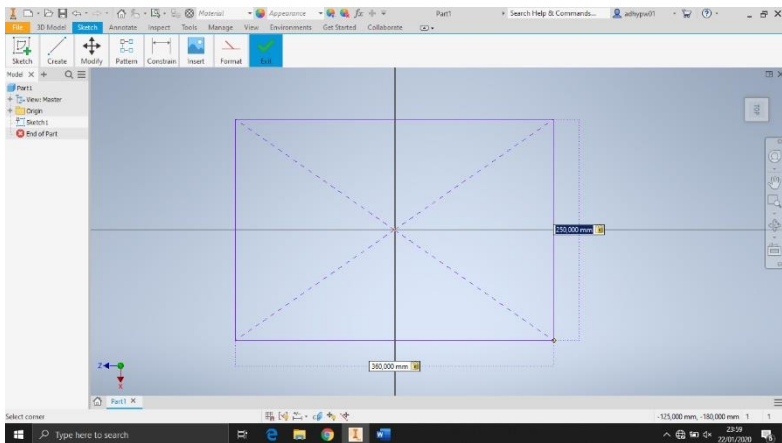




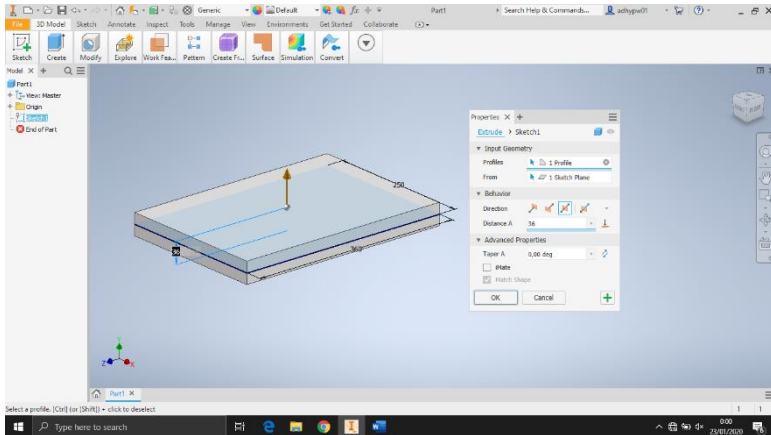
### 3. Menentukan bidang gambar



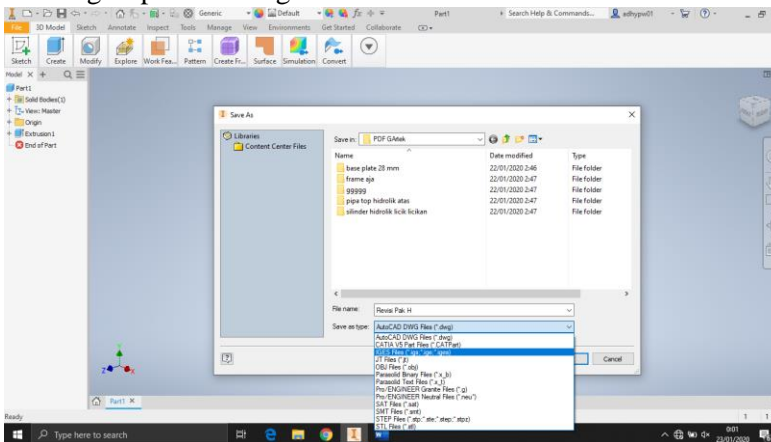
### 4. Membuat sketsa 2D sesuai bentuk dan dimensi yang diperlukan



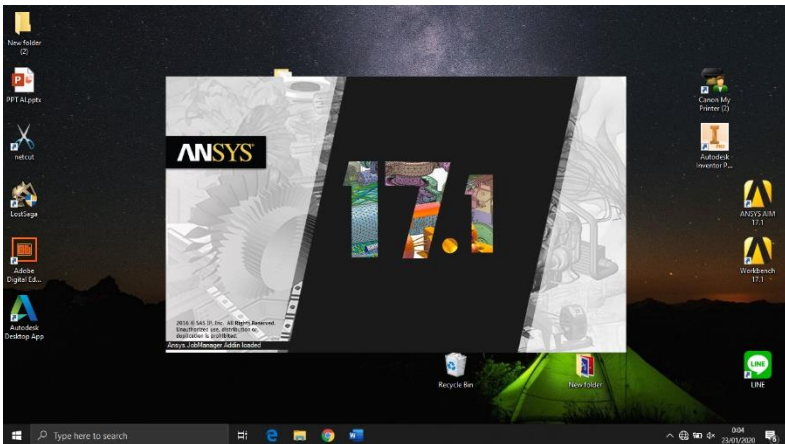
## 5. Menggunakan extrude tool untuk memmbuat desain 3D dari sketsa 2D.



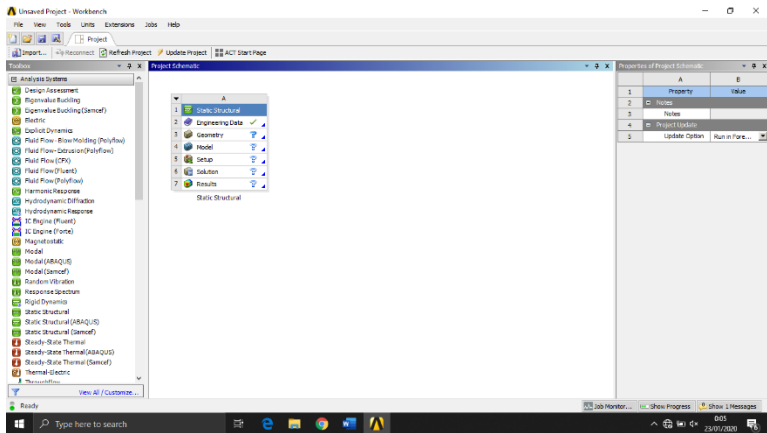
## 6. Mengekspor file dengan format .IGES



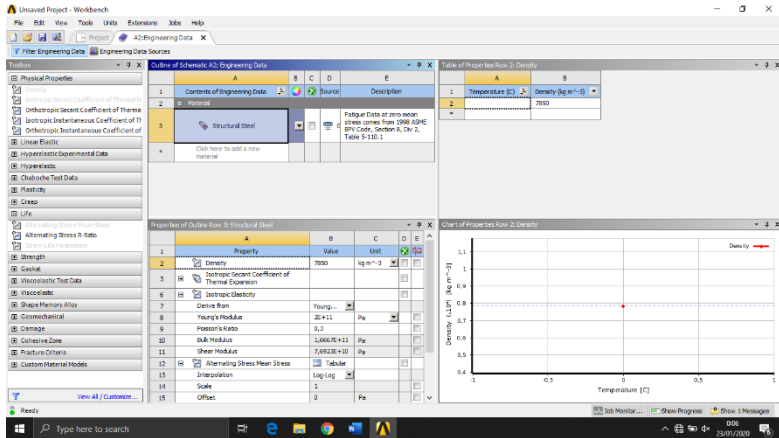
## 7. Membuka Ansys



## 8. Membuat Static Structural Project



## 9. Memilih material dari geometri dengan membuka Engineering Data

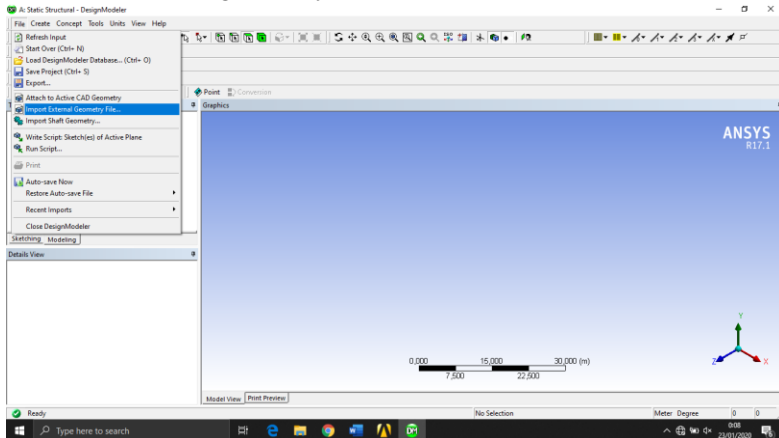


The screenshot shows the ANSYS Workbench Engineering Data interface. The main window displays the 'Outline of Schematic A3: Engineering Data' with a table of properties for 'Structural Steel'. The table includes columns for Property, Value, and Unit. The 'Density' property is highlighted, with a value of 7850 kg m<sup>-3</sup>. The 'Table of Properties Row 2: Density' window is open, showing a table with Temperature [C] and Density [kg m<sup>-3</sup>]. The 'Chart of Properties Row 2: Density' window is also open, showing a graph of Density vs. Temperature [C].

Property	Value	Unit
Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Derive From	Young's...	
Young's Modulus	20111	Pa
Poisson's Ratio	0.33	
Bulk Modulus	1,6662E+11	Pa
Shear Modulus	7,692E+10	Pa
Alternating Stress Mean Stress	Log Log...	
Interpolation	1	
Scale	0	Pa
Offset		

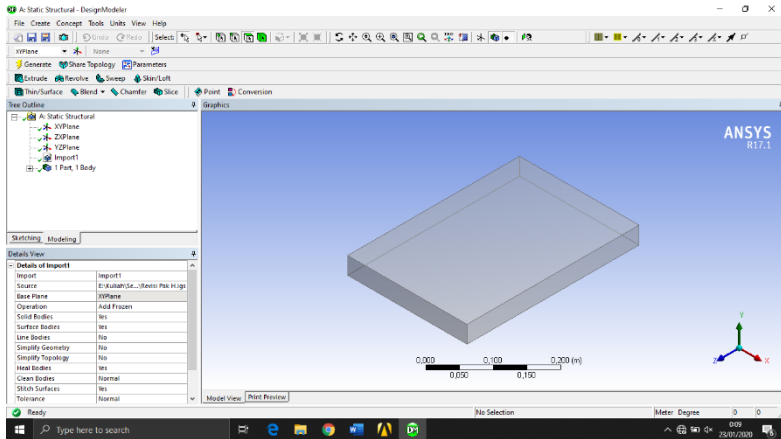
Temperature [C]	Density [kg m <sup>-3</sup> ]
1	7850

## 10. Membuka tab geometry

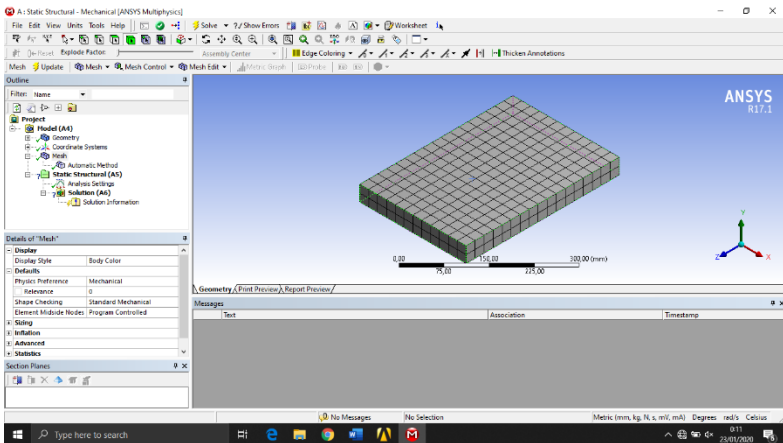


The screenshot shows the ANSYS DesignModeler interface. The 'File' menu is open, showing options like 'Attach to Active CAD Geometry', 'Import External Geometry File...', and 'Import Shell Geometry...'. The 'Graphics' window is visible, showing a 3D coordinate system (X, Y, Z) and a scale bar from 0,000 to 30,000 (m). The status bar at the bottom indicates 'No Selection' and 'Meter Degree'.

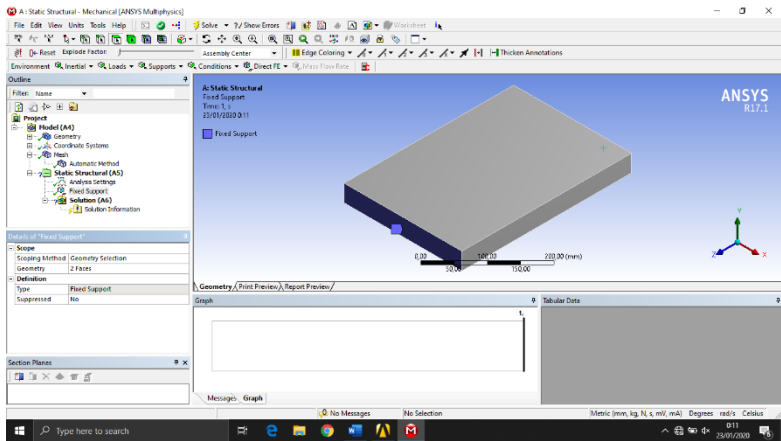
## 11. Menggenerasi geometri dengan mengimpor data dari file IGES hasil Inventor



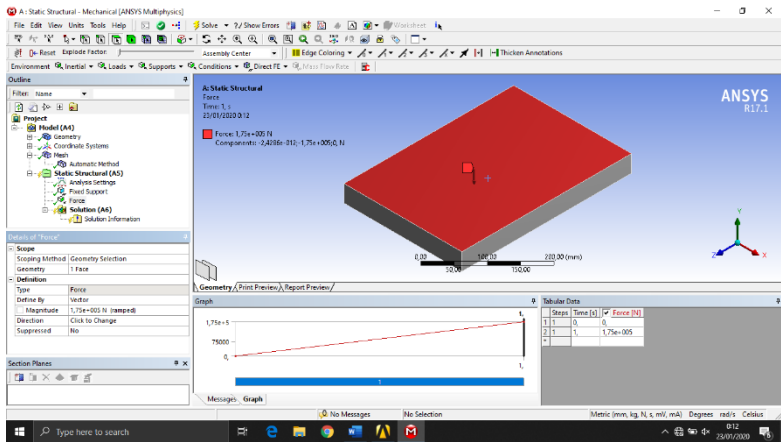
## 12. Mengatur meshing



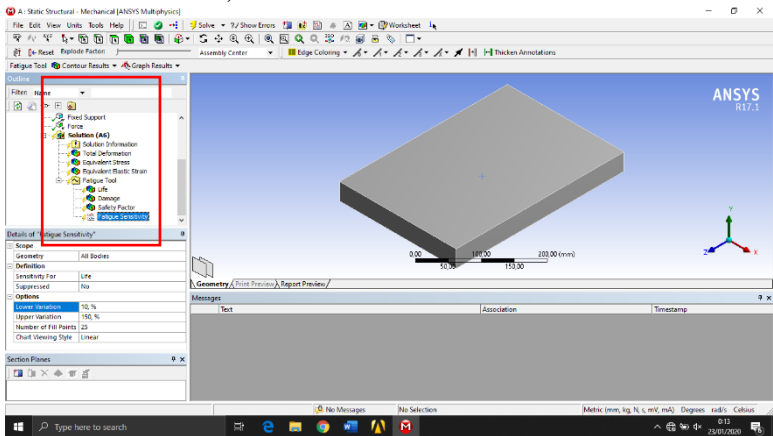
### 13. Menentukan fixed support



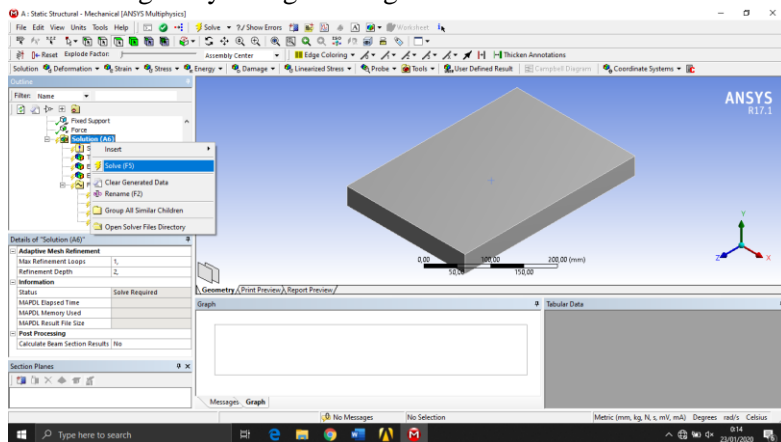
### 14. Menentukan besar dan arah load atau gaya



## 15. Input solusi dari Ansys yang diinginkan (Equivalent Stress dan Total Deformation)



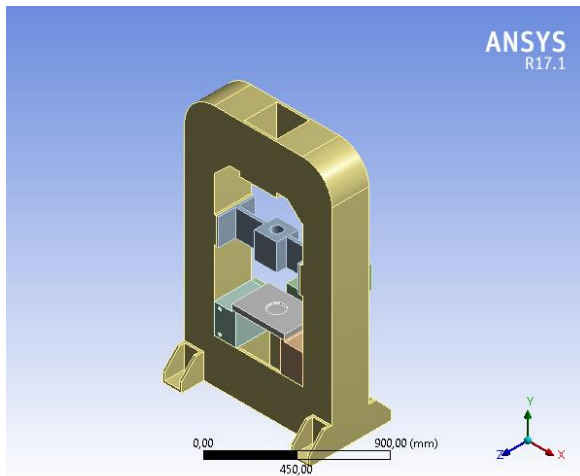
## 16. Running Ansys dengan meng-click Solve



---

*Lampiran 3: Laporan hasil ANSYS***PROJECT**

First Saved	Saturday, January 11, 2020
Last Saved	Saturday, January 11, 2020
Product Version	17.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No





## 5.2 Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Parts](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Connections](#)
    - [Contacts](#)
      - [Contact Regions](#)
  - [Mesh](#)
    - [Mesh Controls](#)
  - [Static Structural \(A5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(A6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Fatigue Tool](#)
        - [Results](#)
        - [Fatigue Sensitivity](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## 5.3 Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## 5.4 Model (A4)

### 5.4.1 Geometry

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp\WB_LAPTOP-71FKRRFU_asus_9776_2\unsaved_project_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	1000, mm
Length Y	1650, mm
Length Z	832, mm
<b>Properties</b>	
Volume	8,8005e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	690,84 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	6
Active Bodies	6
Nodes	38254

Element s	18776
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Paramet ers	Independent
Paramet er Key	
Attribute s	Yes
Attribute Key	
Named Selectio ns	Yes
Named Selectio n Key	
Material Propertie s	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associati vity	Yes
Coordina te Systems	Yes
Coordina te System Key	
Reader Mode Saves	No

Updated File	
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Solid</i>	<i>Solid</i>	<i>Solid</i>	<i>Solid</i>	<i>Solid</i>
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

State	Meshed				
<b>Graphics Properties</b>					
Visible	Yes				
Transparency	1				
<b>Definition</b>					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Behavior	None				
<b>Material</b>					
Assignment	Structural Steel				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
<b>Bounding Box</b>					
Length X	360, mm	570, mm	600, mm	150, mm	1000, mm
Length Y	36,5 mm	180, mm	275, mm	210, mm	1650, mm
Length Z	250, mm		432, mm	250, mm	550, mm
<b>Properties</b>					
Volume	3,2062e+006 mm <sup>3</sup>	6,1115e+006 mm <sup>3</sup>	7,592e+006 mm <sup>3</sup>	3,0778e+006 mm <sup>3</sup>	6,494e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	25,169 kg	47,976 kg	59,597 kg	24,161 kg	509,78 kg

Centroid X	-556,27 mm			-332,84 mm	-779,7 mm	-556,16 mm
Centroid Y	73,651 mm	465,73 mm	-3,2258 mm	-51,709 mm		326,83 mm
Centroid Z	38,258 mm		-209,13 mm	38,616 mm	37,9 mm	38,332 mm
Moment of Inertia Ip1	1,3667e+005 kg·mm <sup>2</sup>	2,4312e+005 kg·mm <sup>2</sup>	1,518e+006 kg·mm <sup>2</sup>	2,8421e+005 kg·mm <sup>2</sup>	1,6241e+008 kg·mm <sup>2</sup>	
Moment of Inertia Ip2	4,1204e+005 kg·mm <sup>2</sup>	1,3506e+006 kg·mm <sup>2</sup>	2,2522e+006 kg·mm <sup>2</sup>	2,3645e+005 kg·mm <sup>2</sup>	6,9786e+007 kg·mm <sup>2</sup>	
Moment of Inertia Ip3	2,8086e+005 kg·mm <sup>2</sup>	1,3667e+006 kg·mm <sup>2</sup>	1,2057e+006 kg·mm <sup>2</sup>	1,8747e+005 kg·mm <sup>2</sup>	2,2134e+008 kg·mm <sup>2</sup>	
<b>Statistics</b>						
Nodes	18204	1604	2073	1750	1713	12910
Elements	9436	208	973	890	861	6408
Mesh Metric	None					

### 5.4.2 Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm

Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

### 5.4.3 Connections

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Connections**

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
<b>Auto Detection</b>	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
<b>Transparency</b>	
Enabled	Yes

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Connections > Contacts**

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Connection Type	Contact
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Auto Detection</b>	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	5,2528 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Cylindrical Faces	Include

Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
<b>Statistics</b>	
Connections	7
Active Connections	7

**TABLE 7****Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions**

Object Name	<i>Contact Region 1</i>	<i>Contact Region 2</i>	<i>Contact Region 3</i>	<i>Contact Region 4</i>	<i>Contact Region 5</i>	<i>Contact Region 6</i>	<i>Contact Region 7</i>
State	Fully Defined						
<b>Scope</b>							
Scoping Method	Geometry Selection						
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces			
Target	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces			
Contact Bodies	Solid						
Target Bodies	Solid						
<b>Definition</b>							
Type	Bonded						
Scope Mode	Automatic						
Behavior	Program Controlled						
Trim Contact	Program Controlled						



Trim Tolerance	5,2528 mm
Suppressed	No
<b>Advanced</b>	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
<b>Geometric Modification</b>	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

#### 5.4.4 Mesh

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
-------------	-------------

State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Body Color
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
<b>Sizing</b>	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Max Dual Layers in Thin Regions	No
Minimum Edge Length	3,14130 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
<i>Number of CPUs for Parallel Part Meshing</i>	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
<i>Number of Retries</i>	Default (4)

Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	38254
Elements	18776
Mesh Metric	None

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Automatic Method</i>	<i>Refinement</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	6 Bodies	4 Faces
<b>Definition</b>		
Suppressed	No	
Method	Automatic	
Element Midside Nodes	Use Global Setting	
Refinement		3

## 5.5 Static Structural (A5)

**TABLE 10**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural

Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled

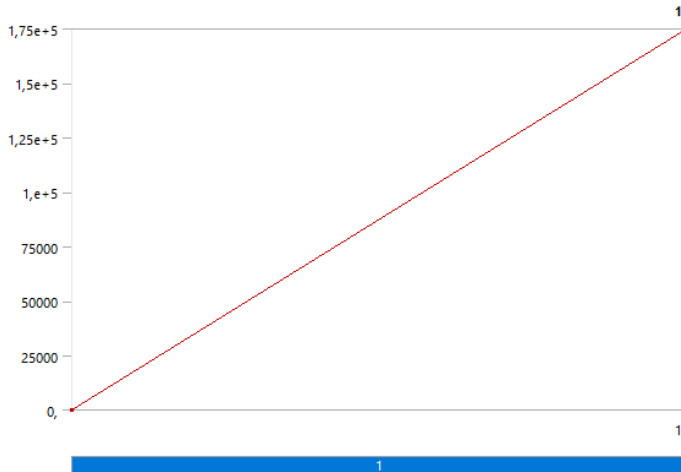
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

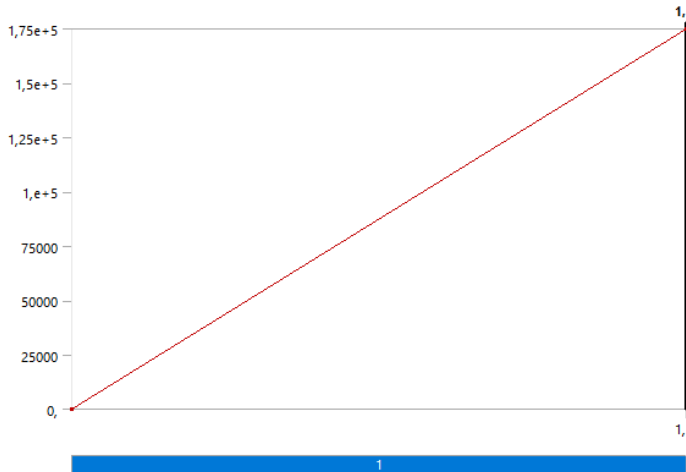
Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force</i>
State	Fully Defined		
<b>Scope</b>			

Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	2 Faces
<b>Definition</b>		
Type	Fixed Support	Force
Suppressed	No	
Define By		Vector
Magnitude	1,75e+005 N (ramped)	
Direction	Defined	

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 2**



**FIGURE 2**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force**



### 5.5.1 Solution (A6)

**TABLE 13**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	8, s
MAPDL Memory Used	791, MB
MAPDL Result File Size	16,5 MB
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No

**TABLE 14**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 15**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time		
Display Time	Last		



Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
<b>Results</b>			
Minimum	0, mm	5,8822e-008 mm/mm	6,2837e-003 MPa
Maximum	0,1861 mm	7,725e-004 mm/mm	129,65 MPa
Minimum Occurs On	Solid		
Maximum Occurs On	Solid		
<b>Information</b>			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		
<b>Integration Point Results</b>			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		

**FIGURE 3**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**

**TABLE 16**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1,	0,	0,1861

**TABLE 17**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Elastic Strain**

Time [s]	Minimum [mm/mm]	Maximum [mm/mm]
1,	5,8822e-008	7,725e-004

**TABLE 18**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1,	6,2837e-003	129,65

**TABLE 19**

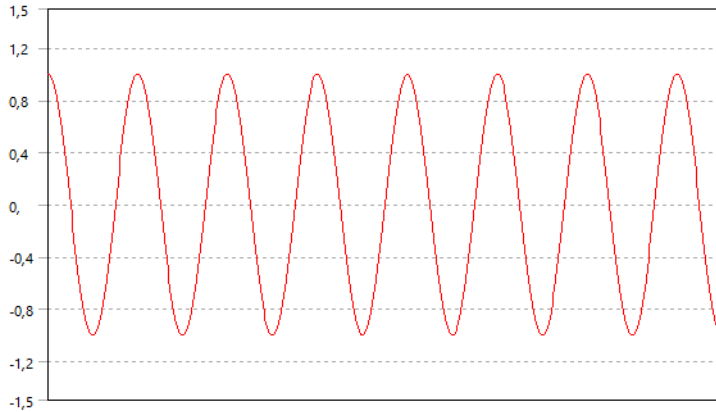
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue Tools**

Object Name	<i>Fatigue Tool</i>
State	Solved
<b>Materials</b>	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1,
<b>Loading</b>	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1,
<b>Definition</b>	
Display Time	End Time
<b>Options</b>	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	None
Stress Component	Equivalent (Von Mises)
<b>Life Units</b>	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

**FIGURE 6**

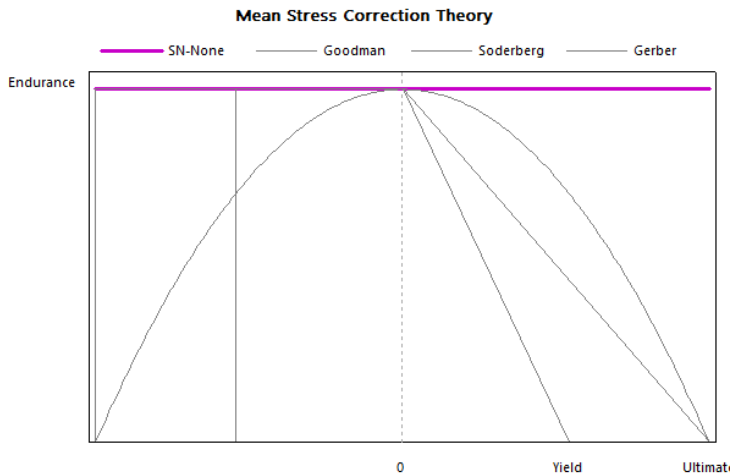
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue  
Tool**

**Constant Amplitude Load  
Fully Reversed**



**FIGURE 7**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue  
Tool**



**TABLE 20**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue**  
**Tool > Results**

Object Name	Life	Damage	Safety Factor
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Life	Damage	Safety Factor
Identifier			
Suppressed	No		
Design Life		1,e+009 cycles	
<b>Integration Point Results</b>			
Average Across Bodies	No		
<b>Results</b>			

Minimum	1,254e+005 cycles		0,66484
Minimum Occurs On	Solid		Solid
Maximum		7974,7	
Maximum Occurs On		Solid	

**TABLE 21**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue**  
**Tool > Life**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1,254e+005	1,e+006

**TABLE 22**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue**  
**Tool > Damage**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1000,	7974,7

**FIGURE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue**  
**Tool > Safety Factor**

**TABLE 23**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue**  
**Tool > Safety Factor**

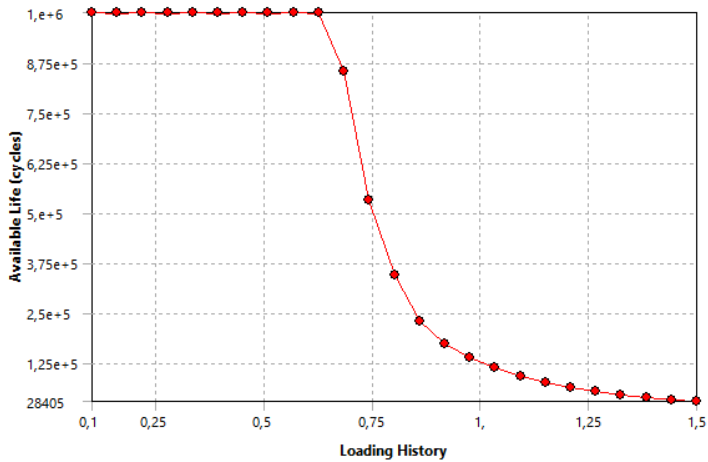
Time [s]	Minimum	Maximum
1,	0,66484	15,

**TABLE 24**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue**  
**Tool > Result Charts**

Object Name	<i>Fatigue Sensitivity</i>
State	Solved

Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Sensitivity For	Life
Suppressed	No
Options	
Lower Variation	10, %
Upper Variation	150, %
Number of Fill Points	25
Chart Viewing Style	Linear

**FIGURE 11**  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue  
Tool > Fatigue Sensitivity



## 5.6 Material Data

### 5.6.1 Structural Steel

**TABLE 25**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7,85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

**TABLE 26**  
**Structural Steel > Color**

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

**TABLE 27**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

**TABLE 28**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
250,

**TABLE 29**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
250,

**TABLE 30**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
-------------------------------

460,

**TABLE 31**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

**TABLE 32**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

**TABLE 33**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

**TABLE 34**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**



Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

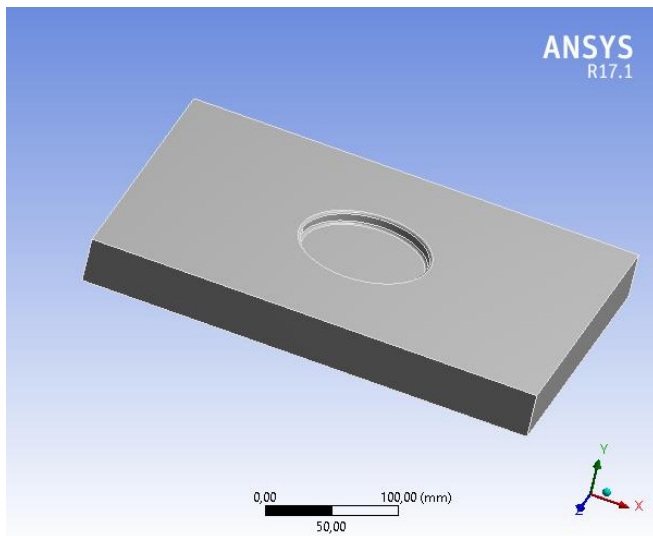
**TABLE 35**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000



## PROJECT

First Saved	Saturday, January 11, 2020
Last Saved	Sunday, January 12, 2020
Product Version	17.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## 5.7 Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Solid](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
    - [Automatic Method](#)
  - [Static Structural \(B5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Fatigue Tool](#)
        - [Results](#)
        - [Fatigue Sensitivity](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## 5.8 Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## 5.9 Model (B4)

### 5.9.1 Geometry

**TABLE 2**  
**Model (B4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS-2\DM\SYS- 2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	360, mm
Length Y	36,5 mm
Length Z	250, mm
<b>Properties</b>	
Volume	3,2065e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	25,171 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	17610
Elements	9963
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes

Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Solid</i>
-------------	--------------

State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	360, mm
Length Y	36,5 mm
Length Z	250, mm
<b>Properties</b>	
Volume	3,2065e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	25,171 kg
Centroid X	-3,9799e-005 mm
Centroid Y	-0,32382 mm
Centroid Z	-2,9321e-005 mm
Moment of Inertia Ip1	1,3667e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	4,1205e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	2,8087e+005 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	17610
Elements	9963
Mesh Metric	None

## 5.9.2 Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

## 5.9.3 Mesh

**TABLE 5**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Body Color
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
<b>Sizing</b>	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse

Element Size	7,0 mm
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Low
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Max Dual Layers in Thin Regions	No
Minimum Edge Length	3,14130 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
<i>Number of CPUs for Parallel Part Meshing</i>	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
<i>Number of Retries</i>	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	17610
Elements	9963
Mesh Metric	None



**TABLE 6**  
**Model (B4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Automatic Method</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Method	Automatic
Element Midside Nodes	Use Global Setting

### 5.10 Static Structural (B5)

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
<i>Number Of Steps</i>	1,
<i>Current Step Number</i>	1,
<i>Step End Time</i>	1, s

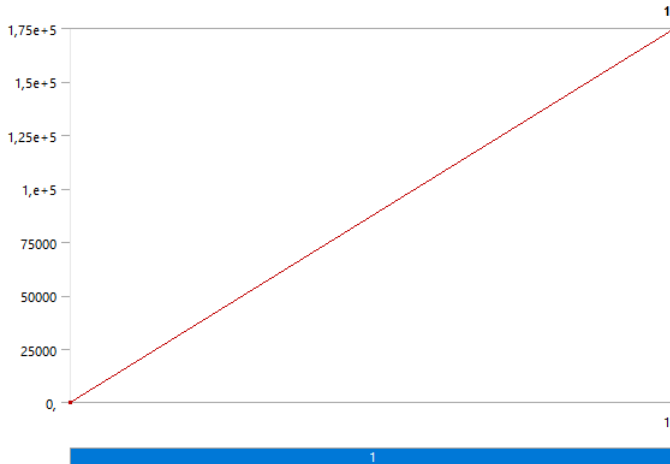
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No

Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS-2\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	2 Faces	
<b>Definition</b>		
Type	Fixed Support	Force
Suppressed	No	
Define By		Vector
Magnitude		1,75e+005 N (ramped)
Direction		Defined

**FIGURE 1**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force**



### 5.10.1 Solution (B6)

**TABLE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	6, s
MAPDL Memory Used	138, MB
MAPDL Result File Size	8,625 MB
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No

**TABLE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			

Suppressed	No		
<b>Integration Point Results</b>			
Display Option	Averaged		Averaged
Average Across Bodies	No		No
<b>Results</b>			
Minimum	1,0685 MPa	0, mm	5,6382e-006 mm/mm
Maximum	115,41 MPa	0,12436 mm	5,7705e-004 mm/mm
Minimum Occurs On	Solid		
Maximum Occurs On	Solid		
<b>Information</b>			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

**FIGURE 2**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) >**  
**Equivalent Stress**

**TABLE 13**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) >**  
**Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1,	1,0685	115,41

**TABLE 14**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation**

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1,	0,	0,12436

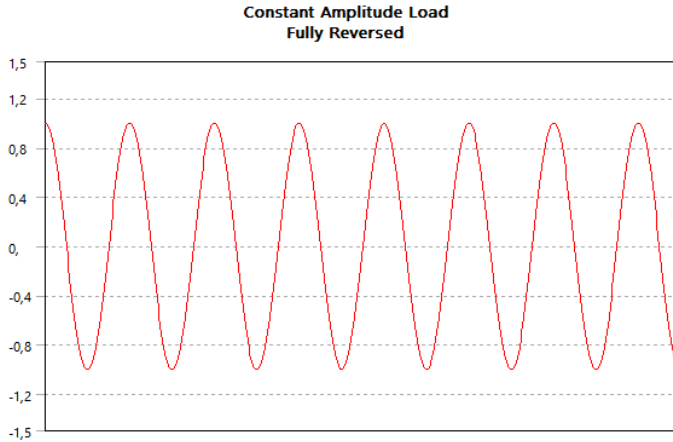
**TABLE 15**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Elastic Strain**

Time [s]	Minimum [mm/mm]	Maximum [mm/mm]
1,	5,6382e-006	5,7705e-004

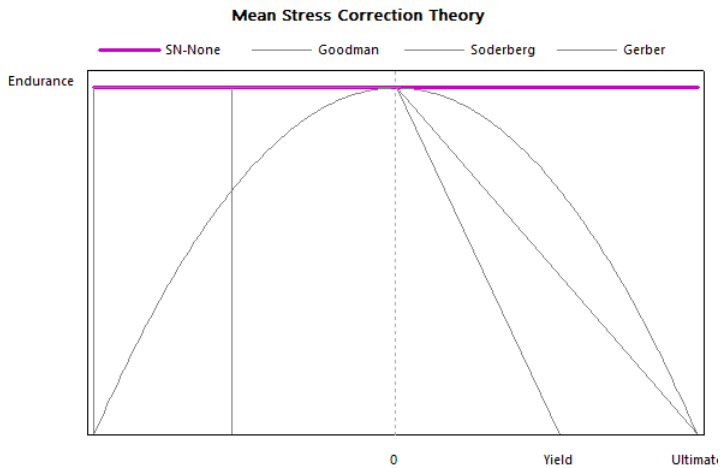
**TABLE 16**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tools**

Object Name	<i>Fatigue Tool</i>
State	Solved
<b>Materials</b>	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1,
<b>Loading</b>	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1,
<b>Definition</b>	
Display Time	End Time
<b>Options</b>	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	None
Stress Component	Equivalent (Von Mises)
<b>Life Units</b>	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

**FIGURE 5**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tool**



**FIGURE 6**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tool**





**TABLE 17**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue**  
**Tool > Results**

Object Name	<i>Life</i>	<i>Damage</i>	<i>Safety Factor</i>
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Life	Damage	Safety Factor
Identifier			
Suppressed	No		
Design Life		1,e+009 cycles	
<b>Integration Point Results</b>			
Average Across Bodies	No		
<b>Results</b>			
Minimum	1,9127e+005 cycles		0,7469
Minimum Occurs On	Solid		Solid
Maximum		5228,2	
Maximum Occurs On		Solid	

**TABLE 18**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue**  
**Tool > Life**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1,9127e+005	1,e+006

**TABLE 19**

**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tool > Damage**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1000,	5228,2

**TABLE 20**

**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tool > Safety Factor**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	0,7469	15,

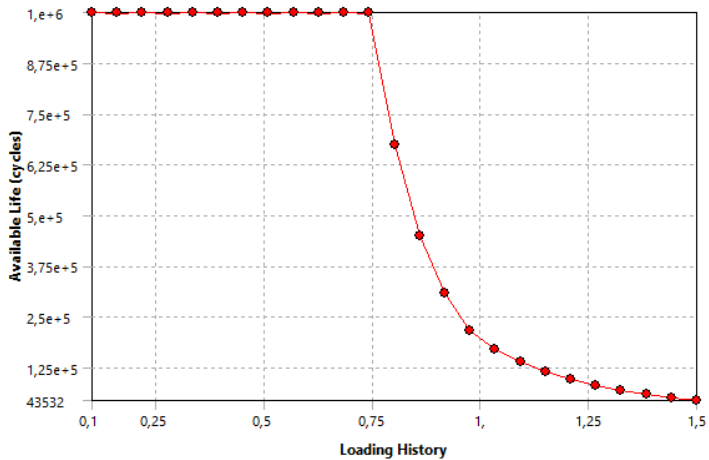
**TABLE 21**

**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tool > Result Charts**

Object Name	<i>Fatigue Sensitivity</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Geometry	All Bodies
<b>Definition</b>	
Sensitivity For	Life
Suppressed	No
<b>Options</b>	
Lower Variation	10, %
Upper Variation	150, %
Number of Fill Points	25
Chart Viewing Style	Linear

**FIGURE 10**

**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fatigue Tool > Fatigue Sensitivity**



## 5.11 Material Data

### 5.11.1 Structural Steel

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7,85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Color**

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

**TABLE 24**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa

0,

**TABLE 25****Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa

250,

**TABLE 26****Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa

250,

**TABLE 27****Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa

460,

**TABLE 28****Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C

22,

**TABLE 29****Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,

138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

**TABLE 30**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

**TABLE 31**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

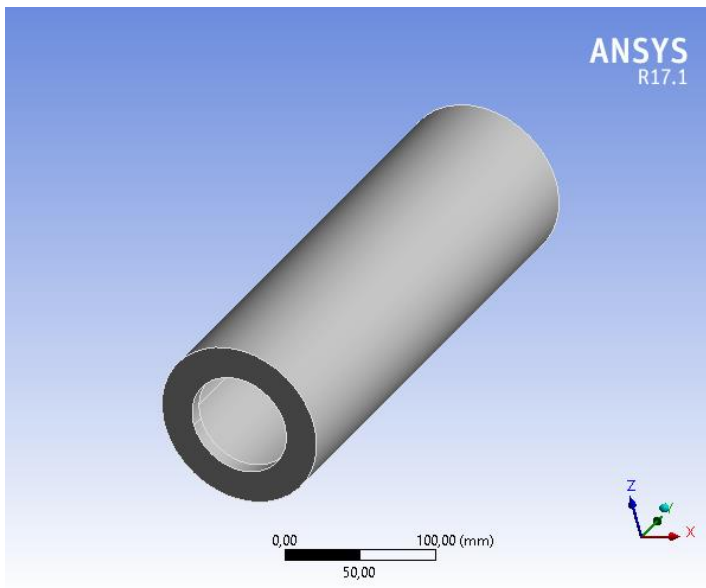
**TABLE 32**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000



## PROJECT

First Saved	Saturday, January 11, 2020
Last Saved	Sunday, January 12, 2020
Product Version	17.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## 5.12 Contents

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Solid](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
    - [Patch Conforming Method](#)
  - [Static Structural \(C5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(C6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Fatigue Tool](#)
        - [Results](#)
        - [Fatigue Sensitivity](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## 5.13 Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## 5.14 Model (C4)

### 5.14.1 Geometry

**TABLE 2**  
**Model (C4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS-3\DM\SYS- 3.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	115, mm
Length Y	349, mm
Length Z	115, mm
<b>Properties</b>	
Volume	1,2541e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	9,845 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	24436
Elements	13114
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes



Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (C4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Solid</i>
-------------	--------------

State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	115, mm
Length Y	349, mm
Length Z	115, mm
<b>Properties</b>	
Volume	1,2541e+006 mm <sup>3</sup>
Mass	9,845 kg
Centroid X	3,2765e-003 mm
Centroid Y	-159,3 mm
Centroid Z	-6,2988e-004 mm
Moment of Inertia Ip1	1,2724e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	25976 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	1,2725e+005 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	24436
Elements	13114
Mesh Metric	None

### 5.14.2 Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

### 5.14.3 Mesh

**TABLE 5**  
**Model (C4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Body Color
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
<b>Sizing</b>	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse

Element Size	5,0 mm
Initial Size Seed	Full Assembly
Smoothing	Low
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Max Dual Layers in Thin Regions	No
Minimum Edge Length	10,0 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
<i>Number of CPUs for Parallel Part Meshing</i>	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
<i>Number of Retries</i>	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	24436
Elements	13114
Mesh Metric	None

**TABLE 6**  
**Model (C4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Patch Conforming Method</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Method	Tetrahedrons
Algorithm	Patch Conforming
Element Midside Nodes	Use Global Setting

### 5.15 Static Structural (C5)

**TABLE 7**  
**Model (C4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 8**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
<i>Number Of Steps</i>	1,
<i>Current Step Number</i>	1,

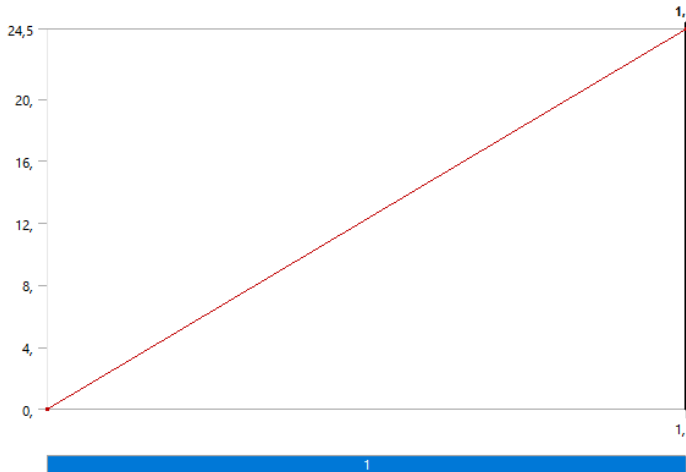
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No

General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS-3\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 9**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Pressure</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	3 Faces	2 Faces
<b>Definition</b>		
Type	Fixed Support	Pressure
Suppressed	No	
Define By		Normal To
Applied By		Surface Effect
Magnitude		24,5 MPa (ramped)

**FIGURE 1**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Pressure**



### 5.15.1 Solution (C6)

**TABLE 10**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	8, s
MAPDL Memory Used	468, MB
MAPDL Result File Size	11,75 MB
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No



**TABLE 11**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 12**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain
By	Time		
Display Time	Last		

Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
<b>Integration Point Results</b>			
Display Option	Averaged		Averaged
Average Across Bodies	No		No
<b>Results</b>			
Minimum	1,9279e-002 MPa	0, mm	4,5092e-007 mm/mm
Maximum	139,53 MPa	3,1652e-002 mm	7,3245e-004 mm/mm
Minimum Occurs On	Solid		
Maximum Occurs On	Solid		
<b>Information</b>			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

**TABLE 13**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) >**  
**Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1,	1,9279e-002	139,53

**TABLE 14**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Total**  
**Deformation**

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1,	0,	3,1652e-002

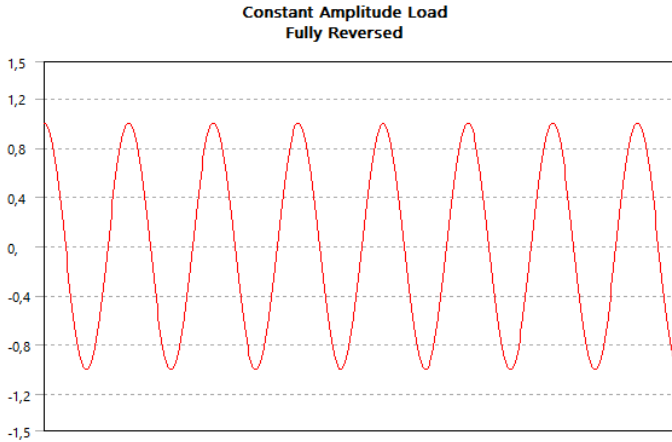
**TABLE 15**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) >**  
**Equivalent Elastic Strain**

Time [s]	Minimum [mm/mm]	Maximum [mm/mm]
1,	4,5092e-007	7,3245e-004

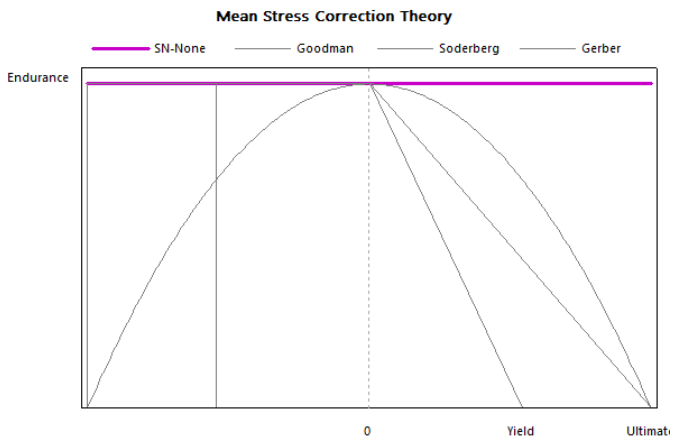
**TABLE 16**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue**  
**Tools**

Object Name	<i>Fatigue Tool</i>
State	Solved
<b>Materials</b>	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1,
<b>Loading</b>	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1,
<b>Definition</b>	
Display Time	End Time
<b>Options</b>	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	None
Stress Component	Equivalent (Von Mises)
<b>Life Units</b>	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

**FIGURE 5**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool**



**FIGURE 6**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool**



**TABLE 17**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Results**

Object Name	Life	Damage	Safety Factor
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Life	Damage	Safety Factor
Identifier			
Suppressed	No		
Design Life		1,e+009 cycles	
<b>Integration Point Results</b>			
Average Across Bodies	No		
<b>Results</b>			
Minimum	96042 cycles		0,6178
Minimum Occurs On	Solid		Solid
Maximum		10412	
Maximum Occurs On		Solid	

**TABLE 18**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Life**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	96042	1,e+006

**TABLE 19**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Damage**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1000,	10412

**TABLE 20**

**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Safety Factor**

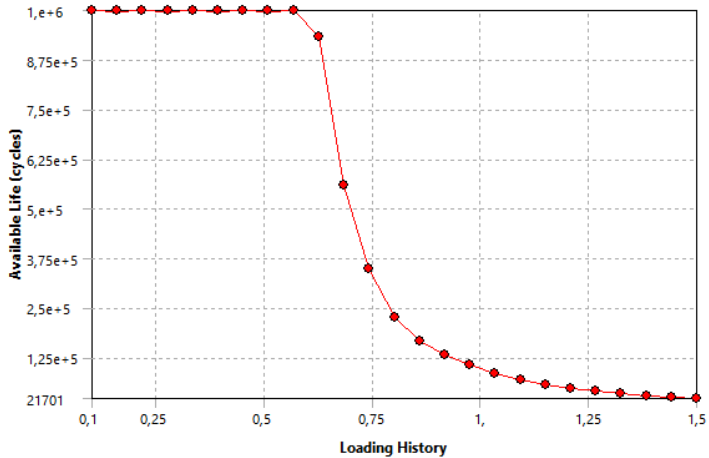
Time [s]	Minimum	Maximum
1,	0,6178	15,

**TABLE 21**

**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Result Charts**

Object Name	<i>Fatigue Sensitivity</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Geometry	All Bodies
<b>Definition</b>	
Sensitivity For	Life
Suppressed	No
<b>Options</b>	
Lower Variation	10, %
Upper Variation	150, %
<i>Number of Fill Points</i>	25
Chart Viewing Style	Linear

**FIGURE 10**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue**  
**Tool > Fatigue Sensitivity**



## 5.16 Material Data

### 5.16.1 Structural Steel

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7,85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Color**

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

**TABLE 24****Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

**TABLE 25****Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
250,

**TABLE 26****Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
250,

**TABLE 27****Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

**TABLE 28****Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

**TABLE 29****Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,



262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

**TABLE 30**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient t MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient t	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient t MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

**TABLE 31**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

**TABLE 32**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

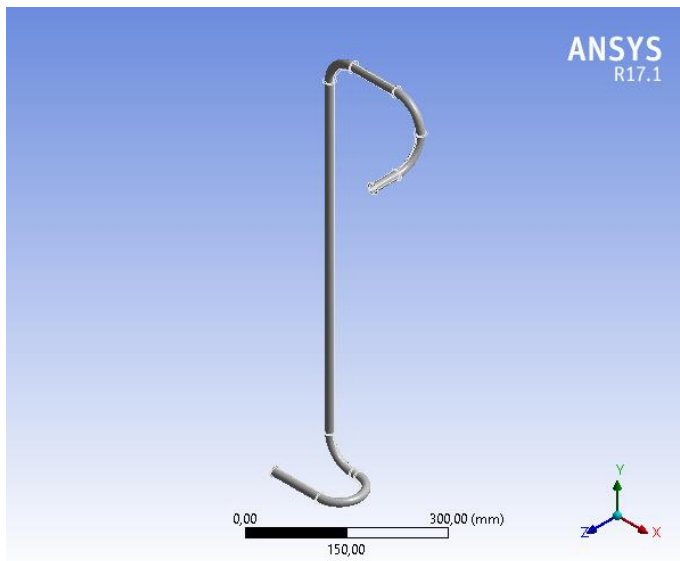
Relative Permeability
10000



---

**PROJECT**

First Saved	Saturday, January 11, 2020
Last Saved	Sunday, January 12, 2020
Product Version	17.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## 5.17 Contents

- [Units](#)
- [Model \(D4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Solid](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
    - [Automatic Method](#)
  - [Named Selections](#)
  - [Static Structural \(D5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(D6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Fatigue Tool](#)
        - [Results](#)
        - [Fatigue Sensitivity](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## 5.18 Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## 5.19 Model (D4)

### 5.19.1 Geometry

**TABLE 2**  
**Model (D4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS-4\DM\SYS- 4.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	235, mm
Length Y	755, mm
Length Z	110, mm
<b>Properties</b>	
Volume	2,1136e+005 mm <sup>3</sup>
Mass	1,6592 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	8859
Elements	4576
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes

Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (D4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Solid</i>
-------------	--------------

State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	235, mm
Length Y	755, mm
Length Z	110, mm
<b>Properties</b>	
Volume	2,1136e+005 mm <sup>3</sup>
Mass	1,6592 kg
Centroid X	81,777 mm
Centroid Y	376,28 mm
Centroid Z	-66,533 mm
Moment of Inertia Ip1	1,3137e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	7720,2 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	1,3728e+005 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	8859
Elements	4576
Mesh Metric	None

### 5.19.2 Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (D4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

### 5.19.3 Mesh

**TABLE 5**  
**Model (D4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Body Color
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
<b>Sizing</b>	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse

Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Low
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Max Dual Layers in Thin Regions	No
Minimum Edge Length	10,0 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
<i>Number of CPUs for Parallel Part Meshing</i>	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
<i>Number of Retries</i>	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	8859
Elements	4576
Mesh Metric	None



**TABLE 6**  
**Model (D4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Automatic Method</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Method	Automatic
Element Midside Nodes	Use Global Setting

#### 5.19.4 Named Selections

#### 5.20 Static Structural (D5)

**TABLE 7**  
**Model (D4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (D5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 8**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
<i>Number Of Steps</i>	1,

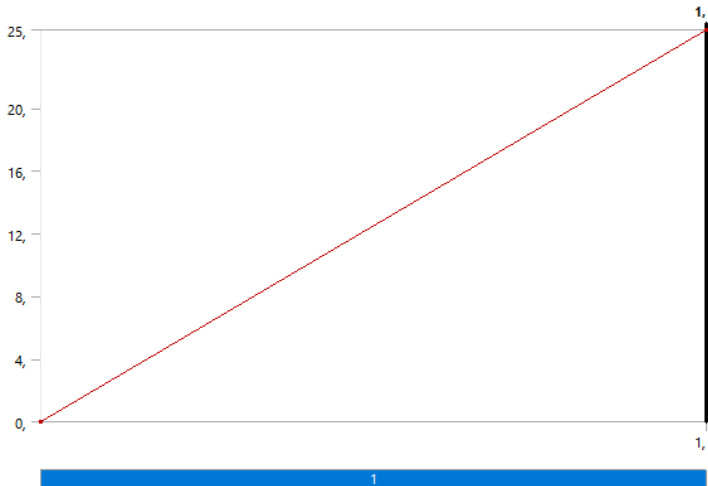
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No

Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\Kuliah\Semester 8\TA\ANSIS SUPER FIX\SIDANG_files\dp0\SYS-4\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 9**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Pressure</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	2 Faces	10 Faces
<b>Definition</b>		
Type	Fixed Support	Pressure
Suppressed	No	
Define By	Normal To	
Applied By	Surface Effect	
Magnitude	25, MPa (ramped)	

**FIGURE 1**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Pressure**



### 5.20.1 Solution (D6)

**TABLE 10**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (D6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	4, s
MAPDL Memory Used	278, MB
MAPDL Result File Size	4,4375 MB
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No

**TABLE 11**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 12**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain
By	Time		
Display Time	Last		

Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
<b>Integration Point Results</b>			
Display Option	Averaged		Averaged
Average Across Bodies	No		No
<b>Results</b>			
Minimum	0,86718 MPa	0, mm	1,424e-004 mm/mm
Maximum	133,82 MPa	4,9939e-002 mm	8,1248e-004 mm/mm
Minimum Occurs On	Solid		
Maximum Occurs On	Solid		
<b>Information</b>			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

**TABLE 13**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) >**  
**Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1,	0,86718	133,82

**TABLE 14**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Total**  
**Deformation**

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1,	0,	4,9939e-002

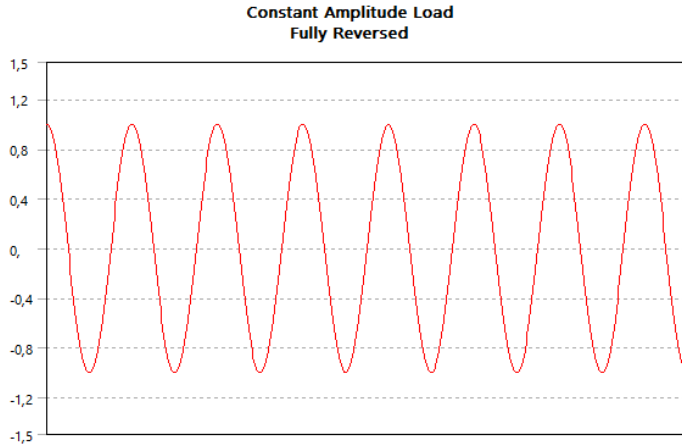
**TABLE 15**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) >**  
**Equivalent Elastic Strain**

Time [s]	Minimum [mm/mm]	Maximum [mm/mm]
1,	1,424e-004	8,1248e-004

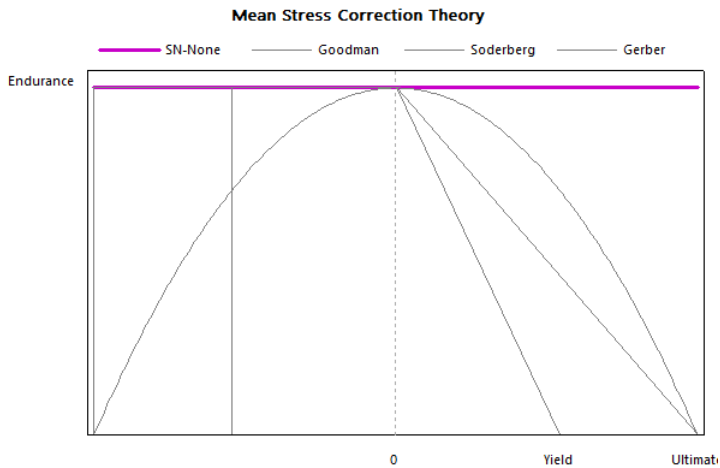
**TABLE 16**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue**  
**Tools**

Object Name	<i>Fatigue Tool</i>
State	Solved
<b>Materials</b>	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1,
<b>Loading</b>	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1,
<b>Definition</b>	
Display Time	End Time
<b>Options</b>	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	None
Stress Component	Equivalent (Von Mises)
<b>Life Units</b>	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

**FIGURE 5**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue**  
**Tool**



**FIGURE 6**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue Tool**





**TABLE 17**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue Tool > Results**

Object Name	<i>Life</i>	<i>Damage</i>	<i>Safety Factor</i>
State	Solved		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
<b>Definition</b>			
Type	Life	Damage	Safety Factor
Identifier			
Suppressed	No		
Design Life		1,e+009 cycles	
<b>Integration Point Results</b>			
Average Across Bodies	No		
<b>Results</b>			
Minimum	1,1181e+005 cycles		0,64415
Minimum Occurs On	Solid		Solid
Maximum		8943,8	
Maximum Occurs On		Solid	

**TABLE 18**  
**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue Tool > Life**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1,1181e+005	1,e+006

**TABLE 19**

**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue  
Tool > Damage**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	1000,	8943,8

**TABLE 20**

**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue  
Tool > Safety Factor**

Time [s]	Minimum	Maximum
1,	0,64415	15,

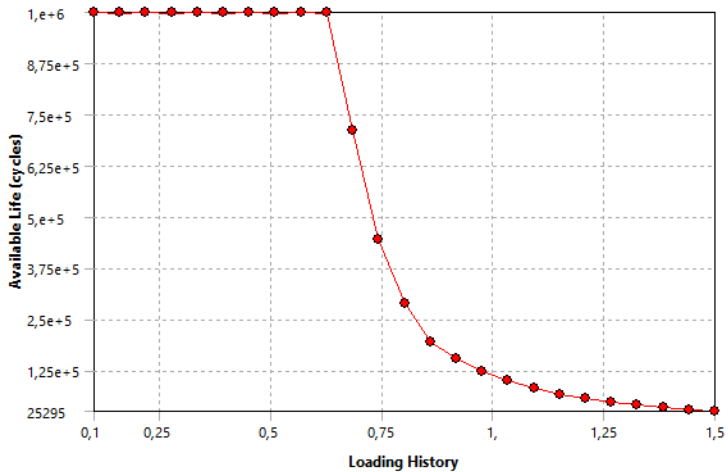
**TABLE 21**

**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue  
Tool > Result Charts**

Object Name	<i>Fatigue Sensitivity</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Geometry	All Bodies
<b>Definition</b>	
Sensitivity For	Life
Suppressed	No
<b>Options</b>	
Lower Variation	10, %
Upper Variation	150, %
Number of Fill Points	25
Chart Viewing Style	Linear

**FIGURE 10**

**Model (D4) > Static Structural (D5) > Solution (D6) > Fatigue  
Tool > Fatigue Sensitivity**



## 5.21 Material Data

### 5.21.1 Structural Steel

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7,85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Color**

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

**TABLE 24**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
-----------------------------------

0,
----

**TABLE 25**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
--------------------------------

250,
------

**TABLE 26**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
----------------------------

250,
------

**TABLE 27**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
-------------------------------

460,
------

**TABLE 28**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
---

22,
-----

**TABLE 29**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,

138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

**TABLE 30**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

**TABLE 31**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

**TABLE 32**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000

## UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung secara moril maupun materil serta do'a yang selalu tercurahkan kepada saya demi kelancaran, kesehatan, dan keselamatan demi menempuh studi ini.
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membantu Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
3. Tim Lini Produksi Mesin Kompaksi *Frangible Bullet* khususnya Mas Faisal, Mas Girsang, Mas Firman yang telah membantu dan mecurahkan semua pikiran dan tenaga dalam pengerjaan proyek mesin kompaksi *frangible*
4. Semla Nurhidayah *partner* penulis yang senantiasa selalu dibebani dan ditinggal tidur.
5. Teman teman workshop Tridiku (Alif, Tadeus, Kevin) yang telah membantu penulis saat mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Lab.fisika material (Ninik, Nadya, Fakhri, Iyando) yang sudah membantu saya dalam memberikan ilmunya.
7. Fajar Naufal yang senantiasa memberi bantal untuk tidur.
8. Adit yang senantiasa sabar AOV.
9. Oneng yang senantiasa sabar.
10. Garena AOV ID dan Moontod MLBB yang senantiasa menghalangi saya untuk mengerjakan TA.
11. Teman teman Sobat Promo dan Sobat Mabar yang senantiasa membantu penulis.
12. Keluarga MT18 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



**Adhy Prihatmiko Wibowo**, lahir di Pati pada tanggal 5 Maret 1998. Penulis ini merupakan anak kedua dari empat bersaudara pasangan Ali Maskuri dan Dewi Arshita Laksmi. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Pati Lor 2, SMP Negeri 3 Pati, dan SMA Negeri 1 Pati. Setelah lulus SMA pada tahun 2016 penulis diterima di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui

jalur PKM-Mandiri. Semasa kuliah penulis pasif mengikuti organisasi di dalam kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Departemen Ristek HMMT FTI ITS tahun kepengurusan 2017/2018, dan menjabat sebagai Kabiro Mentoring LDJ Ash Haabul Kahfi tahun kepengurusan 2018/2019, selain itu pada tahun kedua penulis pernah menjadi staff Departemen Mentoring LDJ Ash Haabul Kahfi tahun kepengurusan 2017/2018. Dalam bidang akademik penulis juga pernah menjadi Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Bhirawa Steel pada periode bulan Juni-Agustus 2019. Selama kerja praktek penulis menangani masalah pengaruh komposisi baja terhadap ketebalan martensit.

Tugas Akhir yang diambil penulis dalam topik Material Inovatif yang berjudul “Rancang Bangun Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis Tipe-H Untuk Aplikasi Produksi Amunisi Frangible”.

Email : [adhypw01@gmail.com](mailto:adhypw01@gmail.com)



