



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL184834**

**ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI MESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS TIPE-H UNTUK APLIKASI PRODUKSI  
FRANGIBLE BULLET**

**SALMA NURHIDAYAH  
NRP. 0251164000035**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.**

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





**TUGAS AKHIR TL - 184834**

**ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI MESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS TIPE H UNTUK APLIKASI  
PRODUKSI FRANGIBLE BULLET**

SALMA NURHIDAYAH  
NRP. 02511640000035

Dosen Pembimbing  
Dr. Widyastuti., S.Si.,M.Si  
Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc

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**

**PERFORMANCE ANALYSIS AND H-TYPE AUTOMATIC  
HYDRAULIC COMPACTION MACHINE EFFICIENCY  
FOR BULLET FRANGIBLE PRODUCTION  
APPLICATION.**

**SALMA NURHIDAYAH**  
NRP. 02511640000035

Supervisors  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

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

*(This page is intentionally left blank)*

**ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI MESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS TIPE H UNTUK APLIKASI  
PRODUKSI PROYEKTIL FRANGIBLE BULLET**

**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:

**SALMA NURHIDAYAH**  
NRP 0251164000035

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. .... (Pembimbing I)
2. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. .... (Pembimbing II)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI MESIN KOMPAKSI HIDROLIK OTOMATIS TIPE H UNTUK APLIKASI PRODUKSI FRANGIBLE BULLET**

**Nama** : Salma Nurhidayah  
**NRP** : 02511640000035  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Dr.Widyastuti, S.Si., M.Si  
**Pembimbing II** : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

## **Abstrak**

*Proses kompaksi peluru frangible saat ini dilakukan dengan menggunakan mesin kompaksi hidrolik manual. Untuk mencapai tahap produksi massal diperlukan analisis kinerja dan efisiensi mesin kompaksi hidrolik otomatis. Analisa kinerja mesin dilakukan berdasarkan rancang bangun dan operasionalnya. Optimasi mesin kompaksi hidrolik otomatis dilakukan dengan menentukan variabel tekanan dan dwelling time yang paling optimal dengan variasi tekanan 500,600 dan 700 MPa dan variasi dwelling time yaitu 0,5,15,30, dan 45 menit dengan validasi melalui pengujian tekanan dan kekerasan. Dan juga dilakukan perhitungan terhadap efisiensi mesin kompaksi hidrolik otomatis serta perhitungan kapasitas mesin dalam menghasilkan produk frangible bullet yang sesuai standar. Dari hasil uji kekerasan didapatkan bahwa tekanan yang paling optimum adalah 700 MPa dengan dwelling time 5 menit sebesar 97 HRF. Sedangkan dari hasil uji kekuatan tekan didapatkan bahwa tekanan yang paling optimum adalah 700 Mpa dengan dwelling time 45 menit sebesar 110 MPa. mesin kompaksi HO memiliki akurasi penekanan sebesar 99,88%, dengan efisiensi mesin sebesar 80%, serta efisiensi produksi sebesar 80%.*

**Kata Kunci:** *Peluru Frangible, Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis, Standar Operasi Prosedur, Kinerja, Efisiensi.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PERFORMANCE ANALYSIS AND H-TYPE AUTOMATIC  
HYDRAULIC COMPACTION MACHINE EFFICIENCY  
FOR FRANGIBLE BULLET PRODUCTION  
APPLICATIONS**

**Student Name** : Salma Nurhidayah  
**NRP** : 0251164000035  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Supervisor** : Dr.Widyastuti, S.Si., M.Si  
**Co-Supervisor** : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

**Abstract**

*The frangible bullet compaction process is currently carried out using a manual hydraulic compacting machine. To reach the mass production stage, performance and efficiency analysis of automatic hydraulic compacting machines is needed. Machine performance analysis is carried out based on the design and operation. automatic hydraulic compacting machine optimization is done by determining the most optimal pressure and dwelling time variables with pressure variations of 500,600 and 700 MPa and dwelling time variations of 0.5,15,30, and 45 minutes with validation through pressure and hardness testing. And also the calculation of the efficiency of automatic hydraulic compacting machines and the calculation of engine capacity in producing frangible bullet products that are in accordance with the standard. From the results of the hardness test it was found that the most optimum pressure was 700 MPa with 5 minutes dwelling time of 97 HRF. While the results of the compressive strength test found that the most optimum pressure is 700 MPa with 45 minutes dwelling time of 110 MPa. This machine have a pressing accuracy of 99,88%, with an engine efficiency of 80% and a production efficiency of 80%.*

**Keywords:** *frangible bullets, Automatis hydraulic compaction machine, standard operation procedur, performance, efficiency.*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran 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 “**Analisis Kinerja Dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis Tipe H Untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet**”. Penulis ingin berterima kasih juga kepada

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
2. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si dan Bapak Wikan Jatimurti, ST.Msc, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang memotivasi, memberi bimbingan dan pelajaran yang tak ternilai harganya.
3. Haniffudin Nurdiansyah, S.T., M.T. 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 mengharapakan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama

Surabaya, 16 Januari 2020  
Penulis

Salma Nurhidayah

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</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>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Peluru Frangible.....	5
2.2 Metalurgi Serbuk ( <i>Powder Metallurgy</i> ).....	7
2.2.1 Pencampuran ( <i>Mixing</i> ).....	8
2.2.2 Kompaksi .....	9
2.2.3 Macam Macam Proses Kompaksi .....	16
2.2.4 Karakteristik <i>Green Compact</i> .....	21
2.2.5 Sintering .....	22
2.3 Mesin Kompaksi .....	23
2.3.1 Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	26
2.3.2 Sistem Hidrolik .....	26
2.4 Komponen Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis.....	30
2.4.1 Komponen Hidrolik.....	31
2.4.2 Komponen Struktural .....	47
2.4.3 Komponen Otomasi.....	49
2.5 Penelitian Sebelumnya.....	50
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	53
3.1.1 Diagram Alir Keseluruhan .....	53

3.1.2	Diagram Alir Pemilihan Komponen Mesin Kompaksi Hidrolik dengan Sistem Otomatis .....	54
3.1.3	Diagram Alir Pembuatan <i>Standard Operating Procedure</i> Instalasi .....	56
3.1.4	Diagram Pembuatan Standar Operasional Operasi Mesin Kompaksi Hidrolik dengan Sistem Otomatis Untuk Kompaksi <i>Frangible Bullet</i> .....	57
3.1.5	Diagram Alir Pengujian Kinerja dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik .....	58
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	59
3.2.1	Alat Penelitian .....	59
3.2.2	Bahan Pengujian.....	64
3.3	Desain Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	66
3.4	Pemilihan Komponen.....	67
3.5	Pembuatan <i>Standard Operating Procedure</i> .....	67
3.6	Kalibrasi Sistem <i>Control Pressure</i> .....	68
3.7	Kinerja dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	69
3.7.1	Prosedur Penelitian.....	69
3.7.2	Pengujian.....	69
3.7.1	Perhitungan Efisiensi Kinerja Mesin dan Efisiensi Produksi Mesin.....	73

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Desain Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	75
4.1.1	Perhitungan Mesin Kompaksi .....	76
4.2	Standar Operasional Kinerja Dan Instalasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	84
4.2.1	Spesifikasi Desain Dan Keterangan Komponen .....	84
4.2.2	Panel Kontrol.....	93
4.2.3	Standar Operasional Instalasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	95



4.2.4	Standar Operasional Operasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis .....	101
4.2.5	Pembersihan dan Perawatan.....	106
4.2.6	Batasan Batasan.....	106
4.3	Pengujian Kinerja, Efisiensi, Dan Optimasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis (HO) .....	107
4.3.1	Pengujian Kinerja Mesin Kompaksi HO.....	107
4.3.2	Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis (HO).....	112
4.3.3	Optimasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis (HO).....	115
4.3.4	Analisa Mesin Kompaksi Hidroik Otomatis (KHO) untuk Generasi I .....	125
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	131
5.2	Saran .....	131
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>133</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>139</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>181</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>183</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	(a). Bagian-bagian material (b). Betuk-bentuk proyektil .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Proses Manufaktur Proyektil <i>Frangible</i> Metode Metalurgi Serbuk.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Skema Proses <i>Mixing</i> Proyektil <i>Frangible</i> .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Ilustrasi Proses Kompaksi Serbuk .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Skema proses kompaksi metalurgi serbuk.....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Skema perilaku serbuk ketika diberikan tekanan dalam cetakan.....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Pengaruh tekanan terhadap densitas .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Hubungan antara tekanan dan <i>green density</i> dari serbuk Fe, Ni, Cu dan W .....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Skema partikel berdasarkan <i>degree of pore saturation</i> (DPS).....	14
<b>Gambar 2.10</b>	Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekerasan material .....	15
<b>Gambar 2.11</b>	Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekuatan tekan.....	16
<b>Gambar 2.12</b>	<i>Single action die compaction</i> dan <i>double action die compaction</i> .....	19
<b>Gambar 2.13</b>	Skema proses <i>sintering</i> proyektil <i>frangible</i> .....	23
<b>Gambar 2.14</b>	Mesin kompaksi hidrolik PCHS-series .....	24
<b>Gambar 2.15</b>	Prinsip kerja mesin kompaksi hidrolik secara umum.....	25
<b>Gambar 2.16</b>	Urutan penggunaan mesin hidrolik otomatis .....	26
<b>Gambar 2.17</b>	Diagram alir sistem hidrolik .....	27
<b>Gambar 2.18</b>	Fluida dalam pipa menurut hukum Pascal.....	27
<b>Gambar 2.19</b>	Perbandingan antara (a) Aliran Laminar dan (b) Aliran Turbulent. ....	30
<b>Gambar 2.20</b>	<i>Directional control valve</i> dengan bagian nya (1). <i>Frame</i> ; (2) Kumparan; (3) Solenoida; (4) <i>return spring</i> .....	37
<b>Gambar 2.21</b>	Katup pangatur tekanan ( <i>relief valve</i> ) .....	37

<b>Gambar 2.22</b> Katup pengatur arah aliran ( <i>directional control valve</i> ).....	38
<b>Gambar 2.23</b> Manometer ( <i>pressure gauge</i> ) yang digunakan dalam sistem hidrolik.....	41
<b>Gambar 2.24</b> Metode tubing yang benar dan salah pada sistem hidrolik.....	44
<b>Gambar 2.25</b> Mesin kompaksi hidrolik otomatis dan komponen struktural.....	47
<b>Gambar 2.26</b> Desain <i>Frame</i> (rangka) mesin tipe H.....	48
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir keseluruhan.....	54
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir pemilihan komponen mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis.....	55
<b>Gambar 3.3</b> Diagram alir pembuatan <i>standar operasional procedure</i> instalasi.....	56
<b>Gambar 3.4</b> Diagram alir pembuatan <i>standar operasional procedure</i> instalasi.....	57
<b>Gambar 3.5</b> Diagram alir pengujian kinerja dan efisiensi mesin kompaksi hidrolik.....	59
<b>Gambar 3.6</b> Mesin kompaksi hidrolik otomatis.....	60
<b>Gambar 3.7</b> <i>Horizontal furnace</i> .....	60
<b>Gambar 3.8</b> Spatula.....	60
<b>Gambar 3.9</b> <i>Magnetic stirrer</i> dan <i>hot plate</i> .....	61
<b>Gambar 3.10</b> Timbangan digital.....	61
<b>Gambar 3.11</b> <i>Dies</i> untuk bentuk <i>pellet</i> .....	62
<b>Gambar 3.12</b> <i>Combustion boat</i> .....	62
<b>Gambar 3.13</b> Alat uji tekan.....	63
<b>Gambar 3.14</b> Alat uji kekerasan.....	63
<b>Gambar 3.15</b> Serbuk Cu (Tembaga).....	64
<b>Gambar 3.15</b> Serbuk Sn (Timah).....	64
<b>Gambar 3.17</b> Serbuk <i>Zinc Stearate</i> .....	65
<b>Gambar 3.17</b> Pelarut Ethanol.....	65
<b>Gambar 3.19</b> Ilustrasi desain mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis.....	66
<b>Gambar 3.20</b> Mesin kompaksi hidrolik.....	67

<b>Gambar 3.21</b>	Dimensi dari sampel uji tekan dan uji kekerasan .....	70
<b>Gambar 3.22</b>	Skema uji tekan .....	71
<b>Gambar 4.1</b>	Skema mesin kompaksi hidrolik otomatis dan komponennya ({1a. rangka}, {1b. ram}, {1c. base plate}, {2a. motor hidrolik}, {2b. tangki reservoir }, {2c. Silinder hidrolik}) .....	75
<b>Gambar 4.2</b>	Panel kontrol mesin kompaksi hidrolik otomatis .....	95
<b>Gambar 4.3</b>	Letak komponen <i>pressure transmitter</i> .....	108
<b>Gambar 4.4</b>	Diagram alir mekanisme kerja sensor <i>pressure transmitter</i> .....	108
<b>Gambar 4.5</b>	Sampel uji kinerja (a) serbuk sebelum kompaksi.....	109
<b>Gambar 4.6</b>	Diagram hasil pembacaan tekanan pada alat <i>human machine interface</i> (HMI) dan standar ( <i>pressure gauge</i> ).....	111
<b>Gambar 4.7</b>	Sampel hasil kompaksi dengan variabel tekanan (a).500 (b) 600 (c) 700 MPa yang berbeda .....	116
<b>Gambar 4.8</b>	Sample hasil kompaksi dengan variabel <i>dweling time</i> (a) 0 menit, (b) 5 menit, (c) 15 menit, (d) 30 menit, dan (d) 45 menit yang berbeda. ....	116
<b>Gambar 4.9</b>	a) Pengujian kekerasan dengan metode rockwell F, b) sampel hasil uji kekerasan.....	117
<b>Gambar 4.10</b>	Diagram pengaruh tekanan kompaksi dan <i>dwelling time</i> terhadap kekerasan komposit CuSn. ....	118
<b>Gambar 4.11</b>	Diagram pengaruh tekanan kompaksi terhadap nilai kekerasan. ....	119
<b>Gambar 4.12</b>	Diagram pengaruh <i>dweling time</i> terhadap nilai kekerasan.....	120
<b>Gambar 4.13</b>	Sampel uji tekan komposit Cu-Sn setelah <i>disintering</i> .....	122

**Gambar 4.14** Kondisi sampel setelah uji kekuatan tekan ..... 124

**Gambar 4.15** Diagram pengaruh tekanan kompaksi dan  
*dwell time* terhadap kekuatan tekan komposit  
CuSn. .... 124

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Sifat mekanik peluru <i>frangible</i> komposit CuSn.....	7
<b>Tabel 2.2</b>	Perbandingan antara <i>single action</i> dan <i>double action</i> .....	18
<b>Tabel 2.3</b>	Perbandingan <i>hot dan cold compression</i> .....	20
<b>Tabel 2.4</b>	Perbandingan antara mesin kompaksi hidrolik dan mekanik.....	24
<b>Tabel 2.5</b>	Perbandingan antara <i>non-positive displacement</i> dan <i>positive displacement</i> .....	33
<b>Tabel 2.6</b>	Perbandingan karakteristik pompa hidrolik.....	34
<b>Tabel 2.7</b>	Perbandingan spesifikasi pompa.....	35
<b>Tabel 2.8</b>	Pemilihan jenis filter.....	41
<b>Tabel 2.9</b>	Komponen otomasi/elektronik dalam mesin kompaksi hidrolik otomatis .....	49
<b>Tabel 2.10</b>	Hasil penelitian sebelumnya .....	51
<b>Tabel 3.1</b>	Besar beban utama dan jenis indentor untuk metode <i>rockwell</i> .....	72
<b>Tabel 4.1</b>	Konstanta kapasitas mesin kompaksi.....	76
<b>Tabel 4.2</b>	Gaya yang dibutuhkan untuk kompaksi 1 peluru .....	77
<b>Tabel 4.3</b>	Tekanan hidrolik yang dibutuhkan untuk kompaksi 1 peluru.....	77
<b>Tabel 4.4</b>	Debit/Laju aliran fluida berdasarkan desain .....	78
<b>Tabel 4.5</b>	Debit/Laju aliran fluida berdasarkan kondisi aktual.....	78
<b>Tabel 4.6</b>	Daya <i>power pack</i> yang dibutuhkan berdasarkan desain.....	79
<b>Tabel 4.7</b>	Daya <i>power pack</i> yang dibutuhkan untuk kondisi aktual.....	80
<b>Tabel 4.8</b>	Debit/Laju aliran fluida saat proses kompaksi berdasarkan desain rancang bangun .....	80
<b>Tabel 4.9</b>	Debit/Laju aliran fluida saat proses kompaksi berdasarkan kondisi aktual.....	81

<b>Tabel 4.10</b>	Kecepatan <i>ram</i> ( <i>ram speed</i> ) saat proses kompaksi berdasarkan desain.....	81
<b>Tabel 4.11</b>	Kecepatan <i>ram</i> ( <i>ram speed</i> ) saat proses kompaksi berdasarkan kondisi aktual .....	82
<b>Tabel 4.12</b>	Kapasitas tangki <i>reservoir</i> dan dimensi .....	82
<b>Tabel 4.13</b>	Diameter dalam silinder hidrolik .....	83
<b>Tabel 4.14</b>	Ketebalan silinder hidrolik.....	83
<b>Tabel 4.15</b>	Diameter luar silinder hidrolik.....	84
<b>Tabel 4.16</b>	Spesifikasi mesin kompaksi hidrolik otomatis.....	85
<b>Tabel 4.17</b>	Komponen mesin kompaksi hidrolik otomatis .....	88
<b>Tabel 4.18</b>	Standar operasional instalasi.....	96
<b>Tabel 4.19</b>	Standar operasional operasi .....	101
<b>Tabel 4.20</b>	Standar operasional mematikan mesin kompaksi hidrolik otomatis.....	105
<b>Tabel 4.21</b>	Pembacaan skala pada sensor <i>pressure transmitter</i> dan <i>pressure gauge</i> .....	110
<b>Tabel 4.22</b>	Data spesifikasi mesin motor 3 fasa tipe Y904-L .....	112
<b>Tabel 4.23</b>	Hasil uji tekan dan uji kekerasan .....	114
<b>Tabel 4.24</b>	Analisa mesin KHO untuk perbaikan generasi II.....	127



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material *frangible* merupakan material yang mempunyai kemampuan untuk dapat terdeformasi menjadi fragmen – fragmen kecil ketika menerima beban tertentu (J. Komenda, 2017). Salah satu aplikasi dari material *frangible* yaitu digunakan dalam bidang pertahanan dan keamanan suatu negara sebagai proyektil peluru. Material bahan baku yang digunakan dalam proyektil peluru ini terdiri dari komposit matriks logam Cu-Sn yang ramah lingkungan dan minim *backsplash* atau *richocet* dibanding dengan material proyektil peluru konvensional. Proses manufaktur peluru *frangible* ini menggunakan metode metalurgi serbuk yang terdiri dari beberapa tahapan diantaranya *mixing*, kompaksi dan *sintering*. Tahapan kompaksi merupakan proses pembentukan/pemadatan terhadap serbuk baik murni, paduan ataupun campuran dari berbagai macam serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya yaitu *sintering*.

Pada penelitian Azmi (2016) disebutkan bahwa untuk masuk pada taraf industri dibutuhkan jumlah dan laju material yang tidak sedikit, sehingga membutuhkan perancangan desain proses produksi bertaraf industri agar peluru *frangible* dapat dikomersialkan. Untuk menunjang hal tersebut, maka tidak hanya dari segi proses saja yang direncanakan namun perlu diperhitungkan terkait desain alat yang dapat menunjang produksi peluru bertaraf industri. Salah satunya adalah mesin kompaksi hidrolis. Untuk menghasilkan material dengan kepadatan dan kualitas yang sama antara yang satu dengan yang lain, maka dibutuhkan mesin kompaksi hidrolis otomatis. Parameter – parameter untuk menghasilkan kinerja mesin kompaksi yang baik harus diterapkan, dilakukan juga pemilihan komponen – komponen untuk merancang mesin kompaksi untuk menghasilkan produk *frangible bullet* yang memenuhi standar.

Menurut (Wang, 2018) variabel yang mempunyai pengaruh cukup signifikan pada kinerja mesin kompaksi hidrolik adalah besarnya tekanan yang diberikan saat proses kompaksi dan *dwelling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk menyeragamkan tekanan. Namun, untuk mengetahui pengaruh tekanan dan *dwelling time* yang cukup signifikan pada kinerja mesin kompaksi hidrolik otomatis diperlukan pengujian terhadap serbuk komposit Cu-Sn. Pada penelitian yang dilakukan oleh Anugraha dkk (2014) menyebutkan bahwa adanya variasi tekanan memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik komposit Cu-Sn. Semakin meningkatnya tekanan kompaksi maka nilai kekerasan dan kekuatan tekan dari komposit Cu-Sn semakin meningkat. Pada penelitian yang dilakukan oleh S. Kruachatturat dkk (2009) disebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh peluru frangible berada pada kisaran 31 – 310 MPa. Dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV. Nilai sifat mekanik ini salah satunya dipengaruhi dari proses kompaksi.

Untuk menyelesaikan permasalahan yang telah dibahas, pada studi kali ini dilakukan pembuatan mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis, pengujian kinerja dan efisiensinya. Diawali dengan pemilihan komponen, instalasi peralatan dan selanjutnya pengujian berbagai variabel untuk memastikan mesin kompaksi yang dibuat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Sehingga, penelitian ini dapat diaplikasikan pada proses produksi peluru frangible dalam taraf skala industri.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana memilih komponen mesin kompaksi yang sesuai dengan spesifikasi ?
2. Bagaimana standar operasional untuk instalasi komponen mesin kompaksi yang tepat ?
3. Bagaimana standar operasional prosedur untuk mengoperasikan mesin kompaksi ?

4. Bagaimana pengujian kinerja dan efisiensi dari mesin kompaksi yang tepat ?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan 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. Fungsi komponen alat sama untuk komponen yang berbeda merk.
2. Desain mesin kompaksi dan komponen komposisi peluru frangible sudah ditetapkan pada penelitian sebelumnya.
3. Desain dan bentuk dies dianggap tidak memiliki pengaruh terhadap proses kompaksi.
4. Komponen elektronika/otomasi dari mesin kompaksi peluru sudah ditetapkan pada penelitian sebelumnya.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis komponen mesin kompaksi yang sesuai dengan spesifikasi.
2. Menganalisis standar operasional untuk *instalasi* komponen mesin kompaksi yang tepat.
3. Menganalisis standar operasional prosedur mengoperasikan mesin kompaksi untuk proses produksi *frangible bullet* yang tepat.
4. Mengefisiensikan kinerja mesin kompaksi dengan tepat.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alat mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis yang dapat bekerja secara optimal. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai pengembangan teknologi mesin dalam dunia industri, serta penelitian ini dapat diaplikasikan dan digunakan pada proses produksi peluru frangible yang berskala industri komersial.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Peluru Frangible

Peluru *frangible* merupakan peluru yang didesain untuk hancur menjadi fragmen kecil ketika menerima beban tertentu, berupa benturan dengan tembok ataupun permukaan lain yang keras. Penggunaan peluru *frangible* ini mempunyai tujuan untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya pantulan kembali (*backsplash* atau *richocet*) ketika peluru ditembakkan mengenai objek tertentu dan memantul ke arah yang tidak terduga dengan kecepatan tinggi sehingga berpotensi membahayakan penembak dan lingkungan sekitarnya (Mullins,2001). *Frangibility factor* atau sifat mudah pecah dari peluru *frangible* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bentuk proyektil, sifat mekanik dari material proyektil, desain proyektil, teknologi produksi dan kondisi impak dari proyektil. Ilustrasi peluru *frangible* ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** (a). Bagian-bagian material (b). Bentuk-bentuk proyektil (Kelter, 2011)

Peluru *frangible* dalam penelitian ini memiliki komposisi yang terdiri 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 peluru diaplikasikan pada senjata api (Nadkarni, 2003). Selain itu Cu dipilih sebagai material proyektil karena memiliki densitas dan kekuatan hasil kompaksi yang cukup tinggi (Banovic, 2007). 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 (*mixing*). Proses manufaktur peluru *frangible* secara garis besar dibagi menjadi 3 jenis proses meliputi pencampuran (*mixing*), kompaksi, dan *sintering*.

Menurut (Hansen, 2006) peluru *frangible* secara umum memiliki densitas yang berkisar diantara 1,75 – 8,25 g/cm<sup>3</sup> sedangkan untuk peluru *frangible* yang sesuai dengan karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1–8,5 g/cm<sup>3</sup>. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kruachatturat, 2009), disebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh peluru *frangible* berada pada kisaran 31 – 310 MPa. Dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV (Anugraha, 2014).

Menurut paten (Benini, 2001) dinyatakan bahwa serbuk tembaga juga digunakan dalam peluru *frangible* dengan perbandingan persentase komposisi yang terdiri dari 89,75%wt Cu, 10% serbuk Sn, dan 0,25% *Zinc Stearate* sebagai pelumas dan ditekan dengan tekanan kompaksi sebesar 20 ton. Dengan memberikan variasi terhadap temperatur *sintering* pada kondisi lingkungan gas nitrogen dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit, peluru menghasilkan sifat mekanik seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Sifat mekanik peluru *frangible* komposit CuSn  
(Benini, 2001)

Temperatur Sintering (°C)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Perubahan Ukuran (%)	Nilai Kekerasan (HRH)	Transfer Rupture Strength (psi)
Tanpa sintering	7.26	0.14	73.7	3651
260	7.27	0.07	94.8	12710
810	6.53	2.53	52.7	32625

Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data melalui penelitian, juga bisa didapatkan secara teori dengan menggunakan *Rule of mixture* (ROM). Persamaan 2.1 digunakan untuk menghitung densitas teoritis dari material komposit (Ejiofor & R.G, 1997).

$$\rho_c = \rho_m \cdot v_{fm} + \rho_p \cdot v_{fp} \quad (2.1)$$

Dimana :

$\rho_c$  = densitas komposit ( $gr/cm^3$ )

$\rho_m$  = densitas matrik ( $gr/cm^3$ )

$\rho_p$  = densitas penguat ( $gr/cm^3$ )

$v_{fm}$  = fraksi volume matrik

$v_{fp}$  = fraksi volume penguat

## 2.2 Metalurgi Serbuk (*Powder Metallurgy*)

Metalurgi serbuk merupakan suatu proses manufaktur *near-net* yang mengkombinasikan teknologi *shape-making* untuk kompaksi serbuk dengan mengembangkan desain sifat akhir material (sifat fisik dan mekanik) selama proses densifikasi dan konsolidasi (ASM Metal Handbook , 1998). Prinsip dalam pembentukan serbuk adalah dengan memadatkan serbuk logam menjadi serbuk dengan bentuk yang diinginkan, kemudian

memanaskannya dibawah temperatur lelehnya, sehingga partikel partikel logam dapat menyatu (Anugraha, 2014). Proses manufaktur proyektil *frangible* dengan menggunakan metode metalurgi serbuk mempunyai tahapan tahapan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Proses Manufaktur Proyektil *Frangible* Metode Metalurgi Serbuk (ASM Metal Handbook , 1998)

### 2.2.1 Pencampuran (*Mixing*)

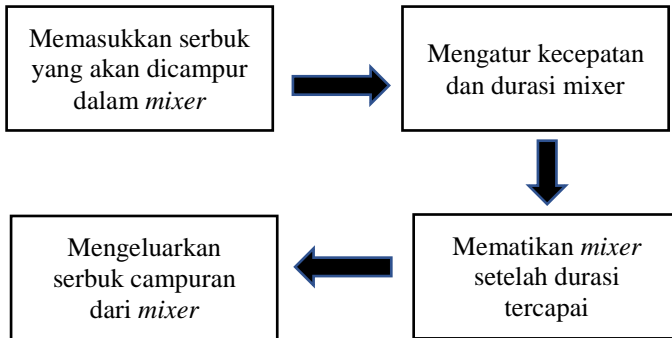
Proses pencampuran (*mixing*) didefinisikan sebagai proses yang bertujuan untuk mendapatkan distribusi serbuk yang merata dari campuran berbagai bahan. Mekanisme dalam proses pengadukan yaitu difusi, konveksi, dan *shear*. Campuran difusi terjadi karena adanya gerakan dari tiap partikel masuk ke permukaan 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 R. , 1984).

Dalam proses pembuatan proyektil peluru *frangible*, dibutuhkan tingkat homogenitas yang tinggi untuk memperoleh hasil yang bagus. 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 (Anugraha & Widyastuti, Analisa Karakteristik Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Komposit Cu-Sn terhadap Frangibilitas Peluru Frangible Cu-Sn, 2015). Dalam proses pembuatan proyektil peluru *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 peluru *frangible*.

Skema proses *mixing* pada proses produksi proyektil *frangible* menggunakan metode metalurgi serbuk adalah sebagai berikut pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Skema Proses *Mixing* Proyektil *Frangible* (Anugraha & Widyastuti, 2015)

### 2.2.2 Kompaksi

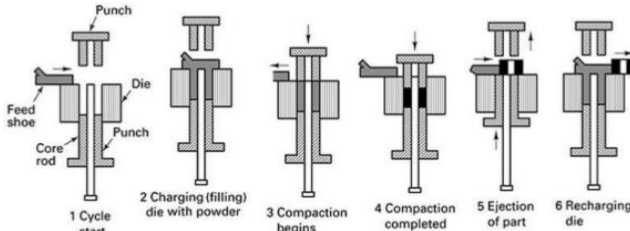
Kompaksi didefinisikan sebagai suatu proses pembentukan atau pemadatan terhadap serbuk baik itu serbuk murni, paduan ataupun campuran dari berbagai jenis setelah serbuk melalui proses pencampuran (*mixing*) sehingga dapat memiliki bentuk dan dimensi yang diinginkan serta memiliki kekuatan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya yaitu *sintering* (Hewitt, Wallace, & De Malherbe, 1973).

Menurut (Upadhyaya, 2002) proses kompaksi pada manufaktur metalurgi serbuk mempunyai beberapa fungsi yaitu sebagai berikut :

1. Menyatukan serbuk menjadi suatu bentuk dengan ukuran yang diinginkan.
2. Meningkatkan densitas dan menurunkan porositas.
3. Tahapan persiapan sebelum dilakukan proses *sintering*.

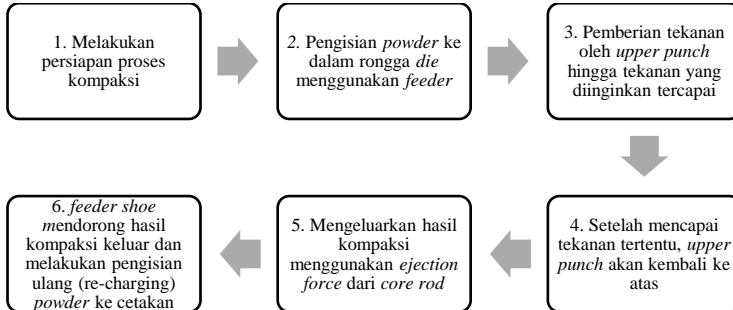
4. Memberikan kekuatan yang memadai agar bisa diproses di tahap selanjutnya.

Ilustrasi dari proses kompaksi dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut :



**Gambar 2.4** Ilustrasi Proses Kompaksi Serbuk (Degarmo, 1988)

Berdasarkan ilustrasi proses kompaksi diatas, maka dapat dijabarkan proses kompaksi secara mendetail melalui skema Gambar 2.5 berikut ini yang terdiri atas 6 proses tahapan yaitu :

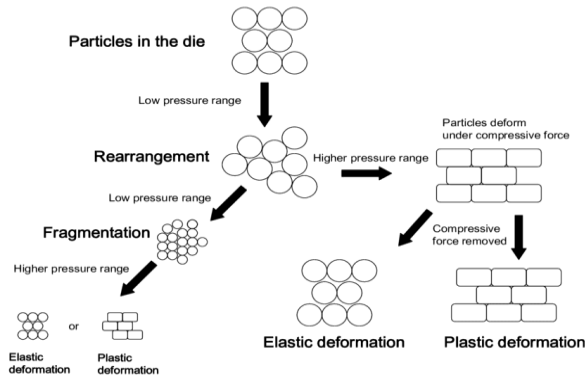


**Gambar 2.5** Skema proses kompaksi metalurgi serbuk (Degarmo, 1988).

## 1. Kompresibilitas Serbuk

Kompresibilitas serbuk didefinisikan sebagai kemampuan suatu serbuk untuk berubah bentuk di bawah tekanan. Selama proses kompaksi serbuk dalam suatu cetakan mendapatkan gaya

tekan sehingga menghasilkan pengurangan volume. Volume dikurangi dengan penurunan intra dan ruang pori antarpartikel. Proses pemberian tekanan biasanya digambarkan sebagai urutan proses melibatkan berbagai mekanisme seperti yang dijelaskan oleh (Alderborn, 2002) pada Gambar 2.6 berikut.



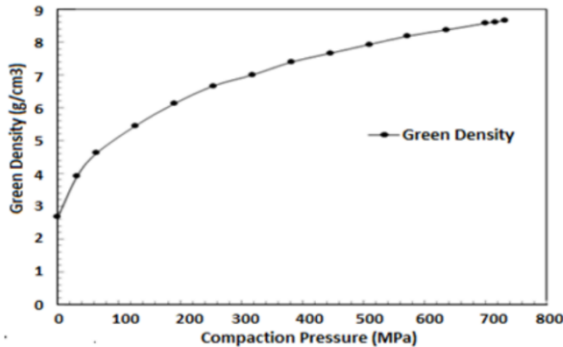
**Gambar 2.6** Skema perilaku serbuk ketika diberikan tekanan dalam cetakan (Alderborn, 2002)

Berdasarkan skema pada Gambar 2.6 diketahui bahwa pada tekanan rendah, partikel mengalami penataan ulang (*re-arrangement*), yang menghasilkan struktur partikel menjadi lebih dekat dan porositas berkurang. Ketika sebuah tekanan tertentu tercapai, *re-arrangement* akan berhenti karena ruang berkurang dan peningkatan gesekan antarpartikel. Karena tekanan semakin meningkat, maka partikel mengalami pengurangan volume sehingga densitas meningkat dan hal ini mengakibatkan terjadi perubahan dimensi pada partikel. Perubahan dimensi ada 2 kemungkinan yaitu patah menjadi lebih kecil (*fragmentasi*) atau tetap pada bentuk partikelnya namun mengalami perubahan ukuran (deformasi plastis dan deformasi elastis). Partikel hasil proses fragmentasi dapat mengalami deformasi lagi apabila diberikan tekanan yang lebih tinggi. Dengan demikian, satu

partikel tunggal dapat mengalami siklus peristiwa ini beberapa kali selama satu siklus kompresi (Salbu, 2011).

## 2. Pengaruh Tekanan Kompaksi terhadap Densitas Hasil Kompaksi (*Green Density*)

Berdasarkan skema perilaku serbuk saat diberikan tekanan dalam suatu cetakan, dapat diketahui bahwa tekanan mempunyai pengaruh terhadap besarnya densitas hasil kompaksi (*green compact*). Berikut pada Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara pengaruh tekanan terhadap densitas.



**Gambar 2.7** Pengaruh tekanan terhadap densitas (Dixit & Srivastava, 2018)

Dari Gambar 2.7 dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya tekanan yang diberikan, maka densitas dari hasil kompaksi akan meningkat atau porositasnya akan menurun. Hubungan antara tekanan yang diberikan dan densitas atau porositas dari serbuk hasil kompaksi sudah banyak dipelajari oleh peneliti yang dituliskan dalam persamaan secara matematika.

Menurut (Balshin, 1938) Persamaan 2.2 merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara tekanan dan densitas rata rata hasil kompaksi yaitu sebagai berikut :

$$\ln P = AV + B \quad (2.2)$$

Dimana :

$P$  = Tekanan yang diberikan

$V$  = Volume relatif serbuk ( $V_{\text{serbuk kompaksi}} : V_{\text{hasil kompaksi}}$ )

(A,B) = Konstanta

Hubungan antara tekanan dan porositas disarankan berdasarkan studi dari porositas tanah sebagai fungsi dari kedalaman tanah dibawah permukaan. Berdasarkan hubungan tersebut (Heckel, 1961) membuat suatu Persamaan 2.3 yaitu :

$$P = \frac{1}{K} \left[ \ln \frac{1}{1-D} + B \right] \quad (2.3)$$

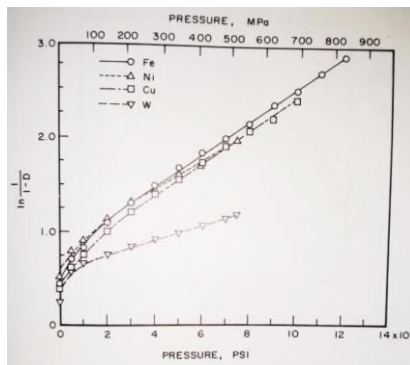
Dimana :

$D$  = Densitas dari kompaksi

$P$  = Tekanan yang diberikan

$K, B$  = Konstanta

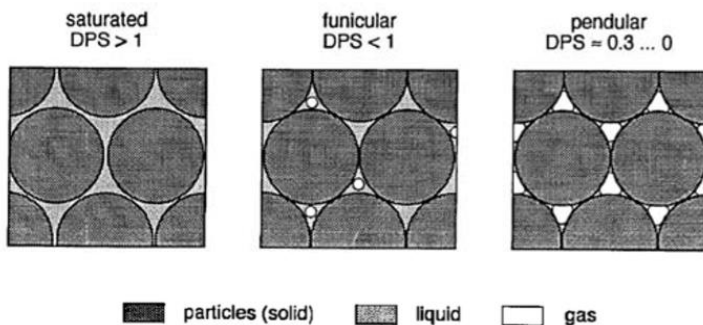
Dalam penelitian nya, (Heckel, 1961) menunjukkan bahwa Persamaan 2.3 tersebut berlaku untuk berbagai serbuk dari logam yang berbeda dengan metode produksi yang berbeda, hubungan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut ini.



**Gambar 2.8** Hubungan antara tekanan dan *green density* dari serbuk Fe, Ni, Cu dan W (Heckel, 1961)

### 3. Pengaruh Pelumas (*Lubricant*) terhadap Kompaksi

Penambahan *lubricant* pada saat proses kompaksi harus disesuaikan dengan proses yang digunakan. Fraksi volume dari pelumas merupakan variable yang penting selama proses kompaksi berlangsung. Fraksi volum pelumas dikategorikan berdasarkan *degree of pore saturation* (DPS). DPS merupakan fraksi volume rongga antar partikel serbuk yang terisi oleh lubrikan. DPS dari pelumas ini dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yang dapat dilihat pada Gambar 2.9.



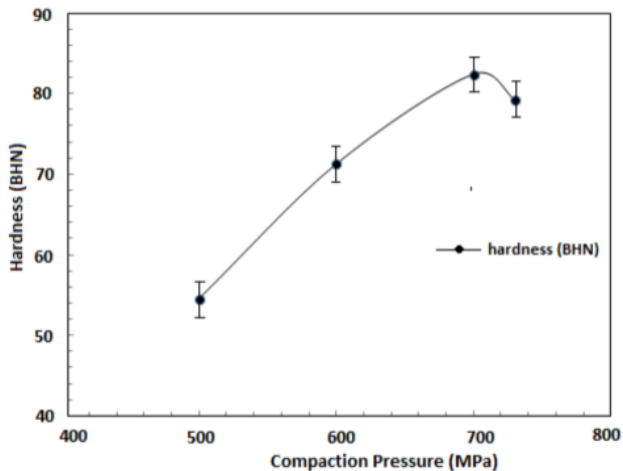
**Gambar 2.9** Skema partikel berdasarkan *degree of pore saturation* (DPS) (Thummler, 1993)

Pada proses *injection moulding*, digunakan pelumas dengan DPS lebih dari satu atau bisa disebut dengan *saturated*. Pada proses *die compaction*, pelumas 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 pelumas, sehingga membutuhkan gaya yang lebih besar. Contoh kasus pada *saturated liquid suspension*, proses densifikasi tidak akan terjadi sebelum d. pelumas mengering (Thummler, 1993).

#### 4. Pengaruh Tekanan Kompaksi terhadap Sifat Mekanik

Kekerasan dan kekuatan tekan merupakan sifat mekanik yang perlu diperhatikan dalam pembuatan peluru *frangible* karena sifat tersebut mempengaruhi kinerja dari peluru. Kekerasan merupakan ketahanan suatu material terhadap indentasi akibat beban dinamis atau statis serta ketahanan terhadap goresan maupun abrasi (Anugraha, 2014). Sedangkan kekuatan tekan merupakan kapasitas suatu material dalam menahan beban.

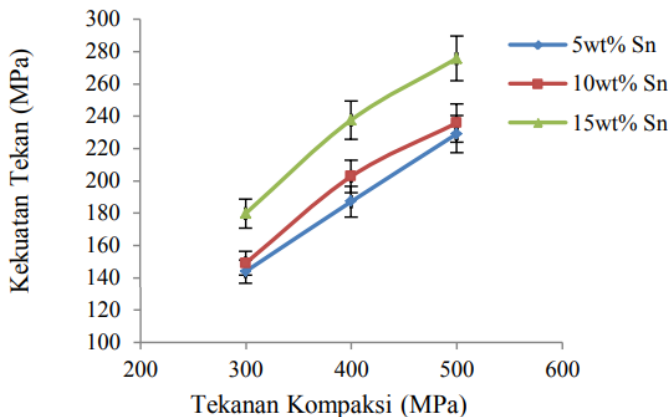
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Dixit & Srivastava, 2018) menunjukkan bahwa hubungan antara tekanan kompaksi dengan sifat mekanik kekerasan merupakan dua variabel yang berbanding lurus yaitu semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan pada serbuk logam maka kekerasan yang dihasilkan juga tinggi. Pada Gambar 2.10 berikut merupakan hubungan antara tekanan kompaksi dan kekerasan.



**Gambar 2.10** Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekerasan material (Dixit & Srivastava, 2018)

Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekuatan tekan berdasarkan pengujian yang dilakukan (Anugraha, 2014)

menunjukkan hubungan yang berbanding lurus yaitu semakin besar tekanan kompaksi yang diberikan maka kekuatan tekan material juga semakin tinggi. Hal ini terjadi karena kekuatan tekan yang semakin meningkat diindikasikan dipengaruhi oleh jumlah porositas. Karena semakin meningkatnya tekanan kompaksi maka semakin menurunkan porositas. Semakin menurunnya jumlah porositas diikuti oleh semakin meningkatnya kekuatan tekan yang diperoleh dari hasil pengujian tekan. Pada Gambar 2.11 berikut merupakan hasil penelitian yang menunjukkan pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekuatan tekan.



**Gambar 2.11** Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekuatan tekan (Anugraha, 2014)

### 2.2.3 Macam Macam Proses Kompaksi

Proses kompaksi dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu berdasarkan arah tekan, temperature kerja dan pemberian *lubricant*.

#### 1. Proses Kompaksi Berdasarkan Arah Tekan

Berdasarkan arah tekannya proses kompaksi dibagi menjadi 2 yaitu (Upadhyaya, 2002) :



a. *Single action die compaction*

*Single action compaction* merupakan proses pemadatan material serbuk penekanan yang dilakukan dengan menggunakan 1 penekan (*punch*) yang bergerak dari 1 arah tekan yaitu, penekan (*punch*) bagian atas bergerak ke bawah.

b. *Double action die compaction*

*Double action compaction* merupakan proses pemadatan material serbuk yang dilakukan dengan menggunakan 2 penekan (*punch*) yang bergerak dari 2 arah tekan yang berlawanan yaitu untuk arah tekan dari *punch* atas bergerak dari atas ke bawah sedangkan untuk arah tekan dari *punch* bawah bergerak dari bawah ke atas.

Proses dan parameter material yang dapat mempengaruhi proses densifikasi dapat ditulis dengan model matematika seperti Persamaan 2.4 (Thummler, 1993)

$$F = \left(\frac{q}{\sigma_m}\right)^2 + \alpha(1 - \rho)^\beta \left(\frac{P}{\sigma_m}\right)^2 - \rho^\delta \quad (2.4)$$

Persamaan diatas mengasumsikan tidak ada heating effect. Dan kalkulasi untuk menentukan nilai  $\sigma_m$  dapat menggunakan Persamaan 2.5 berikut

$$\sigma_m = a_m + b_m e_m^{n_m} \quad (2.5)$$

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 Persamaan 2.6 sebagai berikut

$$F = \left(\frac{q}{\sigma_m}\right)^2 + 6,2(1 - \rho)^{1,028} \left(\frac{P}{\sigma_m}\right)^2 - \rho^5 \quad (2.6)$$

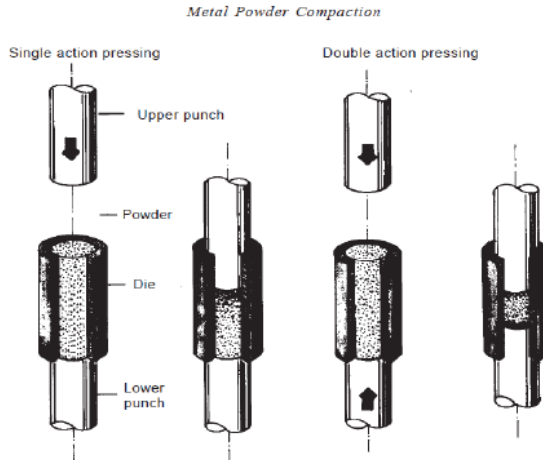
Dimana:

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

Perbedaan antara *single action die compaction* dan *double action die compaction* ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.12 berikut.

**Tabel 2.2** Perbandingan antara *single action* dan *double action*

No	Aspek yang dibandingkan	<i>Single Action</i>	<i>Double Action</i>
1.	Kecepatan Produksi	Lebih cepat	Lebih lambat
2.	Distribusi densitas	Kurang homogen	Lebih homogen
3.	Biaya Pembuatan	Mahal	Murah
4.	Green Compact Design	Flexible	Terbatas



**Gambar 2.12** *Single action die compaction dan double action die compaction (Upadhyaya, 2002)*

## 2. Proses Kompaksi Berdasarkan Temperature Kerja

Proses kompaksi yang dibantu dengan tekanan apabila ditinjau dari segi materialnya dapat dibagi menjadi 2 metode yaitu (German & Churn, 1984) :

### a. *Cold compressing*,

*Cold compressing* merupakan proses pemadatan atau penekanan yang 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). Metode ini digunakan apabila material serbuk yang digunakan mudah teroksidasi, misalnya Al.

### b. *Hot Compressing*,

*Hot compressing* merupakan proses pemadatan atau penekanan yang dilakukan dengan temperatur diatas temperatur standar (100-200°C). Metode ini digunakan apabila material serbuk yang digunakan tidak mudah

teroksidasi dan memiliki titik leleh yang rendah (Upadhyaya, 2002).

Perbedaan kedua proses kompaksi dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini

**Tabel 2.3** Perbandingan *hot dan cold compression*

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

### 3. Proses Kompaksi Berdasarkan Pemberian *Lubricant*

Pada proses kompaksi, gaya gesek ruang terjadi antar partikel yang digunakan dan antar partikel komposit dengan dinding cetakan akan mengakibatkan kerapatan pada daerah tepi dan bagian tengah tidak merata. Untuk menghindari terjadinya perbedaan kerapatan, maka pada saat kompaksi digunakan *lubricant* atau pelumas yang bertujuan untuk mengurangi gesekan antara partikel dan dinding cetakan. Dalam penggunaan *lubricant* atau pelumas, dipilih bahan pelumas yang tidak rekatif terhadap campuran serbuk dan yang memiliki titik leleh rendah sehingga pada proses sintering tingkat awal *lubricant* dapat menguap.

Terkait dengan pemberian *lubricant* pada proses kompaksi, maka terdapat dua metode kompaksi, yaitu (Upadhyaya, 2002) :

#### a. *Die wall compressing*

*Die wall* merupakan proses pemadatan atau penekanan material serbuk yang dilakukan dengan memberikan *lubricant* pada dinding cetakan

#### b. *Internal lubricant compressing*

*Internal lubricant compressing* merupakan proses pemadatan atau penekanan material serbuk yang dilakukan dengan mencampurkan *lubricant* pada material serbuk yang akan ditekan.

#### 2.2.4 Karakteristik *Green Compact*

*Green compact* merupakan serbuk logam yang sudah melalui proses kompaksi. Karakteristik yang dihasilkan dari proses kompaksi terdiri dari *green density* dan *green strength*. Untuk mengetahui karakteristik dari *green compact* selain dengan pengambilan data eksperimen, juga bisa didapatkan dari teori melalui Persamaan dibawah ini. Persamaan 2.7 digunakan untuk menentukan berat spesifik, Persamaan 2.8 digunakan untuk menghitung *green density*, Persamaan 2.9 digunakan untuk menghitung porositas dan Persamaan 2.10 digunakan untuk menghitung tekanan kompaksi serta Persamaan 2.11 digunakan untuk menghitung *green strength* (Thummler, 1993) :

1. Berat Spesifik

$$\rho = \frac{m}{Vt} \quad (2.7)$$

2. *Green Density*

$$\delta = \frac{m}{vb} \quad (2.8)$$

3. Porositas

$$\theta = 1 - \frac{\delta}{\delta th} \quad (2.9)$$

4. Tekanan Kompaksi

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

5. *Green Strength*

*Green strength* merupakan kekuatan mekanik dari *green*, yaitu padatan setelah proses kompaksi. Karakteristik ini penting karena menentukan kemampuan dari padatan *green* untuk mempertahankan ukuran dan bentuk sebelum proses *sintering* (Upadhyaya, 2002).

$$\text{Green strength} = \frac{3PL}{2wt^2} \quad (2.11)$$

Dimana :

$\rho$  = Berat Spesifik

m = Massa serbuk  
V<sub>t</sub> = Volume sebenarnya  
 $\delta$  = Densitas hasil kompaksi  
V<sub>b</sub> = Volume setelah kompaksi  
 $\delta_{th}$  = Densitas teoritis  
 $\theta$  = Porositas  
P = Tekanan  
F = Gaya  
A = Area  
L = Jarak antar *rods*  
t = Ketebalan spesimen  
w = Lebar spesimen

### 2.2.5 Sintering

*Sintering* merupakan serangkaian tahapan pemanasan yang dilakukan terhadap produk serbuk logam hasil dari proses kompaksi dengan menggunakan parameter temperatur tertentu dengan tujuan yaitu agar mampu membentuk suatu ikatan diantar partikel di dalam produk melalui mekanisme difusi atom sehingga kekuatan produk dapat meningkat. Pada proses *sintering* ada beberapa parameter yang dapat berpengaruh terhadap produk hasil sintering antara lain sebagai berikut (German & Churn, Sintering Atmosphere Effects on the Ductility of W- Ni- Fe Heavy Metals, 1984) :

1. Temperatur *sintering*

Semakin tinggi temperatur *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.

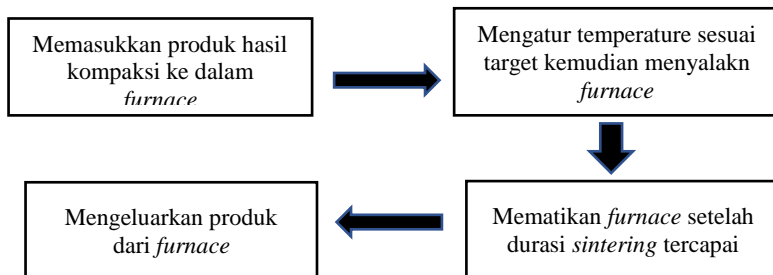
4. *Green density*

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*.

Berikut ini merupakan skema dari proses *sintering* pada proses produksi proyektil *frangible* dapat dilihat pada Gambar 2.13



**Gambar 2.13** Skema proses *sintering* proyektil *frangible* (German R. M., 2014)

## 2.3 Mesin Kompaksi

Mesin kompaksi merupakan mesin yang berfungsi untuk meningkatkan dimensi suatu material serbuk. Pada proses pembuatan peluru *frangible* menggunakan mesin kompaksi dengan cetakan (*die compaction*). Proses kompaksi jenis ini melibatkan cetakan yang kaku dan penekan hidrolik atau mekanik. Teknik ini dapat menghasilkan produk dengan densitas mencapai 90% dari densitas totalnya (Upadhyaya, 2002). Pada Gambar 2.14 berikut ini merupakan salah satu jenis mesin kompaksi.



**Gambar 2.14** Mesin kompaksi hidrolik PCHS-series  
([www.koreahotlink.com](http://www.koreahotlink.com))

Berdasarkan jenis penggeraknya ada 2 jenis mesin kompaksi yang digunakan dalam pematatan metalurgi serbuk yaitu mesin kompaksi hidrolik dan mesin kompaksi mekanik. Mesin kompaksi hidrolik memanfaatkan tekanan fluida melalui pompa hidrolik untuk menghasilkan tenaga kerja. Sedangkan pada mesin kompaksi mekanis menggunakan *flywheel* untuk menyimpan energi. Energi ini kemudian dilepaskan dan ditransfer ke pukulan utama dengan mekanisme kinematik yang tepat (Wonkhede & Lin, 2014). Perbandingan antara mesin kompaksi hidrolik dan mesin kompaksi mekanik ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.4** Perbandingan antara mesin kompaksi hidrolik dan mekanik (ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metallurgy, 1998 )

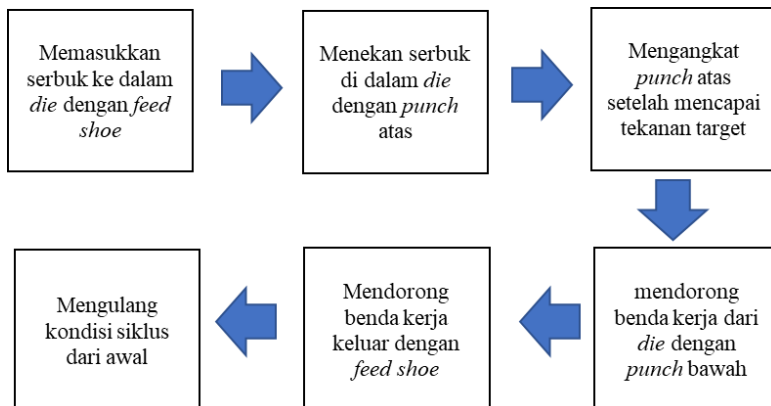
Aspek	Mesin Kompaksi Mekanik	Mesin Kompaksi Hidrolik
Kecepatan produksi	1,5 – 5 kali	1
<i>Equipment cost</i>	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
Biaya operasi	Lebih rendah	Lebih tinggi
Kapasitas tekanan	7-7,5 MN	0,3-20 MN
Kecepatan maksimum dari <i>stroke</i>	3000/h	650/h



Aspek	Mesin Kompaksi Mekanik	Mesin Kompaksi Hidrolik
Kedalaman maksimum pengisian powder	180 mm	380 mm

Mesin kompaksi hidrolik lebih lambat dalam pengoperasian dari mesin kompaksi mekanis karena tidak memiliki *flywheel* untuk menyimpan energi (Upadhyaya, 2002). Namun, memiliki keuntungan yaitu tonasenya dapat diatur pada berbagai tekanan hidrolik dan dapat mempertahankan tekanan konstan di seluruh tahapan proses serta sangat berguna untuk mencapai kompaksi panjang pada tekanan konstan. Sehingga, dalam proses kompaksi peluru *frangible* digunakan mesin kompaksi hidrolik. (Wonkhede & Lin, 2014).

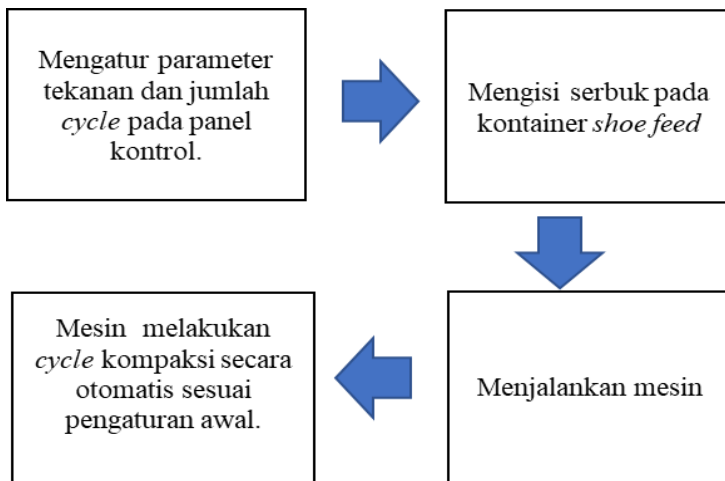
Berikut pada Gambar 2.15 merupakan prinsip kerja mesin kompaksi hidrolik secara umum dalam produksi peluru *frangible*.



**Gambar 2.15** Prinsip kerja mesin kompaksi hidrolik secara umum (Sulistya, 2019)

### 2.3.1 Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Teknologi utama dalam pembentukan benda kerja melalui proses kompaksi adalah mesin kompaksi. Penggunaan mesin kompaksi otomatis mampu menghasilkan benda kerja dengan bentuk yang presisi dalam jumlah banyak. Ilustrasi urutan penggunaan mesin hidrolik otomatis dapat dilihat pada Gambar 2.16.



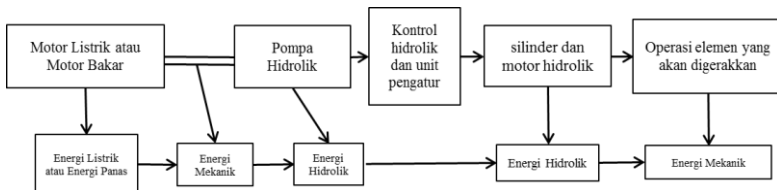
**Gambar 2.16** Urutan penggunaan mesin hidrolik otomatis (Sulistya, 2019)

### 2.3.2 Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik merupakan sistem yang menggunakan fluida cair sebagai tenaga utamanya dalam proses mentransmisikan daya. Prinsip yang digunakan dari rangkaian hidrolik ini yaitu dengan memanfaatkan fluida yang bertekanan selanjutnya fluida tersebut dipindahkan dengan menggunakan komponen pompa hidrolik sehingga suatu sistem hidrolik dapat berjalan. (Ranald, 1986). Fluida yang digunakan ini memiliki karakteristik khusus yaitu tidak dapat dimampatkan sehingga saat fluida tersebut mengalir massa jenisnya akan selalu tetap,

dan kecepatannya akan berubah sesuai dengan besar atau kecilnya nilai luas penampang tempat fluida mengalir. Selain itu fluida yang digunakan ini harus mempunyai kemampuan untuk dapat diteruskan ke segala arah dengan merata.

Sistem hidrolik digunakan untuk mendapatkan nilai gaya yang lebih besar dari pada gaya yang dikeluarkan saat awal.. Pada Gambar 2.17 ditunjukkan terkait prinsip kerja dari sistem hidrolik.

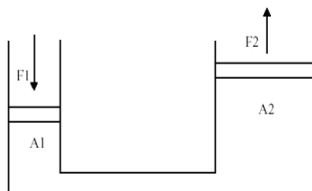


**Gambar 2.17** Diagram alir sistem hidrolik (Hartono, 1988)

Hukum Pascal merupakan persamaan yang digunakan sebagai prinsip dasar dalam berlangsungnya rangkaian sistem hidrolik.

### 1. Hukum Pascal

Berdasarkan hukum Pascal dapat diketahui bahwa tekanan pada permukaan suatu cairan diteruskan ke segala arah, hal ini dapat terlihat pada Gambar 2.18 yang memperlihatkan dua buah silinder berisi cairan yang dihubungkan dan mempunyai diameter yang berbeda.



**Gambar 2.18** Fluida dalam pipa menurut hukum Pascal (Zhang, 2009)

Apabila beban  $F$  diletakkan di silinder kecil, tekanan  $P$  yang dihasilkan akan diteruskan ke silinder besar ( $P = F/A$ , beban dibagi luas penampang silinder) menurut hukum ini, pertambahan tekanan dengan luas rasio penampang silinder kecil dan silinder besar, atau  $F = P \cdot A$

Sesuai dengan hukum *pascal* bahwa tekanan ( $P$ ) di semua tempat mempunyai besar yang sama, maka dapat diperoleh Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (2.12)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad (2.13)$$

Dimana :

- $F_1$  = Gaya masuk
- $F_2$  = Gaya keluar
- $A_1$  = Diameter piston kecil
- $A_2$  = Diameter piston besar

Dari persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13 diatas dapat diketahui bahwa besar nilai dari  $F_2$  dipengaruhi oleh faktor besar atau kecilnya kecilnya luasan penampang piston  $A_1$  dan  $A_2$ . Dalam sistem hidrolik, hal ini digunakan untuk mengubah gaya tekan fluida yang dihasilkan oleh pompa hidrolik untuk menggerakkan silinder hidrolik baik itu kearah maju, mundur ataupun naik serta turun sesuai dengan posisi dan kegunaan dari silinder. Daya yang dikeluarkan dari silinder hidrolik, lebih besar dari pada daya yang dihasilkan oleh pompa. Karena besar ataupun kecilnya daya yang diproduksi oleh silinder hidrolik sangat dipengaruhi oleh besar dan kecilnya luas penampang silinder hidrolik itu sendiri. (Kogyo, 1986).

## 2. Hukum Bernouli

Hukum Bernoulli merupakan salah satu istilah dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida,

peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini penyederhanaan dari persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi dari fluida yang mengalir tidak akan berubah selama energi tidak diberikan dari luar atau dipakai ke luar. Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tekanan statis dari fluida yang bergerak berbanding terbalik terhadap kecepatan. Hukum Bernoulli dapat dituliskan pada Persamaan 2.14 (Hartono, 1988) :

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstan} \quad (2.14)$$

Dimana :

$P$  = Tekanan statik

$\rho gh$  = Tekanan pada ketinggian permukaan zat cair

$\frac{1}{2} \rho v^2$  = Pusat (permukaan) tekanan

### 3. Aliran

Pada sistem hidrolis, aliran yang terjadi pada pipa hantaran baik pipa logam ataupun non logam terdapat 2 macam, yaitu aliran laminar dan turbulen (Hartono, 1988).

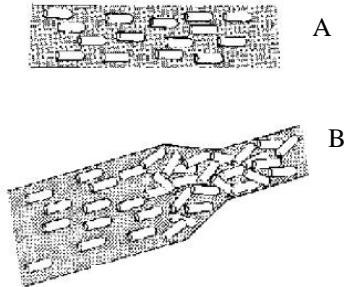
#### a. Aliran laminar

Aliran laminar merupakan aliran yang terjadi apabila partikel-partikel fluida mencapai kecepatan tertentu membentuk lapisan seragam diantara satu dengan yang lainnya, dan tidak terpengaruh yang terjadi antar partikel sehingga didapatkan aliran yang tenang, lurus dan sejajar.

#### b. Aliran turbulen

Aliran turbulen merupakan suatu aliran yang memiliki kecepatan aliran meningkat walaupun diameter pipa tetap sama, sifat alirannya berubah setelah mencapai kecepatan tertentu.

Pada Gambar 2.19 berikut ini merupakan perbedaan antara aliran laminar dan turbulen



**Gambar 2.19** Perbandingan antara (a) Aliran Laminar dan (b) Aliran Turbulent (Zhang, 2009).

Menurut Reynold ( $Re$ ), suatu aliran dapat ditentukan dengan menggunakan angka  $Re$ , angka ini tidak memiliki satuan. Persamaan dari angka  $Re$  ini dinyatakan pada Persamaan 2.15.

$$Re = \frac{v \cdot d_H}{\nu_k} \quad (2.15)$$

Dimana :

$V$  = kecepatan aliran (m/det)

$d_H$  = diameter dalam pipa penghantar ( $d_H = 4 \times \frac{A}{U}$ )

$A$  = Luas penampang

$U$  = Keliling pipa

$\nu_k$  = Viskositas kinematik ( $m^2/det$ )

$Re$  kritis  $\approx 2300$  merupakan konfigurasi aliran berubah dari laminar ke turbulen. Ketika  $Re < Re$  kritis maka jenis aliran fluida nya adalah aliran laminar sedangkan  $Re > Re$  kritis maka jenis aliran fluida adalah aliran turbulen (Hartono, 1988).

## 2.4 Komponen Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Komponen mesin kompaksi hidrolik otomatis ini terdiri atas 3 jenis komponen, yaitu : komponen sistem hidrolik (Unit

penggerak, unit tenaga, dan unit control) komponen sistem mekanik (rangka (*frame mesin*, *ram* dan *bed*) dan komponen sistem otomatis (*Pressure transmitter*, HMI ) (Utomo, 2017).

### 2.4.1 Komponen Hidrolik

Komponen – komponen penyusun sistem hidrolik dibedakan menjadi 3 berdasarkan fungsinya yaitu unit penggerak (*actuator*), unit tenaga, dan unit pengatur (control).

Berikut ini merupakan komponen komponen hidrolik dari mesin kompaksi hidrolik otomatis

#### 1. Motor

Motor merupakan komponen yang memiliki fungsi sebagai pengubah dari tenaga listrik menjadi tenaga mekanis. Dalam sistem hidrolik motor berfungsi sebagai penggerak utama dari semua komponen hidrolik dalam rangkaian ini. Kerja dari motor itu dengan cara memutar poros pompa yang dihubungkan dengan poros input motor (Egüz, 2008).

Untuk menentukan daya *output* motor dapat digunakan Persamaan 2.16 (Kogyo, 1986)

$$L = \frac{2\pi.T.N}{60000} \quad (2. 16)$$

Dimana :

L = Daya *Output* motor (kW)

T = Torsi (Nm)

N = Kecepatan rotasi (r/min )

Motor yang digunakan pada mesin ini adalah jenis motor induksi. Motor induksi adalah motor yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi ini menggunakan arus AC untuk menggerakkan mesin. Prinsipnya 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).

## 2. Pompa Hidrolik

Pompa merupakan salah satu komponen dominan sebagai penyusun dari unit tenaga dalam sistem hidrolik. 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 yang berfungsi untuk membangkitkan aliran fluida serta memberikan daya sebagaimana diperlukan. Pada dasarnya pompa melakukan dua fungsi utama (Hartono, 1988) :

- 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.

Menurut (Hartono, 1988) hal hal yang perlu diperhatikan sebelum memilih pompa adalah :

- a. Tekanan maksimum yang diperlukan sistem untuk menghasilkan gaya keluar yang cukup dengan elemen penggerak.
- b. Aliran maksimum (puncak) atau aliran rata-rata yang diperlukan, apabila sistem menggunakan accumulator.
- c. Daya guna pompa, kesesuaian operasi, pemeliharaan ringan, harga pembelian awal, dan tingkat kebisingan pompa.
- d. Kontrol aliran pompa selama sistem berada dalam tahap tak bergerak, pemindahan tetap, dan pemindahan tak tetap.
- e. Pemilihan aktuator (silinder hidrolik atau motor hidrolik) sebagai acuan tekanan dan kapasitas pompa.
- f. Pilih pompa berdasarkan dasar dari aplikasi (gear, *vane*, atau *piston pump*).



Berdasarkan perpindahannya pompa diklasifikasikan menjadi *non positive displacement* dan *positive displacement*. Pompa *non positive displacement* menghasilkan gaya pada fluida secara konstan pada setiap kecepatan pompa. Untuk *positive displacement* akan menyalurkan volume fluida dengan jumlah tertentu pada setiap siklusnya. Berikut pada Tabel 2.5 merupakan perbandingan antara *non-positive displacement* dan *positive displacement*.

**Tabel 2.5** Perbandingan antara *non-positive displacement* dan *positive displacement* (Egüz, 2008).

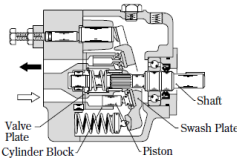
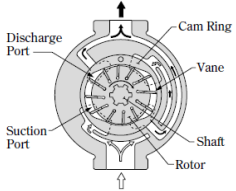
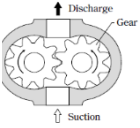
Aspek yang dibandingkan	Non-positive Displacement	Positive Displacement
Aliran	Smooth dan kontinyu	Batch/siklik
Tekanan	Terjadi pengurangan tekanan	Tekanan stabil
Self priming	X	v

Berdasarkan gerakan dari komponen internalnya, pompa hidrolik dikelompokkan menjadi 3 yaitu :

1. *Gear Pump* merupakan pompa yang mempunyai roda gigi yang susunannya biasanya terdiri atas gigi peggerak dan gigi yang digerakkan.
2. *Vane Pump* merupakan pompa yang mempunyai sudu sebagai penekan
3. *Piston Pump*.

Pada Tabel 2.6 berikut merupakan perbandingan karakteristik pompa hidrolik berdasarkan komponen internalnya.

**Tabel 2.6** Perbandingan karakteristik pompa hidrolik (Kogyo, 1986)

Aspek	Pompa Piston	Pompa Vane	Pompa Gear
Struktur			
Prinsip Operasi	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 selubungny a
Efisiensi	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)
Kemampuan hisap	Rendah	Medium	Tinggi
Ukuran dan Harga	Ukuran besar dan berat, harganya mahal	Ukuran nya terkecil dan harganya murah	Ukuran nya kecil dan harganya murah

Pada Tabel 2.7 berikut merupakan perbandingan spesifikasi dari pompa hidrolik.

**Tabel 2.7** Perbandingan spesifikasi pompa (Yukuatso, 1989)

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

Rumus perhitungan yang digunakan dalam menentukan spesifikasi pompa dinyatakan pada Persamaan 2.17 -2.20 dibawah ini. Pada Persamaan 2.17 digunakan untuk menentukan daya hidrolik pompa, Persamaan 2.18 digunakan untuk menghitung daya *input*, Persamaan 2.19 digunakan untuk menghitung efisiensi volumetrik, dan Persamaan 2.20 digunakan untuk menghitung efisiensi secara keseluruhan (Kogyo, 1986) :

- a. Power Hidrolik ( Power Output Pompa )

$$L_o = \frac{P \cdot Q}{60} \quad (2.17)$$

- b. Input Power

$$L_i = \frac{2\pi TN}{60000} \quad (2.18)$$

- c. Efisiensi Volumetrik

$$\eta_v = \frac{Q_p}{Q_o} \times 100 \quad (2.19)$$

## d. Efisiensi Keseluruhan

$$\eta = \frac{L_o}{L_i} \times 100\% \quad (2. 20)$$

Dimana :

$L_o$  = Power Hidrolik (kW)

$L_i$  = Input Power (kW)

$P$  = Tekanan (Mpa)

$Q$  = Flow rate (L/min)

$T$  = Poros Torsi (Nm)

$N$  = Kecepatan rotasi (r/min)

$\eta_v$  = Efisiensi Volumetrik (%)

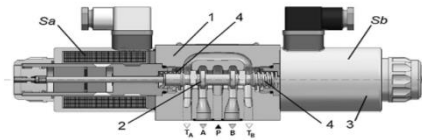
$\eta$  = Efisiensi Keseluruhan (%)

Sehingga dengan beberapa faktor yang terdapat diatas maka dapat dipilih pompa dengan tipe *Gear pump*. Hal ini dikarenakan adanya beberapa alasan, antara lain:

- a. Konstruksinya sederhana dan kokoh.
- b. Efisiensi kerja yang tinggi
- c. Tidak tergantung pada letak pemasangan.
- d. Sifat penghisapan yang baik (pada putaran konstan).
- e. Relatif tidak peka terhadap kotoran.
- f. Jangkauan putarannya besar.
- g. Dapat digunakan untuk berbagai daerah tekanan
- h. Efisiensi yang memadai (75%-90%).

3. Katup (*Valve*)

Dalam sistem hidrolik, katup berfungsi sebagai pengatur tekanan dan aliran fluida yang sampai ke silinder kerja. Pada Gambar 2.20 menunjukkan salah satu jenis *valve* dan bagian bagiannya.

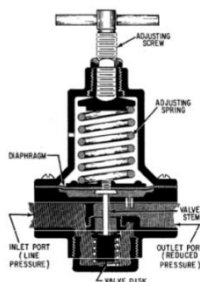


**Gambar 2.20** *Directional control valve* dengan bagian nya (1). *Frame* ; (2) Kumparan; (3) Solenoida; (4) *return spring* (Paswan, J.Das, N.Kumar, & Kumar, 2014)

Menurut pemakaiannya, katup hidrolik dibagi menjadi tiga macam, antara lain (Hartono, 1988) :

a. Katup Pengatur Tekanan (*Relief Valve*)

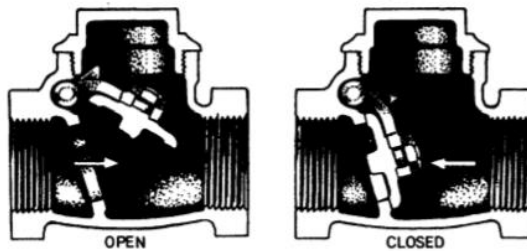
Katup pengatur tekanan digunakan untuk melindungi pompa-pompa dan katup-katup pengontrol dari kelebihan tekanan dan untuk mempertahankan tekanan tetap dalam sirkuit hidrolik minyak. Cara kerja katup ini adalah berdasarkan kesetimbangan antara gaya pegas dengan gaya tekan fluida. Dalam kerjanya katup 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. Berikut pada Gambar 2.21 merupakan skema dan bagian bagian dari katup pengatur tekanan.



**Gambar 2.21** Katup pangatur tekanan (*relief valve*) (Akers, 2006)

b. Katup Pengatur Arah Aliran (*Directional Control Valve*)

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*. Berikut pada Gambar 2.22 merupakan skema dari katup pengatur arah aliran.



**Gambar 2.22** Katup pengatur arah aliran (*directional control valve*) (Akers, 2006)

c. Katup Pengatur Jumlah (*Flow Control Valve*)

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 Persamaan 2.21 sebagai berikut (Kogyo, 1986) :

$$L = \frac{\Delta P \cdot Q}{60} \quad (2. 21)$$

Dimana :

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

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

Q = Kecepatan aliran (L/min)

#### 4. Silinder Hidrolik

Silinder 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. Berikut ini merupakan gambar dari bagian bagian silinder hidrolik. Berdasarkan kontruksi, hidrolik silinder dibagi menjadi dua macam tipe dalam sistem hidrolik, antara lain (Hartono, 1988):

a. Silinder penggerak tunggal (*single acting*)

Silinder hidrolik 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 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. Pada mesin kompaksi peluru *frangible* menggunakan silinder penggerak ganda (*double acting*).

Kecepatan yang direkomendasikan untuk silinder hidrolik yaitu 15 – 300 mm/s (0,59 in/s – 11,8 in/s). Kecepatan yang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah pada pemakaian yang cepat dapat menyebabkan kebocoran cairan dari batang (Kogyo, 1986). Untuk mengetahui spesifikasi dan ukuran silinder hidrolik maka dapat digunakan Persamaan dibawah ini, Persamaan 2.22 digunakan untuk menentukan diameter dalam silinder, Persamaan 2.23 digunakan untuk menentukan tebal silinder hidrolik, dan Persamaan 2.24 digunakan untuk menghitung diameter luar silinder.

a. Diameter silinder

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}} \quad (2.22)$$

b. Tebal silinder

$$t = r \left( \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_t - 2P}} - 1 \right) \quad (2.23)$$

c. Diameter luar silinder

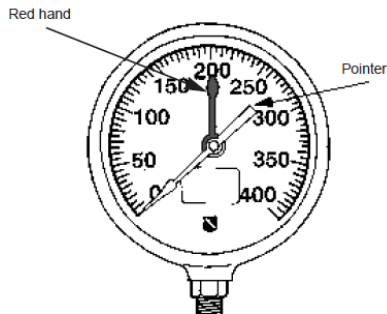
$$D = d + 2t. \quad (2.24)$$

## 5. Manometer (Pressure Gauge)

*Pressure gauge* merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur tekanan (Psi/Bar) dengan pengamatan secara langsung dari sistem hidrolik. Prinsip kerja dari *pressure gauge* ini dimulai dengan oli masuk ke pengatur tekanan lewat lubang saluran tekanan. Tekanan didalam pipa yang melengkung menyebabkan pipa memanjang. Tekanan lebih besar akan mengakibatkan belokan radius lebih besar pula. Gerakan perpanjangan pipa tersebut kemudian diubah ke suatu jarum penunjuk, lewat tuas penghubung, tembereng roda gigi, dan roda gigi pinion. Tekanan pada saluran masuk dapat dibaca pada garis lengkung skala penunjuk. Jadi, prinsip pembacaan pengukuran tekanan manometer ini adalah bekerja berdasarkan atas dasar prinsip analog . Berikut ini merupakan Gambar 2.23



manometer (*pressure gauge*) yang digunakan dalam sistem hidrolik.



**Gambar 2.23** Manometer (*pressure gauge*) yang digunakan dalam sistem hidrolik (Zhang, 2009)

#### 6. Saringan Oli (*Oil Filter*)

Filter berfungsi untuk menghilangkan kontaminan dari fluida yang sedang bekerja pada sistem hidrolik. Karena sistem hidrolik dapat rusak dengan mudah apabila terdapat zat kontaminasi didalam fluida. Filter ditempatkan didalam tangki pada saluran masuk yang akan menuju ke pompa. Dengan adanya filter, diharapkan efisiensi peralatan hidrolik dapat ditinggikan dan umur pemakaian lebih lama. Pada Tabel 2.8 berikut pemilihan jenis filter berdasarkan kondisi penyaringan nya.

**Tabel 2.8** Pemilihan jenis filter (Kogyo, 1986)

Kondisi Filtration	Fibration Ratings
Sistem operasinya 7 Mpa atau lebih	20 – 35 $\mu\text{m}$
Sistem operasi nya 21 Mpa atau lebih	10 – 20 $\mu\text{m}$
Servo valve	10 $\mu\text{m}$

#### 7. Fluida Hidrolik

Fluida hidrolik adalah salah satu unsur yang penting dalam peralatan hidrolik. Fluida hidrolik merupakan suatu bahan yang

mengantarkan energi dalam peralatan hidrolik dan melumasi setiap peralatan serta sebagai media penghilang kalor yang timbul akibat tekanan yang ditingkatkan dan meredam getaran dan suara.

Fluida hidrolik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Ranald, 1986) :

- a. Mempunyai *viskositas* temperatur cukup yang tidak berubah dengan perubahan temperatur.
- b. Mempertahankan fluida pada temperatur rendah dan tidak berubah buruk dengan mudah jika dipakai dibawah temperatur.
- c. Mempunyai stabilitas oksidasi yang baik.
- d. Mempunyai kemampuan anti karat
- e. Tidak merusak (karena reaksi kimia) karat dan cat.
- f. Tidak kompresible (mampu merapat)
- g. Mempunyai tendensi anti *foatming* (tidak menjadi busa) yang baik.
- h. Mempunyai kekentalan terhadap api.

Fluida adalah zat, dapat berupa cairan atau gas, yang tidak dapat menahan tegangan geser. Pada system hidrolik, fluida digunakan untuk mentransmisikan tekanan. Fluida yang sering digunakan adalah oli oleh karena itu karakterisasi sifat-sifat fluida sangat dibutuhkan. Viskositas absolut merupakan ukuran dari resistansi fluida untuk bergerak pada area yang terbasahi. Viskositas absolut fluida dapat dirumuskan sesuai dengan Persamaan 2.25.

$$\mu = \frac{Fv}{A(\frac{v}{l})} \quad (2.25)$$

Dimana:

$\mu$  = viskositas absolut

F = gaya

A = luas permukaan

v = kecepatan

$l$  = tebal

Sedangkan untuk menentukan viskositas kinematic dapat menggunakan Persamaan 2.26

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.26)$$

Dimana:

$v$  = viskositas kinematic

$\mu$  = viskositas absolut

$\rho$  = massa jenis

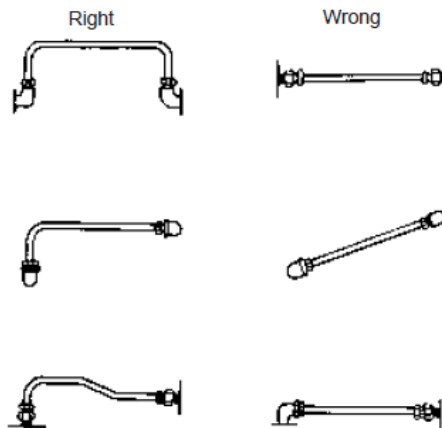
Pada umumnya, fluida seperti oli dianggap tidak dapat dimampatkan. Namun dalam sistem hidrolik, oli berada pada kondisi dimana tekanan operasi memiliki efek pada kompresibilitas dapat mempengaruhi sistem hidrolik. Kompresibilitas fluida dapat ditunjukkan oleh modulus kompresinya. Jika tekanan kerja kurang dari modulus kompresi maka tidak akan terjadi perubahan volume (Hartono, 1988).

## 8. Pipa

Pipa merupakan salah satu komponen penting dalam sebuah sistem hidrolik yang berfungsi untuk meneruskan fluida kerja yang bertekanan dari pompa pembangkit ke silinder kerja. Mengingat kapasitas yang mampu dibangkitkan oleh silinder kerja, maka agar maksimal dalam penerusan fluida kerja bertekanan, pipa-pipa harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Mampu menahan tekanan yang tinggi dari fluida.
- b. Koefisien gesek dari dinding bagian dalam harus sekecil mungkin.
- c. Dapat menyalurkan panas dengan baik.
- d. Tahan terhadap perubahan suhu dan tekanan.
- e. Tahan terhadap perubahan cuaca.
- f. Berumur relatif panjang.
- g. Tahan terhadap korosi.

Pipa besi dan tabung baja dapat digunakan dalam sistem hidrolik. Pipa besi digunakan untuk tekanan yang rendah hingga sedang. Ketebalan dinding yang tebal dan kurangnya karakteristik anil adalah dasar masalah untuk pipa besi. Tabung baja lebih banyak digunakan dalam suatu industri. Kebocoran adalah permasalahan yang berpengaruh besar untuk sistem hidrolik tetapi tabung baja memastikan perlindungan kebocoran maksimum. Berikut ini merupakan Gambar 2.24 yang menunjukkan ketentuan dalam metode tubing yang sesuai pada sistem hidrolik.



**Gambar 2.24** Metode tubing yang benar dan salah pada sistem hidrolik (Egüz, 2008).

Pada saat fluida melewati pipa, terjadi gaya gesek yang menyebabkan penurunan tekanan. Hal yang paling berpengaruh dalam aliran fluida adalah viskositas dan inersia. Persamaan 2.27 merupakan rasio antara inersia terhadap viskositas disebut Reynold Number.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{4PQ}{\pi \mu d} \quad (2.27)$$

Ketika Reynold number kurang dari 2300, jenis aliran yang terjadi adalah laminar. Ketika Reynold number lebih dari 2300, jenis aliran yang terjadi adalah turbulen. Dan jika Reynold number antara 2300 jenis alirannya adalah transisi. Persamaan 2.28 digunakan untuk menghitung penurunan tekanan pada pipa atau selang sirkular:

$$\Delta P = \frac{f l \rho v^2}{2d}. \quad (2.28)$$

Untuk jenis aliran laminar, nilai  $f$  dapat ditentukan dengan Persamaan 2.29

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.29)$$

Untuk jenis aliran turbulen, nilai  $f$  dapat ditentukan dengan Persamaan 2.30

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (2.30)$$

Dimana:

$\Delta P$  = Perubahan tekanan

$Re$  = Reynold number

$f$  = heat loss friction

$v$  = viskositas kinematic

$d$  = diameter

$\rho$  = densitas

## 9. Unit Pompa Hidrolik (*Power Pack*)

Unit pompa hidrolik adalah kombinasi dari tangki minyak, pompa, motor dan *relief valve*. Disamping itu *hand kontrol valve* dan peralatan perlengkapan dipakai sesuai keperluan. Syarat-syarat pembuatan unit pompa hidrolik (*Power Pack*) antara lain sebagai berikut (Supatmo, 2012):

- a. Tangki minyak harus dirancang untuk mencegah masuknya debu dan kotoran-kotoran lain dari luar.
- b. Tangki minyak harus dapat dilepaskan dari unit utama untuk keperluan *maintenance* dan memastikan akurasinya untuk membebaskan udara.
- c. Kapasitas dan ukuran tangki minyak harus cukup besar untuk mempertahankan tingkat yang cukup dalam langkah apapun.
- d. Plat pemisah (*Baffle plate*) harus dipasang antara pipa kembali dan pipa hisap untuk memisahkan kotoran.
- e. Pipa pengembali dan pipa hisap pompa harus dibawah level minimalya

#### 10. Persamaan Dasar dalam Perhitungan Sistem Hidrolik

Persamaan dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap sistem hidrolik mesin KHO.

- a. Tenaga dari motor dan pompa pada kondisi ideal dapat dihitung dengan Persamaan 2.31

$$P = \Delta p Q = T \omega \quad (2.31)$$

- b. Dalam kondisi tidak ideal, efisiensi motor dan pompa dapat ditentukan dengan Persamaan 2.32

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

- c. Dalam menentukan *flow rate* dapat menggunakan Persamaan 2.33

$$Q = A \cdot v \quad (2.33)$$

- d. Persamaan 2.34 digunakan untuk menghitung gaya yang dihasilkan pada actuator

$$F = P_1A_1 - P_2A_2 \quad (2.34)$$

Dimana:

Q = flow rate

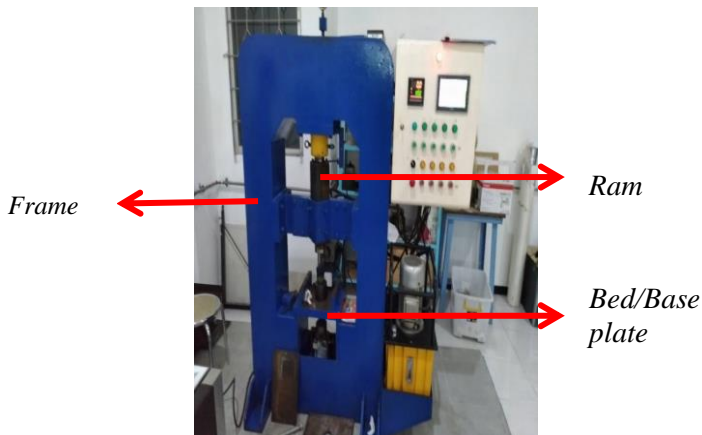
F = gaya

T = torsi

$\omega$  = kecepatan sudut

### 2.4.2 Komponen Struktural

Mesin kompaksi merupakan sebuah alat yang digunakan untuk melakukan pemotongan dan pembentukan *sheet metal forming* (Pramono, 2006). Untuk pembentukan peluru *frangible* secara komponen secara struktural terdiri dari beberapa komponen seperti pada Gambar 2.25 berikut.



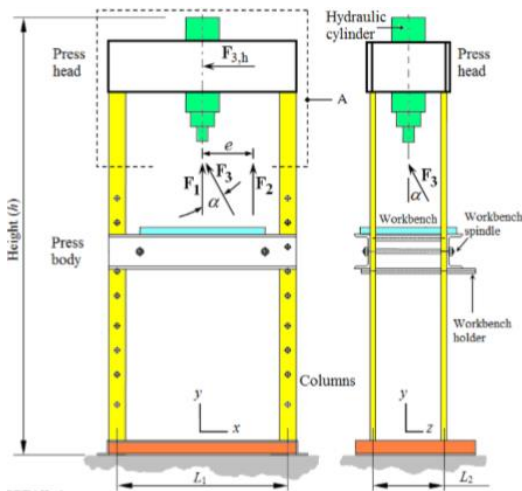
**Gambar 2.25** Mesin kompaksi hidrolik otomatis dan komponen struktural

Pada umumnya mesin kompaksi ini terdiri dari beberapa komponen struktural yaitu (Utomo, 2017) :

1. *Frame* (rangka) mesin

*Frame* (rangka) mesin merupakan bagian paling penting dari mesin kompaksi hidrolik. Karena *frame* ini berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya yang terjadi selama mesin bekerja. Pada bagian ini juga menjadi tumpuan stabilitas dan kekuatan mesin selama operasi. Ukuran dan bentuk struktur *frame* harus mampu menahan proses operasi dengan aman, mampu beroperasi dengan aman dan juga mampu menahan tegangan dan deformasi tanpa melebihi batas tertentu.

Pada mesin kompaksi hidrolik ini menggunakan tipe H karena mesin hidrolik memerlukan keakuratan yang tinggi dengan penekanan beban tetap di poros tengah utama silinder supaya tekanan yang dihasilkan lebih merata ke produk kompaksinya. Berikut pada Gambar 2.26 Desain dari *frame* tipe H.



**Gambar 2.26** Desain *Frame* (rangka) mesin tipe H (More, 2015)

## 2. Arm/ram



Ram merupakan bagian besi yang dapat bergerak translasi dan berfungsi memberikan gaya tekan pada benda kerja ke arah *bed* mesin.



### 3. *Bed* atau *base plate*

*Bed* atau *Base plate* merupakan bagian mesin tempat meletakkan benda kerja dan menahan gaya tekan.

## 2.4.3 Komponen Otomasi

Komponen otomasi dari mesin kompaksi peluru sudah ditentukan pada penelitian yang dilakukan oleh (Utomo, 2017). Komponen komponen tersebut terdapat pada Tabel 2.9 berikut.

**Tabel 2.9** Komponen otomasi/elektronik dalam mesin kompaksi hidrolik otomatis

Nama Komponen	Fungsi Komponen	Gambar
<i>Differential Pressure Transmitter</i>	Mengukur tekanan positif, tekanan vakum, perbedaan tekanan dan ketinggian permukaan isi tangki dan pengukuran laju alir. Pada mesin peluru berfungsi mengukur besar tekanan oli	
<i>Human Machine Interface dengan terintegrasi dengan Program Logic</i>	<i>Analog touch screen</i> yang mengendalikan variabel kontrol dalam sistem hidrolik yaitu tekanan dan waktu.	

<i>Controller</i>		
<i>Power Supply</i>	Penyuplai tegangan listrik langsung kepada komponen yang lainnya, dan mengubah tegangan AC menjadi DC.	
<i>Pressure Switch</i>	Menyambung dan memutus arus listrik berdasar nilai tekanan tertentu sesuai dengan pengaturan.	
<i>Limit Switch</i>	Jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang menggantikan tombol.	
<i>Digital Process Controller</i>	Mengatur mode kontrol otomatis atau manual dalam proses	
<i>Miniatur Circuit Breaker</i>	alat pengaman saat terjadi hubungan singkat ( <i>konsleting</i> ) maupun beban lebih ( <i>over load</i> ).	
<i>Complete Selector Switch</i>	saklar yang dapat berubah posisi dengan cara memutar posisi.	

## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Pada Tabel 2.10 berikut merupakan daftar hasil penelitian yang sudah dilakukan yang dapat menunjang penelitian ini:

**Tabel 2.10** Hasil penelitian sebelumnya

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 dengan sistem 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 <sup>0</sup> 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>

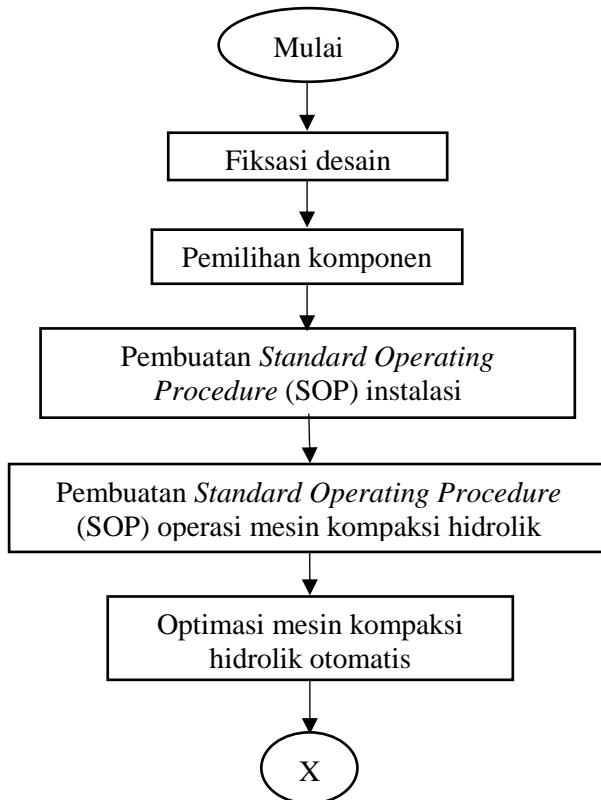
4	Jhony dan Widyastuti (2014)	Komposisi Cu-10%Sn P = 600 MPa T = 300, 500, 700 <sup>0</sup> C h = 30, 60, 90 menit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densitas 7,19-7,44 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Kekerasan 21,33 – 60,67 HRF</li> <li>• Kekuatan tekan 204,4 – 796,25 MPa</li> </ul>
5	Utomo, P.A dan Rahmadiansah (2017)	Rancang bangun mesin tekan pencetak peluru dengan metode perancangan <i>hardware</i> (rangka dan komponen struktural) dan <i>software</i> (sistem kontrol)	Rancang bangun sistem kontrol mesin pencetak peluru dengan prinsip hidrolis secara otomatis dengan nilai akurasi sebesar 98,9997%.
6	Adesina,F et al.	Perancangan dan pembuatan mesin press manual dengan sistem hidrolis	Terbentuk analisis rancangan dari beberapa komponen mesin seperti <i>base support, column, working table, cylinder ram</i> , tangki hidrolis, dan pompa hidrolis.

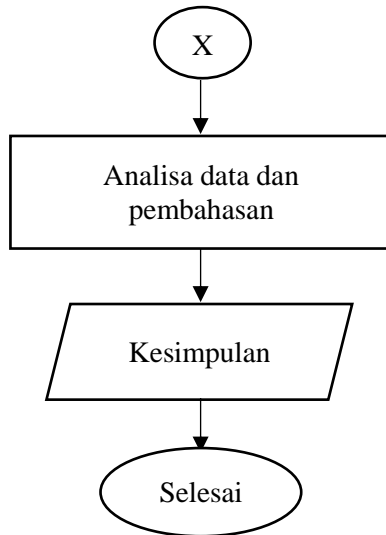
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini digunakan diagram alir dengan 4 pembagian yaitu, pemilihan komponen, SOP untuk pemasangan mesin kompaksi hidrolik otomatis, SOP kinerja mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis, optimasi mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis.

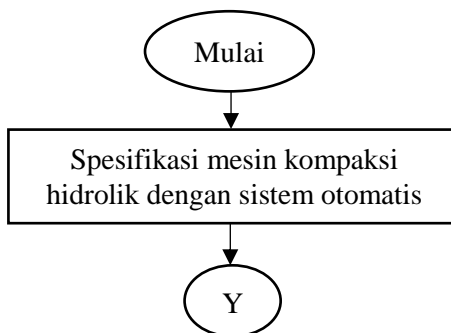
#### 3.1.1 Diagram Alir Keseluruhan

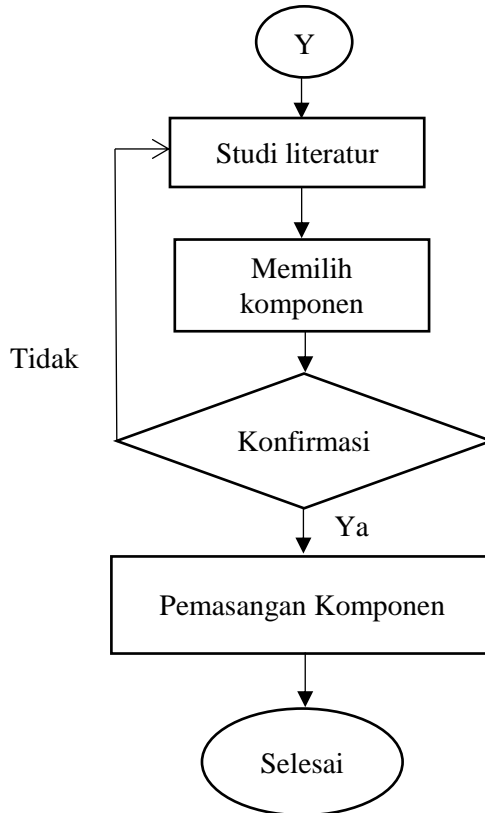




**Gambar 3.1** Diagram alir keseluruhan

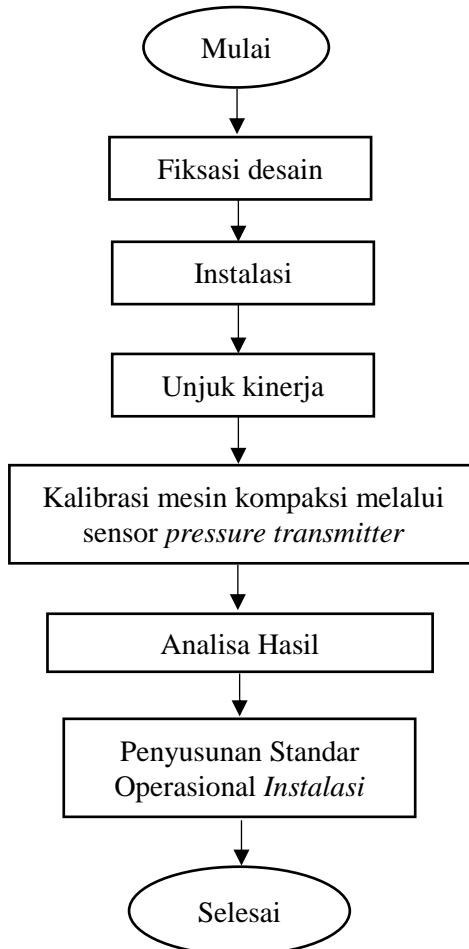
### 3.1.2 Diagram Alir Pemilihan Komponen Mesin Kompaksi Hidrolik dengan Sistem Otomatis





**Gambar 3.2** Diagram alir pemilihan komponen mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis

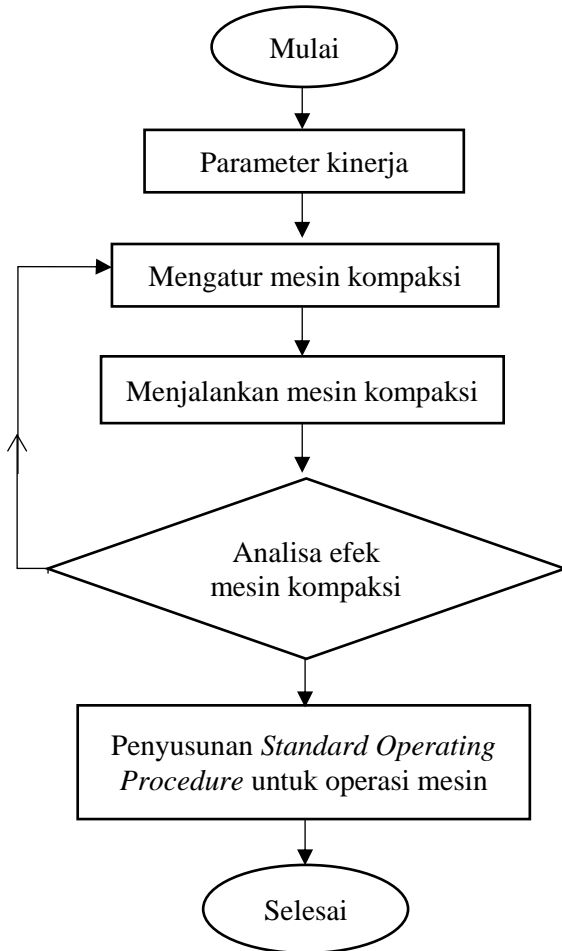
### 3.1.3 Diagram Alir Pembuatan *Standard Operating Procedure* Instalasi



**Gambar 3.3** Diagram alir pembuatan *standar operasional procedure* instalasi

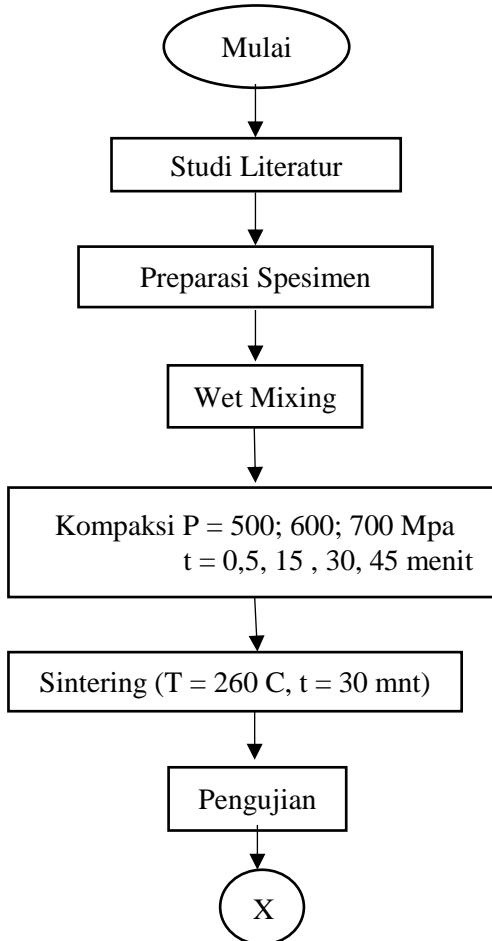


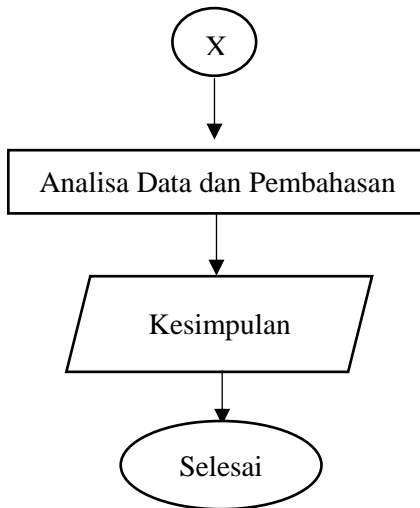
### 3.1.4 Diagram Pembuatan Standar Operasional Operasi Mesin Kompaksi Hidrolik dengan Sistem Otomatis Untuk Kompaksi *Frangible Bullet*



**Gambar 3.4** Diagram alir pembuatan *standar operasional procedure* instalasi

### 3.1.5 Diagram Alir Pengujian Kinerja dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik





**Gambar 3.5** Diagram alir pengujian kinerja dan efisiensi mesin kompaksi hidrolik

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, untuk melakukan pengujian kinerja dan efisiensi mesin kompaksi hidrolik otomatis dibutuhkan alat dan bahan penelitian yang dapat menunjang terlaksana penelitian sehingga didapatkan hasil yang akurat.

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin kompaksi otomatis

Mesin yang digunakan untuk proses kompaksi serbuk komposit CuSn dengan menggunakan sistem hidrolik pada variasi tekanan 500, 600 dan 700 MPa.



**Gambar 3.6** Mesin kompaksi hidrolik otomatis

2. *Horizontal furnace*

*Furnace* digunakan untuk proses *sintering* sample komposit CuSn hasil dari kompaksi.



**Gambar 3.7** *Horizontal furnace*

3. Spatula

Alat ini digunakan untuk mengambil serbuk Cu, Sn dan pelumas Zn Stearate.



**Gambar 3.8** Spatula

4. *Beaker glass*

Alat ini digunakan sebagai tempat untuk proses *mixing* (pencampuran) serbuk dengan menggunakan *magnetic stirrer* yang diatur pada temperatur dan kecepatan tertentu.

5. *Magnetic stirrer dan hot plate*

Alat yang digunakan pada saat proses *mixing* (pencampuran) serbuk Cu dan Sn sehingga menjadi homogen.



**Gambar 3.9** *Magnetic stirrer dan hot plate*

6. Timbangan digital

Alat ini digunakan untuk menimbang massa serbuk Cu dan serbuk Sn.



**Gambar 3.10** Timbangan digital

7. *Dies* (Cetakan)

Alat ini digunakan sebagai cetakan untuk menghasilkan bentuk *pellet* saat proses kompaksi.



**Gambar 3.11** *Dies* untuk bentuk *pellet*

8. *Combustion Boat*

Alat ini digunakan sebagai wadah sampel hasil kompaksi ketika proses *sintering*.



**Gambar 3.12** *Combustion boat*

9. Alat uji tekan

Alat ini digunakan untuk mengetahui sifat mekanik berupa kekuatan tekan dari sampel komposit CuSn setelah diproduksi melalui metode metalurgi serbuk.



**Gambar 3.13** Alat uji tekan

10. Alat uji kekerasan

Alat ini digunakan untuk mengetahui sifat mekanik kekerasan dari sampel komposit CuSn dengan menggunakan metode Rockwell F.



**Gambar 3.14** Alat uji kekerasan

### 3.2.2 Bahan Pengujian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Serbuk Cu (89,5%)

Serbuk Cu dengan kemurnian 99% digunakan sebagai matriks dari sampel komposit CuSn, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm <sup>3</sup>
Temperature melting	: 1083°C
Ukuran serbuk	: <75 μm



**Gambar 3.15** Serbuk Cu (Tembaga)

2. Serbuk Sn (10%)

Serbuk Sn dengan kemurnian 99,8% digunakan sebagai penguat (*filler*) dari sampel komposit CuSn dengan spesifikasi sebagai berikut :

Ar	: 118,71 g/mol
Densitas	: 7,3 g/cm <sup>3</sup>
Temperature melting	: 232°C
Ukuran serbuk	: <45 μm



**Gambar 3.16** Serbuk Sn (Timah)

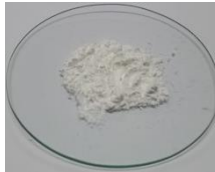


3. Pelumas *Zinc Stearate* (0,5%)

Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antar serbuk dengan *dies* saat proses kompaksi. Spesifikasi dari *Zinc Stearate* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Densitas : 1,09 g/cm<sup>3</sup>

Temperatur melting : 130°C



**Gambar 3.17** Serbuk *Zinc Stearate*

4. Pelarut polar *Ethanol*

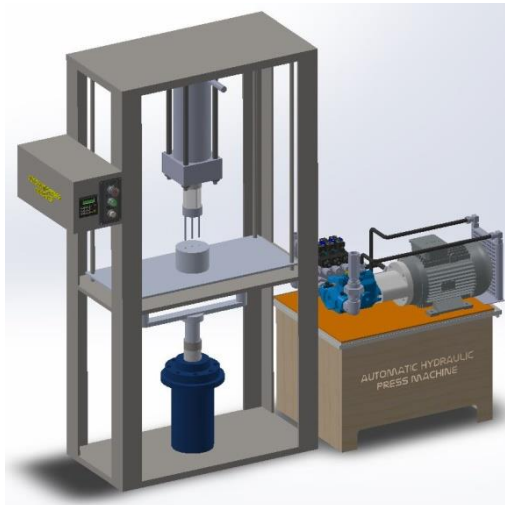
Pelarut polar yang digunakan adalah ethanol karena mudah menguap sehingga mempermudah dalam proses pengeringan serbuk.



**Gambar 3.18** Pelarut Ethanol

### 3.3 Desain Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Desain mesin kompaksi hidrolik yang telah dirancang tersusun atas 3 komponen yaitu: komponen hidrolik, komponen mekanik dan komponen otomasi. Ketiga komponen ini digabungkan menjadi satu sehingga menghasilkan mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis. Komponen hidrolik terdiri atas motor (*power pack*), pompa hidrolik, katup (*valve*), silinder hidrolik dan pipa. Untuk komponen mekanik dari mesin ini terdiri atas rangka (*frame*), *bed*, *punch*, dan *dies*. Sedangkan untuk komponen otomatis menggunakan sistem pemrograman menggunakan *ladder programming* dengan ditunjang penggunaan komponen seperti *relay*, dan *contactor*. Pada **Gambar 3.18** merupakan desain rancangan mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis. Dan pada **Gambar 3.19** merupakan mesin kompaksi hidrolik yang sudah ada.



**Gambar 3.19** Ilustrasi desain mesin kompaksi hidrolik dengan sistem otomatis.



**Gambar 3.20** Mesin kompaksi hidrolik

### 3.4 Pemilihan Komponen

Untuk mendesain suatu peralatan yang akan digunakan, maka dibutuhkan langkah - langkah sebagai berikut (Effendi, 2001) :

1. Urutan berlangsungnya proses
2. Spesifikasi bahan baku dan produk jadi maupun produk samping (by product)
3. Standard yang berlaku bagi masing-masing peralatan tersebut, biasanya dapat ditemukan pada literature-literature yang membahas secara khusus perancangan alat yang dimaksud, atau dari spesifikasi alat yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya.

Dengan langkah tersebut dapat dicari komponen – komponen yang diperlukan untuk mulai melakukan perancangan terhadap suatu alat.

### 3.5 Pembuatan Standard Operating Procedure

Menurut Marimin Tanjung, dan Prabowo (2006) SOP (*Standard Operating Procedure*) merupakan pedoman operasi standar dalam mengimplementasikan keputusan dalam suatu tindakan yang terstruktur dan dapat dipertanggungjawabkan.

Tahap pengembangan SOP menurut Amir Syamsudin (2012) sebagai berikut :

1. Pengumpulan Informasi
2. Analisis dan Pemilihan Alternatif
3. Penulisan SOP
4. Pengujian dan *Review* SOP
5. Pengesahan SOP

### 3.6 Kalibrasi Sistem *Control Pressure*

Menurut Utomo (2017), prosedur kalibrasi mesin kompaksi dapat dilakukan melalui sistem *control pressure* nya dengan langkah langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua peralatan yang diperlukan untuk kalibrasi sistem *control pressure*
2. Menyalakan mesin kompaksi hidrolik otomatis
3. Mengatur tekanan pada HMI
4. Menyalakan mesin pada mode otomatis
5. Mengamati hasil pengukuran tekanan pressure limit switch pada HMI dan pengukuran standart pada pressure gauge
6. Mencatat hasil pengukuran pembacaan data keduanya sebanyak 5x pengujian pada waktu yang sama
7. Membandingkan hasil pengukuran
8. Menghitung *error* dengan cara :

$$X_i = M - m \quad (3. 1)$$

Dimana :

$X_i$  = *error* perhitungan

M = Pembacaan *standart* pada *pressure gauge*

m = Pembacaan alat pada HMI

9. Menghitung akurasi penekanan.

---

### 3.7 Kinerja dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Dalam melakukan analisis terhadap kinerja dan efisiensi mesin kompaksi hidrolik otomatis dibutuhkan langkah langkah atau prosedur penelitian yang jelas dan terukur serta metode validasi melalui pengujian hasil penelitian.

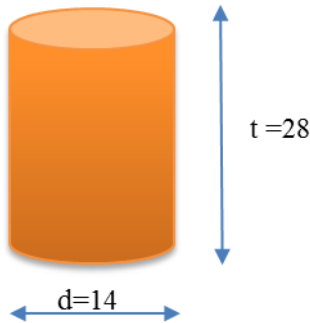
#### 3.7.1 Prosedur Penelitian

1. Serbuk Cu dan Sn yang telah ditimbang sesuai dengan komposisi tertentu berdasarkan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.1. Kemudian dilanjutkan dengan pencampuran. Dengan cara memasukkan serbuk ke dalam *beaker glass* kemudian dicampur dengan ethanol dan diaduk dengan *magnetic stirer* agar homogen. Proses *mixing* dilakukan selama 30 menit dengan kecepatan 350 rpm.
2. Memasukkan serbuk CuSn hasil *mixing* ke dalam *feeder* sebelum mesin kompaksi dinyalakan.
3. Melakukan pengaturan pada kontrol mesin kompaksi terkait tekanan yang diberikan pada saat proses kompaksi sebesar 500, 600 dan 700 MPa, dan variasi waktu penekanan 0,5 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit.
4. Menyalakan mesin kompaksi hidrolik otomatis
5. Melakukan sintering pada temperature 260°C selama 30 menit menggunakan *horizontal furnace*..
6. Melakukan uji *hardness* (kekerasan) menggunakan metode Rockwell F.
7. Melakukan uji tekan (*compression test*) ASTM D695 dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) untuk mengetahui kekuatan tekan dari sampel.

#### 3.7.2 Pengujian

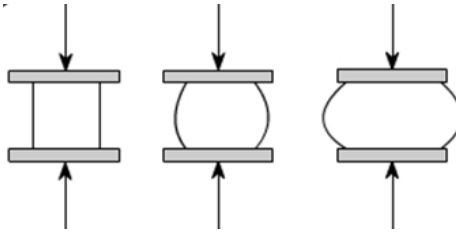
1. Pengujian Tekan (*Compression Test*)  
Pengujian tekan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik berupa kekuatan tekan.
-

Pengujian ini dilakukan mengacu pada standar ASTM D695. Berdasarkan standar ASTM D695 spesimen yang digunakan dalam pengujian ini harus memiliki dimensi 1:2, spesifikasi dari sampel yang digunakan dalam pengujian ini yaitu D (diameter) = 14 mm, dan t (tinggi) = 28 mm dalam bentuk silinder. Pada Gambar 3.20 berikut merupakan sampel yang digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 3.21** Dimensi dari sampel uji tekan dan uji kekerasan

Pengujian dengan *compression test* memiliki berbagai kelebihan seperti spesimen yang digunakan lebih sederhana tidak memerlukan ulir atau penambahan panjang ujung spesimen untuk *gripping* seperti pada uji tarik. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban untuk penekanan pada sampel hingga terjadi *fracture* pada material. Hasil dari pengujian tekan adalah didapatkan grafik tegangan dan regangan material yang diuji. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan sifat mekanik meliputi kekuatan tekan dan modulus elastisitas (ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation, 2000).



**Gambar 3.22** Skema uji tekan

Langkah pengujian tekan yang dilakukan sebagai berikut :

- a. Melakukan preparasi spesimen sehingga permukaan sampel pada bagian atas dan bawah yang mendapatkan kontak dengan *punch* rata.
- b. Pengukuran dimensi sampel yaitu diameter dan tinggi dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas permukaan yang dikenai beban.
- c. Meletakkan sampel pada *punch* dengan posisi *punch* atas hampir menyentuh sampel
- d. Memilih laju beban pada mesin uji kemudian memberikan beban secara kontinu dengan kenaikan beban laju pembebanan tertentu.
- e. Mengamati defleksi yang terjadi pada sampel.
- f. Menghentikan pengujian ketika sampel telah berdeformasi plastis.

## 2. Pengujian Kekerasan dengan Metode Rockwell

Pada metode Rockwell memiliki beberapa skala pada penggunaannya tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan. Pada Tabel 3.1 dapat diketahui beberapa skala dengan jenis indenter dan besar beban utamanya. Untuk logam biasanya digunakan skala B atau skala C, dan angka kekerasannya dinyatakan dengan  $R_b$  dan  $R_c$ . Untuk skala B harus digunakan indenter berupa bola baja berdiameter  $1/16''$  dan beban utama 100kg. Kekerasan yang dapat diukur dengan skala B relatif tidak begitu tinggi, untuk mengukur

kekerasan logam yang keras digunakan Rockwell C atau Rockwell A. Sedangkan dengan kekerasan Rockwell F dengan indenter berupa bola baja dengan beban 60 kg. Rockwell F digunakan untuk material yang memiliki kekerasan yang rendah.

**Tabel 3.1** Besar beban utama dan jenis indenter untuk metode *rockwell*

Skala	Beban Utama (Kgf)	Indenter	Aplikasi
A	60	<i>Brale</i>	<i>Cemented carbides, thin steel</i>
B	100	1/16" bola	Paduan tembaga, <i>soft steels</i>
C	150	<i>Brale</i>	Baja, <i>hard cast iron</i>
D	100	<i>Brale</i>	<i>Thin steel</i>
F	60	1/16" bola	Besi tuang, Aluminium
G	150	1/16" bola	<i>Malleable iron, phospor bronze</i>

Sumber : (ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation, 2000)

Langkah pengujian kekerasan yang dilakukan sebagai berikut :

- Meratakan permukaan sampel yang akan diuji dengan menggunakan *grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 180,240,600, 800, 1000, 1500, dan 2000.
- Sampel diletakkan pada *holder* khusus untuk menjepit sampel uji *hardness* dengan ukuran kecil.
- Pada mesin uji dipilih indenter untuk uji kekerasan dengan skala Rockwell F. Kemudian melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat indentasi.



### 3.7.1 Perhitungan Efisiensi Kinerja Mesin dan Efisiensi Produksi Mesin

1. Menghitung efisiensi kinerja mesin dengan Persamaan 3.2 sedangkan untuk menghitung Daya *input* dapat menggunakan Persamaan 3.3.

$$\eta_{total} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%. \quad (3.2)$$

$$P_{in} = \sqrt{3}xVxI \cos \varphi \quad (3.3)$$

Dimana :

- $\eta_{total}$  = Efisiensi total mesin  
 $P_{out}$  = Daya output motor (kW)  
 $P_{in}$  = Daya input motor (kW)  
V = Tegangan motor (Volt)  
I = Arus motor (Ampere)

2. Menghitung efisiensi produksi

Berdasarkan hasil pengujian variabel tekanan dan variabel waktu didapatkan tekanan dan waktu yang optimal untuk produksi 1 peluru, maka untuk menentukan efisiensi produksi mesin dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$Efisiensi\ Produksi = \frac{Produk\ yang\ sesuai\ standar}{Total\ produk\ yang\ dihasilkan} \times 100\% \quad (3.4)$$

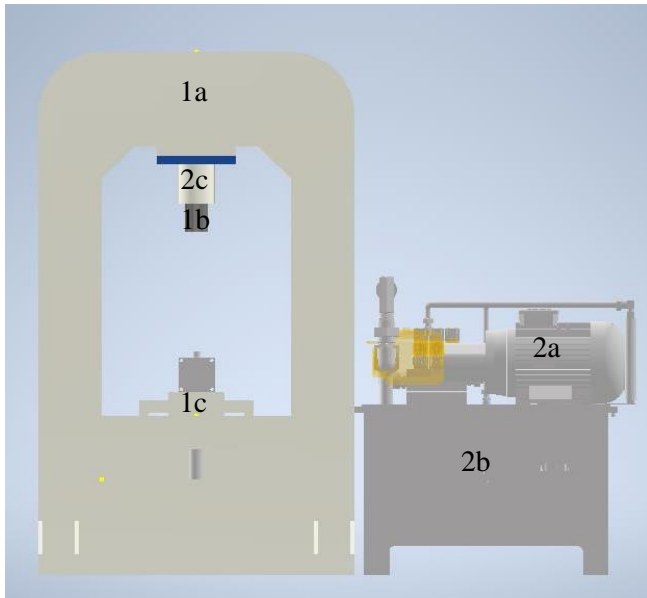
Dimana efisiensi tersebut dihitung saat mesin beroperasi dalam waktu tertentu.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Desain Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Desain mesin kompaksi hidrolik otomatis pada penelitian kali ini dilakukan untuk mendapatkan nilai – nilai parameter proses pada mesin kompaksi hidrolik otomatis yang akan dibuat. Hasil ini nantinya akan menjadi acuan perhitungan untuk kegiatan rancang bangun mesin kompaksi hidrolik otomatis selanjutnya dengan skema sebagaimana pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1** Skema mesin kompaksi hidrolik otomatis dan komponennya ({1a. rangka}, {1b. ram}, {1c. base plate}, {2a. motor hidrolik}, {2b. tangki *reservoir* }, {2c. Silinder hidrolik})

Berdasarkan rancangan mesin kompaksi hidrolik otomatis pada Gambar 4.1 diatas, mesin kompaksi ini terdiri dari 3 jenis komponen yang berbeda yaitu :

1. **Komponen Struktural** : merupakan komponen yang berfungsi untuk menopang kinerja mesin secara struktural, terdiri atas (1a) rangka mesin yang mempunyai bentuk tipe H, (1b) *ram* yang merupakan perpanjangan silinder hidrolik atas dengan *punch*, dan (1c) *base plate* yang berfungsi sebagai tatakan menopang *dies* benda kerja yang dikompaksi.
2. **Komponen Hidrolik** : merupakan komponen yang menunjang prinsip dasar kinerja mesin kompaksi dalam melakukan penekanan yang melibatkan fluida sebagai penggerakannya, terdiri atas (2a) motor hidrolik sebagai pengubah energi dari sumber listrik menjadi energi kinetik yang menggerakkan pompa sehingga fluida dapat bertekanan , (2b) tangki *reservoir* yang merupakan penampung fluida, (2c) Silinder hidrolik merupakan komponen penggerak sistem hidrolik dengan menggunakan fluida bertekanan.
3. **Komponen Otomasi** : merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengatur kinerja mesin kompaksi, seperti tekanan dan waktu tekan.

#### 4.1.1 Perhitungan Mesin Kompaksi

##### 1. Kapasitas

Dengan menggunakan Persamaan 2.10 dapat menentukan kapasitas dari mesin kompaksi. Perhitungan kapasitas beban mesin kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Konstanta kapasitas mesin kompaksi

Variabel	Nilai	Satuan
Tekanan Kerja (P)	70000000	Pa
Bore silinder (D)	0,095	m
Kapasitas Mesin (F)	495923,75	N
Kapasitas Beban Mesin (m)	<b>49,59238</b>	ton

Sehingga total kapasitas gaya dari mesin kompaksi ini adalah sebesar 49,6 Ton.

## 2. Tekanan Hidrolik

Dalam proses kompaksi peluru *frangible bullet* tekanan kompaksi yang dibutuhkan sebesar 700 MPa dengan menggunakan ketentuan penekanan satu buah *punch*. Maka, Persamaan 2.10 dapat menentukan gaya yang dibutuhkan dalam proses kompaksi. Perhitungan gaya yang dibutuhkan dalam proses kompaksi 1 peluru ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut ini.

**Tabel 4.2** Gaya yang dibutuhkan untuk kompaksi 1 peluru

Variabel	Nilai	Satuan
Diameter Punch (d)	0,008	m
Tekanan Kompaksi (P)	700	MPa
Gaya yang dibutuhkan (F)	<b>35168</b>	N

Dalam menentukan besarnya tekanan hidrolik yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya yang sesuai dengan data Tabel 4.2 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.10. Perhitungan tekanan hidrolik yang dibutuhkan dalam proses kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Tekanan hidrolik yang dibutuhkan untuk kompaksi 1 peluru

Variabel	Nilai	Satuan
Gaya yang dibutuhkan (F)	35168	N
Bore Diameter (D)	0,095	m
Tekanan Hidrolik (P)	<b>4,959476202</b>	MPa

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka, untuk menghasilkan 1 butir peluru *frangible* dengan penekanan

menggunakan satu buah *punch* membutuhkan tekanan hidrolik sebesar 4,96 MPa.

### 3. Debit/Laju Aliran Fluida

Dalam menentukan besarnya debit (Q) pada sistem hidrolik dapat menggunakan Persamaan 2.33. Pada Tabel 4.4 berikut ini merupakan perhitungan terkait laju aliran fluida dalam sistem hidrolik mesin kompaksi berdasarkan desain.

**Tabel 4.4** Debit/Laju aliran fluida berdasarkan desain

Variabel	Nilai	Satuan
Kecepatan ram ( <i>ram speed</i> ) (v)	0,20	m/s
Diameter silinder hidrolik (D)	0,095	m
Area silinder hidrolik (A)	0,007085	$m^2$
Debit / Laju Aliran Fluida (Q)	<b>0,001417</b>	$m^3/s$

Berdasarkan desain rancang bangun mesin kompaksi didapatkan debit/laju aliran fluida (Q) adalah  $0,001417 m^3/s$ .. Sedangkan apabila dilihat dari kondisi aktual mesin kompaksi dengan menggunakan Persamaan 2.33 dapat ditentukan debit/laju aliran fluida (Q) sebenarnya pada Tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4.5** Debit/Laju aliran fluida berdasarkan kondisi aktual

Variabel	Nilai	Satuan
Kecepatan ram ( <i>ram speed</i> ) (v)	0,01	m/s
Diameter silinder hidrolik (D)	0,095	m
Area silinder hidrolik (A)	0,007085	$m^2$
Debit / Laju Aliran Fluida (Q)	<b>0,000071</b>	$m^3/s$

Berdasarkan hasil perhitungan dari kondisi aktual didapatkan bahwa nilai debit/laju aliran fluida (Q) adalah sebesar  $0,000071 m^3/s$ . Apabila dibandingkan dengan perhitungan debit pada rancang bangun, nilai dari debit pada kondisi aktual sangat

jauh berbeda. Perbedaan ini terjadi karena dalam kondisi aktual kecepatan *ram* pada pergerakan sebelum melakukan penekanan adalah sangat kecil yaitu hanya sebesar 0,01 m/s sedangkan pada rancang bangun diasumsikan bahwa kecepatan *ram* adalah sebesar 0,2 m/s, sehingga debit yang dihasilkan juga sangat kecil

#### 4. Daya *power pack*

Dalam menentukan daya *power pack* yang dibutuhkan agar bisa mencapai kecepatan *ram* 0,2 m/s yang sesuai desain rancang bangun, maka dapat menggunakan Persamaan 2.31. Pada Tabel 4.6 berikut ini merupakan perhitungan dalam menentukan daya dari *power pack*.

**Tabel 4.6** Daya *power pack* yang dibutuhkan berdasarkan desain

Variabel	Nilai	Satuan
Selisih tekanan ( $\Delta p$ )	2000000	Pa
Debit (Q)	0,001417	$m^3/s$
Daya <i>power pack</i> yang dibutuhkan (P)	2833,85	Watt
	2,83385	kW

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka daya *power pack* yang dibutuhkan adalah sebesar 2,83 kW. Namun pada kondisi aktual yang digunakan adalah *power pack* yang memiliki nilai daya sebesar 1,5 kW saja. Sehingga tidak mampu mencapai *ram speed* yang direncanakan. Kebutuhan daya *power pack* untuk kondisi aktual dapat ditentukan dengan Persamaan 2.31. Pada Tabel 4.7 berikut merupakan perhitungan dalam menentukan daya *power pack* sesuai dengan kondisi aktual.

**Tabel 4.7** Daya *power pack* yang dibutuhkan untuk kondisi aktual

Variabel	Nilai	Satuan
Selisih tekanan ( $\Delta p$ )	2000000	Pa
Debit (Q)	0,000071	$m^3/s$
Daya <i>power pack</i> yang dibutuhkan (P)	141,6925	Watt
	<b>0,1416925</b>	<b>kW</b>

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa daya *power pack* yang dibutuhkan untuk memenuhi kondisi aktual adalah sebesar 0,141 kW. Apabila dibandingkan dengan kondisi yang sebenarnya digunakan *power pack* sebesar 1,5 kW hal ini dipilih karena sudah memenuhi tuntutan kebutuhan daya dari kondisi aktual sehingga aman untuk digunakan.

### 5. Debit/Laju aliran fluida saat proses kompaksi

Setelah didapatkan nilai daya yang dibutuhkan pada desain rancang bangun mesin kompaksi, maka dapat ditentukan debit/laju aliran fluida saat proses kompaksi berlangsung dengan menggunakan Persamaan 2.31. Pada Tabel 4.8 berikut merupakan perhitungan debit/laju aliran fluida saat proses kompaksi.

**Tabel 4.8** Debit/Laju aliran fluida saat proses kompaksi berdasarkan desain rancang bangun

Variabel	Nilai	Satuan
Selisih tekanan ( $\Delta p$ )	2959476	Pa
Daya yang dibutuhkan (P)	2833,85	Watt
Debit (Q)	0,000958	$m^3/s$
	<b>0,957551</b>	<b><math>dm^3/s</math></b>

Berdasarkan perhitungan desain, didapatkan bahwa debit/laju aliran fluida saat proses kompaksi adalah sebesar



0,957551 L/s. Sedangkan pada kondisi aktual dapat diketahui bahwa daya *power pack* yang digunakan adalah berbeda dengan desain rancang bangun yaitu sebesar 1,5 kW. Sehingga nilai dari debit yang dihasilkan saat proses kompaksi juga berbeda. Pada Tabel 4.9 berikut merupakan perhitungan debit/laju aliran fluida saat proses kompaksi dengan kondisi aktual.

**Tabel 4.9** Debit/Laju aliran fluida saat proses kompaksi berdasarkan kondisi aktual

Variabel	Nilai	Satuan
Selisih tekanan ( $\Delta p$ )	2959476,202	Pa
Daya yang dibutuhkan (P)	1500	Watt
Debit (Q)	0,000506846	$m^3/s$
	<b>0,506846448</b>	$dm^3/s$

Dari perhitungan pada Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa nilai debit/laju aliran fluida saat proses kompaksi berdasarkan kondisi aktual adalah sebesar 0,506846448 L/s.

## 6. Kecepatan *ram* (*speed ram*) saat proses kompaksi

Setelah didapatkan debit/laju aliran fluida saat proses kompaksi, selanjutnya dapat ditentukan kecepatan *ram* (*ram speed*) saat proses kompaksi. Dalam menentukan kecepatan pergerakan *ram* menggunakan persamaan 2.33. Pada Tabel 4.10 berikut merupakan perhitungan kecepatan *ram* saat proses kompaksi berdasarkan desain rancang bangun

**Tabel 4.10** Kecepatan *ram* (*ram speed*) saat proses kompaksi berdasarkan desain

Variabel	Nilai	Satuan
Debit / Laju Aliran Fluida (Q)	0,000958	$m^3/s$
Area silinder hidrolik (A)	0,007085	$m^2$
<i>ram speed</i> (v)	<b>0,135159</b>	m/s

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa kecepatan *ram* saat proses kompaksi adalah sebesar 0,135159 m/s sedangkan pada kondisi aktual kecepatan *ram* dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

**Tabel 4.11** Kecepatan *ram* (*ram speed*) saat proses kompaksi berdasarkan kondisi aktual

Variabel	Nilai	Satuan
Debit / Laju Aliran Fluida (Q)	0,000507	$m^3/s$
Area silinder hidrolik (A)	0,007085	$m^2$
<i>ram speed</i> (v)	<b>0,071541747</b>	m/s

Sedangkan pada kondisi aktual didapatkan nilai kecepatan *ram* saat proses kompaksi adalah sebesar 0,071541747 m/s.

## 7. Kapasitas Tangki *Reservoir*

Pada Tabel 4.12 berikut merupakan dimensi dan perhitungan kapasitas dari tangki *reservoir*.

**Tabel 4.12** Kapasitas tangki *reservoir* dan dimensi.

Variabel	Nilai	Satuan
Panjang (p)	0,4	m
Lebar (w)	0,25	m
Tinggi (h)	0,35	m
Volume <i>reservoir</i> (V)	0,035	$m^3$
	<b>35</b>	$dm^3$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa kapasitas dari tangki *reservoir* adalah sebesar 35 L.

## 8. Perhitungan Komponen Silinder Hidrolik

Dalam menentukan diameter dalam pada silinder hidrolik dapat menggunakan Persamaan 2.22 Pada Tabel 4.13 berikut ini merupakan perhitungan terkait diameter dari silinder hidrolik.

**Tabel 4.13** Diameter dalam silinder hidrolik

Variabel	Nilai	Satuan
Gaya Tekan (F)	35168	N
Kapasitas Tekanan (P)	4959476	Pa
	4,959476202	Mpa
Diameter dalam (d)	0,095043211	m
	<b>95,04321128</b>	mm

Dalam menentukan ketebalan pada silinder hidrolik dapat menggunakan persamaan 2.23. Pada Tabel 4.14 berikut ini merupakan perhitungan terkait ketebalan dari silinder hidrolik.

**Tabel 4.14** Ketebalan silinder hidrolik

Variabel	Nilai	Satuan
Tekanan Fluida Internal (P)	70	MPa
	70000000	Pa
Jari jari internal (r)	0,0475	m
Tangential Stress ( $\sigma_t$ )	500	MPa
	500000000	Pa
Ketebalan Silinder (t)	0,008479287	m
	<b>8,479286844</b>	mm

Dalam menentukan diameter luar silinder hidrolik dapat menggunakan persamaan 2.24. Pada Tabel 4.15 berikut ini merupakan perhitungan terkait diameter luar dari silinder hidrolik.

**Tabel 4.15** Diameter luar silinder hidrolik

Variabel	Simbol	Nilai	Satuan
Diameter dalam	d	95,04321128	mm
Ketebalan Silinder	t	8,479286844	mm
Diameter luar	D	112,001785	mm

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa komponen silinder hidrolik memiliki diameter dalam sebesar 95 mm, dengan ketebalan yaitu 8,483 mm dan diameter luar sebesar 112 mm.

## 4.2 Standar Operasional Kinerja Dan Instalasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

Agar proses kompaksi berjalan dengan lancar sesuai kebutuhan, dan terhindar dari kegagalan atau kesalahan, serta mendapatkan kualitas hasil yang konsisten juga efisien, perlu adanya sebuah pedoman langkah – langkah untuk mencapai tujuan tersebut. Dalam hal ini mesin kompaksi hidrolik otomatis yang telah dirancang perlu adanya standar operasional operasi agar operator dapat mengoperasikan alat dengan aman dan efisien.

### 4.2.1 Spesifikasi Desain Dan Keterangan Komponen

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan spesifikasi dan komponen dari mesin kompaksi pada Tabel 4.16 sebagai berikut

**Tabel 4.16** Spesifikasi mesin kompaksi hidrolik otomatis

	<b>Aplikasi</b>	<b>Desain TA</b>
	<b>Kapasitas Maksimal Mesin Kompaksi</b>	49,6 Ton
<b>Rangka</b>	<b>Material</b>	Baja Struktural (Baja ST 41)
	<b>Tipe Rangka</b>	Tipe H
	<b>Panjang (mm)</b>	1650
	<b>Lebar (mm)</b>	1000
	<b>Tebal (mm)</b>	250
<b>Power Pack</b>	<b>Output (kW)</b>	1,5
	<b>Type</b>	Y90L-4
	<b>Efisiensi</b>	78,5
	<b>Kecepatan (r/min)</b>	1400
	<b>Tegangan (V)</b>	380
	<b>Jenis Pompa</b>	Hidrolik
	<b>Power (kW)</b>	1,5
	<b>Tekanan Kerja</b>	<i>Low Pressure Stage (2 Mpa)</i> <i>High Pressure Stage (70 Mpa)</i>
	<b>Volume (mm)</b>	480*360*700
	<b>Kapasitas (l)</b>	35
<b>Berat (kg)</b>	47	

	<b>Aplikasi</b>	<b>Desain TA</b>
<b>Base Plate</b>	<b>Ukuran (mm)</b>	350*255
	<b>Tebal (mm)</b>	30
	<b>Material</b>	<i>Structural steel</i>
<b>Dies</b>	<b>Desain Dies (pcs)</b>	1
	<b>Diameter (mm)</b>	63,17
	<b>Tinggi (mm)</b>	60
	<b>Material</b>	<i>D2 tool steel</i>
<b>Punch</b>	<b>Desain Punch</b>	1
	<b>Diameter (mm)</b>	8
	<b>Panjang (mm)</b>	110
	<b>Material</b>	<i>A2 tool steel</i>
<b>Sistem Kontrol</b>	<b>Tekanan</b>	PLC Controller
	<b>Sensor Tekanan</b>	Pressure Transmitter
	<b>Tekanan Maksimum (MPa)</b>	70
	<b>Tekanan Kerja (Mpa)</b>	2-70

---

**Aplikasi**

**Desain TA**

---

**Jenis Fluida**

**Oli Turalik 52**

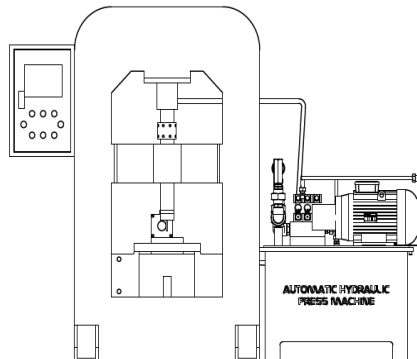
---

Alat

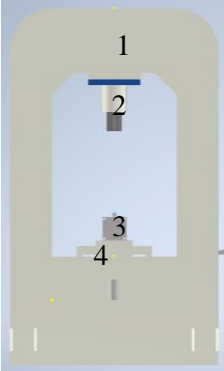


Gambar


Skema







**Tabel 4.17** Komponen mesin kompaksi hidrolik otomatis






Nama Komponen	Keterangan	Gambar
<b>A. Komponen Struktural</b>		
Rangka mesin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material : Baja ST 41 (<i>medium carbon steel</i>)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe H</li> <li>• Ukuran :                   <ul style="list-style-type: none"> <li>p (mm) = 1650</li> <li>l (mm) = 1000</li> <li>t (mm) = 250</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	
Silinder Hidrolik	Tipe : <i>Double acting</i> Spesifikasi : <ul style="list-style-type: none"> <li>• d (mm) = 95</li> <li>• t (mm) = 8,5</li> </ul>	
<i>Dies</i>	<i>dies</i> untuk 1 peluru A. Diameter : 63,17 mm B. Tinggi dies : 60 mm	
<i>Base plate</i>	Material : Struktural steel <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plate area : 345 x 345 (mm)</li> <li>• Tebal : 30 (mm)</li> </ul>	





Nama Komponen	Keterangan	Gambar
<b>B. Komponen Hidrolik</b>		
5 <i>Power Pack</i>	<p>Gabungan antara komponen pompa hidrolik, motor, dan reservoir oil tank.</p> <p>5a. Motor 3 Fase Asynchronous</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe : Y90L-4</li> </ul> <p>5b. Pompa hidrolik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe : <i>External Gear Pump</i></li> <li>• Merk : <i>Hydraulic electric pump HHB-630B-III</i></li> </ul> <p>5c. <i>Reservoir oil tank</i></p>	

Nama Komponen	Keterangan	Gambar
<b>B.Komponen Hidrolik</b>		
6 Valve (Katup pengatur tekanan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : NACHI</li> <li>• Model : SS-G01-A4-R-C230-31 (<i>feeder</i>) : 1</li> <li>2. SS-G01-C5-R-D2-31 (<i>punch atas dan bawah</i>) : 2</li> </ul>	 <p data-bbox="656 512 891 544"><i>(valve untuk feeder)</i></p>  <p data-bbox="639 903 904 999"><i>(valve untuk pergerakan punch atas dan punch bawah)</i></p>
7 Pipa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material : struktural steel</li> <li>• Diameter pipa : 21,5 (mm)</li> </ul>	

Nama Komponen	Keterangan	Gambar
<b>B.Komponen Hidrolik</b>		
8 Hidrolik <i>Hose</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Merk : Passion</li><li>• Model : DIN EN 853 1SN</li><li>• Hose bore : 10 (mm)</li><li>• Hose O.D : 17,1 (mm)</li></ul>	

Nama Komponen	Keterangan	Gambar
<b>C.Komponen Otomatis</b>		
9 Panel Kontrol	Tipe Pemrograman : PLC ( <i>Program Logic Controller</i> )	
A <i>Power Supply</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : Autonics</li> <li>• Tipe : SPB-060-24</li> </ul>	
B <i>Miniatur Circuit Breaker</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : Schneider electric</li> <li>• Tipe : ic60N (2 kutub)</li> </ul>	
C <i>Human Machine Interface</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : Autonics</li> <li>• Model : LP-S070</li> </ul>	
D <i>Digital Process Controller</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : Autonics</li> <li>• Tipe : KPN 5510</li> </ul>	

Nama Komponen	Keterangan	Gambar
<b>C.Komponen Otomatis</b>		
E <i>Limit Switch</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : Omron</li> <li>• Tipe: Z-15GW22-B</li> </ul>	
G Pengatur Tekanan ( <i>Pressure Transmitter</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merk : Autonics</li> <li>• Tipe : TPS20 - G2AP2-00</li> <li>• Jenis tekanan : tekanan Gauge</li> </ul>	

#### 4.2.2 Panel Kontrol

Panel kontrol berfungsi sebagai tempat kendali utama dari kinerja mesin kompresi hidrolik. Pada panel kontrol ini terdiri dari 7 macam *push button* yaitu 3 manual hidrolik (*on* dan *off*), motor (*on* dan *off*), *complete selector switch* untuk menyalakan mesin ke mode manual atau otomatis dan *complete pilot light* (lampu indikator). Total dari *push button* yang terdapat pada panel kontrol terdiri dari 19 bagian, yaitu :

- a. Power indikator arus listrik
- b. Lampu Indikator (*complete pilot light*)
  - [0] Lampu indikator *automatis on*
  - [1] Lampu indikator *machine on*
  - [2] Lampu indikator *punch* atas bergerak kebawah (↓)

- 
- [3] Lampu indikator *punch* bawah bergerak keatas(↑)
  - [4] Lampu indikator *feeder* melakukan pengisian ke *dies* (maju)
  - [10] Lampu indikator *punch* atas bergerak keatas(↑)
  - [11] Lampu indikator *punch* bawah bergerak kebawah (↓)
  - [12] Lampu indikator *feeder* bergerak mundur ke belakang
- c. *Push button*
- [5] *Automatis On*
  - [6] *Mesin On*
  - [7] *Punch* atas bergerak ke bawah (↓)
  - [8] *Punch* bawah bergerak ke atas (↑)
  - [9] *Feeder* melakukan pengisian ke *dies* (maju)
  - [15] *Punch* atas bergerak ke atas (↑)
  - [16] *Punch* bawah bergerak ke atas (↓)
  - [17] *Feeder* mundur
- d. Mode saklar mesin manual/auto (*Complete Selector Switch*)
- e. Emergency Stop Button
- [\*] : kode *button* pada panel kontrol

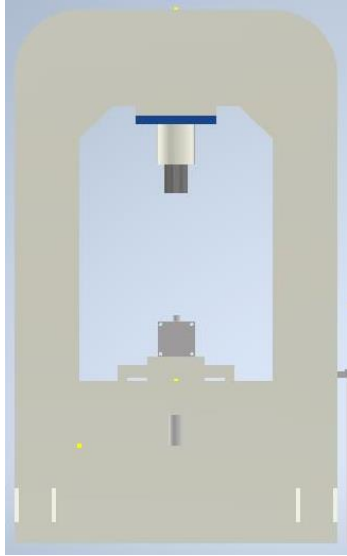



**Gambar 4.2** Panel kontrol mesin kompaksi hidrolik otomatis

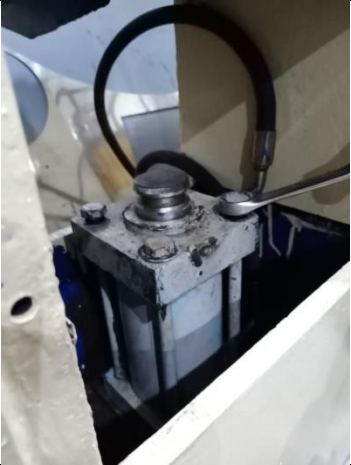

#### **4.2.3 Standar Operasional Instalasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis**

Standar instalasi mesin kompaksi hidrolik otomatis dibuat untuk memudahkan proses kompaksi agar lebih sistematis dan efisien serta menghasilkan produk yang berkualitas.



**Tabel 4.18** Standar operasional instalasi

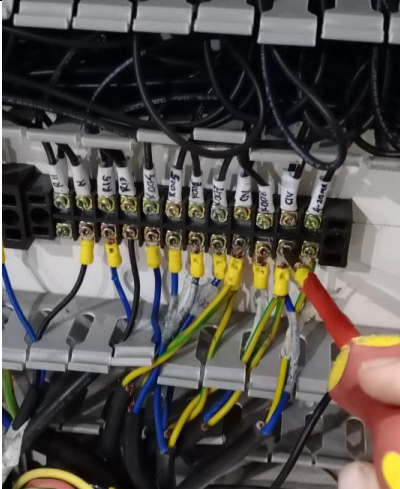

<b>Step ke -</b>	<b>Langkah yang dilakukan</b>	<b>Gambar</b>
1.	Menyambungkan kerangka dasar untuk tempat komponen mesin kompaksi dengan pengelasan dan pemasangan mur dan baut yang dikencangkan searah jarum jam	
2.	Meletakkan komponen <i>power pack</i> pada bagian kanan kerangka dasar.	
3.	Memasang komponen silinder hidrolik atas dengan mur dan baut dan mengencangkannya searah jarum jam	
4.	Memasang panel kontrol pada kerangka dasar dengan menggunakan baut L	



Step ke -	Langkah yang dilakukan	Gambar
5.	Memasang komponen silinder hidrolik sebagai penggerak bagian <i>punch</i> bawah dan <i>feeder</i> pada kerangka dasar dengan menggunakan pengelasan dan baut yang dikencangkan searah jarum jam.	
6.	Memasang <i>valve</i> pada kerangka dasar dengan menggunakan baut L dan mengencangkannya lalu menyambungkan komponen <i>pressure transmitter</i> ke bagian ujung <i>valve</i> .	 <p><i>Valve</i></p> <p><i>Pressure Transmitter</i></p>

<b>Step ke -</b>	<b>Langkah yang dilakukan</b>	<b>Gambar</b>
7.	Memasang <i>ram/ass</i> beserta <i>punch</i> pada silinder hidrolik dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam	 <p>The image shows a close-up of a hydraulic cylinder assembly. A yellow cylindrical ram is mounted on top of a silver metal cylinder. Below the silver cylinder is a white metal block. A punch is visible at the bottom of the assembly. The word "Ram" is written in white text over the yellow cylinder, and "Punch" is written in white text over the punch.</p>
8.	Memasang pipa besi hidrolik diantara <i>valve</i> dan silinder hidrolik atas dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam.	 <p>The image shows a hydraulic cylinder assembly with blue pipes and a valve. The assembly is mounted on a white metal block. A blue pipe is connected to the top of the cylinder. A valve is visible on the right side of the assembly. The word "Valve" is written in white text over the valve.</p>

Step ke -	Langkah yang dilakukan	Gambar
9	Memasang selang/ <i>hose</i> diantara <i>power pack</i> dan <i>valve</i> dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam.	
10	Memasang selang/ <i>hose</i> diantara <i>valve</i> dengan silinder hidrolis <i>punch</i> bawah dan <i>feeder</i> dengan menggunakan mur dan baut serta mengencangkannya searah jarum jam.	



<b>Step ke -</b>	<b>Langkah yang dilakukan</b>	<b>Gambar</b>
11	Menyambungkan kabel dari <i>power pack</i> dan <i>pressure transmitter</i> melalui <i>electrical crimp Y</i> ke sistem kontrol pada panel	
12	Memasang <i>limit switch</i> pada kabel penghubung antara <i>valve</i> dan panel kontrol dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam dan meletakkan masing masing <i>limit switch</i> sesuai dengan posisinya	



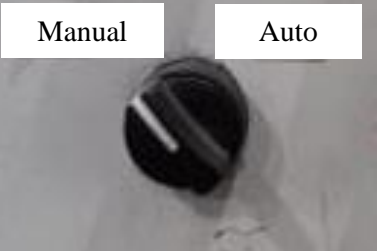
#### 4.2.4 Standar Operasional Operasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

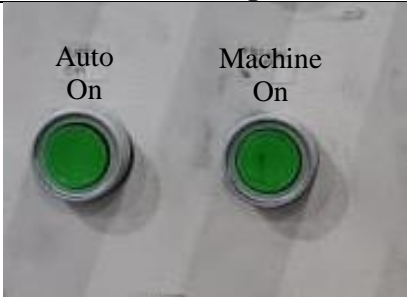

Pada Tabel 4.13 merupakan standar operasional operasi mesin kompaksi hidrolik otomatis

**Tabel 4.19** Standar operasional operasi

No.	Langkah	Keterangan
1.	Menghubungkan mesin kompaksi hidrolik otomatis ke sumber energi listrik	
2.	Menyalakan/menaikkan saklar breaker daya utama	




No	Langkah	Keterangan
3.	Memastikan fluida pada tangki <i>reservoir</i> berada dalam kondisi cukup untuk melakukan pergerakan hidrolik	
4.	Memastikan serbuk sudah terisi dalam <i>dies</i>	

No	Langkah	Keterangan
5.	Menaikkan saklar <i>Miniatur Circuit Breaker</i> (MCB) pada kondisi ON	
6.	Melakukan <i>setting</i> terhadap <i>Human Machine Interface</i> (HMI) terkait parameter tekanan dan waktu tekan pada proses kompaksi	
7.	Mengubah <i>complete selector switch</i> ke mode otomatis	

No	Langkah	Keterangan
8.	Menekan tombol <i>machine ON</i> pada panel kontrol untuk menyalakan motor penggerak fluida, lalu menekan tombol <i>auto ON</i> untuk menjalankan mesin pada mode otomatis.	
9.	Setelah mencapai parameter yang diinginkan, tekan tombol STOP pada panel kontrol untuk mematikan mesin.	



**Tabel 4.20** Standar operasional mematikan mesin kompaaksi hidrolik otomatis

No	Langkah	Keterangan
1.	Mematikan <i>miniatur circuit breaker</i> di dalam panel kontrol dengan menarik tuas ke bawah	
2.	Mematikan breaker daya utama dengan menarik tuas ke bawah	
3.	Melepas steker 3 fasa dari sumber listrik	

---

#### 4.2.5 Pembersihan dan Perawatan

Pada mesin kompaksi hidrolik ini menggunakan fluida berupa oli hidrolik sebagai tenaga untuk menjalankan komponen penggerak. Ada beberapa perawatan yang harus dilakukan untuk mesin ini, yaitu :

1. Oli yang direkomendasikan untuk mesin kompaksi ini harus menggunakan oli hidrolik yang tahan terhadap aus, dengan temperature range dari 15 - 60°C.
2. Oli harus disaring secara ketat terlebih dahulu dengan menggunakan *filter* sebelum dimasukkan ke dalam tangki *reservoir*.
3. Oli yang digunakan harus diganti setelah produksi mesin mencapai 80.000 butir.
4. Dilakukan kalibrasi dan inspeksi dari pressure gauge dan *pressure transmitter* setiap 6 bulan.
5. Ketika mesin sudah tidak digunakan dalam waktu yang lama, permukaan setiap komponen harus dibersihkan dan dilapisi dengan cat anti-karat.
6. Untuk menjaga mesin kompaksi agar tetap bekerja dengan baik, diperlukan perawatan. Pastikan sambungan – sambungan pada tiap komponen kuat dan tidak renggang, serta sambungan pada kabel tidak ada yang terputus ataupun bermasalah.
7. Membersihkan *base plate* setelah melakukan proses kompaksi

#### 4.2.6 Batasan Batasan

1. *Dies* yang digunakan dalam mesin kompaksi ini merupakan *dies* yang berisi 1 peluru
2. Pengisian serbuk ke dalam *dies* masih dengan metode manual
3. Kecepatan pergerakan dari *ram* saat turun adalah 10 mm/s, sedangkan saat naik 20mm/s.

---

### **4.3 Pengujian Kinerja, Efisiensi, Dan Optimasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis (HO)**

Setelah dilakukan proses rancang bangun mesin kompaksi hidrolik otomatis, maka untuk merealisasikan desain yang telah dibuat selanjutnya dilakukan uji coba kinerja mesin kompaksi hidrolik otomatis. Dan dilakukan perhitungan terhadap efisiensi baik dari segi mesin ataupun produk serta dilakukan optimasi mesin kompaksi melalui penentuan tekanan dan *dweling time* yang optimum.

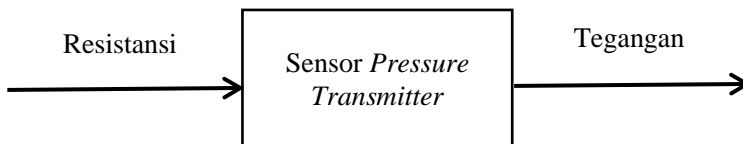
#### **4.3.1 Pengujian Kinerja Mesin Kompaksi HO**

Pengujian kinerja mesin kompaksi hidrolik otomatis merupakan suatu pengujian yang memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan mesin dalam melakukan proses kompaksi serta untuk mengetahui kesesuaian kapasitas produk yang dihasilkan dengan kapasitas rancangan yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya. Pada mesin kompaksi terdapat banyak komponen yang berpengaruh pada kinerja mesin, salah satu komponen yang sangat penting dalam menunjang kinerja proses kompaksi adalah *pressure transmitter*. Komponen *pressure transmitter* pada mesin kompaksi hidrolik otomatis ini merupakan komponen yang berfungsi sebagai sensor yang mendeteksi tekanan dari oli yang masuk ke dalam piston I. Dalam sistem penekanan, *pressure transmitter* ini berinteraksi dengan kontroler berupa PLC. Sensor *pressure transmitter* ini dipasang pada sisi bagian belakang dari *valve* seperti pada Gambar 4.3 berikut ini.



**Gambar 4.3** Letak komponen *pressure transmitter*

Berdasarkan rancangan sistem otomatis pada penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa *input* dari sensor *pressure transmitter* ini adalah besaran fisis berupa resistansi. Resistansi didapatkan dari tekanan fluida yang masuk ke dalam sensor dan terdeteksi oleh sensor. Sedangkan keluaran (*output*) dari sensor *pressure transmitter* ini berupa tegangan. Tegangan ini merupakan *output* yang bersifat analog, sehingga untuk dapat ditampilkan pada *human machine interface* (HMI) dibutuhkan alat yang dapat mengubah data analog menjadi digital dengan fungsi *analog to digital converter* (ADC). Alat ini berupa *digital process converter*. Pada Gambar 4.4 berikut merupakan mekanisme kerja dari *pressure transmitter* berdasarkan rancangan pada penelitian sebelumnya.



**Gambar 4.4** Diagram alir mekanisme kerja sensor *pressure transmitter*

Pada penelitian ini, pengujian kinerja ini dilakukan dengan 2 metode, metode yang pertama dilakukan dengan memasukkan sample berupa serbuk peluru *frangible* dengan komposisi yang sesuai dengan ketentuan penelitian sebelumnya yaitu Cu-10% wt Sn ke dalam cetakan (*dies*), selanjutnya dilakukan proses kompaksi terhadap serbuk tersebut. Pada Gambar 4.5 berikut merupakan produk hasil kinerja yang didapatkan dari proses kompaksi menggunakan mesin kompaksi hidrolik otomatis.



**Gambar 4.5** Sampel uji kinerja (a) serbuk sebelum kompaksi (b) *pellet* setelah kompaksi

Indikator kinerja mesin kompaksi hidrolik berjalan dengan baik dapat dilihat pada hasil visual dari sampel sebelum dan sesudah kompaksi. Terlihat pada Gambar 4.5 sampel sebelum kompaksi masih berbentuk serbuk, sedangkan setelah kompaksi berubah menjadi bentuk *pellet* dengan dimensi sesuai dengan yang telah ditentukan. Hal tersebut menjawab fungsi dari setiap komponen dimana saat serbuk di dalam *dies* lalu diberikan penekanan oleh mesin kompaksi hidrolik mengakibatkan serbuk mempunyai bentuk tertentu mengikuti bentuk *dies*, dan memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya.

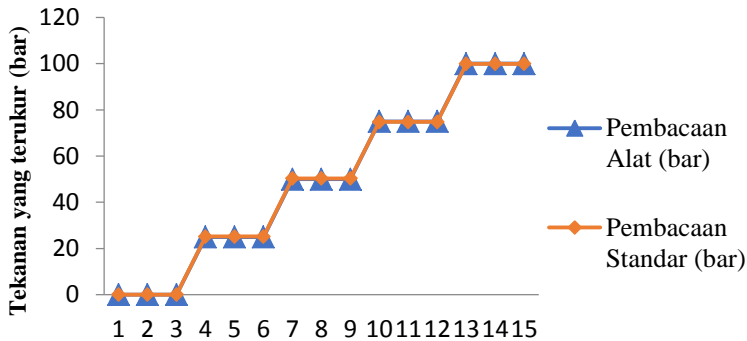
Metode yang kedua adalah memastikan kesesuaian parameter yang digunakan dalam mesin melalui pengujian tekanan. Pengujian tekanan pada sensor *pressure transmitter* dilakukan pada range 0-95 bar dengan menggunakan pembanding alat ukur standar *pressure gauge* dimana dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali pengulangan, pada kenaikan tiap 25 bar. Data

hasil pengujian sensor *pressure transmitter* dan *pressure gauge* dapat dilihat pada Tabel 4.21 berikut ini.

**Tabel 4.21** Pembacaan skala pada sensor *pressure transmitter* dan *pressure gauge*

No	Pembacaan Alat Pressure Transmitter pada HMI (bar)	Pembacaan Standar pada Pressure Gauge (psi)	Nilai Konversi dari Pembacaan Standar Pressure Gauge (Xi) (bar)	Error yang terjadi (Yi)
1	0	0	0,000	0,000
2	0	0	0,000	0,000
3	0	0	0,000	0,000
4	25	365	25,166	0,166
5	25	365	25,166	0,166
6	25	365	25,166	0,166
7	50	730	50,332	0,332
8	50	730	50,332	0,332
9	50	730	50,332	0,332
10	75	1085	74,808	-0,192
11	75	1085	74,808	-0,192
12	75	1085	74,808	-0,192
13	100	1450	99,974	-0,026
14	100	1450	99,974	-0,026
15	100	1450	99,974	-0,026

Berikut merupakan grafik yang menunjukkan hasil pembacaan hasil pembacaan skala sensor *pressure transmitter* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut ini.



Pengujian ke-

**Gambar 4.6** Grafik hasil pembacaan tekanan pada alat *human machine interface* (HMI) dan standar (*pressure gauge*)

Dari grafik pembacaan tekanan pada alat HMI (*pressure transmitter*) dan standar (*pressure gauge*) pada Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa terjadi *error* pembacaan oleh *pressure transmitter* pada masing masing titik yang telah ditentukan. Perhitungan nilai *error* ini didapatkan dari hasil pengurangan antara nilai pembacaan standar dengan nilai pembacaan alat, Sehingga didapatkan rata rata hasil *error* sebesar 0,056 bar.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat ditentukan nilai standar deviasi dari faktor koreksi dengan menggunakan persamaan 3.2 didapatkan nilai nya sebesar 0,215. Sedangkan karakteristik statik dari data diatas diketahui melalui perhitungan akurasi tekanan dengan Persamaan 4.1 sebagai berikut :

$$\text{Akurasi} = 1 - \frac{\text{Data pengukuran} - \text{Data Standar}}{\text{Data Pengukuran}} \quad (4. 1)$$

$$\text{Akurasi} = 0,99888245$$

$$\text{Akurasi} = 99,88824503\%$$

Maka, dapat disimpulkan bahwa mesin kompaksi hidrolik otomatis ini memiliki akurasi penekanan sebesar 99,88824503%.

#### 4.3.2 Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis (HO)

Pengukuran efisiensi mesin kompaksi HO bertujuan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan mesin secara menyeluruh yang akan memberikan gambaran informasi untuk program peningkatan produktifitas yang berkelanjutan. Pengukuran efisiensi dalam penelitian ini terdiri atas 2 metode, pertama dari segi kemampuan mesin dalam menunjang kinerja dan kedua dari segi produk yang dihasilkan. Pada Tabel 4.22 berikut merupakan data spesifikasi mesin yang dibutuhkan untuk menentukan efisiensinya.

**Tabel 4.22** Data spesifikasi mesin motor 3 fasa tipe Y904-L

Variabel	Nilai	Satuan
Daya Ouput ( $P_2$ )	1,5	kW
Arus (I)	3,6	A
Tegangan (V)	380	V
Power Faktor ( $\cos \varphi$ )	0,79	-

Dalam menentukan efisiensi suatu mesin dibutuhkan daya *input* dari motor. Untuk menentukan nilai dari daya *input* dapat menggunakan Persamaan 3.3 dengan variabel motor hidrolik Y904-L pada Tabel 4.16. Berikut ini merupakan perhitungan daya *input* motor hidrolik Y904-L.

$$P_{in} = \sqrt{3}xVxI \cos \varphi$$

$$P_{in} = \sqrt{3}x 380 Vx 3,6 A x (0,79)$$

$$P_{in} = 1,871 kW$$

Sehingga nilai dari daya *input* dari motor hidrolik Y904-L sebesar 1,871 kW. Setelah mengetahui nilai daya *input* selanjutnya dapat menentukan efisiensi motor hidrolik Y904-L



dengan menggunakan persamaan 3.2 dan variabel pada Tabel 4.6. Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi mesin kompaksi hidrolik otomatis menggunakan Persamaan 3.2.

$$\eta_{total} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$
$$\eta_{total} = \frac{1,5}{1,871} \cdot 100\%$$
$$\eta_{total} = 80\%$$

Sehingga didapatkan bahwa efisiensi mesin kompaksi secara keseluruhan adalah sebesar 80%.

Dalam menentukan efisiensi produksi dari mesin kompaksi HO dapat dilihat dari kualitas produk yang dihasilkan. Penentuan kualitas produk ini dilihat dari kesesuaian nilai kekerasan dan nilai kekuatan tekan yang dihasilkan dengan standar dari kekerasan dan kekuatan tekan peluru *frangible* pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Kruachatturat, 2009). Standar nilai kekerasan peluru *frangible* yaitu 33 – 95 HRF, sedangkan untuk standar nilai kekuatan tekan peluru *frangible* sebesar 30 – 310 MPa. Pada Tabel 4.23 berikut merupakan nilai kekerasan dan kekuatan tekan yang dihasilkan dari produk yang diproses dengan mesin menggunakan mesin kompaksi HO.

**Tabel 4.23** Hasil uji tekan dan uji kekerasan

Tekanan Kompaksi (MPa)	Tekanan Hidrolik (bar)	Dwelling Time	Kekerasan (HRF)	Kekuatan Tekan (MPa)	Ket
500	109	0	50	57	✓
		5	89	58	✓
		15	88	53	✓
		30	51	54	✓
		45	37	52	✓
600	130	0	58	65	✓
		5	97	47	✗
		15	79	42	✓
		30	47	44	✓
		45	65	77	✓
700	152	0	96	79	✗
		5	97	89	✗
		15	85	77	✓
		30	77	72	✓
		45	53	110	✓

✓ = Sampel yang sesuai dengan standar

✗ = Sampel yang tidak sesuai dengan standar

Berdasarkan data hasil uji kekerasan dan uji kekuatan tekan dapat diketahui dari 15 sampel produk yang dihasilkan terdapat 3 sampel yang tidak memenuhi standar nilai kekerasan. Maka dengan menggunakan Persamaan 3.4 dapat dilakukan perhitungan efisiensi sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi Produksi} = \frac{\text{Produk yang sesuai standar}}{\text{Total produk yang dihasilkan}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Produksi} = \frac{12}{15} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Produksi} = 80\%$$

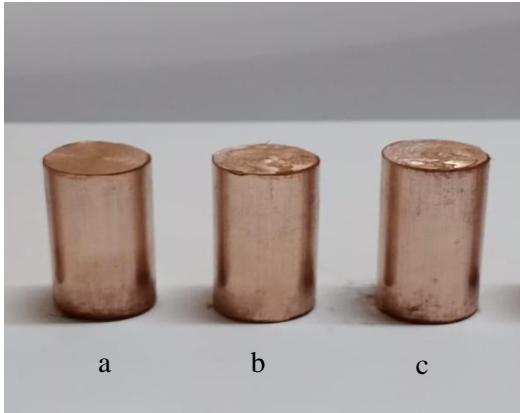
---

Sehingga didapatkan bahwa nilai efisiensi produksi dari mesin kompaksi hidrolik adalah sebesar 80%.

#### 4.3.3 Optimasi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis (HO)

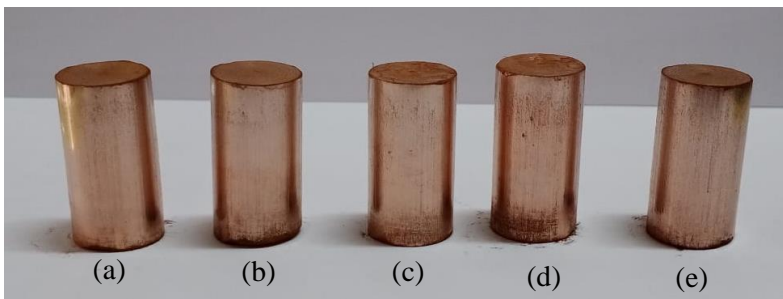
Setelah dilakukan pengujian kinerja dan pengukuran efisiensi selanjutnya diperlukan optimasi dari mesin kompaksi HO. Optimasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari mesin kompaksi, sehingga kinerjanya dapat lebih efektif dan efisien. Optimasi ini dilakukan dengan menentukan tekanan dan *dweling time* untuk kualitas peluru *frangible* yang optimum. Tekanan dan *dweling time* ini merupakan variabel yang sangat berpengaruh terhadap kualitas komposit peluru *frangible*. Respon dari kedua variabel ini berupa nilai kekuatan tekan dan nilai kekerasan komposit Cu-Sn. Metode untuk optimasi mesin dilakukan dengan cara memasukkan sample berupa serbuk peluru *frangible* dengan komposisi yang sesuai dengan ketentuan penelitian sebelumnya yaitu Cu-10%wt Sn ke dalam cetakan (*dies*), lalu selanjutnya dilakukan proses kompaksi terhadap serbuk tersebut. Respon kinerja mesin kompaksi terhadap sampel diukur dari nilai kekerasan dan kekuatan tekan sampel yang dihasilkan setelah sampel melalui proses sintering dengan menggunakan *furnace* terlebih dahulu.

Pada penelitian ini menggunakan 3 jenis sampel, yaitu serbuk CuSn yang dikompaksi pada tekanan 500 MPa, 600 MPa, dan 700 MPa. Ketiga jenis sampel ini dikompaksi dengan mesin kompaksi hidrolik otomatis (HO). Pada Gambar 4.7 berikut merupakan sample hasil proses kompaksi dengan variabel tekanan yang berbeda.



**Gambar 4.7** Sampel hasil kompaksi dengan variabel tekanan (a).500 (b) 600 (c) 700 MPa yang berbeda

Pada observasi kali ini diambil variabel dari waktu penekanan serbuk saat proses kompaksi (*dwell time*), kemudian setiap 1 jenis tekanan dikompaksi dengan waktu tekan (*dwell time*) yang berbeda beda diantaranya selama 0 menit, 5 menit, 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Berikut pada Gambar 4.8 merupakan sampel dengan variabel waktu tekan (*dwell time*).



**Gambar 4.8** Sample hasil kompaksi dengan variabel *dwell time* (a) 0 menit, (b) 5 menit, (c) 15 menit, (d) 30 menit, dan (d) 45 menit yang berbeda.

### 1. Pengujian Kekerasan

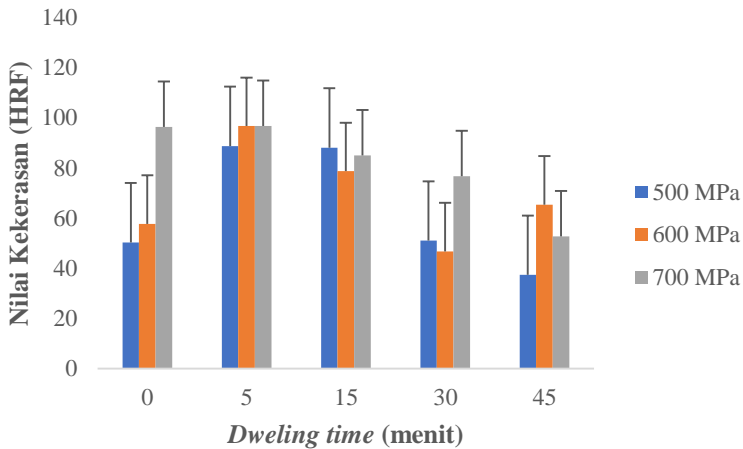
Kekerasan merupakan sifat mekanik yang mempunyai pengaruh terhadap kinerja dari sebuah peluru *frangible*, sehingga keberadaan sifat ini perlu dikaji dalam pembuatan peluru *frangible*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai kekerasan yang dimiliki oleh komposit Cu-Sn ini. Setelah itu dilakukan perbandingan dengan nilai kekerasan dari senapan. Nilai kekerasan dari peluru *frangible* tidak boleh melebihi dari nilai kekerasan senapan, karena apabila nilai kekerasan peluru *frangible* melebihi dari kekerasan selongsong dikhawatirkan akan mengakibatkan kerusakan pada senapan. Pengujian kekerasan pada observasi ini dilakukan sebanyak 3 kali indentasi setiap sampelnya. Pada pengujian kekerasan ini menggunakan metode pengujian Rockwell dengan Tipe F. Hal ini dilakukan karena material komposit CuSn merupakan material yang lunak sehingga digunakan pengujian kekerasan tipe HRF dengan beban indentasi 60 kgf dan indenter yang digunakan berupa bola pejal (ASM Vol.8). Pada Gambar 4.9 berikut merupakan proses pengujian kekerasan komposit Cu-Sn dan sampel hasil pengujian kekerasan.



**Gambar 4.9** a) Pengujian kekerasan dengan metode rockwell F, b) sampel hasil uji kekerasan

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kruachatturat, 2009) diketahui bahwa nilai kekerasan dari peluru

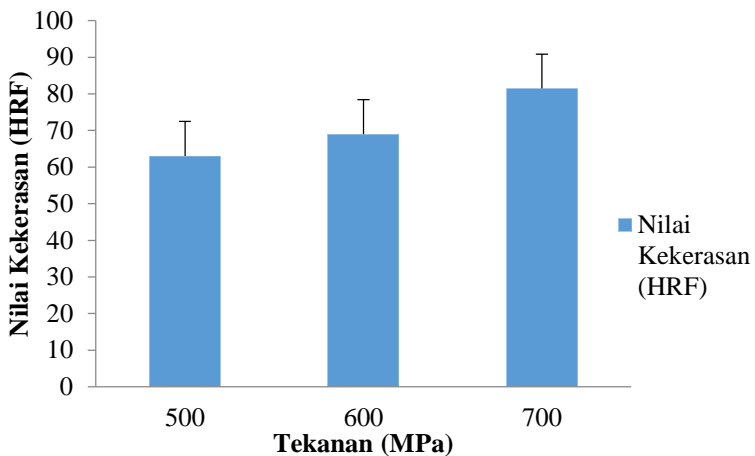
*frangible* adalah 54 – 119 HV atau 33-95 HRF. Penelitian ini dijadikan sebagai standar untuk karakteristik peluru *frangible* pada penelitian penelitian selanjutnya. Pada observasi yang telah dilakukan oleh (Anugraha, 2014) didapatkan nilai kekerasan peluru *frangible* Cu-10%Sn sebesar 39-83 HRF. Pada Gambar 4.10 berikut ini merupakan diagram pengaruh tekanan kompaksi dan *dweling time* terhadap kekerasan komposit Cu-Sn.



**Gambar 4.10** Diagram pengaruh tekanan kompaksi dan *dwelling time* terhadap kekerasan komposit CuSn.

Setelah dilakukan pengujian terhadap sifat mekanik kekerasan, didapatkan diagram seperti pada Gambar 4.10 Trend diagram menunjukkan rata rata nilai kekerasan turun. Pada diagram dengan tekanan 500 MPa dan 600 MPa alur naik turunnya hampir sama, hanya berbeda di *dwelling time* 45 menit. Trend nilai kekerasan minimum terdapat pada sampel dengan *dwelling time* 45 menit dengan nilai rata – rata sebesar 52 HRF sedangkan variabel *dwelling time* lainnya memiliki rata rata nilai kekerasan diatas 52 HRF.

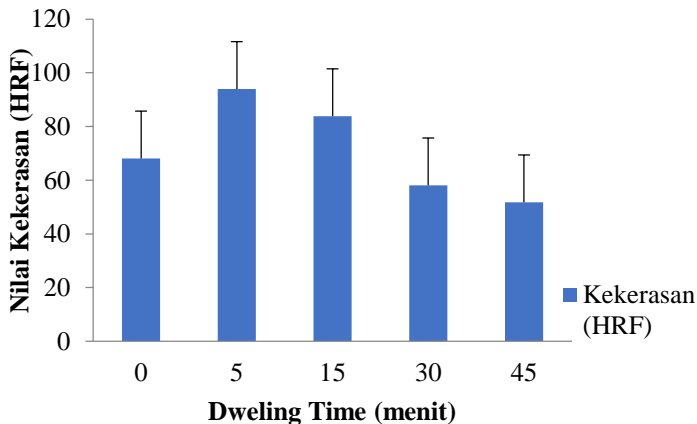
Berdasarkan diagram tersebut juga dapat diketahui bahwa tekanan dan *dweling time* trend diagram maksimum yang memiliki kekerasan paling tinggi yaitu pada tekanan kompaksi 700 MPa dan 600 MPa dengan *dweling time* 5 menit dengan nilai kekerasan sebesar 97 HRF. Berdasarkan hasil observasi ini dapat diketahui bahwa pada tekanan 600 MPa dan 700 MPa dengan *dweling time* 5 menit menghasilkan nilai kekerasan yang maksimum apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kruachatturat, 2009). Dari observasi ini dapat diketahui bahwa tekanan berpengaruh terhadap penambahan nilai kekerasan komposit CuSn. Pada Gambar 4.11 berikut ini merupakan pengaruh variabel tekanan terhadap nilai kekerasan komposit Cu-Sn.



**Gambar 4.11** Diagram pengaruh tekanan kompaksi terhadap nilai kekerasan.

Berdasarkan diagram pada Gambar 4.11 diatas dapat diketahui bahwa semakin tinggi tekanan yang diberikan maka semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan. Hasil pengujian ini diperkuat dengan teori yang dikemukakan oleh (Hewitt,

Wallace, & De Malherbe, 1973) bahwa adanya peningkatan penekanan akan memberikan hasil *packing* yang lebih baik dan disertai adanya penurunan porositas. Penurunan porositas terjadi karena tekanan yang diberikan tersebut meningkatkan densitas dari serbuk, dengan meningkatnya densitas mengakibatkan nilai kekerasan semakin meningkat. Selain itu, ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat. Pada tekanan rendah, aliran plastis difokuskan terlebih dahulu untuk melakukan kontak antar partikel sehingga partikel serbuknya semakin erat. Selanjutnya ketika tekanan mulai dinaikkan, aliran plastis yang homogen terjadi secara menyeluruh dalam serbuk. Dengan penekanan yang cukup, maka seluruh partikel akan mengalami *work strain hardening* ketika jumlah porositas semakin berkurang (German & Churn, 1984). Sedangkan pada Gambar 4.12 berikut merupakan pengaruh variabel *dweling time* terhadap nilai kekerasan komposit Cu-Sn.



**Gambar 4.12** Diagram pengaruh *dweling time* terhadap nilai kekerasan



Berdasarkan data dari hasil observasi pada Gambar 4.12 diatas dapat diketahui bahwa trend dari diagram adalah turun, hal ini berarti bahwa semakin tinggi nilai *dweling time* yang diberikan pada serbuk saat proses kompaksi maka semakin rendah nilai kekerasan yang dihasilkan. Hasil penelitian ini kurang sesuai dengan teori yang ada pada penelitian yang dilakukan oleh (Wang, 2018) tentang simulasi numerik dari densifikasi campuran serbuk logam Cu-Al selama kompaksi secara aksial. Dari penelitian tersebut dijelaskan terkait pengaruh *dweling time* terhadap densifikasi dari serbuk, dimana semakin tinggi *dweling time* yang diberikan maka akan meningkatkan densifikasi serbuk tersebut. Densifikasi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan sifat fisika suatu material serbuk melalui suatu proses kompaksi sehingga serbuk memiliki densitas yang lebih tinggi daripada sebelumnya. Dengan meningkatnya densitas, maka akan menurunkan porositas. Porositas ini berpengaruh terhadap sifat mekanik seperti kekerasan karena dengan adanya porositas dapat mengakibatkan konsentrasi tegangan sehingga mudah untuk berdeformasi plastis dan lokalisasi tegangan, sehingga dengan menurunnya porositas mengakibatkan nilai kekerasan meningkat (German R. , 1984).

Dari trend diagram Gambar 4.10 dan Gambar 4.12 dapat disimpulkan juga bahwa *dweling time* memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap kekerasan suatu material, hal ini dapat dilihat bahwa tren nilai kekerasan semakin menurun seiring meningkatnya *dweling time*, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait *dweling time* yang lebih tinggi karena terdapat data yang berbeda sendiri pada *dweling time* 45 menit mengalami kenaikan kekerasan. Selain itu, berdasarkan diagram 4.12 dapat diketahui bahwa pada ketiga sampel dengan tekanan yang berbeda menghasilkan nilai kekerasan optimum pada *dweling time* 5 menit. Hasil observasi ini sesuai dengan ketentuan standar yang digunakan dalam pembuatan peluru *frangible*

Dari hasil uji kekerasan didapatkan hasil dengan rentang kekerasan 37 - 97 Dengan nilai paling kecil pada tekanan

kompaksi 500 MPa dengan *dweling time* 45 menit dan nilai kekerasan paling tinggi pada tekanan 600 dan 700 MPa dengan *dweling time* 5 menit.

Berdasarkan hasil uji kekerasan dapat disimpulkan bahwa variabel optimum yang direkomendasikan untuk mesin kompaksi HO ini sebesar 600 MPa dengan *dweling time* selama 5 menit.

## 2. Pengujian Kekuatan Tekan

Pada observasi ini dilakukan pengujian kekuatan tekan yang dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D695. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Univeral Testing Machine* tipe Gotech-Gt-7001-LC50. Pada pengujian ini sampel yang digunakan berupa *pellet* dengan dimensi perbandingan diameter dan tinggi adalah 1:2. Sampel dilakukan preparasi terlebih dahulu sehingga permukaan bagian atas dan bawahnya rata dan mendapatkan kontak dengan *punch* atas. Dilakukan pengukuran terhadap dimensi sampel terlebih dahulu dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas yang dikenai beban. Selanjutnya sampel diuji tekan. Apabila sampel telah berdeformasi plastis maka laju pemberian beban dihentikan. Pada Gambar 4.13 berikut merupakan sampel komposit Cu-Sn yang digunakan untuk pengujian kekuatan tekan yang sudah melalui proses kompaksi dan sintering terlebih dahulu.



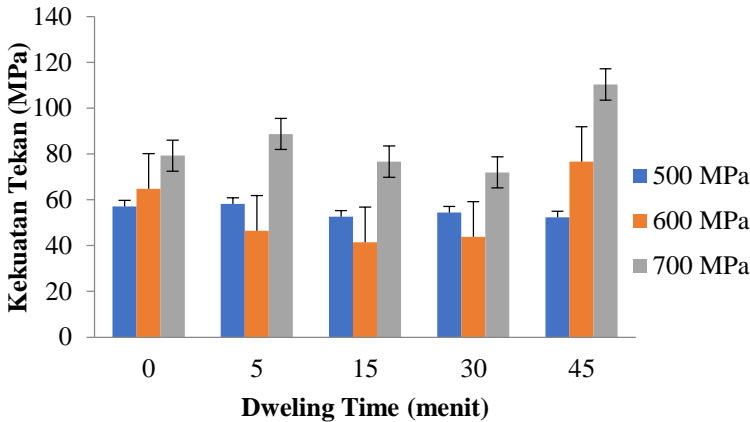
**Gambar 4.13** Sampel uji tekan komposit Cu-Sn setelah disintering

Secara umum, material yang dilakukan pengujian kekuatan tekan (*compression test*) bisa mengalami dua kemungkinan yaitu, *buckling* ataupun *barreling*. Hal tersebut disebabkan oleh distribusi *stress-strain* yang tidak sama pada sampel. *Buckling* adalah tipe kerusakan yang dapat dilihat dari arah samping akibat adanya pembebanan. Sedangkan *barreling* adalah bentuk sampel yang cembung dan terdeformasi pada bagian samping saat dilakukan pengujian (Vuri,2012). Berdasarkan observasi yang telah dilakukan pada Gambar 4.15 berikut ini merupakan sampel setelah diuji tekan.



**Gambar 4.14** Kondisi sampel setelah uji kekuatan tekan

Pada hasil pengujian tekan yang dilakukan dapat diamati bahwa kerusakan sampel disebabkan oleh pembebanan kearah samping. Berdasarkan pengujian dari kekuatan tekan yang dilakukan ditampilkan pada Gambar 4. 15 diagram pengaruh antara tekanan kompaksi dan *dwelling time* terhadap kekuatan tekan dari komposit Cu-Sn.



**Gambar 4.15** Diagram pengaruh tekanan kompaksi dan *dwell time* terhadap kekuatan tekan komposit CuSn.

Berdasarkan diagram pada Gambar 4.15 diatas menunjukkan trend pengaruh antara variabel tekanan kompaksi dan *dwelling time* terhadap kekuatan tekan adalah naik. Hal ini berarti bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, maka semakin meningkatkan kekuatan tekan dari komposit Cu-Sn. Hasil observasi ini diperkuat dengan teori yang dikemukakan oleh (Anugraha, 2014) bahwa kekuatan tekan yang semakin meningkat diindikasikan dipengaruhi oleh jumlah porositas. Karena semakin meningkatnya tekanan kompaksi sehingga porositas akan semakin menurun. Semakin menurunnya jumlah porositas akan diikuti oleh semakin meningkatnya nilai dari kekuatan tekan yang diperoleh dari hasil pengujian tekan.

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, kekuatan tertinggi diperoleh pada sampel dengan tekanan 700 MPa pada *dwell time* 45 menit sebesar 110 MPa. Sedangkan kekuatan tekan terendah pada sampel dengan tekanan kompaksi 500 MPa pada *dwell time* 45 menit sebesar 52 MPa. Pada penelitian ini nilai kekuatan tekan yang didapatkan telah sesuai dengan standar

peluru *frangible* yaitu 31 – 310 MPa. Namun, apabila dibandingkan dengan kedua penelitian terbaru yang dilakukan oleh (Anugraha, 2014) kekuatan tekan yang dihasilkan adalah sebesar 143,86 – 275,72 dengan variabel komposisi Sn dan tekanan kompaksi pada 300,400 dan 500 MPa. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Jhony, 2014) dengan variabel temperature sintering terhadap sifat mekanik kekuatan tekan adalah sebesar 204,4 – 796,25 MPa. Selisih nilai kekuatan tekan pada sampel yang berbeda jauh ini dikarenakan ukuran sampel yang digunakan pada kedua penelitian sebelumnya tersebut hanya berukuran 1:1 dengan diameter 14 mm dan tinggi 14 mm sedangkan pada penelitian ini menggunakan acuan ASTM D695 dengan ukuran 1:2. Dengan adanya perbedaan dimensi sampel tersebut berpengaruh terhadap kekuatan tekan sampel. Dari data hasil uji kekuatan tekan semua sampel memiliki kualitas sesuai dengan peluru *frangible* karena masih berada pada rentang kekuatan tekan standar yaitu 31 - 310 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan, variabel tekanan optimum yang direkomendasikan untuk mesin kompaksi HO adalah sebesar 700 MPa dengan *dwelling time* 45 menit.

Dari kedua pengujian diketahui bahwa terdapat perbedaan variabel optimum dari tekanan dan *dwelling time*, hal ini membuktikan bahwa mesin kompaksi HO yang digunakan masih belum bisa menghasilkan produk dengan kualitas yang stabil sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi.

#### **4.3.4 Analisa Mesin Kompaksi Hidroik Otomatis (KHO) untuk Generasi I**





Secara umum hasil pengujian kinerja dan efisiensi dari mesin kompaksi hidrolik otomatis (KHO) sudah cukup bagus. Kinerja mesin KHO sudah berjalan dengan baik, indikator ini dapat dilihat dari mesin yang sudah mampu mengubah material serbuk menjadi material yang mempunyai bentuk dan sifat mekanik tertentu, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Selain itu, mesin berdasarkan hasil pembacaan tekanan alat pada *human*

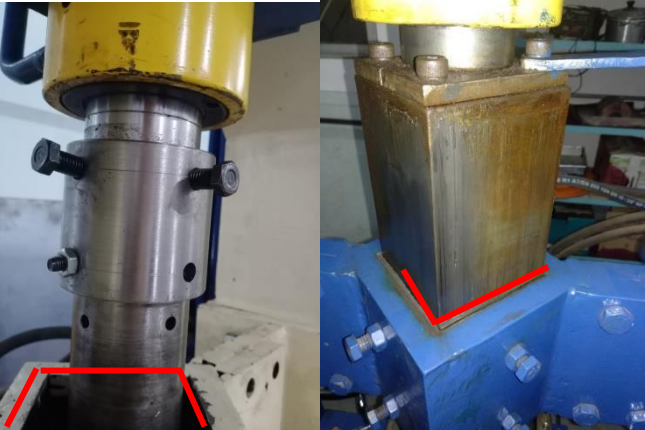
---

*machine interface* (HMI) dan tekanan standar pada *pressure gauge* memiliki akurasi tekanan sebesar 99,88 %. Dan juga secara efisiensi, mesin ini sudah cukup bagus berdasarkan data hasil perhitungan efisiensi mesin yang didapatkan sebesar 80%, sedangkan dilihat dari efisiensi produksi mesin kompaksi hidrolik didapatkan sebesar 80%.

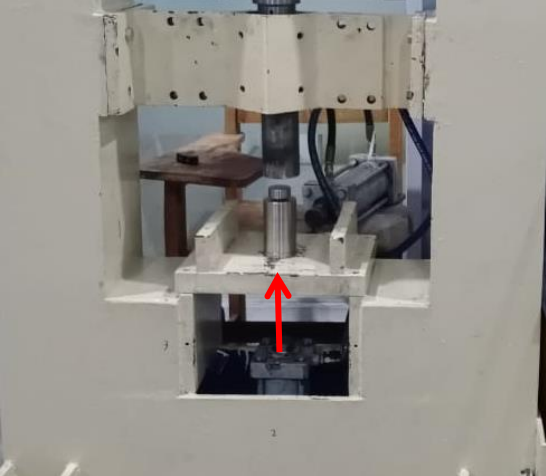
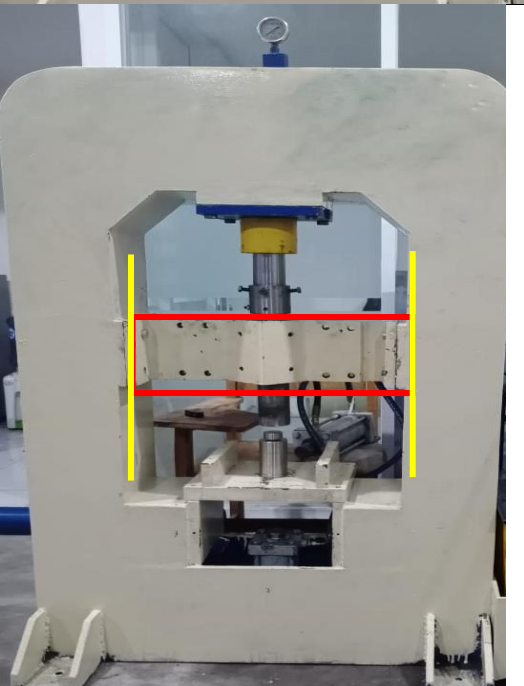
Namun, apabila dilihat dari segi kualitas produk yang dihasilkan, dapat diketahui bahwa *trend* masih belum stabil secara menyeluruh, karena antara sifat mekanik kekerasan dan kekuatan tekan memiliki *trend* yang berbeda dan tidak homogen. Sedangkan, jika dilihat dari 2 penelitian sebelumnya seharusnya *trend* dari hasil uji kekerasan dan uji kekuatan tekan memiliki *trend* yang sama. Berdasarkan analisa secara teknis yang telah dilakukan penulis, terdapat beberapa hal pada mesin KHO yang mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Pada Tabel 4.24 berikut merupakan hasil analisa penyebab mesin belum mampu menghasilkan kualitas produk yang homogen.

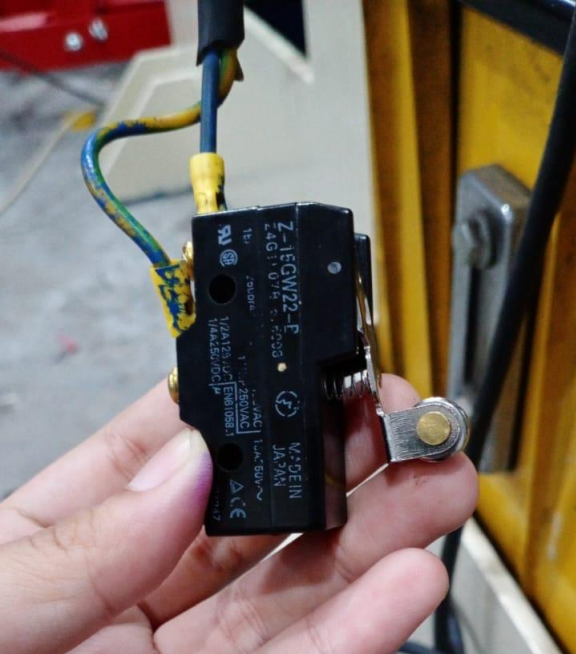
**Tabel 4.24** Analisa mesin KHO untuk perbaikan generasi II

No	Analisa Penyebab	Gambar		Saran Perbaikan
1	<p>Komponen penggerak (<i>punch dan ram</i> silinder hidrolik) tidak berada dalam satu sumbu secara linear dengan cetakan (<i>dies</i>) dan <i>base plate</i> (<i>kondisi nya tidak simetris</i>)</p>			<p>Komponen penggerak (<i>punch dan ram</i> silinder hidrolik) diubah menjadi berada dalam satu sumbu secara linear dengan cetakan (<i>dies</i>) dan <i>base plate</i></p>
2	<p>Sambungan antara silinder hidrolik atas dan ram belum sepenuhnya kencang, karena dibagian silinder hidrolik tidak ada <i>drill</i> sehingga baut tidak bisa mengikat sambungan tersebut</p>			<p>Melakukan penyambungan antara silinder hidrolik atas dan <i>ram</i> sesuai dengan standar</p>

3	Tidak ada penstabil <i>ram</i> saat melakukan penekanan		Memasang penstabil <i>ram</i> sehingga saat melakukan penekanan <i>ram</i> tetap melakukan pergerakan secara simetris
4	<i>feeder</i> belum berfungsi, sehingga pengisian masih manual		Melakukan penyesuaian terhadap model <i>dies</i> dan <i>base plate</i> dan memperbaiki sistem <i>controller</i> sehingga <i>feeder</i> dapat melakukan pengisian secara otomatis, sehingga dapat menghasilkan produk yang seragam



<p>5</p>	<p>Ejeksi dilakukan secara manual (dengan palu) sehingga mempengaruhi kualitasnya</p>		<p>Memperbaiki sistem <i>controller</i> dan memfixkan desain cetakan (<i>dies</i>) dan <i>base plate</i> sehingga ejeksi dapat dilakukan secara otomatis</p>
<p>6</p>	<p>Tidak ada jalur (linear rail) yang digunakan untuk penstabil pergerakan naik turun ram</p>		<p>Menambahkan jalur (rel) pada bagian sisi rangka untuk menstabilkan dan memperhalus pergerakan <i>ram</i> saat melakukan penekan</p>

7	Sensor yang digunakan belum memenuhi standar sistem otomasi	 A hand is holding a black industrial sensor component. The component has several wires (blue, yellow, green) attached to it. The text on the component includes 'Z-15GW22-F', 'Z-10', 'U14', '10000', '1.0', '1.0', '250VAC', '1/4A50/60Hz', 'MAGNET', 'JAPAN', and 'A.C.E.'. There is also a small circular logo with a 'P' inside.	<p>Memasang sensor otomatis yang sesuai standar yaitu <i>sensor laser displacement</i> sebagai pengganti sensor mekanik <i>limit switch</i>. Karena dalam skala industri sensor <i>limit switch</i> digunakan sebagai pengaman apabila terjadi hal hal yang tidak dikehendaki pada mesin.</p>
---	---	---	---

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemilihan komponen sudah sesuai dengan spesifikasi
2. Terbentuk standar operasional instalasi mesin kompaksi hidrolik otomatis
3. Terbentuk standar operasional mesin kompaksi hidrolik otomatis
4. Dari hasil uji kekerasan didapatkan bahwa tekanan yang paling optimum adalah 700 MPa dengan *dweling time* 5 menit. Sedangkan dari hasil uji kekuatan tekan didapatkan bahwa tekanan yang paling optimum adalah 700 Mpa dengan *dweling time* 45 menit.
5. Dari hasil keseluruhan mesin kompaksi HO memiliki :
  - a. Akurasi penekanan sebesar 99,88%
  - b. Efisiensi dari perhitungan mesin sebesar 80%
  - c. Efisiensi produksi hasil mesin KHO sebesar 80%
  - d. Namun perlu perbaikan agar produk lebih stabil.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan agar didapatkan performa mesin kompaksi hidrolik otomatis yang lebih baik lagi, yaitu :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi uji coba *dweling time* kompaksi yaitu pada waktu 60 menit, 75 menit, dan 90 menit.
2. *Dies* yang digunakan untuk proses kompaksi harus sesuai dengan standar untuk sampel uji tekan
3. Perlu dilakukan perbaikan lanjutan terhadap beberapa bagian dari mesin KHO sehingga produk memiliki kualitas yang lebih stabil

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Akers, A. (2006). **Hydraulic Power System Analysis**. Boca Raton.
- Alderborn, G. (2002). **Tablets and Compaction in Pahraceutics "The Science of Dosage Form Design"**. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- 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**. *Jurnal Teknik POMITS*, 102-107.
- Anugraha, V. G., & Widyastuti. (2015). **Analisa Karakteristik Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Komposit Cu-Sn terhadap Frangibilitas Peluru Frangible Cu-Sn**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASM Handbook, V. 7. (1990). **Powder Metallurgy Technologies and Applications**. USA: ASM International.
- (1998). ASM Metal Handbook . Dalam *ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications*. Ohio: ASM International.
- (2000) **ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation..** Ohio: ASM International.
- Azmi, M. U. (2016). **Desain Proses Produksi Proyektil Frangible dengan Proses Metalurgi Serbuk**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Balshin, M. Y. (1938). *Theory Of Compacting*. Vetsnik Metalloprom.
- Banovic, S. (2007). **Microstructural Characterization and Mechanical Behavior of Cu-Sn Frangible Bullets**. *Materials Science and Engineering A 460-461*, 428-435.
- Benini, J. C. (2001). **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making** Such Articles. *Nomor Paten : US 6,263,798 B1*. Amerika Serikat.

- 
- Degarmo, E. B. (1988). **Materials and Processes in Manufacturing**. California: Macmillan Pub. Co.
- Dixit, M., & Srivastava, P. R. (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*, 377.
- Effendi, M. D. (2001). **Merancang Alat-Alat Proses Produksi Utama Pada Proses Pembuatan Magnesium Carbonat Dari Dolomite Dan Coke**. Bali: Politeknik UNUD.
- Egüz, I. O. (2008). **Hydraulic Press Construction for Fitting The Bearings to the Housing**. Swedia: Department of Mechanical Engineering, Vaxjo University.
- Ejiofor, J., & R.G, R. (1997). **Development in the Processing and Properties of Particulate Al-Si Composites**. *Journal JOM*, 31-37.
- German, R. (1984). **Powder Metallurgy Science**. USA: Metal Powder Industries Federation.
- German, R. M. (2014). **Sintering: from Empirical Observations to Scientific Principles**. Oxford: Elsevier Inc.
- German, R. M., & Churn, K. S. (1984). **Sintering Atmosphere Effects on the Ductility of W- Ni- Fe Heavy Metals**. *Metallurgical Transactions A*.
- Gotz, W., & Bosch. (2002). **Hydraulics Theory and Applications**. Rexroth Bosch Group.
- Hansen, R. D. (2006). United States Paten. No. *US7392746B2*.
- Hartono, S. (1988). **Sistim kontrol dan pesawat tenaga hidrolik**. Bandung: Tarsito.
- Heckel, R. (1961). **An Analysis Of Powder Compaction Phenomena**. Trans AIME.
- Hewitt, R., Wallace, W., & De Malherbe, M. (1973). **Powder Metallurgy** 16. 88.
- J. Komenda, X. B. (2017). **Evaluation Method of Frangible Bullets Frangibility**. *Advances in Military Technology*, 185-193.
-

- 
- Jhony, P. (2014). Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Ikatan Antar Muka Pada Komposit Matrik Logam Cu-10wt%Sn Dengan Metode Metalurgi Serbuk. *POMITS*.
- Kelter, R. (2011). *Cat Bullet Alloy & Alloy Maintenance* . <URL : [www.lasc.us/Kelter\\_Cast\\_Bullet\\_Alloys2.pdf](http://www.lasc.us/Kelter_Cast_Bullet_Alloys2.pdf)>.
- Kogyo, Y. (1986). **Hand Book Basic Hydraulic and Components**. Minato-ku, Tokyo: Yuken Kogyo Co.,LTD.
- Kruachatturat. (2009). **Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets**. *The 3rd Thailand Metallurgical Conference*. Bangkok. Thailand.
- Lamotte, T. (2018). **Improving Batch Dry Mixer Operation**. *Nestle Research Singapore*, 36-39.
- Lenel, F. (1980). **Powder Metallurgy Principles and Applications**. Pricenton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- Majumdar, S. (2003). **Oil Hydraulics Systems Principle and Maintenance**.
- Mechscience. (2016, Desember 18). **Blending and Mixing of the Powders & Compaction | Powder Metallurgy**. Diambil kembali dari Encyclopedia of Engineering: <http://www.mechscience.com/blending-and-mixing-of-the-powders-compaction-powder-metallurgy/>
- Mikko, D., Kelly, M., & Mille, J. (2008). **Frangible Bullets, Dynamic Research Technologies**. *AFTE Journal*.
- More, D. (2015). **Design, Development and Optimazation of Hydraulic Press**. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering*.
- Nadkarni, A. V. (2003). **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same**. *Nomor Paten : US 6,536,352 B1*. Amerika Serikat.
- Paswan, R., J.Das, N.Kumar, & Kumar, A. (2014). **Performance Analysis Of Directional Control Valve : An Overview**. *Applied Mechanics and Materials Vols. 592-594*.
-

- 
- Pramono, J. (2006). **Perancangan Sistem Kontrol Otomatis dan Analisa Kestabilan Pada Sistem Hidrolik** (Kasus Mesin Pencetak Paving SB 324 SE) . *POMITS*.
- Ranald, G. V. (1986). **Mekanika Fluida dan Hidraulika**. Jakarta: Erlangga.
- Rydlo, M. (2010). **Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor**. *Advances in Military Technology Vol.5, No. 2*.
- Salbu, L. (2011). **Compressibility and Compactibility of Pectin Powders. A study of Their Potential as Direct Compressio Excipients in Tablets**. *A dissertation for the degree of Philosophiae Doctor* .
- Sulistya, F. F. (2019). **Desain Proses Produksi Dan Tata Letak Pabrik Projektil Frangible Dengan Metode Metalurgi Serbuk Berkapasitas 50.000.000 Butir/Tahun**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Supatmo, A. D. (2012). **Pengendalian Tekanan dan Waktu Berbasis Mikrokontroller Atmega 8535 Pada Mesin Kompaksi Hidrolik**. *POMITS*.
- Therib, M. (2017). **Three Motor Phase Induction Motor**. Al-Furat AL-ALwsat Techical University.
- Thummler, F. (1993). **Powder Metallurgy**. London: The Institute of Materials.
- Upadhyaya, G. S. (2002). **Powder Metallurgy Technology**. Kanpur, India: Department of Materials and Metallurgical Engineering, Indian Institution of Technology.
- Utomo, P. P. (2017). **Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Tekan Pencetak Peluru Dengan Prinsip Hidrolik**. Surabaya: Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wonkhede, A. A., & Lin, D. Y. (2014). **Analysis and Design Of A Hydraulic Compaction Machine to Produce Activated Carbon Pellets**. *University Of Missouri-Columbia*.
-

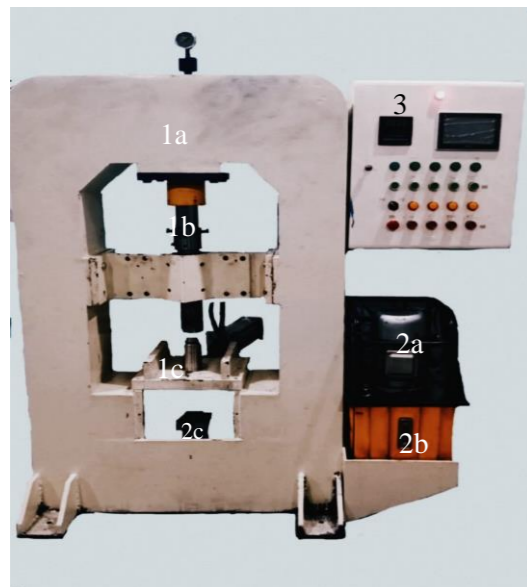
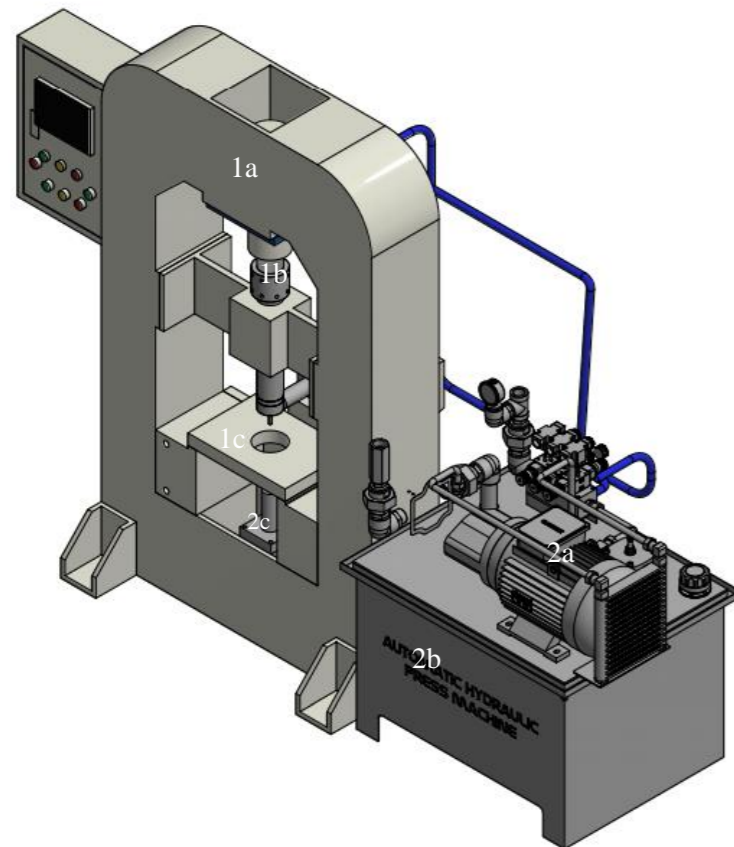


- 
- Wang, W. (2018). Numerical Simulation of Densification of Cu-Al Mixed Metal Powder During Axial Compaction.
- Yukatso, S. (1989). **Revised Hydraulics Handbook** . Japan: Yuken Kogyo Co.,LTD.
- Zhang, Q. (2009). **Basics Of Hydraulic System**. CRC Press.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

## Lampiran 1

PETUNJUK PENGGUNAAN MESIN KOMPAKSI  
HIDROLIK OTOMATIS FRANGIBLE BULLET

## NAMA NAMA BAGIAN


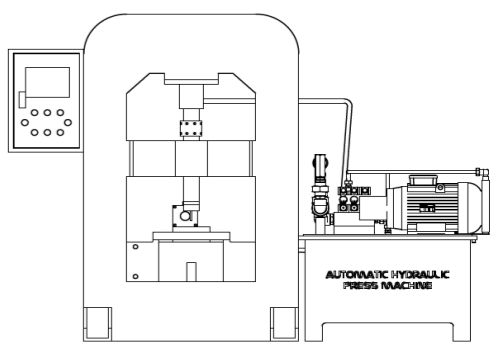
Mesin kompaksi ini terdiri dari 3 jenis komponen yaitu :

- (1) **Komponen Struktural** : komponen struktural terdiri atas (1a) rangka mesin yang mempunyai bentuk tipe H, (1b) ram merupakan perpanjangan silinder hidrolis atas kearah *punch*, dan (1c) *base plate* yang berfungsi sebagai tatakan yang menopang *dies* tempat serbuk yang akan dikompaksi.

- (2) **Komponen Hidrolik** : merupakan komponen yang menunjang prinsip dasar kinerja mesin kompaksi dalam melakukan penekanan yang melibatkan fluida sebagai penggeraknya, terdiri atas (2a) motor hidrolis sebagai pengubah energi dari sumber listrik menjadi energi kinetik yang menggerakkan pompa sehingga fluida dapat bertekanan , (2b) tangki *reservoir* yang merupakan penampung fluida, (2c) Silinder hidrolis merupakan komponen penggerak sistem hidrolis dengan menggunakan fluida bertekanan.
- (3) **Komponen Otomasi** : merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengatur kinerja mesin kompaksi, seperti tekanan dan waktu tekan.

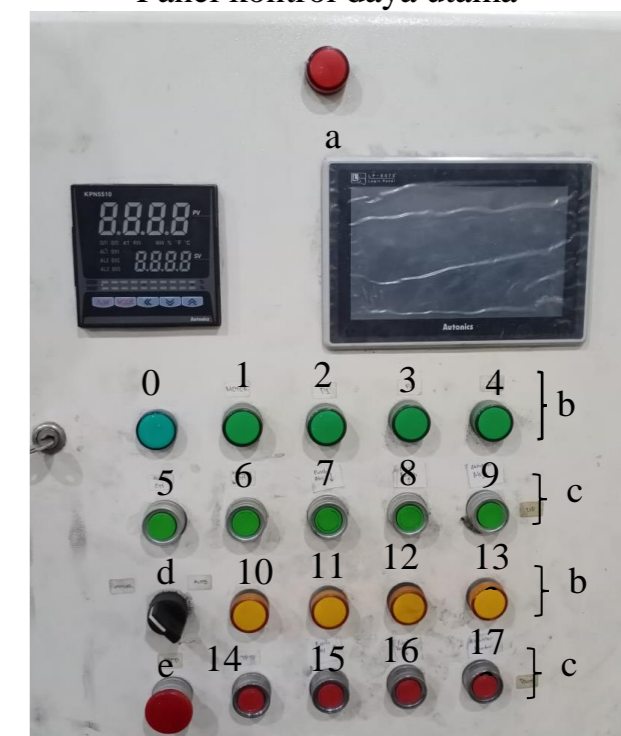
## SPESIFIKASI

Aplikasi		Desain TA	
<b>1. Kapasitas Maksimal Mesin Kompaksi</b>		49,6 Ton	
<b>2. Rangka Mesin Kompaksi</b>	Material	Baja Struktural (Baja ST 41)	
	Tipe Rangka	Tipe H	
	Panjang (mm)	1650	
	Lebar (mm)	1000	
	Tebal (mm)	250	
<b>3. Power Pack</b>	Output (kW)	1,5	
	Type	Y90L-4	
	Efisiensi	78,5	
	Kecepatan (r/min)	1400	
	Tegangan (V)	380	
	Jenis Pompa	Hidrolik	
	Power (kW)	1,5	
	Tekanan Kerja		<i>Low Pressure Stage (2 Mpa)</i>
			<i>High Pressure Stage (70 Mpa)</i>
	Volume (mm)	480*360*700	
Kapasitas (l)	35		
Berat (kg)	47		
<b>4. Base Plate</b>	Ukuran (mm)	350*255	
	Tebal (mm)	30	
	Material	<i>Structural steel</i>	
<b>5. Dies</b>	Desain <i>Dies (punch)</i>	1	
	Diamater (mm)	63,17	
	Tinggi (mm)	60	
	Material	<i>D2 tool steel</i>	
<b>6. Punch</b>	Desain <i>Punch (pcs)</i>	1	

	Diameter (mm)	8
	Panjang (mm)	110
	Material	<i>A2 tool steel</i>
<b>7. Sistem Kontrol</b>	Tekanan	Program Logic Controller (PLC)
	Sensor Tekanan	Pressure Transmitter
<b>8. Tekanan Maksimum (MPa)</b>		70
<b>9. Tekanan Kerja (Mpa)</b>		2-70
<b>10. Jenis Fluida</b>		Oli Turalik 52
<b>11. Gambar</b>	Alat	
	Skema	

## PANEL KONTROL

## Panel kontrol daya utama







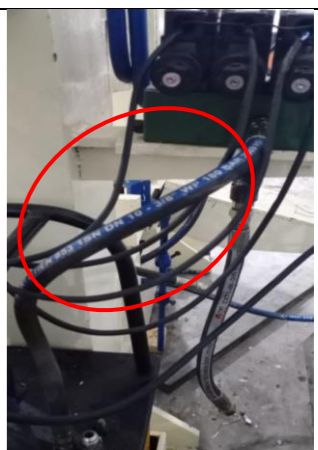

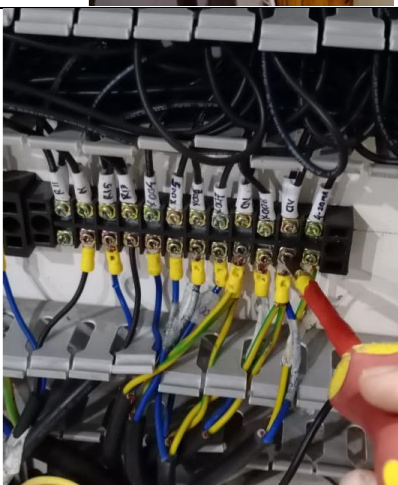

Total dari *push button* yang terdapat pada panel kontrol terdiri dari 19 bagian, yaitu :

- a. Power indikator arus listrik
  - b. Lampu Indikator (*complete pilot light*)
    - [5] Lampu indikator *automatis on*
    - [6] Lampu indikator *machine on*
    - [7] Lampu indikator *punch* atas bergerak kebawah (↓)
    - [8] Lampu indikator *punch* bawah bergerak keatas(↑)
    - [9] Lampu indikator *feeder* melakukan pengisian ke *dies* (maju)
    - [13] Lampu indikator *punch* atas bergerak keatas(↑)
    - [14] Lampu indikator *punch* bawah bergerak kebawah (↓)
    - [15] Lampu indikator *feeder* bergerak mundur ke belakang
  - c. *Push button*
    - [10] Automatis On
    - [11] Mesin On
    - [12] *Punch* atas bergerak ke bawah (↓)
    - [13] *Punch* bawah bergerak ke atas (↑)
    - [14] *Feeder* melakukan pengisian ke *dies* (maju)
    - [18] *Punch* atas bergerak ke atas (↑)
    - [19] *Punch* bawah bergerak ke atas (↓)
    - [20] *Feeder* mundur
  - d. Mode saklar mesin manual/auto (*Complete Selector Switch*)
  - e. Emergency Stop Button
- [\*] : kode *button* pada panel kontrol

**CARA INSTALASI**

<p>1. Menyambungkan kerangka dasar untuk tempat komponen mesin kompaksi dengan pengelasan dan pemasangan mur dan baut yang dikencangkan searah jarum jam</p>	
<p>2. Meletakkan komponen <i>power pack</i> pada bagian kanan kerangka dasar.</p>	
<p>3. Memasang komponen silinder hidrolis atas dengan mur dan baut dan mengencangkannya searah jarum jam</p>	
<p>4. Memasang panel kontrol pada kerangka dasar dengan</p>	






	<p>menggunakan baut L dan mengencangkannya searah jarum jam</p>	
<p>5. Memasang komponen silinder hidrolis sebagai penggerak bagian <i>punch</i> bawah dan <i>feeder</i> pada kerangka dasar dengan menggunakan pengelasan dan baut yang dikencangkan searah jarum jam.</p>	<p>6. Memasang <i>valve</i> pada kerangka dasar dengan menggunakan baut L dan mengencangkannya lalu menyambungkan komponen <i>pressure transmitter</i> ke bagian ujung <i>valve</i>.</p>	<p>7. Memasang <i>ram/ass</i> beserta <i>punch</i> pada silinder hidrolis <i>punch</i> atas dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam</p>
<p>8. Memasang <i>pressure gauge</i> beserta pipa besi hidrolis diantara <i>valve</i> dan silinder hidrolis atas dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam.</p>		


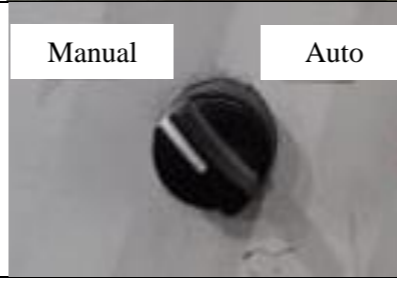
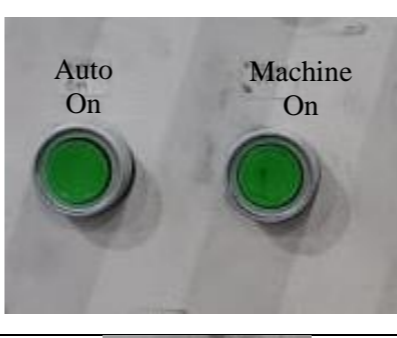

<p>9. Memasang selang/<i>hose</i> diantara <i>power pack</i> dan <i>valve</i> dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam.</p>	
<p>10. Memasang selang/<i>hose</i> diantara <i>valve</i> dengan silinder hidrolis <i>punch</i> bawah dan <i>feeder</i> dengan menggunakan mur dan baut serta mengencangkannya searah jarum jam.</p>	
<p>11. Menyambungkan kabel dari <i>power pack</i> dan <i>pressure transmitter</i> melalui <i>electrical crimp Y</i> ke sistem kontrol pada panel</p>	
<p>12. Memasang <i>limit switch</i> pada kabel penghubung antara <i>valve</i> dan panel kontrol dengan menggunakan baut dan mengencangkannya searah jarum jam dan meletakkan masing masing <i>limit switch</i> sesuai dengan posisinya</p>	

**CARA PENGGUNAAN**

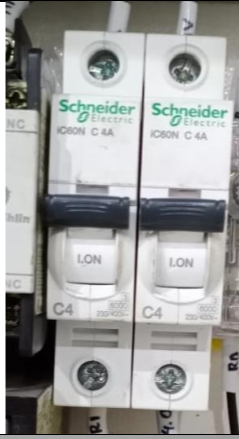

No.	Langkah	Keterangan
-----	---------	------------




1.	Menghubungkan mesin kompaksi hidrolik otomatis ke sumber energi listrik	
2.	Menyalakan/menaikkan saklar breaker daya utama	
3	Memastikan fluida pada tangki reservoir berada dalam kondisi cukup untuk melakukan pergerakan hidrolik	
4	Memastikan serbuk sudah terisi dalam dies	
5	Menaikkan saklar Miniatur Circuit Breaker (MCB) pada kondisi ON	

6	Melakukan <i>setting</i> terhadap <i>Human Machine Interface</i> (HMI) terkait parameter tekanan dan waktu tekan pada proses kompaksi	
7	Mengubah <i>complete selector switch</i> ke mode otomatis	
8	Menekan tombol <i>machine ON</i> pada panel kontrol untuk menyalakan motor penggerak fluida, lalu menekan tombol <i>auto ON</i> untuk menjalankan mesin pada mode otomatis.	
9	Setelah mencapai parameter yang diinginkan, tekan tombol STOP pada panel kontrol untuk mematikan mesin.	

**CARA MEMATIKAN MESIN KOMPAKSI**

No.	Langkah	Keterangan
1	Mematikan <i>miniatur circuit breaker</i> di dalam panel kontrol dengan menarik tuas ke bawah	
2	Mematikan breaker daya utama dengan menarik tuas ke bawah	

3	Melepas steker 3 fasa dari sumber listrik	
---	---	--

**PEMBERSIHAN DAN PERAWATAN**

- Ada beberapa perawatan yang harus dilakukan untuk mesin ini, yaitu :
- Oli harus disaring dengan menggunakan *filter* sebelum dimasukkan ke dalam tangki *reservoir*.
  - Oli yang digunakan harus diganti setelah produksi mesin mencapai 80.000 butir.
  - Dilakukan kalibrasi dan inspeksi dari *pressure gauge* dan *pressure transmitter* setiap 6 bulan.
  - Ketika mesin sudah tidak digunakan dalam waktu yang lama, permukaan setiap komponen harus dibersihkan dan dilapisi dengan cat anti-karat.
  - Untuk menjaga mesin kompaksi agar tetap bekerja dengan baik, diperlukan perawatan. Pastikan sambungan – sambungan pada tiap komponen kuat dan tidak renggang, serta sambungan pada kabel tidak ada yang terputus ataupun bermasalah.
  - Membersihkan *base plate* setelah melakukan proses kompaksi

**BATASAN – BATASAN**

- *Dies* yang digunakan dalam mesin kompaksi ini merupakan *dies* yang berisi 1 peluru
- Kecepatan pergerakan dari *ram* saat turun adalah 10 mm/s, sedangkan saat naik 20mm/s.
- Sistem *ejection* (ejeksi) produk masih menggunakan sistem secaramanual
- Pengisian serbuk masih secara manual, belum menggunakan *feeder* secara otomatis.



## Lampiran 2

### Perhitungan Massa Serbuk

Perhitungan massa matriks dan massa *filler* pada komposit Cu-Sn digunakan persamaan berikut :

- Massa matriks  

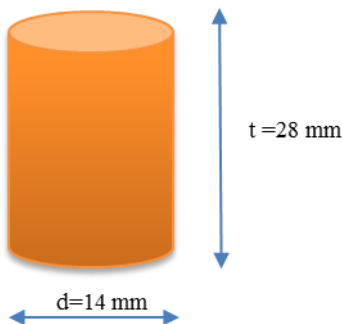
$$m_m = a \cdot \frac{axy+bxy}{ay+bx} \cdot v_c$$
- Massa *filler*  

$$m_f = b \cdot \frac{axy+bxy}{ay+bx} \cdot v_c$$

Keterangan :

- $m_m$  : massa matriks  
 $m_f$  : massa *filler*  
a : fraksi massa matriks  
b : fraksi massa *filler*  
x : *densitas matriks*  
y : *densitas filler*  
 $V_c$  : volume komposit

Komposit dibuat dengan bentuk *pellet* dengan volume sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 \text{Volume Komposit (V}_c) &= \frac{22}{7} \cdot r^2 \cdot t \\
 &= \frac{22}{7} \cdot (7\text{mm})^2 \cdot 28\text{ mm} \\
 &= 4312\text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$= 4,312 \text{ cm}^3$$

Adapun massa masing masing serbuk adalah sebagai berikut :

- Massa matriks Cu

$$m_m = a \cdot \frac{axy+bxy}{ay+bx} \cdot v_c$$

$$m_m = 0,895 \cdot \frac{(0,895 \cdot 8,96 \cdot 7,365) + (0,1 \cdot 8,96 \cdot 7,365)}{(0,895 \cdot 7,365) + (0,1 \cdot 8,96)} \cdot (4,312)$$

$$m_m = 33,84220433 \text{ gr}$$

- Massa filler Sn

$$m_f = b \cdot \frac{axy+bxy}{ay+bx} \cdot v_c$$

$$m_f = 0,1 \cdot \frac{(0,895 \cdot 8,96 \cdot 7,365) + (0,1 \cdot 8,96 \cdot 7,365)}{(0,895 \cdot 7,365) + (0,1 \cdot 8,96)} \cdot (4,312)$$

$$m_f = 3,781251881 \text{ gr}$$

- Massa Zn Stearate

$$m_{Zn} = 0,5\% \cdot (m_m + m_f)$$

$$m_{Zn} = 0,005 \cdot (33,84220433 + 3,781251881)$$

$$m_{Zn} = 0,188171811 \text{ gr}$$



**Lampiran 3**  
 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan

**Tabel 3 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan**

F (Mpa)	Dwelling time (mnt)	Sample	Luas (mm <sup>2</sup> )	Max. Load (N)	Kekuatan Tekan (Mpa)	Kekuatan Tekan Rata Rata (Mpa)	E (Gpa)	E rata rata (Gpa)	E Rata Rata tiap Tekanan (Gpa)	
500	0	1	158,37	9554	60	57	37,720	37,104	36,592	
		2	162,86	8794	54		36,487			
	5	1	162,86	9556	59	58	37,408	37,316		
		2	162,86	9400	58		37,223			
	15	1	162,86	8074	50	53	35,564	36,191		
		2	162,86	9064	56		36,819			
	30	1	162,86	6410	39	54	33,185	36,274		
		2	162,86	11325	70		39,363			
	45	1	162,86	7403	45	52	34,650	36,076		
		2	162,86	9636	59		37,501			
	600	0	1	162,86	11622	71	65	39,670		38,500
			2	162,86	9490	58		37,330		
5		1	165,13	7976	48	47	35,287	34,885		
		2	165,13	7386	45		34,482			
15		1	167,42	6092	36	42	32,412	33,663		
		2	165,13	7698	47		34,913			
30		1	162,86	7593	47	44	34,914	34,266		
		2	162,86	6693	41		33,617			
45		1	162,86	13707	84	77	41,683	40,483		
		2	162,86	11249	69		39,284			

F (Mpa)	Dwelling time (mnt)	Sample	Luas (mm <sup>2</sup> )	Max. Load (N)	Kekuatan Tekan (Mpa)	Kekuatan Tekan Rata Rata (Mpa)	E (Gpa)	E rata rata (Gpa)	E Rata Rata tiap Tekanan (Gpa)
700	0	1	162,86	10978	67	79	38,997	40,843	41,679
		2	162,86	14840	91		42,688		
	5	1	165,13	15935	96	89	43,429	42,319	
		2	165,13	13377	81		41,208		
	15	1	165,13	13506	82	77	41,327	40,512	
		2	165,13	11810	72		39,696		
	30	1	165,13	14740	89	72	42,425	39,528	
		2	165,13	9034	55		36,630		
	45	1	165,13	19519	118	110	46,154	45,194	
		2	165,13	16940	103		44,233		

Perhitungan modulus elastisitas menggunakan hubungan antara kekuatan tekan dan modulus elastisitas

$$E = \frac{\left(22000 \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}\right)}{1000}$$

Dimana :

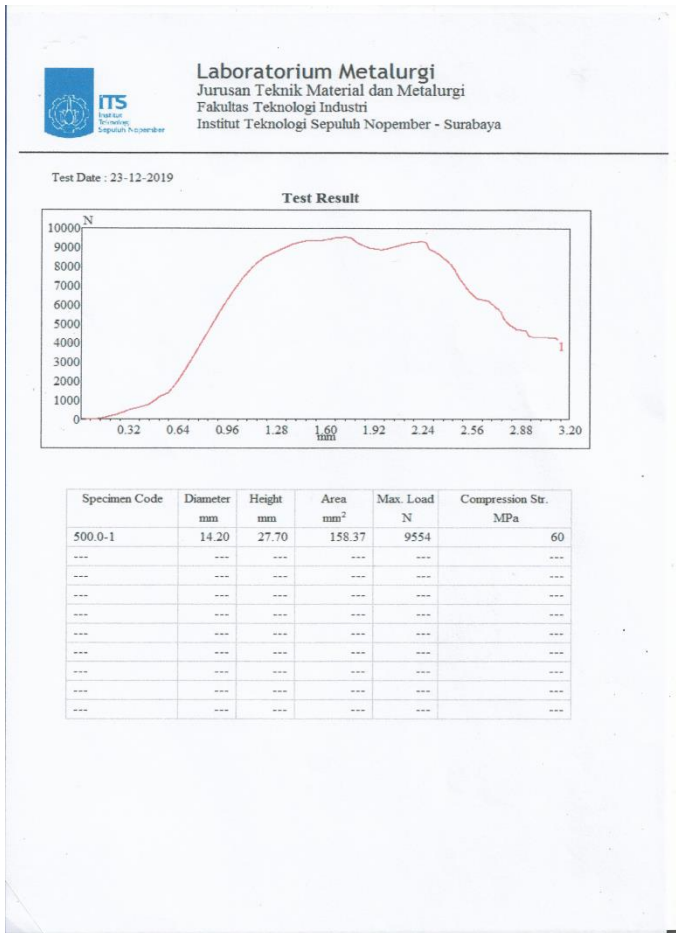
E = Modulus Elastisitas komposit (Gpa)

F<sub>cm</sub> = Kekuatan tekan komposit (MPa)

## Lampiran 4

### Grafik Hasil Pengujian Kekuatan Tekan

- Tekanan 500 MPa dengan *dweling time* = 0 menit (Sample 2)



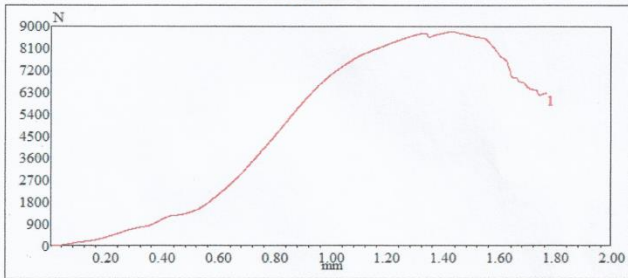
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
500.0-2	14.40	28.20	162.86	8794	54
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



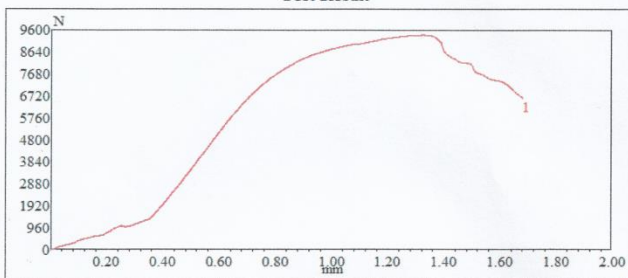
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
500.5-2	14.40	27.50	162.86	9400	58
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



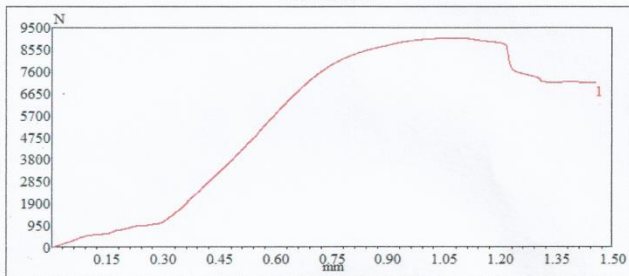
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-12-2019

## Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
500.15-2	14.40	26.00	162.86	9064	56
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---





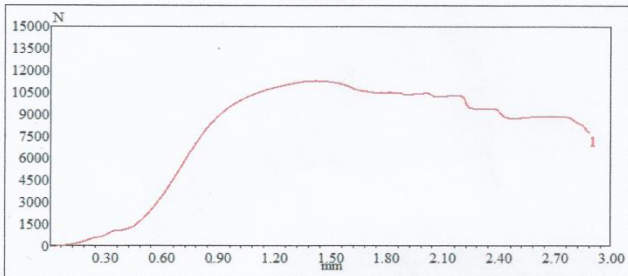
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

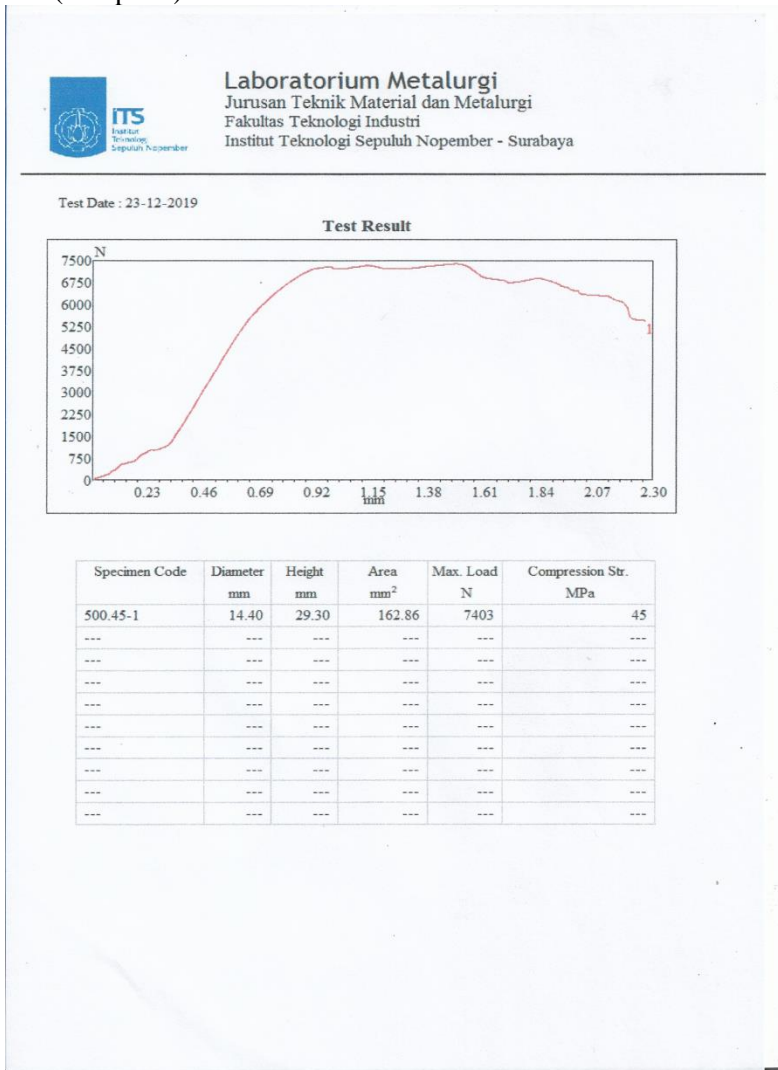
Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
500.30-2	14.40	27.20	162.86	11325	70
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

- Tekanan 500 MPa dengan *dwelling time* = 45 menit (Sample 1)



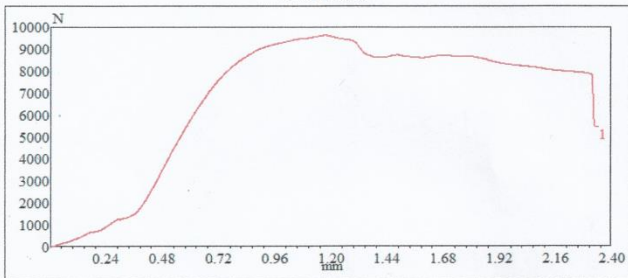
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
500.45-2	14.40	27.20	162.86	9636	59
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



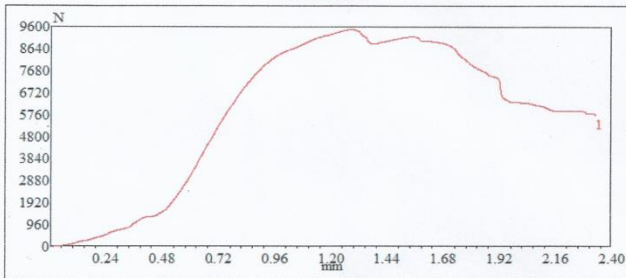
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
600.0-2	14.40	26.00	162.86	9490	58
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

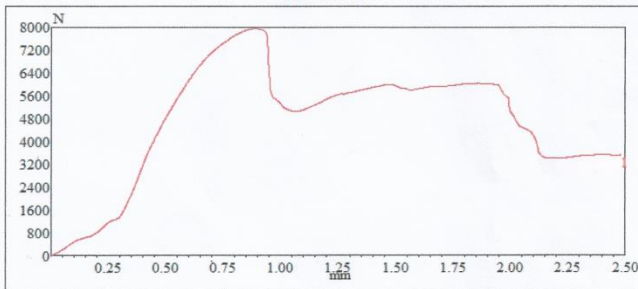
- Tekanan 600 MPa dengan *dwelling time* = 5 menit (Sample 1)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 19-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
600.5-1	14.50	26.40	165.13	7976	48
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

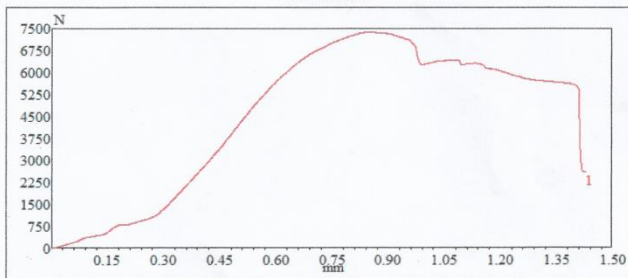
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 19-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
600.5-2	14.50	27.00	165.13	7386	45
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---





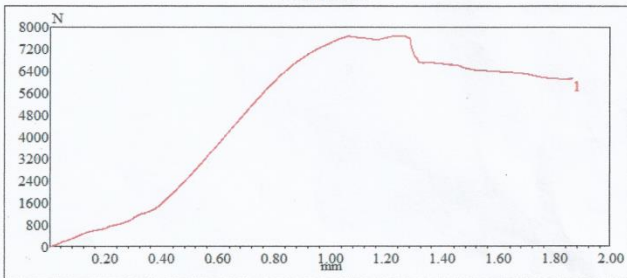
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 19-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
600.15-2	14.50	27.30	165.13	7698	47
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



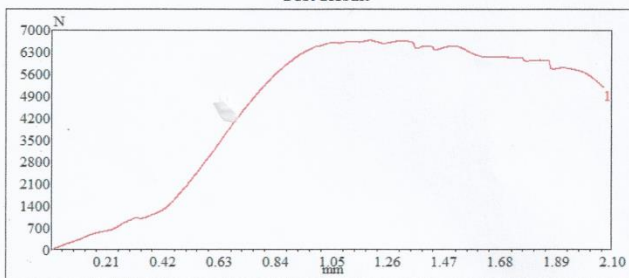
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

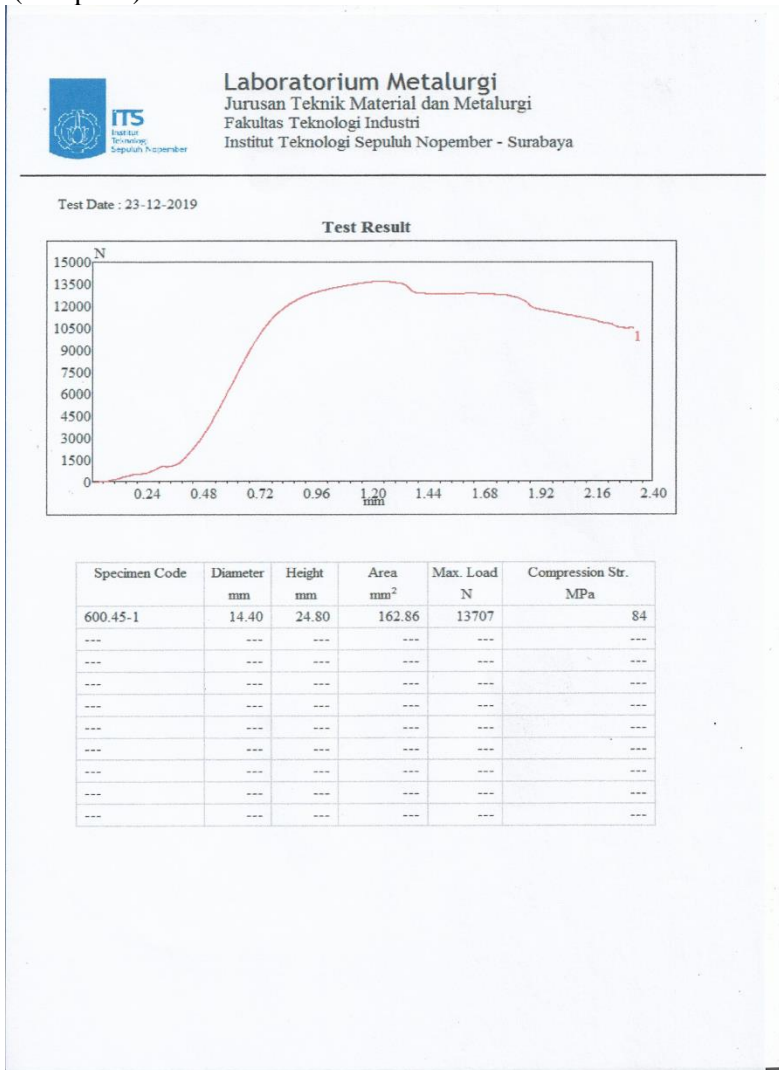
Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
600.30-2	14.40	24.80	162.86	6693	41
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

- Tekanan 600 MPa dengan *dweling time* = 45 menit (Sample 1)



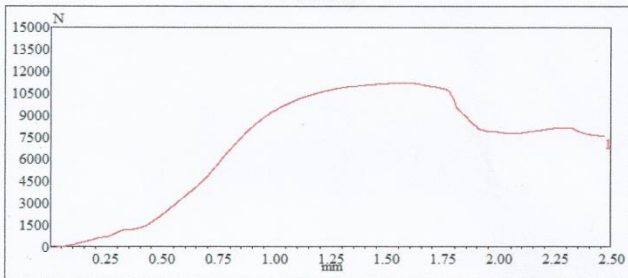
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

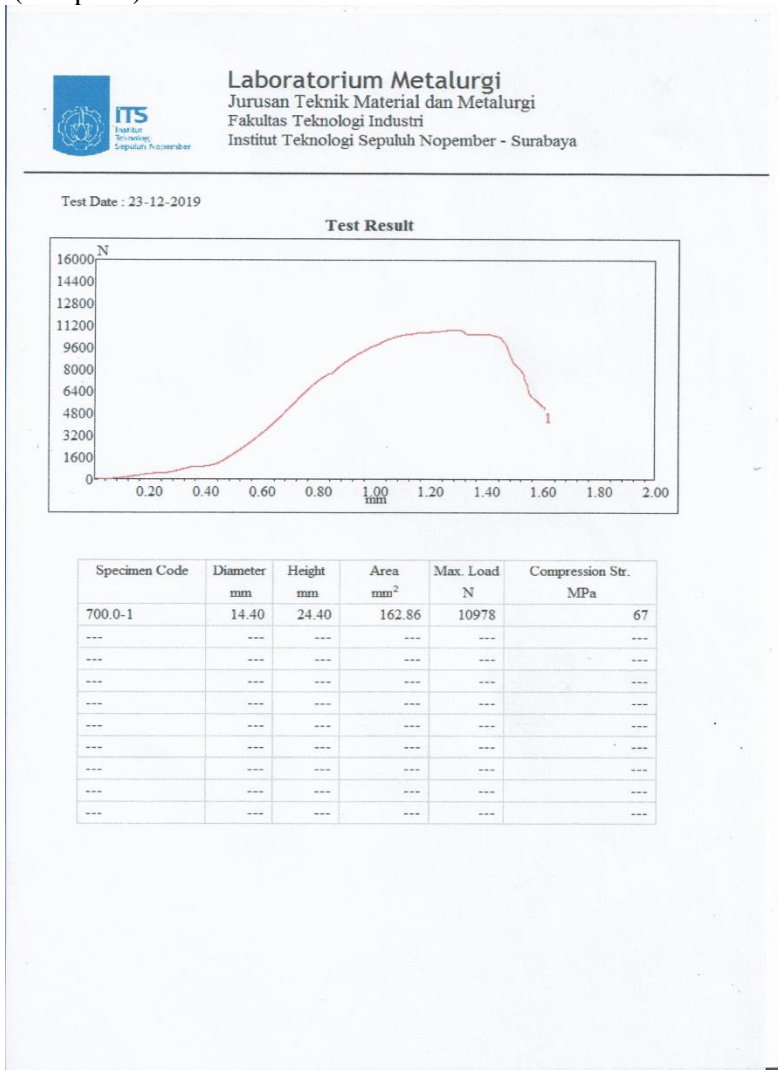
Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
600.45-2	14.40	26.60	162.86	11249	69
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

- Tekanan 700 MPa dengan *dweling time* = 0 menit (Sample 1)



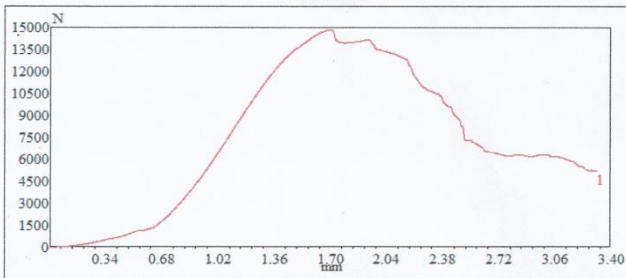
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
700.0-2	14.40	26.40	162.86	14840	91
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---





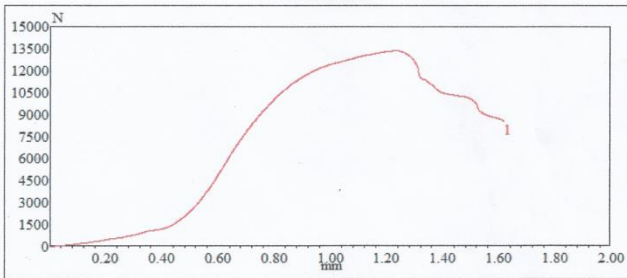
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

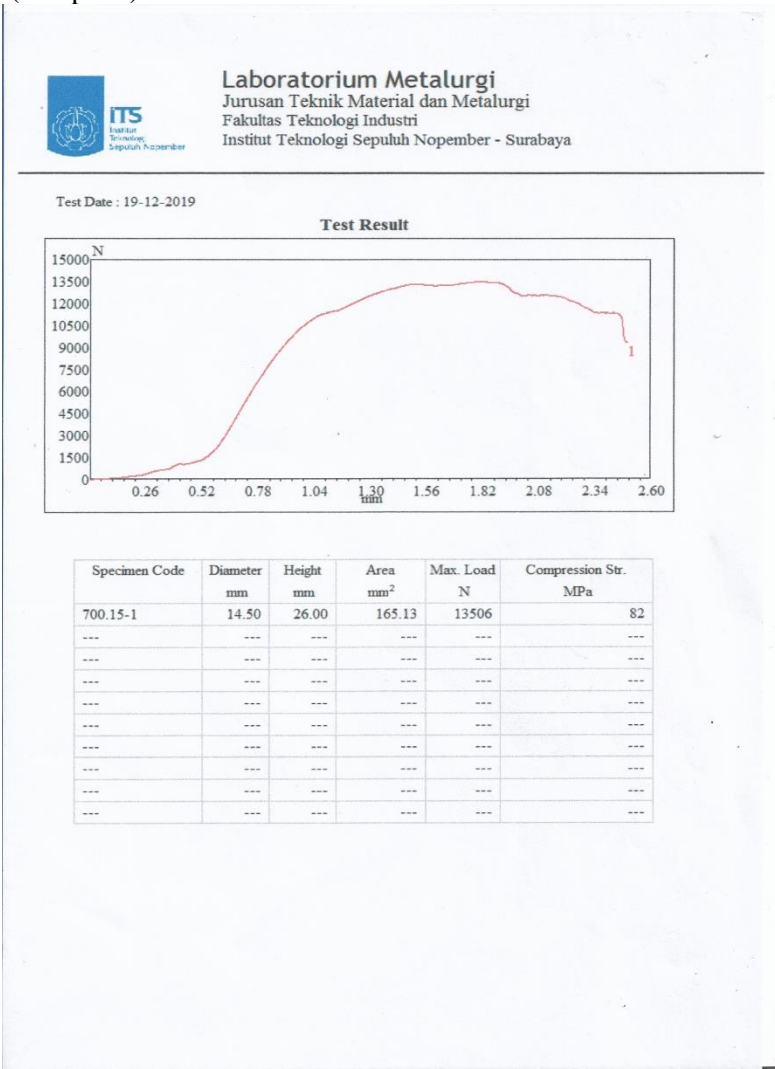
Test Date : 19-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
700.5-2	14.50	24.40	165.13	13377	81
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

- Tekanan 700 MPa dengan *dwelling time* = 15 menit (Sample 1)



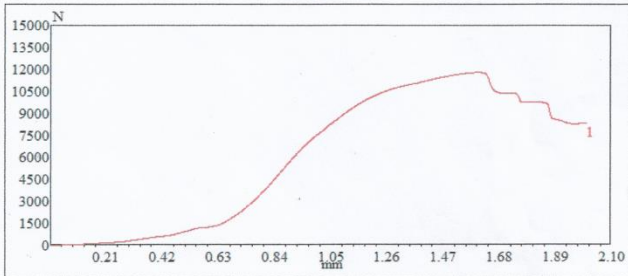
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 19-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
700.15-2	14.50	25.00	165.13	11810	72
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



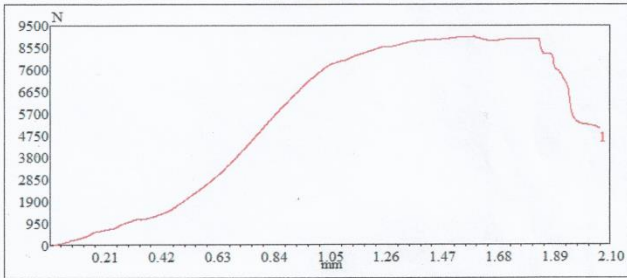
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 19-12-2019

Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
700.30-2	14.50	26.70	165.13	9034	55
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



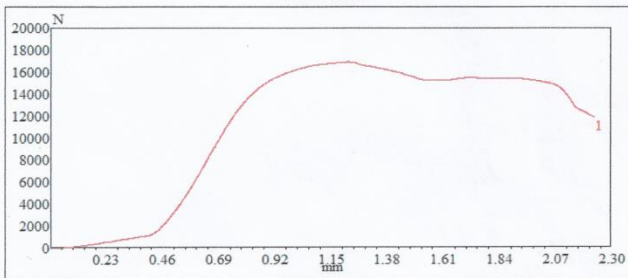
(Sample 2)



Laboratorium Metalurgi  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 19-12-2019

~ Test Result



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm <sup>2</sup>	Max. Load N	Compression Str. MPa
700.45-2	14.50	23.00	165.13	16940	103
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



## Lampiran 5

### Pengujian Kekerasan

Tabel 5 Hasil Pengujian Kekerasan skala Rockwell F

P (Mpa)	Dwell time (menit)	Kekerasan Sample (HRF)			Kekerasan Sample Rata Rata (HRF)	Kekerasan berdasarkan Tekanan (HRF)
		1	2	3		
500	0	50	51	50	50	63
	5	85	87	94	89	
	15	87	89	88	88	
	30	64	46	43	51	
	45	38	39	35	37	
600	0	59	56	58	58	69
	5	95	96	99	97	
	15	80	80	76	79	
	30	46	44	50	47	
	45	58	68	70	65	
700	0	97	93	99	96	81
	5	96	95	99	97	
	15	84	87	84	85	
	30	77	75	78	77	
	45	54	53	51	53	

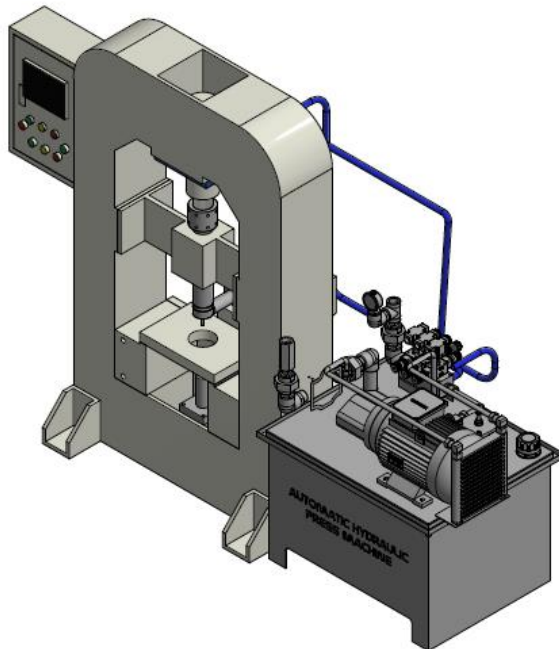
**Lampiran 6**  
Tabel Hasil Uji Kinerja Pressure Transmitter dan Pressure Gauge

No	Pembacaan Alat Pressure Transmitter pada HMI (bar)	Pembacaan Standar pada Pressure Gauge (psi)	Pembacaan Standar pada Pressure Gauge (bar)	Koreksi (Yi)	Yi	Yi <sup>2</sup>	Standar Deviasi	Xi.Yi	Xi <sup>2</sup>	Yi-a-bxi	(Yi-a-bxi) <sup>2</sup>	
1	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,215	0,000	0,000	-0,027	0,001	
2	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	-0,027	0,001
3	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	-0,027	0,001
4	25	365	25,166	0,166	0,166	0,028		4,175	633,323	633,323	0,124	0,015
5	25	365	25,166	0,166	0,166	0,028		4,175	633,323	633,323	0,124	0,015
6	25	365	25,166	0,166	0,166	0,028		4,175	633,323	633,323	0,124	0,015
7	50	730	50,332	0,332	0,332	0,110		16,695	2533,280	2533,280	0,276	0,076
8	50	730	50,332	0,332	0,332	0,110		16,695	2533,280	2533,280	0,276	0,076
9	50	730	50,332	0,332	0,332	0,110		16,695	2533,280	2533,280	0,276	0,076
10	75	1085	74,808	-0,192	-0,192	0,037		-14,354	596,255	596,255	-0,262	0,069
11	75	1085	74,808	-0,192	-0,192	0,037		-14,354	596,255	596,255	-0,262	0,069
12	75	1085	74,808	-0,192	-0,192	0,037		-14,354	596,255	596,255	-0,262	0,069
13	100	1450	99,974	-0,026	-0,026	0,001		-2,601	9994,797	9994,797	-0,111	0,012
14	100	1450	99,974	-0,026	-0,026	0,001		-2,601	9994,797	9994,797	-0,111	0,012
15	100	1450	99,974	-0,026	-0,026	0,001		-2,601	9994,797	9994,797	-0,111	0,012

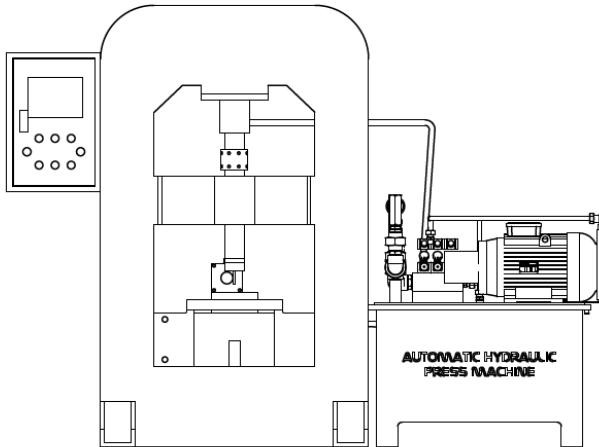
## Lampiran 7

### Desain Mesin Kompaksi

#### 1) Desain Rangka Mesin Kompaksi Hidrolik

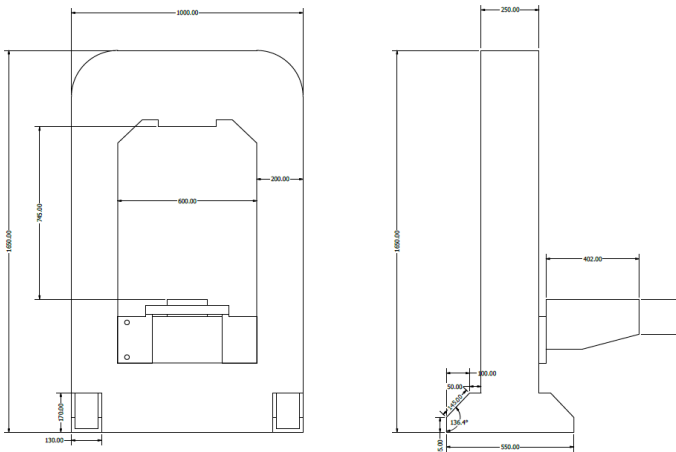


**Gambar.** Desain Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis secara keseluruhan



**Gambar** Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis secara Keseluruhan

a. Dimensi dari Rangka Mesin Kompaksi



**Gambar** Dimensi Rangka Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis

## 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. Kedua adik saya yaitu M.Iqbal Ramadhani dan Salsabila Nadhifa yang selalu merindukan saya pulang serta selalu bisa menjadi penyemangat ketika sudah jenuh.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membantu Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. 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*
5. Adhy Prihatmiko W *partner* penulis yang senantiasa selalu membantu, bekerja sama, kesana kemari mencurahkan semua pikiran dan tenaga dalam pembuatan mesin kompaksi ini
6. Teman teman workshop Tridiku (Alif, Tadeus, Kevin) yang telah membantu penulis saat mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Lab.fisika material (Ninik, Nadya, Fakhri, Iyando,Siti, Rosa, Cici, dan Ria) yang sudah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Nail Akbar Nuhung yang senantiasa memotivasi dan menemani penulis di semua fase kehidupan perkuliahan penulis serta telah mewarnai proses dalam pembuatan tugas akhir ini.

- 
9. Elvira Sulcha N. Teman dan sahabat penulis yang telah mewarnai kehidupan kampus penulis mulai dari awal menjadi maba hingga pada tingkat akhir ini.
  10. Teman teman fungsio (Rachnanta, Hardina, Ghilman dan Naufal Firdaus) dan staff DAGRI HMMT 18/19 (Yusuf, Aurel, Marcel, Salsa, Budhi, dan Nicky) yang selalu menyemangati penulis saat menghadapi Tugas Akhir ini.
  11. Bapak dan Ibu Pengurus asrama paguma (Pak Koes, Bu Koes dan Bu Wiena) yang selalu memberikan motivasi, nasehat serta pengalaman hidup kepada penulis
  12. Teman teman asrama paguma, khususnya Salasatri Rafaa yang selalu memberikan semangat motivasi, dan bantuannya ketika penulis sedang mengerjakan Tugas Akhir ini
  13. Keluarga MT18 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
  14. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

---

---

## BIODATA PENULIS



Salma Nurhidayah, lahir di Madiun pada tanggal 28 Maret 1999. Penulis ini merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Karyono Adi Sucipto dan Sumartini. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di MI Al Islam Jetis, SMP Negeri 1 Geger, dan SMA Negeri 1 Geger. Setelah lulus SMA pada tahun 2016 penulis diterima di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di dalam kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Biro Event Departemen Dalam Negeri HMMT FTI ITS tahun kepengurusan 2018/2019, dan menjabat sebagai Wakil Badan Khusus Kemuslimahan LDJ Ash Haabul Kahfi tahun kepengurusan 2018/2019, selain itu pada tahun kedua penulis pernah menjadi staff Departemen Dalam Negeri HMMT FTI ITS tahun kepengurusan 2017/2018 dan staff Badan Khusus Kemuslimahan LDJ Ash Haabul Kahfi tahun kepengurusan 2017/2018. Dalam bidang akademik penulis juga pernah menjadi Asisten Laboratorium Fisika Material.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia pada periode bulan Juni-Agustus 2019. Selama kerja praktek penulis menangani masalah *crack* pada sample Quantovac dari produk *block cylinder* di bagian *line melting* Divisi Casting Engineering PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia Sunter II.

Tugas Akhir yang diambil penulis dalam topik Material Inovatif yang berjudul “Analisis Kinerja Dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis Tipe H Untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet”.

Email : salmanurhidayah80@gmail.com