



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN KECEPATAN
SCREW PROSES EKSTRUSI TERHADAP SIFAT REOLOGI
DAN SIFAT MEKANIK *FEEDSTOCK* PROYEKTIL
*FRANGIBLE***

**MOCHAMAD ICHWAN AL SHAFI
NRP. 02511840000140**

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
NIP. 198012072005011004
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN KECEPATAN
SCREW PROSES EKSTRUSI TERHADAP SIFAT REOLOGI
DAN SIFAT MEKANIK *FEEDSTOCK* PROYEKTIL
*FRANGIBLE***

**MOCHAMAD ICHWAN AL SHAFI
NRP. 0251184000140**

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
NIP. 198012072005011004
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF EXTRUSION PROCESS
TEMPERATURE AND KECEPATAN SCREW ON
RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MECHANICAL
PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK**

**MOCHAMAD ICHWAN AL SHAFI
NRP. 0251184000140**

Advisor

Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.

NIP. 198012072005011004

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

NIP. 197906202006042001

Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(This page is intentionally left blank)

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN KECEPATAN SCREW PROSES
EKSTRUSI TERHADAP SIFAT REOLOGI DAN SIFAT MEKANIK FEEDSTOCK
PROYEKTIL FRANGIBLE**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MOCHAMAD ICHWAN AL SHAFIA**
NRP. 02511840000140

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
2. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
3. Lukman Noerochiem, S.T.M.Sc.Eng.PhD
4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.Eng., PhD

Pembimbing

Ko-Pembimbing

Penguji

Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

**ANALYSIS THE EFFECT OF EXTRUSION PROCESS TEMPERATURE AND
SCREW SPEED ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MECHANICAL
PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK**

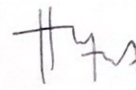
FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **MOCHAMAD ICHWAN AL SHAFIA**
NRP. 02511840000140

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
2. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
3. Lukman Noerochiem, S.T.M.Sc.Eng.PhD
4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.Eng., PhD



Advisor



Co-Advisor



Examiner



Examiner

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Mochamad Ichwan Al Shafa / 02511840000140
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
/198012072005011004

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN KECEPATAN *SCREW* DALAM PROSES EKSTRUSI TERHADAP SIFAT REOLOGI DAN SIFAT MEKANIK *FEEDSTOCK* PROYEKTIL *FRANGIBLE*" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Tanggal 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Mahasiswa



(Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.)
NIP. 198012072005011004



(Mochamad Ichwan Al Shafa)
NRP. 02511840000140

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

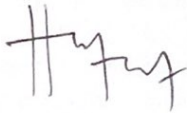
The undersigned below:

Name of student/NRP : Mochamad Ichwan Al Shafa / 02511840000140
Departement : Material and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
/198012072005011004

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS THE EFFECT OF EXTRUSION PROCESS TEMPERATURE AND SCREW SPEED ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Acknowledged
Advisor



(Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.)
NIP. 198012072005011004

Surabaya, Tanggal 2022

Student



(Mochamad Ichwan Al Shafa)
NRP. 02511840000140

(This page is intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN KECEPATAN SCREW PROSES
EKSTRUSI TERHADAP SIFAT REOLOGI DAN SIFAT MEKANIK *FEEDSTOCK*
PROYEKTIL *FRANGIBLE***

Nama : Mochamad Ichwan Al Shafa
NRP : 02511840000140
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si.

Abstrak

Proses manufaktur proyektil frangible salah satunya dapat dilakukan dengan metode ekstrusi untuk membuat feedstock dan dilanjutkan dengan injection molding. Agar dapat digunakan sebagai proyektil frangible, feedstock perlu memiliki kekuatan tekan dan kekerasan yang sesuai. Selain itu, feedstock perlu memiliki nilai viskositas yang sesuai dengan yang dibutuhkan untuk proses injection molding. Pembuatan feedstock dilakukan dengan metode ekstrusi yang dimana pada proses tersebut terdapat beberapa parameter seperti kecepatan screw dan temperatur yang dapat mempengaruhi sifat feedstock hasil dari ekstrusi. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisa pengaruh temperatur dan kecepatan screw ekstrusi terhadap sifat mekanik dan reologi feedstock. Feedstock dibuat menggunakan metode ekstrusi dengan variasi parameter temperatur 210-240, 220-250, 230-260 °C dan kecepatan screw 1,7; 1,9; dan 2,1 rpm. Feedstock hasil ekstrusi kemudian dilakukan pengujian tekan dan kekerasan untuk mengetahui sifat mekaniknya. Selain itu, juga dilakukan karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui morfologinya. Lalu, akan dilakukan perhitungan viskositas untuk mengetahui pengaruh dari parameter yang digunakan. Dari hasil pengujian sifat mekanik yang dilakukan, diperoleh nilai kekuatan tekan dan kekerasan tertinggi oleh feedstock dengan variasi kecepatan screw 1,7 rpm dan temperatur 220-250 °C sebesar 137,5 MPa dan 80,43 HV. Tingginya nilai kekuatan tekan dan kekerasan yang didapat diperkirakan karena terbentuknya ikatan interlocking yang baik. Selain itu dapat dilihat juga perbedaan morfologi setiap variasi feedstock dari hasil pengujian Scanning Electrone Microscopy (SEM). Dapat diketahui juga, sifat mekanik feedstock bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan screw yang digunakan. Adapun perhitungan viskositas yang dihitung, terlihat bahwa viskositas semakin rendah seiring dengan tingginya temperatur yang digunakan pada proses.

Kata Kunci : Komposit, Feedstock Cu/PA6, Sifat Mekanik, Viskositas

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF EXTRUSION PROCESS TEMPERATURE AND SCREW SPEED ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK

Student Name : Mochamad Ichwan Al Shafa
NRP : 02511840000140
Departement : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc.
Co-Supervisor : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si.

Abstract

One of the frangible projectile manufacturing processes can be done by extrusion method to make feedstock and followed by injection molding. In order to be used as a frangible projectile, the feedstock needs to have the appropriate compressive strength and hardness. In addition, the feedstock needs to have a viscosity value that matches that required for the injection molding process. The manufacture of feedstock is carried out by the extrusion method where in the process there are several parameters such as screw speed and temperature that can affect the nature of the feedstock resulting from extrusion. The purpose of this study was to analyze the effect of temperature and speed of the extrusion screw on the mechanical and rheological properties of the feedstock. Feedstock is made using the extrusion method with variations in temperature parameters 210-240, 220-250, 230-260 and screw speed 1.7; 1.9; and 2.1 rpm. The extruded feedstock is then subjected to compression and hardness tests to determine its mechanical properties. In addition, characterization was also carried out using Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine the morphology. Then, a viscosity calculation will be carried out to determine the effect of the parameters used. From the results of the mechanical properties testing, the highest compressive strength and hardness values were obtained by the feedstock with variations in screw speed of 1.7 rpm and a temperature of 220-250 of 137.5 MPa and 80.43 HV. The high value of compressive strength and hardness obtained is thought to be due to the formation of a good interlocking bond. In addition, it can also be seen the morphological differences of each feedstock variation from the Scanning Electrone Microscopy (SEM) test results. It can also be seen that the mechanical properties of the feedstock increase with the increase in the screw speed used. As for the calculated viscosity calculation, it can be seen that the viscosity is getting lower along with the high temperature used in the process.

Keyword: Composite, Feedstock Cu/PA6, Mechanical Properties, Viscosity

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir mengenai “**Analisis Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Screw Proses Ekstrusi Terhadap Sifat Reologi dan Sifat Mekanik Feedstock Projektil Frangible**”. Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir tersebut yaitu untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS, ITS.
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan banyak saran terkait perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 12 Juli 2022
Penulis

Mochamad Ichwan Al Shafa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
APPROVAL SHEET	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS	ix
STATEMENT OF ORIGINALITY	xi
Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Projektil Frangible.....	3
2.2 Material Komposit.....	4
2.3 Feedstock.....	7
2.4 Bahan Material Peluru Frangible.....	8
2.4.1 Tembaga (Cu)	8
2.4.2 Poliamida 6	8
2.5 Ekstrusi.....	10
2.6 Sifat Reologi.....	14
2.7 Penelitian Sebelumnya.....	17
BAB III	23
METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir.....	23
3.2 Tahapan Penelitian.....	24
3.3 Alat Penelitian.....	29
3.4 Bahan Penelitian.....	30
3.5 Jadwal Penelitian.....	32
3.6 Rancangan Penelitian.....	32
BAB IV	33
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Karakterisasi Bahan.....	33
4.2 Proses Pembuatan Feedstock Cu/PA6.....	33
4.3 Analisa Pengaruh Kecepatan Screw dan Temperatur terhadap Sifat Mekanik Feedstock Cu/PA6.....	35
4.4 Analisa Pengaruh Kecepatan Screw dan Temperatur terhadap Sifat Reologi Feedstock Cu/PA6.....	43

BAB V	49
KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	54
UCAPAN TERIMA KASIH.....	83
BIODATA PENULIS	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian bagian peluru	3
Gambar 2.2 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat	5
Gambar 2.3 Ikatan mekanik	6
Gambar 2.4 Feedstock	7
Gambar 2.5 Struktur Kimia Poliamida 6	9
Gambar 2.6 Single Screw Extruder(Goff et al., 2000).....	10
Gambar 2.7 Twin Screw Extruders(Goff et al., 2000).....	11
Gambar 2.8 Komponen Mesin Extruder(Giles et al., 2005)	11
Gambar 2.9 Extruder Screw(Giles et al., 2005).....	12
Gambar 2.10 Grafik pengaruh beberapa variabel terhadap viskositas.....	15
Gambar 2.11 Grafik pengaruh temperatur pada beberapa jenis polimer	16
Gambar 2.12 Hasil SEM Filamen (a) A, (b) B, dan (c) C (Santos et al., 2021)	19
Gambar 2.13 Hasil tensile test (Santos et al., 2021)	19
Gambar 2.14 Hasil flexural test (Santos et al., 2021)	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Komponen ekstrusi (a) Thermocouple (b) Panel pengatur kecepatan screw	27
Gambar 3.3 Molding spesimen uji.....	27
Gambar 3.4 Spesimen Uji Tekan dan Kekerasan	27
Gambar 3.5 Mesin uji SEM	27
Gambar 3.6 <i>Vickers hardness testing machine</i>	27
Gambar 3.7 <i>Material testing machine</i>	27
Gambar 3.8 Grafik nilai viskositas	27
Gambar 3.4 <i>Material testing machine</i>	28
Gambar 3.5 Serbuk tembaga.....	31
Gambar 3.6 Serbuk poliamida 6	31
Gambar 4.1 Morfologi serbuk tembaga dengan perbesaran (a) 2.500x dan (b) 5.000x	33
Gambar 4.2 Distribusi Ukuran Serbuk Cu.....	34
Gambar 4.3 Hasil Grafik FTIR Poliamida 6	41
Gambar 4.4 Poliamida 6 (a) sebelum dilakukan grinding (b) Setelah dilakukan grinding.....	33
Gambar 4.5 Hasil Ekstrusi (a) Filamen (b) Feedstock.....	34
Gambar 4.6 Grafik Hasil Uji Tekan.....	35
Gambar 4.7 Grafik Hasil Uji Kekerasan.....	37

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Proyektil <i>Frangible</i>	4
Tabel 2.2 Sifat Material Tembaga	8
Tabel 2.3 Sifat Material Poliamida 6	9
Tabel 2.4 Variasi rentang temperatur berdasarkan resin	13
Tabel 2.5 Variasi temperatur disetiap zona barrel	14
Tabel 2.6 Penelitian sebelumnya mengenai parameter ekstrusi	21
Tabel 2.7 Penelitian sebelumnya mengenai komposisi proyektil <i>frangible</i> dan sifat mekanik.....	22
Tabel 3.1 Variabel Bebas Penelitian.....	24
Tabel 3.2 Variabel Konstan	25
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian	32
Tabel 3.4 Rancangan Penelitian.....	32
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil <i>feedstock</i> Cu/PA6	32
Tabel 4.2 Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan kecepatan screw 1,7 rpm	39
Tabel 4.3 Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan kecepatan screw 1,9 rpm.....	40
Tabel 4.4 Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan kecepatan screw 2,1 rpm	41
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Viskositas pada Temperatur Berbeda	43
Tabel 4.6 Tabulasi <i>Feedstock</i> Cu/PA6	43

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyektil *frangible* merupakan salah satu jenis proyektil yang di design supaya proyektil tersebut dapat hancur ketika menghantam target yang keras. (Mates et al., 2006) Pada awalnya, pengembangan proyektil peluru ini berlandaskan akan penggunaan peluru biasa yang dinilai dapat menembus perisai sehingga berbahaya untuk digunakan di lokasi tertentu seperti lapangan tembak (*Firing range*). Selain dapat menembus perisai, peluru biasa juga memiliki resiko memantul kembali (*ricochet*) dan mengakibatkan peluru nyasar pada lokasi sehingga dinilai cukup berbahaya (Komenda et al., 2013). Maka dari itu, pengembangan terhadap proyektil mulai dilakukan supaya proyektil dapat bersifat *frangible* dengan harapan dapat meningkatkan keamanan dan mengurangi risiko terhadap lingkungan sekitar akibat *ricochet*.

Salah satu proses manufaktur peluru *frangible* yaitu *injection molding*. Dalam *injection molding*, bahan yang digunakan berupa *feedstock*. *Feedstock* tersebut dapat diproduksi menggunakan proses ekstrusi. Berdasarkan Giles, dalam proses ekstrusi terdapat beberapa faktor penting yang dapat mempengaruhi proses tersebut diantaranya yaitu *barrel temperature* dan *kecepatan screw*. (Giles et al., 2005) Berdasarkan Ikam, masing masing material memiliki rentang temperaturnya masing masing dalam proses ekstrusi. Temperatur sendiri merupakan salah satu faktor krusial dalam proses ini karena dapat mempengaruhi hasil akhir dari material yang diproses seperti sifat mekanik material tersebut. Selain mempengaruhi sifat mekanik, penentuan temperatur yang tidak tepat dalam proses ekstrusi dapat memicu terjadinya cacat (*defect*) pada produk yang dihasilkan (Ikam, 2016).

Menurut Ding et al., temperatur barrel dan *kecepatan screw* dapat mempengaruhi stabilitas cairan polimer dalam barrel serta kualitas akhir produk. Temperatur pada barrel dibagi menjadi 3 bagian dengan temperatur yang berbeda. Jika temperatur pada bagian tersebut terlalu rendah, akan mempengaruhi kapasitas mengalir menjadi terlalu lemah. Sebaliknya, jika temperatur terlalu tinggi dapat menyebabkan *local burning* yang memicu degradasi material. Sedangkan, kecepatan *screw* pada proses ekstrusi juga merupakan parameter yang dapat mempengaruhi hasil ekstrusi. Jika terlalu lambat, dapat menyebabkan material terlalu lama berada di dalam barrel sehingga material menerima panas terlalu lama dan menyebabkan degradasi material. Sebaliknya, jika terlalu cepat maka dapat mengurangi stabilitas dan kualitas produk ekstrusi (Ding et al., 2022).

Pada penelitian mengenai proyektil *frangible* sebelumnya yang dilakukan oleh Hansen pada tahun 2006 menggunakan metode ekstrusi untuk pembuatan *feedstock* berupa pellet lalu *injection molding*. Adapun komposisi yang digunakan yaitu serbuk logam sebanyak 60-90wt%, resin termoplastik sebanyak 8-40wt% dan *lubricants* sebanyak 2-5wt%. Didapatkan densitas proyektil *frangible* sekitar 1,7-8,25 g/cm³. Dalam penelitian tersebut, belum terdapat informasi mengenai temperatur dan kecepatan *screw* yang digunakan saat ekstrusi. Padahal parameter tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanik dan sifat reologi *pellet feedstock* yang kemudian akan diproses menggunakan metode *injection molding* (Hansen, 2008).

Maka, untuk mengetahui pengaruh temperatur dan *kecepatan screw* yang digunakan pada proses ekstrusi, dilakukan penelitian yang akan menganalisa pengaruh temperatur dan kecepatan *screw* proses ekstrusi terhadap sifat reologi dan sifat mekanik *feedstock* proyektil *frangible*. Respon yang diamati dalam penelitian ini antara lain adalah sifat reologi dan sifat mekanik yang dihasilkan dari pemilihan temperatur dan kecepatan *screw* ekstruder dalam proses ekstrusi.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperatur dan kecepatan screw terhadap sifat mekanik dalam proses ekstrusi.
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan kecepatan screw terhadap sifat reologi dalam proses ekstrusi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis pengaruh temperatur terhadap sifat reologi dan sifat mekanik dalam proses ekstrusi.
- b. Menganalisis pengaruh kecepatan screw terhadap sifat reologi dan sifat mekanik dalam proses ekstrusi.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Impuritas material dianggap tidak ada.
2. *Setting* parameter pada proses ekstrusi selain temperatur barrel dan kecepatan *screw* dianggap konstan
3. Temperatur aktual dianggap sama dengan temperatur pada setting parameter.
4. Kondisi lingkungan dianggap tidak berpengaruh

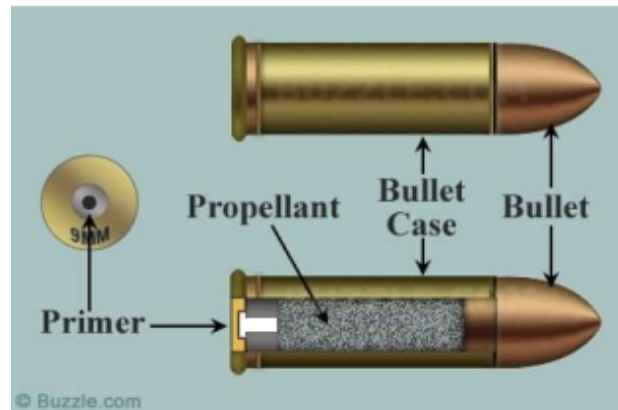
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mampu menganalisis pengaruh temperatur dan kecepatan *screw* proses ekstrusi terhadap sifat reologi dan sifat mekanik *feedstock* proyektil *frangible*. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyektil Frangible

Peluru memiliki beberapa bagian yaitu proyektil, kelongsong, mesiu, dan pemantik. Bagian bagian pada peluru dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Proyektil dalam peluru merupakan bagian yang meluncur di udara dan tidak bergerak dengan dorongan sendiri. Berat dari sebuah proyektil dapat mempengaruhi kecepatan peluru dalam menuju target. (Kelter, 2011)



Gambar 2.1 Bagian bagian peluru

Pada umumnya, sebuah peluru konvensional menggunakan material timbal sebagai inti proyektilnya. Namun, penggunaan proyektil timbal berisiko bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Azmi, 2016). Selain itu, peluru konvensional juga memiliki resiko ricochet sehingga dapat membahayakan penembak ataupun orang disekitarnya (Nadkarni et al, 2003). Untuk mengurangi hal tersebut, dilakukan riset dan pengembangan untuk peluru *frangible* bebas timbal.

Proyektil *frangible* dirancang supaya hancur menjadi serpihan saat mengenai target yang keras sehingga meminimalkan kemungkinan terjadinya *ricochet*. Sifat balistik dari proyektil *frangible* bergantung pada proses pembuatannya. Proyektil *frangible* umumnya terbuat dari bahan komposit berbasis serbuk metal seperti tembaga (Cu), besi (Fe), Zinc (Zn), Tungsten (W), dan lain lain (Komenda et al., 2013).

Proyektil *frangible* akan pecah setelah menumbuk target yang keras dan kaku. Ukuran pecahan atau fragmen proyektil tersebut bergantung dengan kekakuan dari target. Kecepatan dan sudut benturan dengan target dapat mempengaruhi pola fragmentasi dari peluru *frangible*.

Salah satu sifat yang perlu dimiliki oleh proyektil *frangible* yaitu memiliki densitas yang cukup tinggi (Minh Do et al., 2019). Berdasarkan penelitian Belanger (1993), proyektil *frangible* dengan densitas yang cukup tinggi dapat menahan tekanan pada saat penembakan dan memiliki transfer energi yang cukup sehingga mekanisme penembakan berfungsi dengan baik. Menurut Belanger, nilai minimum densitas untuk sebuah proyektil *frangible* adalah $5,7 \text{ g/cm}^3$. (B. et Al., 1993) Sedangkan, menurut Hansen umumnya proyektil *frangible* memiliki densitas dengan kisaran $1,75 \text{ g/cm}^3 - 8,25 \text{ g/cm}^3$.

Sifat mekanik proyektil *frangible* merupakan parameter apakah peluru tersebut dapat dikatakan peluru *frangible* atau tidak. Dalam menentukan sifat mekanik untuk peluru *frangible* terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi antara lain kekerasan dan kekuatan tekan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, selain nilai densitas proyektil

frangible juga harus memiliki kekuatan tekan kisaran 31 - 310 MPa dan kekerasan permukaan dengan kisaran 54 - 119 HV.

Tabel 2.1 Karakteristik Proyektil *Frangible*

Sifat	Nilai	Sumber
Densitas	1,75 - 8,25 g/cm ³	Hansen, 2008(Hansen, 2008)
Kekerasan	54 - 119 HV	Kruachatturat, 2009(Kruachaturrat, S., Thanomsilp, C. & Wattanasiriwech, 2009)
Kekuatan Tekan	31 - 310 MPa	Kruachatturat, 2009(Kruachaturrat, S., Thanomsilp, C. & Wattanasiriwech, 2009)

2.2 Material Komposit

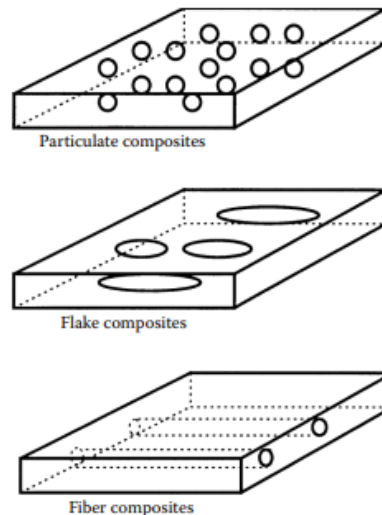
Material komposit merupakan suatu material berupa bahan multifase yang sengaja dibuat dengan cara menyusun dua jenis fase penyusun yang terdiri dari matriks dan penguat. Konsep material komposit sendiri dinilai memberikan peluang yang sangat menarik untuk merancang suatu bahan dengan mengkombinasikan berbagai bahan seperti logam, polimer, dan keramik sehingga dapat menghasilkan kombinasi *properties* dari bahan-bahan tersebut (Callister, 1991). Pemilihan kombinasi material yang tepat, dapat menghasilkan kombinasi sifat yang tepat sesuai dengan kebutuhan sifat dan tujuan tertentu (Falah, 2018).

Material komposit terdiri dari dua komponen yaitu fase kontinu yang disebut matriks dan fase diskontinu yang disebut *reinforcement* atau penguat (Callister, 1991). Material komposit berdasarkan jenis matriksnya material komposit diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu *Polymer Matrix Composites* (PMC), *Metal Matrix Composites* (MMC), dan *Ceramic Matrix Composites* (CMC).

Metal Matrix Composite (MMCs) menggunakan bahan logam sebagai matriksnya dan bahan logam lain, polimer, glass, atau keramik sebagai *reinforcement*. MMCs umumnya digunakan untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Adapun beberapa kelebihan yang dimiliki oleh MMCs yaitu memiliki temperatur operasi yang tinggi, tidak mudah terbakar, dan tingkat resisten yang lebih baik. Namun MMCs memiliki kekurangan yaitu memiliki harga yang sangat mahal. Material logam seperti aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga umum digunakan sebagai bahan matriks.

Polymer Matrix Composite (PMC) menggunakan resin polimer sebagai matriks, dengan serat sebagai media penguat. Penguat yang digunakan dalam PMC bergantung pada aplikasi dan kebutuhan sifat material tersebut (Callister, 1991). PMC memiliki berbagai macam kelebihan seperti biaya yang lebih rendah, memiliki kekuatan yang tinggi, dan fabrikasinya mudah. PMC juga memiliki kekurangan seperti temperatur operasi yang rendah, sifat elastisitas yang rendah pada arah tertentu, dan memiliki koefisien termal yang tinggi (Kaw, 2006).

Ceramic Matrix Composite (CMCs) terbuat dari material keramik sebagai matriksnya dan material keramik lain serta logam, polimer, dan glass sebagai *reinforcement*.



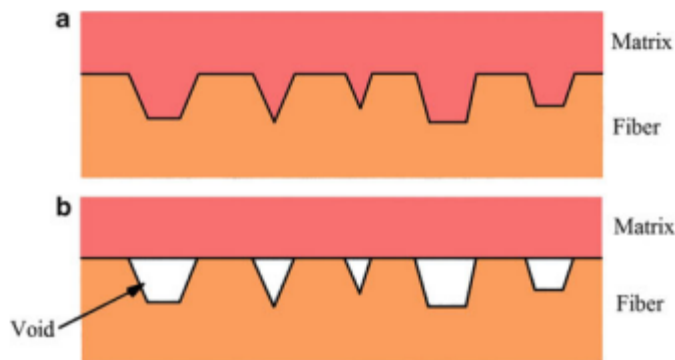
Gambar 2.2 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat

Sedangkan, berdasarkan jenis penguatnya komposit diklasifikasikan menjadi tiga jenis seperti pada Gambar 2.2 yaitu Particulate, Flake, dan Fiber. Dalam jenis reinforced *particulate*, jenisnya dibagi menjadi dua subklasifikasi yaitu *large particle* dan *dispersion strengthened*.

Large particulate composite merupakan salah satu jenis komposit yang menggunakan partikel sebagai penguatnya. Partikel penguat komposit jenis ini memiliki ukuran lebih dari $0,1\mu\text{m}$ (Groover, 2013). Sedangkan, untuk *dispersion strengthened* memiliki ukuran partikel sebesar $0,01$ hingga $0,1\mu\text{m}$. Pada umumnya, partikel penguat memiliki kekerasan dan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan fasa matriksnya sehingga dapat memperkuat material komposit. *Flake composites* merupakan salah satu jenis komposit yang menggunakan penguat berdimensi datar. Komposit jenis ini dapat memiliki kekuatan yang tinggi, namun tidak semua jenis material tersedia dalam bentuk ini. Beberapa contoh material yang umum digunakan dalam komposit jenis ini yaitu, *glass*, *aluminum*, dan *silver*. (Kaw, 2006) *Fiber reinforced composite* menggunakan serat sebagai penguatnya. Terdapat 2 jenis serat yaitu *continuous fiber* dan *discontinuous fiber*. Serat sendiri berbentuk penampang lingkaran yang memiliki diameter sebesar $0,0025-0,1\text{ mm}$. Fasa penguat dalam sebuah komposit dapat berperan untuk menghambat pergerakan fasa matriks. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya ikatan pada *interface* (Kulshreshtha, 2002).

Salah satu faktor yang berpengaruh pada sifat material komposit yaitu ikatan matriks dan penguat pada *interface*. Terdapat beberapa jenis ikatan diantaranya ikatan mekanik, ikatan fisik, dan ikatan kimia. Kekuatan ikatan mekanik sebuah komposit umumnya lebih rendah dibandingkan ikatan kimia. Terjadinya ikatan mekanik pada *interface* terjadi karena adanya *interlocking* antara permukaan matriks dan penguat. Dalam hal ini, matriks perlu penetrasi mengisi celah pada permukaan penguat. Hal tersebut dapat juga bergantung pada *wettability* matriks. *Wettability* adalah kemampuan *liquid* untuk dapat menyebar pada permukaan benda padat. Maka, semakin baik *wettability* matriks, maka ikatan mekanik pada komposit tersebut

akan semakin bagus. Jika tidak, maka dapat menimbulkan *void* seperti pada Gambar 2.3 (Chawla, 2004).



Gambar 2.3 Ikatan mekanik

Selain ikatan mekanik, terdapat dua jenis ikatan lain yang terjadi pada *interface*, yaitu ikatan kimia dan ikatan fisik. Terdapat beberapa ikatan kimia yang terjadi seperti ikatan kovalen, logam, dan ionik. Sedangkan, ikatan fisik yang terjadi yaitu interaksi dipolar, gaya Van der Waals, dan ikatan hidrogen (Chawla, 2004).

Selain ikatan pada *interface*, terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material komposit seperti porositas. Dimana dengan adanya porositas dapat mengurangi kekuatan komposit tersebut. Selain itu, beberapa faktor lainnya seperti ukuran partikel penguat, homogenitas mikrostruktur, dan jumlah fasa matriks dan penguat juga dapat mempengaruhi sifat mekanik dari komposit (German, 2016).

Penghitungan massa matriks dan penguat dalam suatu komposit dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan *Rule of Mixture (ROM)*. Persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.1 (Callister, 1991).

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana :

- ρ_c = Densitas komposit
- ρ_m = Densitas matriks
- ρ_f = Densitas penguat
- V_m = Fraksi volume matriks
- V_f = Fraksi volume penguat

Dengan menggunakan persamaan rumus densitas pada Persamaan 2.2 dan memisalkan variabel, maka akan dapat diperoleh fraksi massa menggunakan rumus persamaan (2.3).

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- ρ = Densitas material
- m = Massa material
- v = Volume material

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- m_m = Massa matriks
- m_f = Massa fiber
- m_c = Massa komposit
- a = Fraksi massa matriks
- b = Fraksi massa penguat

Data seperti massa fraksi matriks ataupun reinforced dapat dicari menggunakan persamaan (2.4) dan (2.5) berikut :

1. Massa Matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot V_f}{a \cdot \rho_m \cdot b \cdot \rho_m} V_c \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Massa reinforce

$$m_f = a \frac{\rho_f \cdot V_f}{a \cdot \rho_f \cdot b \cdot \rho_m} V_c \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- V_c = Volume Komposit

2.3 Feedstock

Feedstock merupakan bahan umpan dalam proses injection molding. Proses metal injection molding dimulai dengan mempersiapkan *feedstock* sebagai bahan umpan yang nantinya akan dimasukkan kedalam injection molding. *Feedstock* merupakan campuran dari serbuk logam dengan binder yang dapat berupa lilin, polimer, *lubricant*, dan *surfactant*. *Feedstock* yang telah dibuat nantinya akan dibentuk granule. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan dari *feedstock* yaitu sifat reologinya. *Feedstock* yang telah diproduksi perlu memiliki viskositas yang konstan agar *feedstock* tersebut dapat mengalir dengan lancar dalam mold cavity tanpa adanya segregasi.

Feedstock campuran serbuk dengan binder nantinya akan berbentuk pellet dengan ukuran sekitar 5-7 mm (Afrilinda, ST., MT. et al., 2017). *Feedstock* pada proses injection molding dapat didefinisikan sebagai campuran serbuk logam dan polimer. Adanya polimer pada *feedstock* berfungsi untuk mengalirkan partikel serbuk logam yang menuju *die cavity* pada *mold*. Selain itu, juga dapat berfungsi untuk mengisi ruang kosong pada serbuk logam tersebut, membantu proses pencampuran, dan melapisi permukaan serbuk (Moon et al.,2021). Pada umumnya, persentase binder pada *feedstock* sekitar 35-50 vol% (Liu et al.,2003).



Gambar 2.4 Feedstock

Kualitas *feedstock* sendiri merupakan salah satu factor yang krusial dalam proses *metal injection molding* (MIM). Adapun beberapa factor yang perlu memenuhi persyaratan seperti homogenitas campuran *feedstock* dan viskositas *feedstock*. Pada proses *metal injection molding* (MIM), karakteristik reologi *feedstock* menentukan pengisian rongga cetak. Kemampuan lelehan *feedstock* untuk mengalir (*pourability*), menyebar (*spreadability*) dengan merata ke seluruh bagian rongga cetakan serta memiliki kemampuan untuk di injeksi. Adapun beberapa persyaratan untuk *feedstock* adalah sebagai berikut (Afrilinda, ST., MT. et al., 2017).

1. Rasio perbandingan serbuk yang dibuat disesuaikan dengan volume/kapasitas *mixer*
2. Memiliki hasil pencampuran yang homogen
3. Memiliki nilai viskositas maksimum sebesar 1000 Pa.s.
4. *Binder* mudah dihilangkan pada proses *debinding* tanpa merusak produk

Feedstock perlu memiliki komposisi yang homogen dan memiliki perilaku *pseudo-plastic*. Perilaku *pseudo-plastic* dapat dilihat melalui nilai viskositas *feedstock* tersebut. Dengan perilaku ini, maka viskositas *feedstock* akan berkurang seiring dengan peningkatan *shear rate*. Turunnya viskositas dapat disebabkan karena adanya deformasi makromolekul pada polimer, sehingga menurunkan resistensi untuk mengalir (Malkin & Isayev, 2017).

2.4 Bahan Material Peluru Frangible

2.4.1 Tembaga (Cu)

Tembaga termasuk jenis material logam. Tembaga merupakan logam lunak yang memiliki simbol Cu dan nomor atom 29. Tembaga memiliki tingkat keuletan dan konduktivitas listri yang tinggi. Pada umumnya, aplikasi penggunaan tembaga sebagai kawat listrik karena memiliki sifat konduktivitas listrik yang tinggi.

Pemilihan penggunaan tembaga sebagai bahan material dari proyektil *frangible* karena tembaga memiliki densitas yang cukup tinggi. Tembaga dengan densitas sebesar 8,93 g/cm³ dapat digunakan untuk penggunaan material pengganti timbal pada proyektil *frangible* (Nadkarni et al, 2003). Selain itu, tembaga juga termasuk material *non-toxic* yang artinya tembaga tidak mengandung racun bagi manusia serta merupakan logam lunak sehingga dapat menjadi pelumas saat digunakan menjadi peluru (Nadkarni et al, 2003).

Tabel 2.2 Sifat Material Tembaga(Dewanto, 2015)

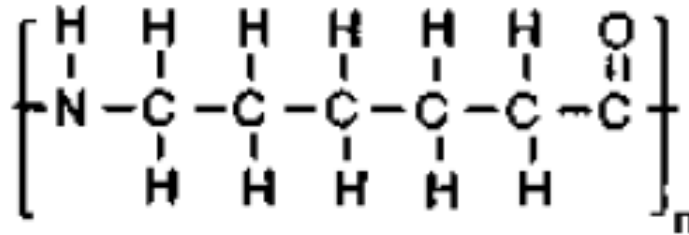
Sifat	Keterangan
Struktur Kristal	FCC
Massa atom (g/mol)	63,546
Densitas (g/cm ³)	8,933
Titik leleh (°C)	1084,62
Modulus Young (GPa)	110 - 128
Kekuatan tarik (MPa)	224
Kekerasan (HV)	117
<i>Yield Strength</i> (MPa)	33,3
Koefisien muai (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	85

2.4.2 Poliamida 6

Poliamida 6 atau PA 6 dapat dikenal juga dengan Nylon 6. PA 6 merupakan salah satu jenis poliamida termoplastik. Saat ini, PA6 merupakan salah satu jenis poliamida yang sangat

umum digunakan. Aplikasi penggunaan PA6 umumnya sebagai roda gigi, serabut sikat gigi, hingga senar alat musik (Dewanto, 2015).

Poliamida 6 sendiri merupakan polimer jenis termoplastik dan memiliki struktur *semi crystalline*. Dengan struktur *semi crystalline*, PA6 memiliki kemampuan untuk tahan terhadap pelarut dan korosi yang baik. Selain itu, PA6 juga mampu mempertahankan kemampuan untuk mempertahankan sifat mekanik pada temperatur lebih dari temperatur transisi gelas (Tg) PA6 sendiri



Gambar 2.5 Struktur Kimia PA6

PA6 memiliki 2 temperatur transformasi yaitu temperatur transisi gelas (Tg) dan temperatur leleh (Tm). Temperatur transisi gelas merupakan temperatur dimana polimer mengalami perubahan *reversible* dari kaku, getas, dan keras menjadi bersifat elastis. Saat temperatur dibawah Tg, atom – atom pada rantai polimer sangat sulit bergerak. Sedangkan, saat temperatur melebihi Tg, maka akan memberikan lebih banyak energi pada atom polimer tersebut, sehingga terjadi getaran pada atom polimer dan jarak antar atom akan semakin renggang. Hal tersebut dapat menghasilkan sifat elastis polimer tersebut.

Poliamida 6 memiliki titik leleh yang lebih rendah dibandingkan PA 66, namun lebih tinggi dibandingkan PA 11 dan PA 12. PA 6 merupakan salah satu jenis poliamida yang tergolong memiliki sifat kekakuan cukup tinggi. Selain itu, PA 6 juga memiliki sifat menyerap air yang cukup tinggi, hal tersebut perlu diperhatikan bagi seseorang yang ingin menggunakan material PA 6 (Goff et al., 2000).

Menurut Belanger, Poliamida 6 memiliki titik lebur, densitas, penyusutan, dan pemekaran akibat kelembaban yang lebih tinggi dibandingkan dengan Nylon 11 dan Nylon 12 (B. et Al., 1993). Menurut Davis, Poliamida 6 memiliki densitas serta *frangibility* yang lebih tinggi.

Tabel 2.3 Sifat Material Poliamida 6 (Goff et al., 2000)

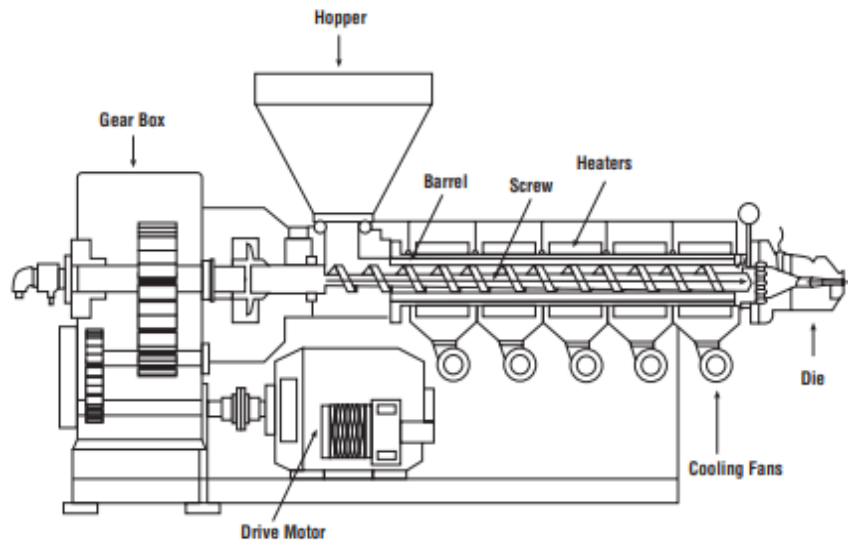
Sifat	Nilai
Kekuatan Tarik (MPa)	74,9 – 94,5
Modulus Young (GPa)	0,8 - 2,9
Temperatur Leleh (°C)	225
Densitas (g/cm ³)	1.13
Konduktivitas Termal	0.25
Temperatur Transisi Gelas (°C)	41

2.5 Ekstrusi

Proses ekstrusi adalah proses pengolahan yang bersifat kontinu melalui proses *mixing*, *shearing*, *kneading*, dan *shaping* dengan cara memproses bahan menggunakan mesin ekstruder. Keuntungan dari proses ekstrusi sendiri pengisian bahan material yang akan diolah dapat dilakukan secara kontinu sehingga dapat mengurangi penyusutan material produk (Faisal & Herianto, 2019).

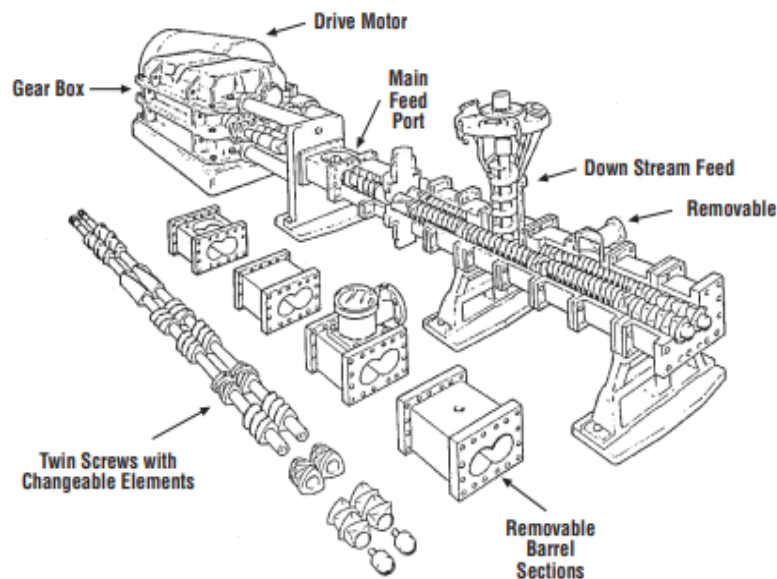
Ekstrusi sendiri merupakan proses termoplastik untuk memproduksi produk dalam jumlah besar. Proses ekstrusi umumnya menghasilkan berbagai jenis dan bentuk produk seperti lembaran, tabung, batang, pelapis kayu, dan pelapis kabel. Modifikasi die ekstruder memungkinkan proses tersebut memproduksi produk dengan bentuk yang berbeda beda (Rosato, 2004).

Terdapat dua jenis mesin ekstrusi berdasarkan jumlah screwnya yaitu *single screw extruders* dan *twin screw extruders*. *Single screw extruders* lebih umum digunakan karena memiliki keuntungan lebih simple dalam mengoperasikannya, biaya operasionalnya lebih murah, dan lebih mudah untuk digunakan secara kontinu.



Gambar 2.6 *Single Screw Extruder*(Goff et al., 2000)

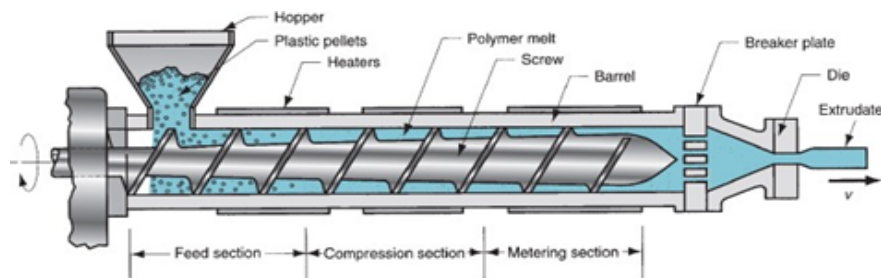
Jenis mesin kedua yaitu *twin screw extruders*. Jenis mesin ini umumnya digunakan untuk proses yang membutuhkan penggabungan dalam langkah ekstrusinya. Contoh bahan material yang menggunakan ekstruder jenis ini yaitu *un-plasticized polyvinyl chloride (UPVC)*. Dalam mesin ekstruder jenis ini, terdapat dua screw yang dapat berputar searah ataupun berlawanan arah. Operasi dari screw tersebut memungkinkan untuk saling berhubungan ataupun tidak berhubungan. Namun, mesin ekstruder jenis ini hanya digunakan untuk proses proses tertentu karena cara pengoperasiannya yang cenderung lebih complex dan biaya operasionalnya yang cenderung lebih mahal dibandingkan *single screw extruder*.



Gambar 2.7 *Twin Screw Extruders*(Goff et al., 2000)

Metode proses ekstrusi menghasilkan sebuah produk dengan cara melelehkan *feed*. *Feed* dapat berbentuk sebuah pellet ataupun serbuk. *Feed* akan ditampung pada hopper. Lalu, *feed* tersebut dipanaskan dan dilelehkan pada barrel ekstruder hingga mencair. Setelah itu, *feed* akan mengalir melewati barrel menuju *die extruder* dengan dorongan dari screw ekstruder (Groover, 2013).

Menurut Giles, dalam sebuah mesin ekstruder terdapat beberapa komponen penting diantaranya *screw*, *barrel*, dan *heating system*. Dalam mesin ekstruder, *screw* terletak didalam sebuah barrel dimana dalam barrel tersebut, terdapat beberapa *heating system*.



Gambar 2.8 *Komponen Mesin Extruder*(Giles et al., 2005)

Komponen dan fitur dari sebuah mesin ekstruder dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Dalam proses ekstrusi, *extruder screw* umumnya berputar dengan kecepatan kisaran 60 rpm. Dalam sebuah mesin ekstrusi, *extruder screw* berada didalam barrel. Barrel terbagi menjadi tiga bagian. Berikut merupakan tiga bagian barrel pada mesin ekstrusi.

1. **Feed** → Bagian dimana material mentah akan bergerak dari hopper dan dipanaskan terlebih dahulu (*preheat*).
2. **Transition** → Bagian ini adalah bagian dimana polimer akan berubah bentuk menjadi cair.

3. **Metering** → Bagian ini adalah bagian dimana material cair menjadi homogen dan terdapat tekanan yang cukup untuk memompa material tersebut melewati bagian cetakan.



Gambar 2.9 *Extruder Screw*(Giles et al., 2005)

Dalam proses ekstrusi, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi *output* dari proses ekstrusi tersebut. Adapun beberapa parameter yang dapat mempengaruhi adalah sebagai berikut :

1. *Melt Pressure*
2. *Melt Temperature*
3. *Screw Speed*
4. *Motor Load*
5. *Barrel Temperatures*
6. *Die Temperatures*
7. *Power Draw of the various heaters*(Rauwendaal, 2018)

Kombinasi temperatur barel yang tersedia untuk mengoperasikan ekstruder hampir tidak terbatas. Namun, profil temperatur tersebut disesuaikan dengan proses produk yang diinginkan karena hanya beberapa temperatur yang akan menghasilkan produk yang dapat diterima dengan hasil optimal.

Pada umumnya, terdapat tiga tingkatan temperatur pada sebuah barel ekstruder sesuai dengan zona barel ekstruder yang dapat dilihat pada **Gambar 2.9**. Temperatur terendah berada pada bagian feed dan temperatur tertinggi terdapat pada bagian ujung die. Keseimbangan pengaturan temperatur sangat penting karena dapat meningkatkan kualitas produk yang akan dihasilkan (Handranto, 2018).

Pengaturan temperatur yang tidak sesuai dapat menurunkan kualitas produk. Jika temperatur terlalu rendah, maka viskositas material menjadi terlalu tinggi sehingga kapasitas aliran menjadi terlalu lemah. Selain itu, juga memungkinkan terdapat material yang tidak sepenuhnya meleleh. Namun, apabila temperatur terlalu tinggi maka akan terjadi *local burning* yang mengakibatkan degradasi pada material (Ding et al., 2022).

Local burning yang dipicu akibat pemilihan temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi material. Hal ini dapat berefek pada sifat mekanik produk ekstrusi. Maka dari itu, pemilihan jangkauan temperatur yang digunakan harus sesuai dengan material yang diproses (Capone, 2007).

Tabel 2.4 Variasi rentang temperatur berdasarkan resin(Goff et al., 2000)

Resin	Temperatur (°C)		
	Feed Zone	Transition Zone	Metering Zone
Nylon 6	210-230	230-250	240-260
Nylon 6,6	265-290	275-285	280-290
ABS	205	220	230
HIPS	160	180	190
LDPE	185-190	180-200	185-200
HDPE	185-190	195-230	210-250
PP	200	220	220
PMMA	190	205	210

Tabel 2.5 Variasi temperatur disetiap zona barrel(Giles et al., 2005)

Material	Screw Compression Ratio	Feed Zone, °F (°C)	Transition Zone, °F (°C)	Metering Zone, °F (°C)	Die Zone, °F (°C)
ABS	2.75:1	400° (204°)	425° (219°)	440° (227°)	460° (238°)
Nylon 6	3.9:1	420° (216°)	460° (238°)	480° (249°)	500° (260°)
Nylon 6,6	3.6:1	530° (277°)	535° (280°)	545° (285°)	540° (282°)
LDPE	3.5:1	340° (171°)	355° (180°)	365° (185°)	375° (191°)
LLDPE		300° (149°)	325° (163°)	364° (185°)	410° (210°)
HDPE	3:1	340° (171°)	380° (193°)	400° (204°)	400° (204°)
PP	3:1	375° (190°)	410° (210°)	430° (221°)	430° (221°)
Polystyrene	3:1	350° (177°)	400° (204°)	440° (227°)	450° (232°)
HIPS	2.5:1	375° (191°)	420° (216°)	450° (232°)	450° (232°)
PMMA	1.8:1	360° (182°)	400° (204°)	430° (221°)	445° (230°)
Flexible PVC	2.5:1	265° (130°)	340° (171°)	355° (181°)	365° (181°)
Rigid PVC	2.5:1	300° (149°)	320° (160°)	340° (171°)	365° (181°)
PC	2.25:1	510° (266°)	530° (277°)	550° (288°)	560° (293°)
Noryl®	2.1:1	450° (232°)	480° (249°)	510° (266°)	510° (266°)
Ultem®	2.1:1	600° (316°)	640° (338°)	675° (357°)	675° (357°)
PET	3:1	520° (270°)	550° (290°)	510° (265°)	510° (265°)
PBT	2.5:1	470° (243°)	490° (254°)	500° (260°)	500° (260°)
Polysulfone	2.5:1	550° (288°)	600° (316°)	650° (343°)	650° (343°)
Acetal	3.6:1	400° (204°)	390° (199°)	400° (204°)	410° (210°)
Thermoplastic Polyurethane	3:1	330° (166°)	360° (182°)	380° (193°)	380° (193°)

Selain temperatur pada barrel, *kecepatan screw* juga merupakan parameter penting pada proses ekstrusi. Sama halnya seperti temperatur, pemakaian *kecepatan screw* juga dapat bergantung pada jenis material yang diproses. Jika *kecepatan screw* terlalu rendah, maka pemanasan yang terjadi didalam barrel dapat berlangsung terlalu lama sehingga dapat memicu degradasi material. Jika *kecepatan screw* terlalu tinggi maka material dapat keluar dari barrel terlalu cepat, sehingga material tidak dapat meleleh dengan sempurna, selain itu stabilitas proses dan kualitas produk akhir juga dapat berkurang. Jika *kecepatan screw* terlalu rendah, maka pemanasan yang terjadi didalam barrel dapat berlangsung terlalu lama (Ding et al., 2022).

2.6 Sifat Reologi

Reologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang deformasi dan aliran material. Dalam proses ekstrusi, sifat reologi dari material merupakan salah satu hal yang sangat penting. Temperatur dalam proses ekstrusi dapat mempengaruhi sifat reologi suatu material (Giles et al., 2005). Sifat reologi suatu material dapat diketahui dari beberapa parameter salah satunya viskositas (Hartanto, 2015).

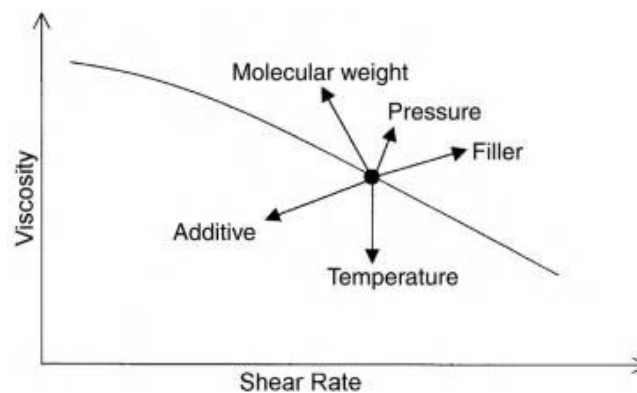
Viskositas merupakan sifat yang menggambarkan hubungan antara tegangan geser (*shear stress*) dan laju geser (*shear rate*) (Afrilinda, 2017). Selain itu, viskositas juga didefinisikan sebagai perpanjangan gesekan internal dalam fluida dan dapat diukur sebagai gaya per satuan luas yang menahan aliran seragam. Viskositas menjadi salah satu hal yang penting dalam aliran. Viskositas sendiri dapat diartikan sebagai hambatan bagi suatu material untuk mengalir. Viskositas dapat didefinisikan sebagai rasio tegangan geser (gaya F , dibagi dengan area A) terhadap laju geser (kecepatan V , dibagi dengan celah h).

$$\eta = \frac{\text{Shear stress}}{\text{Shear rate}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{V}{h}} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Dimana:

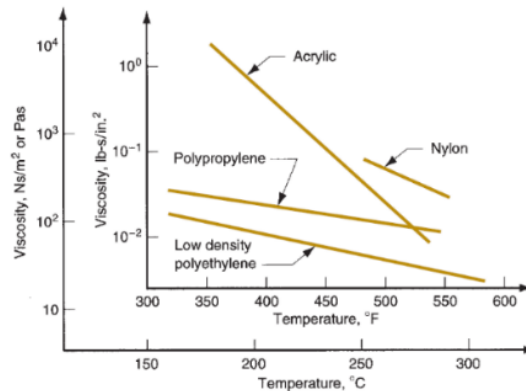
- η : Viskositas (Pa·s)
 τ : *Shear stress* (Pa)
 $\dot{\gamma}$: *Shear rate* (s⁻¹)

Polimer dalam keadaan cair dikenal sebagai material viskoelastik. Pada material viskoelastik, viskositas geser berbanding terbalik dengan peningkatan *shear rate*. Dengan adanya peningkatan *shear rate*, maka nilai viskositas semakin rendah sehingga polimer akan lebih mudah mengalir melalui *die* dan peralatan manufaktur lainnya. Nilai viskositas suatu material dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Pengaruh beberapa variabel terhadap viskositas polimer

Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**, tingginya temperatur yang digunakan dapat menurunkan viskositas dari suatu material. Hal serupa juga dihasilkan oleh penambahan zat aditif, dimana semakin banyak aditif maka dapat menurunkan viskositas material tersebut. Berbeda dengan temperatur dan zat aditif, penambahan *filler* serta peningkatan berat molekul dapat menyebabkan viskositas material meningkat secara signifikan (Vlachopoulos & Polychronopoulos, 2011). Adapun grafik pengaruh temperatur terhadap beberapa jenis polimer ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Grafik viskositas beberapa polimer pada temperatur tertentu

Viskositas *feedstock* merupakan salah satu hal yang sangat penting karena dapat mempengaruhi kualitas produk dari *feedstock* yang diproses pada *injection molding*. Untuk memperoleh produk bebas cacat, dibutuhkan nilai viskositas tertentu. Pada proses injeksi dengan laju geser berkisar antara $100-10000 \text{ s}^{-1}$, dibutuhkan nilai viskositas maksimum sebesar $1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Nilai viskositas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bentuk partikel, distribusi ukuran partikel, dan massa jenis serbuk (Afrilinda, ST., MT. et al., 2017). Viskositas akan semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel, karena semakin kecil ukuran partikel maka memiliki luas permukaan yang semakin besar dan menghasilkan gesekan antar partikel yang memicu peningkatan viskositas. Selain itu, bentuk partikel *filler* yang digunakan juga mempengaruhi. Serbuk berbentuk *spherical* merupakan serbuk yang paling sesuai untuk digunakan pada *injection molding* karena memiliki *flowability* yang baik. Bentuk partikel *filler* memiliki pengaruh pada viskositas relatif *feedstock* (Heaney, 2012).

Viskositas *feedstock* dapat dicari menggunakan yang diawali dengan menghitung fraksi volume serbuk pada *feedstock* Cu/PA6. Fraksi volume serbuk dihitung dengan Persamaan sebagai berikut:

$$\%vol \text{ serbuk} = \frac{\left(\frac{m_{\text{serbuk}}}{\rho_{\text{serbuk}}}\right)}{\left(\frac{m_{\text{serbuk}}}{\rho_{\text{serbuk}}}\right) + \left(\frac{m_{\text{PA6}}}{\rho_{\text{PA6}}}\right)} \quad (3.1)$$

Dimana:

- M_{serbuk} : Massa serbuk (g)
- ρ_{serbuk} : Densitas serbuk (g/cm^3)
- M_{PA6} : Massa serbuk (g)
- ρ_{PA6} : Densitas serbuk (g/cm^3)
- M_{aditif} : Massa serbuk (g)
- ρ_{aditif} : Densitas serbuk (g/cm^3)

Data fraksi volume yang didapatkan dari persamaan 3.1, kemudian akan digunakan untuk menghitung viskositas relatif *feedstock*. Fraksi volume serbuk maksimum pada *feedstock* diasumsikan sebesar 65 vol% (Liu et al., 2003). Adapun perhitungan viskositas relatif *feedstock* menggunakan Persamaan sebagai berikut.

$$\eta_r = \left[1 - \frac{\%vol\ serbuk}{0,65} \right]^{-2} \quad (3.2)$$

Selain viskositas, sifat reologi suatu material dapat diukur menggunakan *Melt flow rate (MFR)* atau *Melt flow index (MFI)*. Pengujian ini umum dilakukan karena dianggap mudah dilakukan dan instrumen untuk melakukan pengujian tersebut relatif tidak mahal. Pengujian ini mengukur *volumetric flow* material hasil ekstrusi dalam jangka waktu setiap 10 menit. Nilai MFI dapat dinyatakan dalam satuan g/10min (Malkin & Isayev, 2017). Metode pengukuran MFI dapat dilakukan dengan *oscillating plate rheometry* pada *shear rate* yang rendah ($< 300 \text{ sec}^{-1}$) ataupun *capillary rheometry* pada *shear rate* yang tinggi ($100\text{-}30.000 \text{ sec}^{-1}$) (Giles et al., 2005). Pengujian MFI dapat dilakukan sesuai dengan standard pada ASTM D-1238 (R. Singh et al., 2017).

Pada umumnya, nilai MFI yang sesuai untuk proses ekstrusi kurang dari 12, sedangkan untuk *injection molding*, nilai MFI yang sesuai yaitu 5-50. Nilai MFI yang rendah menunjukkan bahwa polimer tersebut memiliki viskositas dan berat molekul yang tinggi. Sebaliknya untuk nilai MFI yang tinggi menunjukkan bahwa polimer tersebut memiliki viskositas dan berat molekul yang rendah (Baird, n.d.).

Penambahan penguat pada polimer dalam material komposit akan merubah sifat reologi dari polimer tersebut. Sifat reologi dari *particulate composites* dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain bentuk partikel dan ukuran partikel penguat, fraksi volume penguat, dan distribusi penyebaran partikel penguat. (Han, 2007)

2.7 Penelitian Sebelumnya

Terdapat beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya. Salah satunya dilakukan oleh Belanger pada tahun 1993. Penelitian ini meneliti mengenai peluru *frangible* untuk aplikasi latihan berbahan baku serbuk Cu diatas 90% dengan pengikat nylon 11. Penelitian ini menggunakan metode *injection molding*. Berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan bahwa sebuah proyektil *frangible* harus memiliki nilai densitas minimum $5,7 \text{ g/cm}^3$. Ditemukan bahwa, untuk mendapat nilai tersebut komposisi Cu yang digunakan harus diatas 90%, disarankan sekitar 92 - 93%. Semakin tinggi komposisi Cu maka dapat meningkatkan nilai densitas peluru tersebut. Densitas $5,7 \text{ g/cm}^3$ adalah densitas minimal sebuah proyektil untuk mendapatkan sifat balistik terbaik (B. et Al., 1993).

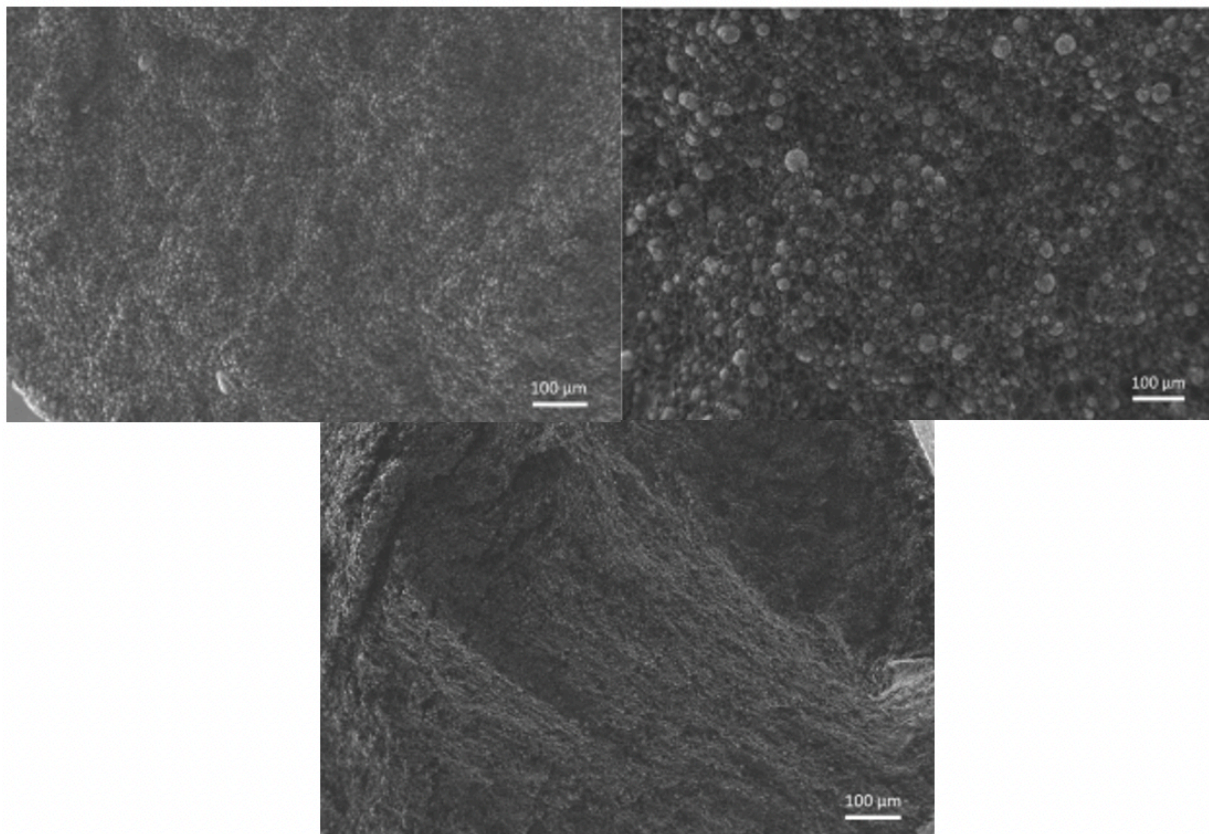
Selanjutnya, penelitian dilakukan oleh Hansen. Pada penelitian ini menjelaskan mengenai komposisi peluru bebas timbal. Komposisi yang disarankan untuk digunakan yaitu 60-90 wt% bubuk logam atau kombinasi bubuk komposit logam dan mineral filler. Selain itu, terdapat komposisi resin termoplastik sekitar 8-40 wt% dan 2-5 wt% *non corrosive lubricant*. Penelitian ini menggunakan proses ekstrusi untuk menghasilkan pellet, lalu dilanjutkan oleh proses *injection molding* untuk menghasilkan peluru. Hasil dari penelitian ini yaitu peluru bebas timbal dengan nilai densitas $1,75\text{-}8,25 \text{ g/cm}^3$ (Hansen, 2008).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Falah. Penelitian ini berfokus pada pengaruh jenis polimer dan wt% tembaga terhadap sifat fisik dan mekanik material kandidat peluru *frangible*. Penelitian ini menggunakan metode casting. Terdapat tiga jenis polimer yang digunakan yaitu Polikarbonat (PC), Polipropilena (PP), dan Polistirena (PS). Varian komposisi Cu dan polimer yang digunakan adalah 70 %wt Cu-30 wt% polimer, 50 %wt Cu-50 wt% polimer, dan 30 %wt-70 wt% polimer. Masing masing jenis polimer menggunakan temperatur cetakan yang berbeda yaitu polikarbonat $400 \text{ }^\circ\text{C}$, polipropilena $300 \text{ }^\circ\text{C}$, dan polistirena $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Dari hasil penelitian didapat bahwa urutan jenis polimer dengan kekuatan tekan dan modulus elastisitas tertinggi adalah polistirena, polipropilena, dan polikarbonat. Berdasarkan penelitian tersebut, material

yang memenuhi standar sebagai kandidat peluru *frangible* adalah polistirena. Nilai kekuatan tekan terendah sebesar 37,15 MPa diperoleh komposisi 30%Cu-70%PS. Sedangkan nilai tertinggi sebesar 53,08 MPa diperoleh komposisi 70%Cu-30%PS. Untuk nilai kekerasannya, urutan jenis polimer berdasarkan kekerasan tertinggi hingga terendah yaitu polistirena, polipropilena, dan polikarbonat. Namun, untuk polistirena dengan komposisi 30%Cu-70%PS memiliki nilai kekerasan sebesar 44,23 HV dimana nilai tersebut tidak memenuhi syarat kekerasan peluru *frangible* yakni 54 - 119 HV (Falah, 2018).

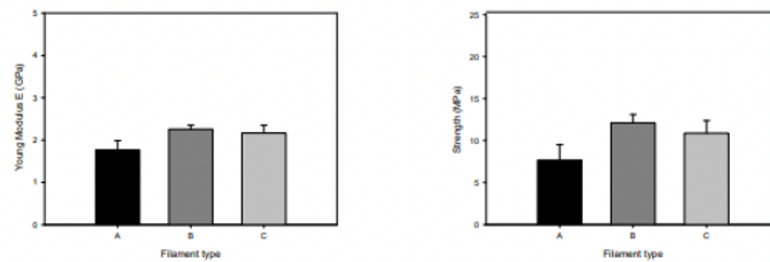
Penelitian lainnya dilakukan oleh Dewanto mengenai pengaruh temperatur sintering dan komposisi poliamida terhadap sifat mekanik proyektil Cu-PA 6. Penelitian menggunakan metode metalurgi serbuk dengan variasi temperatur sintering 27 (tanpa sinter), 200, 250, dan 300. Sedangkan untuk variasi komposisi poliamida yaitu 0.5, 1, dan 1.5%. Hasil dari penelitian tersebut didapat bahwa nilai densitas tertinggi diperoleh spesimen tanpa sinter dengan massa poliamida 0,5% sebesar 7,24 gr/cm³. Sedangkan untuk nilai kekerasan rata rata tertinggi diperoleh spesimen dengan massa poliamida 1,5% sebesar 26 HRB dan nilai kekuatan tekan tertinggi diperoleh spesimen dengan temperatur sintering 200 dan massa poliamida 0,5% sebesar 153,61 MPa. Nilai kekerasan dan kekuatan tekan yang diperoleh berada dalam jangkauan nilai minimum untuk proyektil *frangible* menurut Kruachatturat (Dewanto, 2015).

Terdapat beberapa penelitian mengenai ekstrusi menggunakan Cu sebagai bahan, salah satunya dilakukan oleh Santos et al. pada tahun 2021. Dalam penelitian ini menggunakan komposisi Cu sebesar 61 vol% dan binder 39 vol%. Dalam penelitian ini menggunakan 3 variasi ukuran partikel dari serbuk Cu 28; 11,3; dan 3,97 μm . Adapun parameter ekstrusi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu temperatur zona sebesar 170, 175, dan 180 °C serta kecepatan *screw* sebesar 30 rpm. Penelitian ini menggunakan beberapa pengujian seperti SEM, *tensile test*, dan *flexural test*. Pengujian SEM bertujuan untuk menganalisa distribusi serbuk Cu pada material tersebut. Dari hasil pengujian SEM, filamen B yang menggunakan ukuran serbuk Cu 11,3 μm mendapat hasil paling ideal karena distribusi yang seragam dan jarak antar partikular yang rendah, tanpa ada cacat yang terlihat. Sedangkan untuk filamen A dan C menunjukkan adanya pori pori yang terdistribusi secara acak. Hasil SEM yang dilakukan terhadap masing masing filamen dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

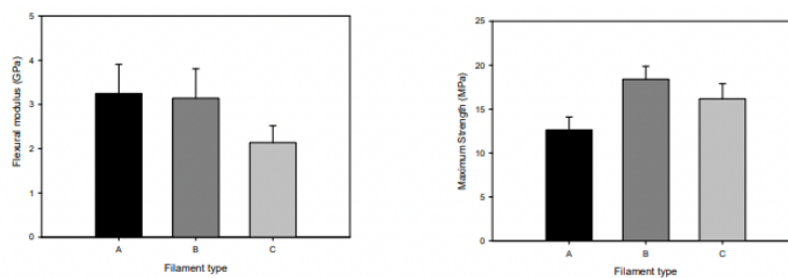


Gambar 2.12 Hasil SEM Filamen (a) A (b) B, dan (c) C (Santos et al., 2021)

Selain pengujian SEM, dilakukan juga *tensile test* dan *flexural test*. Dari hasil pengujian mekanik, didapat bahwa filamen B mendapat *tensile strength* dan modulus elastisitas paling tinggi sebesar 12,1 MPa dan 2,2 GPa.(Santos et al., 2021)



Gambar 2.13 Hasil *tensile test*(Santos et al., 2021)



Gambar 2.14 Hasil *flexural test*(Santos et al., 2021)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Ding et al. mengenai efek dari parameter ekstrusi dan komposisi campuran terhadap sifat mekanik, reologi, dan sifat termal. Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu campuran LDPE/PS/PMMA. Penelitian ini menggunakan metode ekstrusi. Hasil dari penelitian tersebut didapat bahwa semakin tinggi temperatur barrel maka modulus *young* dan *yield stress* juga akan semakin tinggi. Hal tersebut juga terjadi pada peningkatan *kecepatan screw* dimana semakin tinggi *kecepatan screw* maka semakin tinggi modulus *young* dan *yield stress*. Didapat modulus *young* sebesar 295 MPa dan *yield stress* sebesar 11,8 MPa dengan menggunakan temperatur 220 °C dan *kecepatan screw* 150 rpm (Ding et al., 2022).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Kumar et al. mengenai proses ekstrusi campuran nanopartikel ZnO dan Mn dengan Nylon 6. Pada penelitian ini, menggunakan 3 variasi barrel temperatur yaitu 220, 230, dan 240 °C dan 3 variasi persentase Mn-ZnO yaitu 1, 2, 3%.. Pada penelitian ini, nantinya akan dilakukan beberapa pengujian salah satunya uji tarik. Filamen dengan persentase Mn-ZnO 3% dan barrel temperatur 240 °C memiliki nilai *tensile strength* paling tinggi sebesar 44,65 MPa (Kumar et al., 2020).

Penelitian lainnya dilakukan oleh Irvan Septyan Mulyana menggunakan material PVC untuk dianalisis mengenai pengaruh temperatur barrel terhadap proses ekstrusinya. Dalam penelitian tersebut digunakan kecepatan screw 60 dan 70 rpm dan empat varian temperatur yang berbeda dengan menjadikan titik leleh PVC sebesar 140-180 °C sebagai temperatur acuan untuk memilih empat variasi temperatur yang akan digunakan. Percobaan pertama dengan temperatur 110-130 °C. Percobaan kedua dengan temperatur 130-150 °C. Percobaan ketiga dengan temperatur 150-170 °C. Penelitian keempat dengan temperatur 170-190 °C. Dari hasil penelitian tersebut, didapat perbedaan hasil secara fisik dikarenakan pada percobaan pertama dan kedua, material PVC belum meleleh sepenuhnya sehingga saat keluar dari nozzle tidak tercetak dengan baik. Sedangkan pada percobaan keempat, material PVC hangus karena temperatur yang digunakan melebihi titik leleh nya sehingga hasil proses menjadi sangat kering. Percobaan ketiga menghasilkan hasil terbaik karena material tersebut sudah sepenuhnya meleleh dengan sempurna sehingga menghasilkan hasil fisik yang sangat berbeda dibandingkan percobaan satu, kedua, dan keempat (Mulyana, 2020).

Penelitian lainnya dilakukan oleh Hong et al. mengenai pencampuran partikel Cu dengan Polyvinyl Carboxyl. Penelitian ini menggunakan metode ekstrusi dengan variasi komposisi Cu yaitu 50, 55, 60, dan 65 wt%. Adapun *kecepatan screw* yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu 45 rpm. Dari penelitian tersebut didapat hasil bahwa penambahan partikel Cu dapat menambah viskositas dari campuran tersebut. Nilai viskositas tertinggi diperoleh spesimen dengan komposisi Cu 65 wt% sebesar $2,3 \times 10^7$ cP (Hong et al., 2015).

Tabel 2.6 Penelitian sebelumnya mengenai parameter ekstrusi

No	Komposisi	Metode Ekstrusi	Hasil	Referensi
1	Cu : 61 vol% Binder : 39 vol%	170, 175, dan 180 °C; 30 rpm	<i>Tensile strength</i> : 12,1 MPa <i>Modulus elastisitas</i> : 2,2 GPa	Santos et al., 2021(Santos et al., 2021)
2	LDPE/PS/PMMA : 70/10/20, 70/20/10 wt%	200-220 °C, 50-150 rpm	<i>Modulus elastisitas</i> : 295 MPa <i>Yield stress</i> : 11,8 MPa	Ding et al., 2021(Ding et al., 2022)
3	ZnO-Mn, Nylon 6	220-240 °C	<i>Tensile strength</i> : 44,65 MPa	Kumar et al., 2020(Kumar et al., 2020)
4	Polyvinyl Chloride	110-130, 130-150, 150-170, dan 170-190 °C; 60, 70 rpm	Hasil fisik terbaik pada temperatur 150-170 °C	Mulyana, 2020(Mulyana, 2020)
5	α -zirconium phosphate (ZrP) : 1, 3, 5 % Poliamida 6	215 °C; 50, 80 rpm	<i>Modulus elastisitas</i> : 4,02 GPa <i>Yield strength</i> : 73,5 MPa	Zhang et al., 2017(Zhang et al., 2017)
6	Al ₂ O ₃ : 70% Poliamida 6 : 30%	235-250 °C; 79 rpm	Kekuatan tarik : 88 MPa Kekuatan impak : 4,2 kJ/m ²	Ren et al., 2017(Ren et al., 2017)
7	Nylon 6 : 60 wt% Al ₂ O ₃ : 30 wt% Al : 10 wt%	155-180 °C; 40, 20, dan 15 rpm	MFI : 7,795 g/10 min	Singh, 2016(S. Singh & Singh, 2016)
8	Cu : 50, 55, 60, 65 wt% Polyvinyl Carboxy	45 rpm	Viskositas : 2,3 x 10 ⁷ cP	Hong, 2015(Hong et al., 2015)
9	Cu/ER	200 °C; 60 rpm	<i>Dielectric loss</i> : 0,022-0,015	Sonoda, 2011(Sonoda et al., 2011)
10	Fe : 5, 10, 15 vol% Polypropylene	180-230 °C; 24 rpm	Kekerasan : 63 shore D MFI : 8,32 g/10 min <i>Modulus elastisitas</i> : 400,8 MPa	Gulsoy, 2006(Özkan & Gülsoy & Taşdemir, 2006)

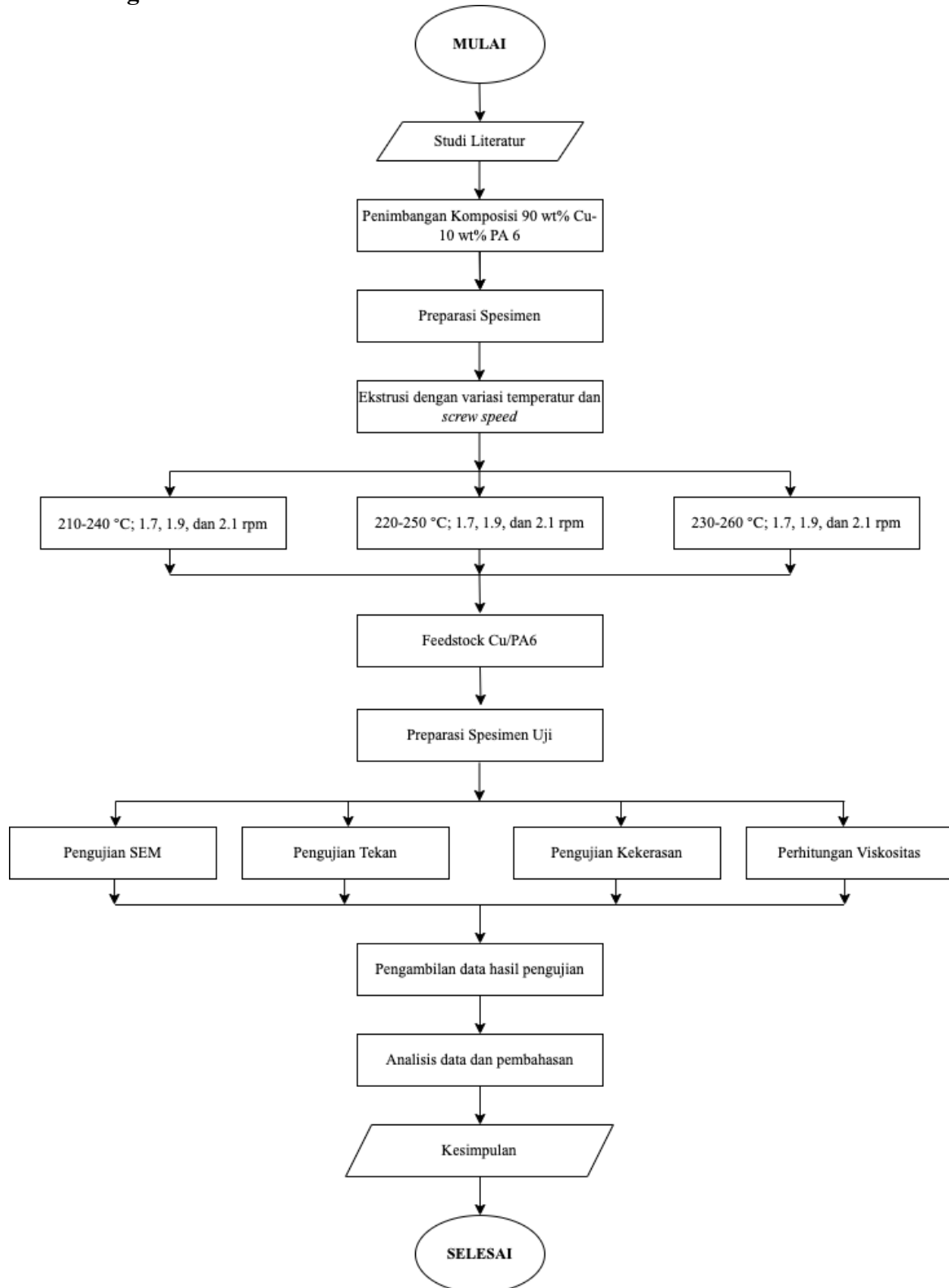
11	Poliamida 6	<i>Feed Zone</i> : 216 °C - <i>Transition Zone</i> : 238 °C <i>Metering Zone</i> : 249 °C	Giles, 2005(Giles et al., 2005)
12	Poliamida 6	<i>Feed Zone</i> : 210-230 °C <i>Transition Zone</i> : 230-250 °C <i>Metering Zone</i> : 240-260 °C	Goff, 2000(Goff et al., 2000)

Tabel 2.7 Penelitian sebelumnya mengenai komposisi proyektil *frangible* dan sifat mekanik

No	Komposisi	Metode	Hasil	Referensi
1	Cu : 30, 50, 70 wt% Polikarbonat/Polistirena/ Polipropilena : 30, 50, 70 wt%	Casting	Kekuatan tekan : 53,08 MPa Kekerasan : 112,27 HV Modulus elastisitas : 2,377 GPa	Falah, 2018(Falah, 2018)
2	Cu Poliamida 6 : 0,5, 1, 1,5 wt%	Metalurgi serbuk	Kekerasan : 26 HRB Kekuatan tekan : 153,61 MPa	Dewanto, 2015(Dewanto, 2015)
3	Cu : 84% Sn : 9% Zn : 6%	Kompaksi	Densitas : 7,2-7,5 g/cm ³	Calero et al., 2013(Martinez, 2013)
4	Serbuk logam : 60-80 wt% Resin termoplastik : 8- 40 wt% Lubricants : 2-5 wt%	Ekstrusi dan <i>injection molding</i>	Densitas : 1,7-8,25 g/cm ³	Hansen, 2008(Hansen, 2008)
5	Serbuk Cu, Bi, W, dan Stainless Steel : 85-93 % Resin Poliester	Ekstrusi dan <i>injection molding</i>	Tensile Strength : 3.500-5.500 psi	West, 1997(W. et Al., 1998)
6	Cu : 92,5-93,5 wt% Nylon 11 : 6,5-7,5 wt%	<i>Injection molding</i>	Densitas : 5,7 g/cm ³	Belanger et al., 1993(B. et Al., 1993)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian, terdapat tahapan tahapan yang perlu dilakukan berdasarkan diagram alir pada **Gambar 3.1**. Adapun tahapan tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

Studi Literatur

Dalam tahapan ini, peneliti melakukan kajian materi yang didapat dari berbagai sumber literatur seperti paten, buku, dan jurnal penelitian terdahulu. Materi yang dipelajari oleh peneliti mengenai material komposit, peluru *frangible*, bahan material peluru *frangible*, proses ekstrusi, dan pengaruh temperatur serta kecepatan screw pada proses ekstrusi.

Penimbangan komposisi Cu-Poliamida 6

Dalam tahapan ini, serbuk Cu dan serbuk PA 6 akan ditimbang menggunakan neraca digital. Pada penelitian ini komposisi Cu-Pa 6 yang digunakan yaitu 90% wt Cu - 10% wt Poliamida 6 mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan.

Preparasi Spesimen

Dalam tahapan ini, serbuk Cu dan serbuk PA 6 yang telah ditimbang akan melalui proses pengeringan menggunakan oven untuk mengurangi kandungan air pada serbuk Cu dan PA 6. Pengeringan menggunakan temperatur 130-160 °C selama 2 jam. Kemudian serbuk Cu dan PA 6 akan di *mixing* menggunakan *magnetic stirrer*. Pada penelitian ini, *mixing* menggunakan kecepatan 25 rpm dan dilakukan selama 45 menit. Setelah itu, campuran serbuk Cu dan PA 6 dipindahkan pada mesin ekstruder untuk di ekstrusi.

Menentukan perancangan eksperimen

Pada penelitian ini, terdapat tiga jenis variabel yaitu variabel bebas, variabel konstan, dan variabel respon.

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat dikendalikan. Pada penelitian ini terdapat 2 variabel bebas yaitu temperatur dan kecepatan screw. Penentuan nilai variabel bebas yang akan diteliti mengacu pada berbagai sumber berdasarkan penelitian terdahulu.

Tabel 3.1 Variabel Bebas Penelitian

No	Variabel Konstan	Keterangan
1	Temperatur (°C)	210 - 240
		220 - 250
		230 - 260
2	Kecepatan screw (rpm)	1.7
		1.9
		2.1

Variabel konstan merupakan nilai variabel yang tidak diubah selama eksperimen. Dalam penelitian ini, terdapat 2 variabel konstan yaitu komposisi Cu dan komposisi Poliamida 6.

Tabel 3.2 Variabel Konstan

No	Variabel Konstan	Keterangan
1	Komposisi Cu wt%	90 wt%
2	Komposisi Pa 6 wt%	10 wt%

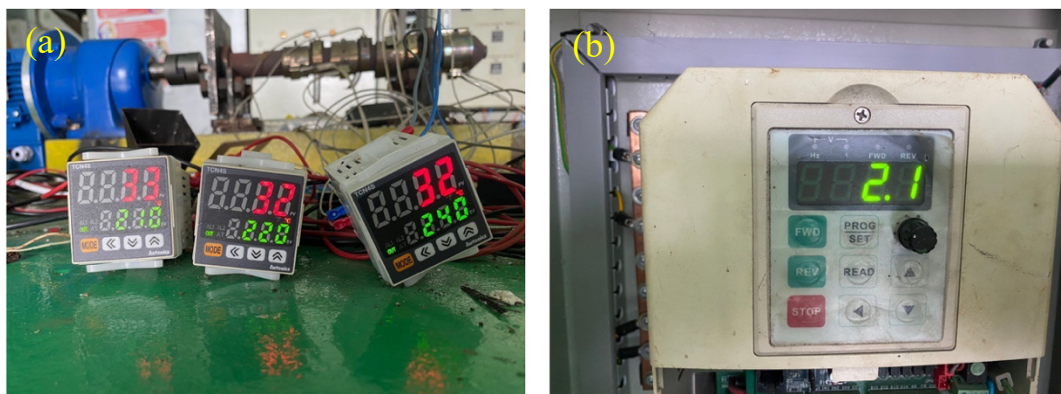
Variabel respon merupakan nilai variabel yang didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini, terdapat 3 variabel respon yaitu *Melt Flow Index (MFI)*, kekerasan, dan kekuatan tekan.

Ekstrusi

Dalam tahapan ini, eksperimen pada proses ekstrusi siap dilakukan. Campuran serbuk Cu dan PA 6 dimasukkan kedalam mesin extruder. Parameter yang digunakan pada proses ini disesuaikan dengan variabel bebas dan variabel konstan yang telah ditentukan. Hasil dari proses ini menjadi sebuah *feedstock*. Adapun spesifikasi mesin *extruder* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Voltase : 220V/50 Hz
 Daya maksimum: : 2,3 kW
 Heater : 8x10 Watt (220V)
 Diameter screw : 34 mm
 Kecepatan screw : 0-70 rpm
 Kapasitas maksimum : 10 kg/jam

Pada penelitian ini, pengaturan parameter temperatur extruder dilakukan menggunakan thermocouple yang terhubung pada extruder tersebut. Selain temperatur, kecepatan screw ekstrusi juga akan divariasikan. Pengaturan kecepatan screw ekstrusi dapat dilakukan melalui panel yang terhubung pada motor extruder tersebut.



Gambar 3.2 Komponen ekstrusi (a) Thermocouple (b) Panel pengatur kecepatan screw

Preparasi Spesimen Uji

Dalam tahapan ini, *feedstock* yang telah diproduksi dari proses ekstrusi di preparasi sesuai dengan kebutuhan pengujian masing masing. Kebutuhan spesimen uji untuk pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM), pengujian kekerasan mengacu pada standar ASTM E384, dan untuk pengujian tekan mengacu pada standar ASTM D-695. Untuk pengujian tekan dan kekerasan, *feedstock* akan dibentuk menjadi spesimen uji menggunakan mesin injeksi. Spesimen uji dibentuk menggunakan molding dengan ukuran 1:2 sesuai dengan standar yang ada pada ASTM D695. Molding yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Molding spesimen uji

Dari tahapan yang dilakukan menggunakan mesin injeksi dengan *molding* seperti pada **Gambar 3.3**, didapat spesimen uji dengan dimensi diameter sebesar 12,7 mm dan tinggi sebesar 25,4 mm seperti pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Spesimen Uji Tekan dan Kekerasan

Pengujian

Terdapat tiga jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian MFI, pengujian kekerasan, dan pengujian kekuatan tekan.

1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) dapat menganalisis morfologi, topografi, komposisi, dan kristalografi material. SEM memanfaatkan pantulan electron untuk dapat menghasilkan gambar dengan perbesaran yang tinggi dan depth of field. Dengan perbesaran dan depth of field yang tinggi dapat diperoleh gambar dengan resolusi yang lebih baik. Mesin SEM yang digunakan pada penelitian ini yaitu HITACHI SU3500. Adapun gambar mesin uji yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Mesin uji SEM

2. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode tes *Vickers Hardness*. Satuan dari tes ini diberikan *Vickers Pyramid Number* (HV). Pengujian bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik berupa kekerasan dari spesimen uji. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM E92. Pengujian ini menggunakan *Vickers Hardness testing machine* di Laboratorium Metalurgi Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS Surabaya. Adapun mesin uji yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 *Vickers Hardness testing machine*

3. Uji Tekan

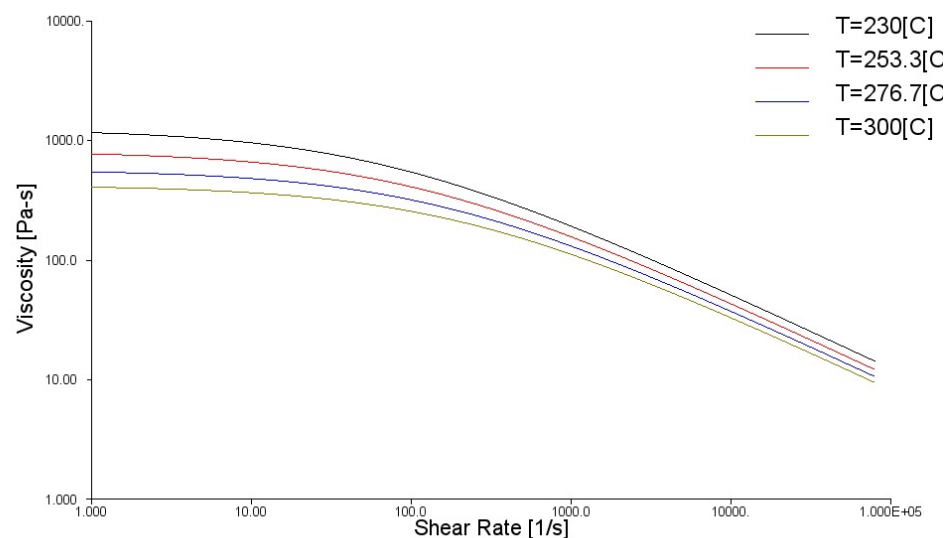
Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tekan dari spesimen uji. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D-695. Berdasarkan standar tersebut, spesifikasi spesimen yang digunakan berbentuk silinder dengan perbandingan antara diameter dan tinggi yaitu 1:2. Pengujian tekan dilakukan menggunakan *material testing machine* di Laboratorium Material Inovatif Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya. Adapun mesin uji yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Material testing machine

4. Perhitungan Viskositas Relatif Feedstock Cu/PA6

Data viskositas relatif yang didapatkan dari Persamaan pada bab 2, kemudian dapat digunakan untuk mencari viskositas *feedstock* semua variasi *feedstock*. Data tersebut akan dikalikan dengan viskositas PA6 pada *shear rate* dan temperatur tertentu untuk mendapatkan viskositas *feedstock*. Grafik viskositas PA6 didapat dari database material *feedstock* pada aplikasi *Autodesk Moldflow Adviser*. Adapun grafik viskositas PA6 adalah sebagai berikut.



Gambar 3.8 Grafik Nilai Viskositas

Analisis data dan Pembahasan

Dalam tahapan ini akan menganalisis data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Selain menganalisis, dilakukan juga pembahasan terhadap data tersebut berdasarkan dengan teori yang telah dipelajari sebelumnya.

3.3 Alat Penelitian

Adapun alat alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jangka sorong

Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen uji yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.9 Jangka Sorong

2. Neraca Digital

Digunakan untuk menimbang komposisi massa serbuk Cu dan pellet PA6 yang digunakan untuk pembuatan feedstock.



Gambar 3.10 Neraca Digital

3. Spatula

Digunakan untuk melakukan penuangan serbuk Cu dan pellet PA6 yang akan digunakan.

4. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan serbuk Cu dan pellet PA6

5. Mesin Uji Kekerasan

Digunakan untuk pengujian kekerasan spesimen hasil dari proses ekstrusi.

6. Mesin Uji Tekan

Digunakan untuk pengujian tekan spesimen hasil dari proses ekstrusi.

7. Mesin Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

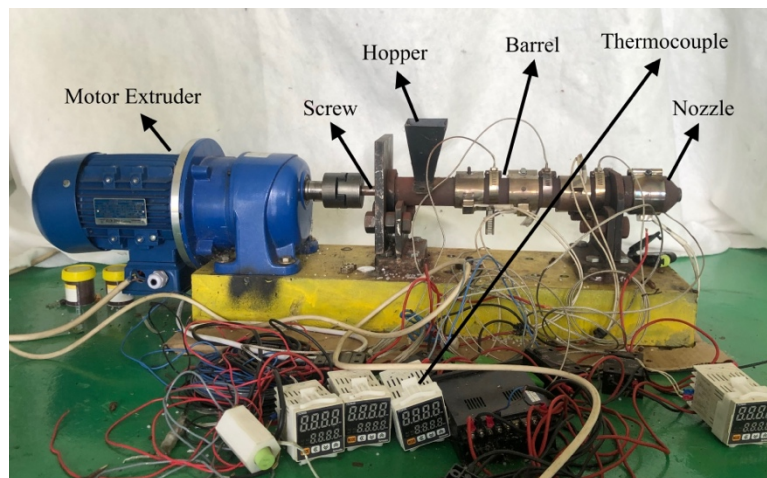
Digunakan untuk pengujian SEM terhadap *feedstock* Cu/PA6 hasil dari proses ekstrusi

8. Gunting Kawat

Digunakan untuk memotong filamen dari hasil proses ekstrusi menjadi pellet *feedstock*.

9. Mesin Extruder

Mesin extruder digunakan untuk pembuatan *feedstock* komposit Cu/PA6.



Gambar 3.11 Mesin Extruder

10. Mesin Injeksi

Digunakan untuk membuat spesimen uji kekuatan tekan dan kekerasan



Gambar 3.12 Mesin Injeksi

3.4 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Serbuk Cu

Serbuk tembaga yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Densitas	: 8,933 g/cm ³
Temperatur lebur	: 1084,62 °C
Massa molekular	: 63,54 g/mol
Ukuran partikel	: < 63 μm
Kemurnian	: 99 %



Gambar 3.13 Serbuk tembaga

2. Serbuk Poliamida 6

Serbuk poliamida 6 yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Densitas : $1,13 \text{ g/cm}^3$

Temperatur lebur : $225 \text{ }^\circ\text{C}$



Gambar 3.14 Serbuk poliamida 6

3. Air

Digunakan untuk mencuci dan menghilangkan kotoran pada alat-alat penelitian.

3.5 Jadwal Penelitian

Adapun jadwal penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan															
	Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Bimbingan Tugas Akhir																
Persiapan Alat dan Bahan																
Pembuatan Feedstock																
Pengujian SEM																
Pengujian Tekan																
Pengujian Kekerasan																
Perhitungan Viskositas																
Penyusunan Laporan Akhir																

3.6 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut. Adapun tabel rancangan penelitian pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

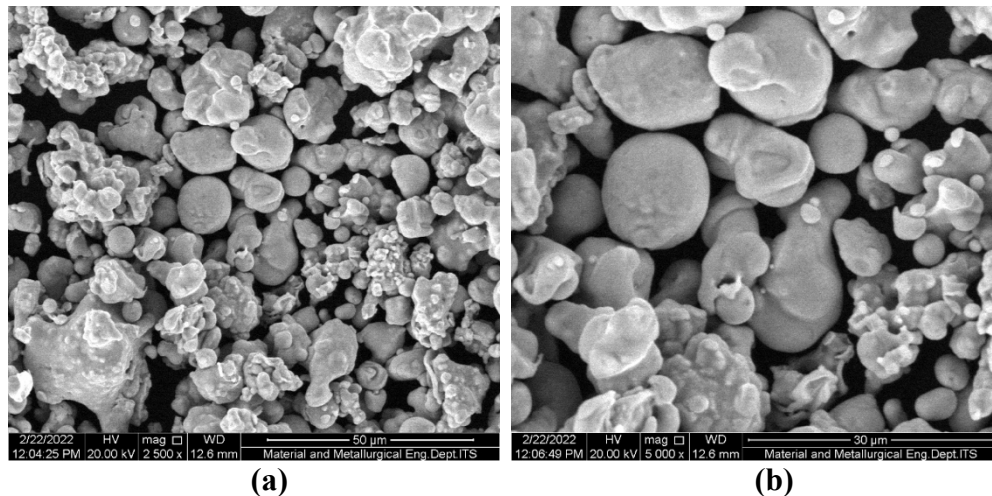
Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

Kecepatan screw (rpm)	Temperatur (°C)	SEM	Kekerasan	Kekuatan tekan	Viskositas
1,7	210 - 240	✓	✓	✓	✓
	220 - 250	✓	✓	✓	✓
	230 - 260	✓	✓	✓	✓
1,9	210 - 240	✓	✓	✓	✓
	220 - 250	✓	✓	✓	✓
	230 - 260	✓	✓	✓	✓
2,1	210 - 240	✓	✓	✓	✓
	220 - 250	✓	✓	✓	✓
	230 - 260	✓	✓	✓	✓

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan

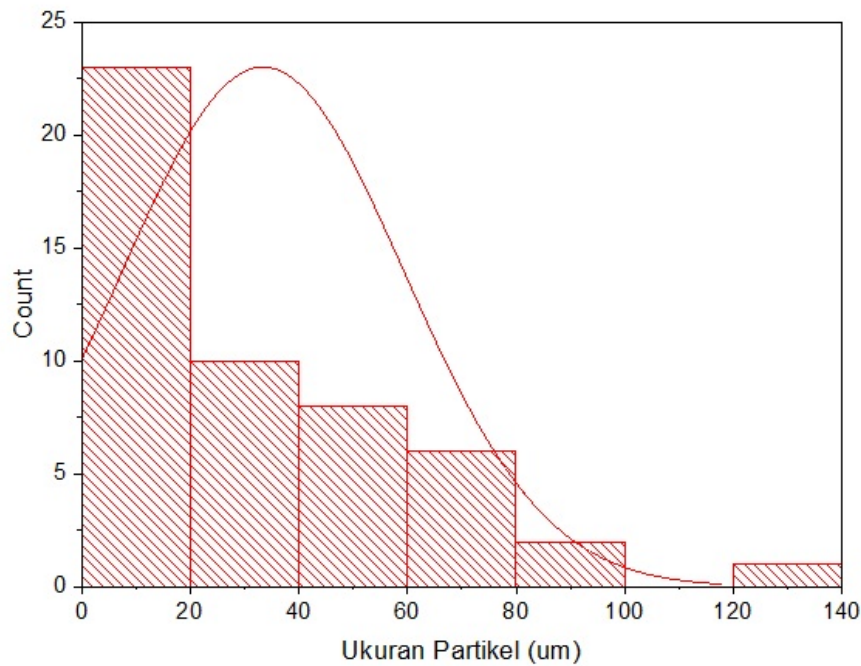
Pada penelitian ini, akan menggunakan serbuk Cu dan poliamida 6 sebagai bahan untuk material feedstock yang akan diproduksi. Sebelum dilakukannya eksperimen pada penelitian kali ini, perlu dilakukan karakterisasi bahan material yang akan digunakan dalam penelitian kali ini. Berdasarkan Belanger 1973, serbuk Cu yang disarankan untuk digunakan memiliki bentuk partikel *spherical*. Selain itu, berdasarkan nadkarni et al., ukuran partikel yang disarankan untuk digunakan yaitu < 150 microns (Nadkarni et al, 2003).



Gambar 4.1 Morfologi serbuk tembaga (Cu) dengan perbesaran (a) 2.500x dan (b) 5.000x

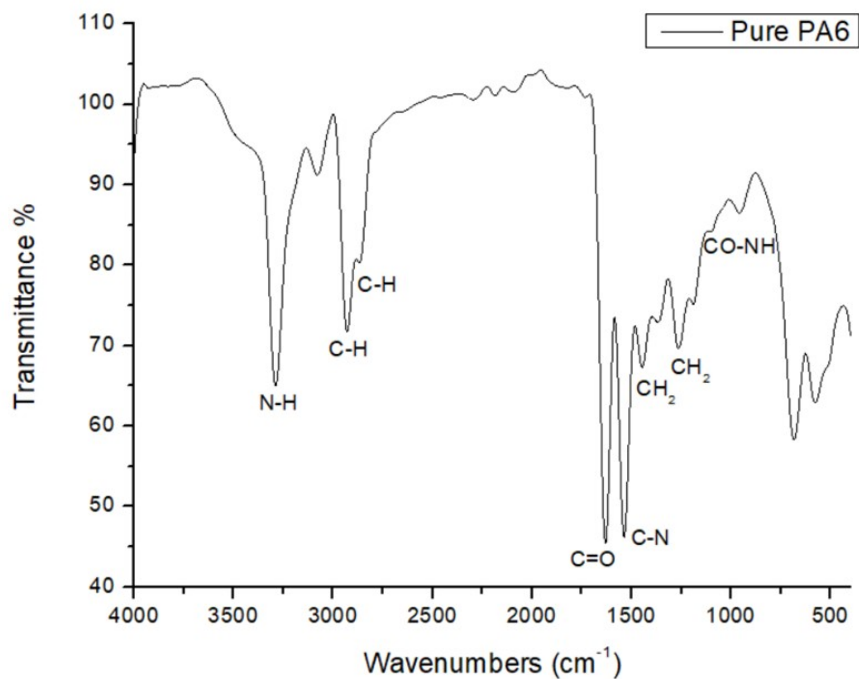
Serbuk Cu yang digunakan dalam penelitian kali ini dikarakterisasi dengan pengujian *Scanning Elctrone Microscopy* (SEM). Pengujian ini memiliki tujuan untuk dapat mengetahui morfologi dari serbuk Cu yang akan digunakan dalam penelitian ini. Dari hasil pengujian SEM yang telah dilakukan, didapatkan hasil seperti pada **Gambar 4.1**. Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa serbuk Cu yang digunakan dalam penelitian kali ini memiliki bentuk partikel *spherical*.

Selain dapat melihat morfologi dari serbuk Cu yang digunakan, dapat juga dilihat distribusi ukuran serbuk dari Cu tersebut. Adapun distribusi ukuran serbuk yang didapat dibantu menggunakan aplikasi ImageJ dan aplikasi origin untuk membuat histogram dari distribusi ukuran serbuk pada Cu yang akan digunakan. Adapun histogram distribusi ukuran serbuk Cu dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Distribusi Ukuran Serbuk Cu

Selain karakterisasi pada serbuk Cu, juga dilakukan karakterisasi pada bahan lainnya yaitu Poliamida 6. Poliamida 6 yang digunakan pada penelitian ini dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transformed Infrared Red* (FTIR). Pengujian ini memiliki tujuan untuk dapat mengkarakterisasi ikatan pada senyawa organik. Berikut merupakan hasil FTIR dari serbuk Poliamida 6 yang digunakan.

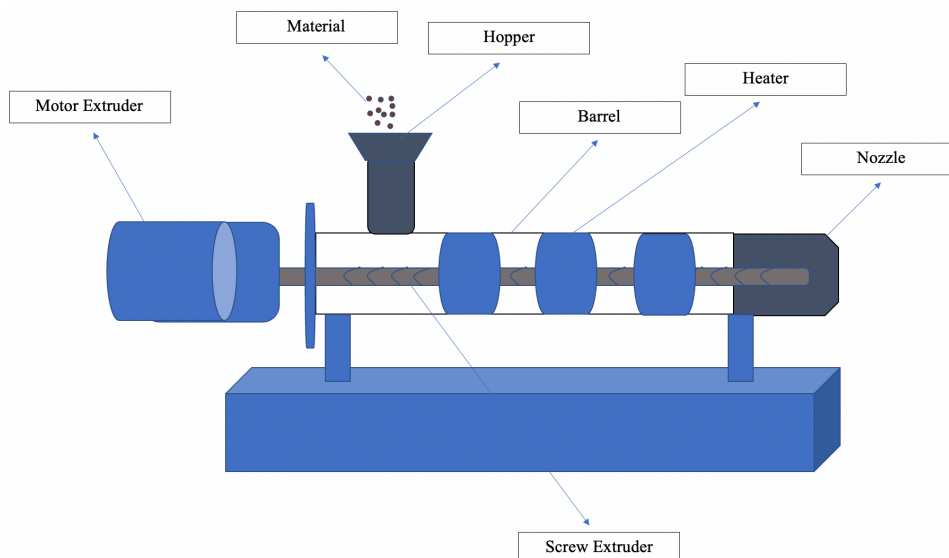


Gambar 4.3 Hasil Grafik FTIR Poliamida 6

Berdasarkan hasil grafik FTIR yang didapat seperti pada **Gambar 4.3**, terdapat beberapa peak pada grafik tersebut yang dapat mengidentifikasi ikatan yang ada pada material yang diuji. Pada *peak* dengan *wave number* 3296 cm^{-1} , 2934 cm^{-1} , dan 2864 cm^{-1} menandakan adanya ikatan N-H *bending vibration* dan C-H *in phase* dan *out of phase*. Selain itu, pada *peak* dengan *wave number* 1635 cm^{-1} dan 1538 cm^{-1} , menandakan adanya ikatan C=O amida I dan kombinasi N-H dan C-N amida II. Pada *peak* dengan *wave number* 1476 cm^{-1} dan 1416 cm^{-1} dapat mengidentifikasi adanya ikatan CH₂ pada grafik tersebut. *Peak* selanjutnya dengan *wave number* 959 cm^{-1} dan 929 cm^{-1} menandakan adanya ikatan CO-NH. Berdasarkan perbandingan antara beberapa data dan hasil grafik FTIR yang didapat, serbuk tersebut memiliki kesesuaian dengan Poliamida 6 (Mindivan, 2016).

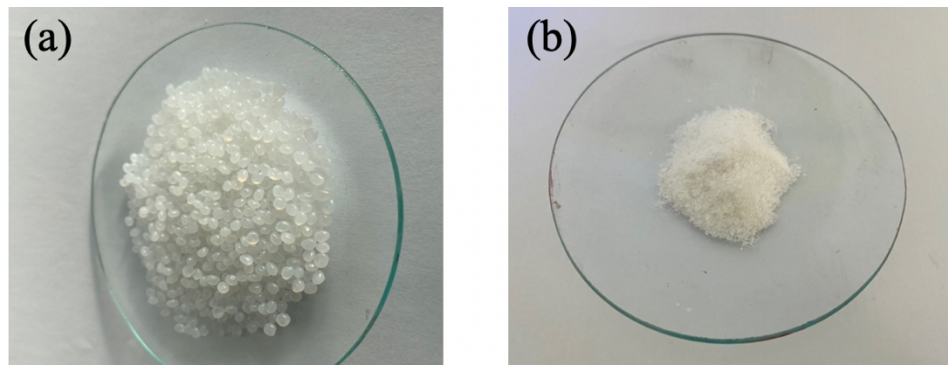
4.2 Proses Pembuatan *Feedstock* Cu/PA6

Dalam penelitian ini, proses pembuatan *feedstock* Cu/PA6 dilakukan menggunakan mesin ekstruder, adapun skema dari mesin yang digunakan ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. Pada mesin tersebut, terdapat 3 zona *heater* pada barrel. Selain itu, mesin tersebut terhubung dengan panel untuk mengatur kecepatan screw yang akan digunakan. Material yang digunakan nantinya akan dimasukkan melalui hopper dan keluar dari nozzle dalam bentuk filamen.



Gambar 4.4 Skema Mesin Extruder

Bahan material dari *feedstock* yaitu serbuk Cu dan pellet poliamida 6. Masing masing serbuk Cu dan poliamida 6 di karakterisasi terlebih dahulu menggunakan SEM untuk serbuk Cu dan FTIR untuk poliamida 6. Lalu, serbuk Cu akan disieving untuk memastikan ukuran serbuk yang akan digunakan sesuai dengan yang diinginkan yaitu < 150 microns. Sedangkan, untuk pellet poliamida 6 akan di grinding menjadi bentuk serbuk berukuran < 1 mm. Adapun gambar dari poliamida 6 sebelum dan setelah grinding dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Poliamida 6 (a) Sebelum dilakukan grinding (b) Setelah dilakukan grinding

Lalu, kedua serbuk akan ditimbang sesuai dengan komposisi yang ingin digunakan yaitu 90wt%-10wt%. Komposisi Cu/PA6 yang sudah ditimbang lalu akan dimasukkan ke dalam mesin ekstruder melalui hopper. Sebelum material dimasukkan ke dalam mesin, ekstruder dinyalakan terlebih dahulu untuk mengatur parameter yang akan digunakan. Lalu, temperatur diatur sesuai dengan parameter yang akan digunakan. Temperatur dari ekstruder dapat diatur melalui thermocouple yang dipasang pada mesin ekstruder tersebut. Selain temperatur, kecepatan screw ekstruder juga dapat diatur melalui panel yang terhubung pada motor dari ekstruder tersebut.










Setelah parameter sudah diatur sesuai dengan variasi yang digunakan, material berupa serbuk Cu dan serbuk PA6 dimasukkan. Hasil dari proses ekstrusi tersebut nantinya berupa filamen yang dapat dilihat pada **Gambar 4.6 (a)**. Filamen tersebut kemudian akan dipotong menjadi bentuk pellet seperti pada **Gambar 4.6 (b)**.



Gambar 4.6 Hasil Ekstrusi (a) Filamen (b) Feedstock

Berikut pada **Tabel 4.1** merupakan hasil dari proses ekstrusi untuk produksi feedstock Cu/PA6 berdasarkan masing masing variasi yang digunakan.

Tabel 4.1 Perbandingan hasil feedstock tiap variasi

Kecepatan Screw (rpm)	Temperatur (°C)		
	210-240	220-250	230-260
1,7			
1,9			
2,1			

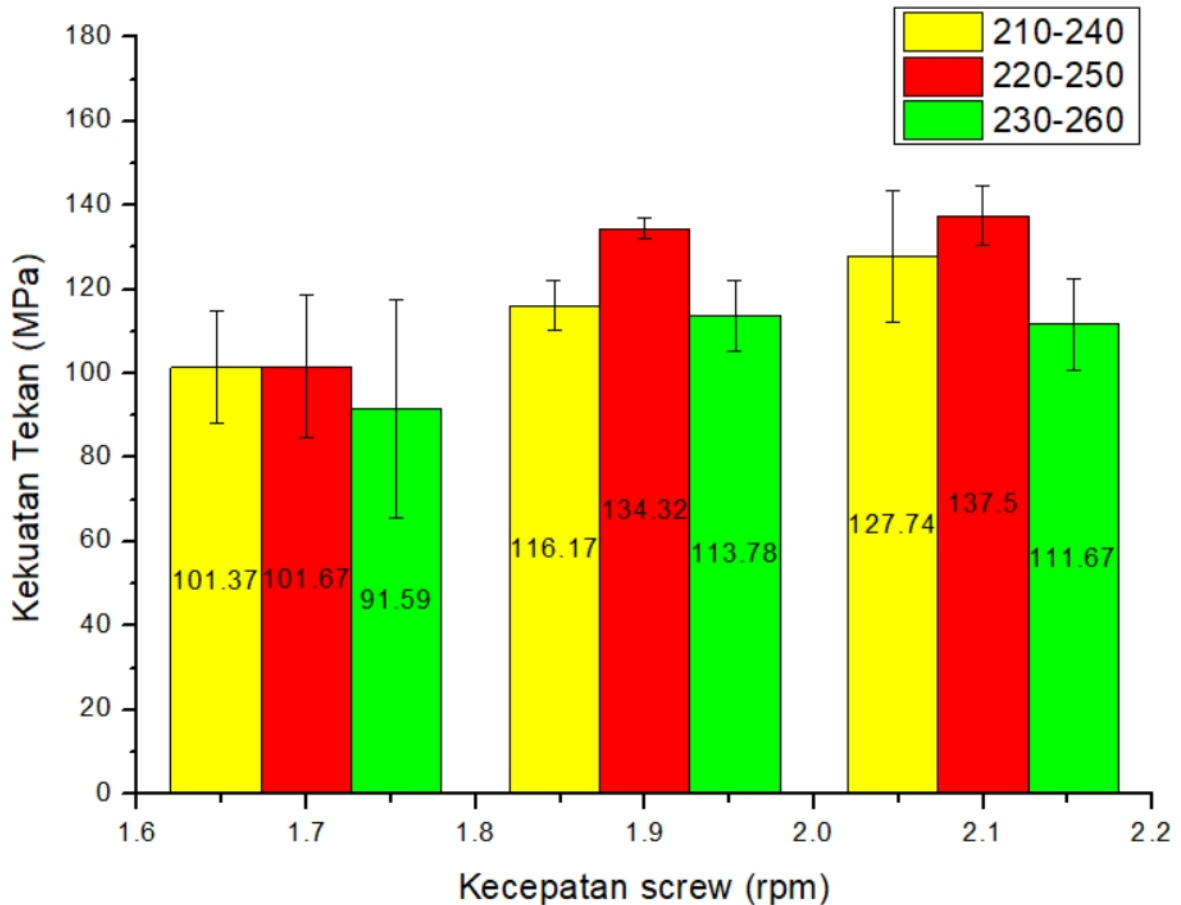
4.3 Analisa Pengaruh Kecepatan Screw dan Temperatur terhadap Sifat Mekanik Feedstock Cu/PA6

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian sifat mekanik dari *feedstock* Cu/PA6 untuk mengetahui pengaruh dari variasi kecepatan screw dan temperatur yang digunakan. Adapun pengujian sifat mekanik yang dilakukan yaitu kekuatan tekan dan kekerasan dari *feedstock* tersebut.

Dalam penelitian ini, uji kekuatan tekan dilakukan pada *feedstock* Cu/PA6. Kekuatan tekan dibutuhkan supaya proyektil yang nantinya digunakan dapat tahan saat dimasukkan pada selongsong dan juga saat proses penembakan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, nilai kekuatan tekan yang dibutuhkan untuk proyektil *frangible* yaitu 31-310 Mpa. Berikut pada **Gambar 4.6** merupakan hasil dari uji kekuatan tekan terhadap *feedstock* Cu/PA6.

Pada **Gambar 4.6**, tampak grafik nilai kekuatan tekan yang dihasilkan dari pengujian terhadap *feedstock* Cu/PA6. Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan screw yang digunakan maka nilai kekuatan tekan akan semakin bertambah untuk setiap variasi temperaturnya. Pada variasi kecepatan screw 1,7 rpm, specimen dengan temperatur 220-250 °C memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan specimen dengan temperatur 210-240 °C. Terlihat dari **Gambar 4.8**, pada variasi kecepatan screw 1,7 rpm dan temperatur 210-240 °C, nilai kekuatan tekan spesimen sebesar 101,37 MPa. Pada variasi kecepatan screw yang sama

namun dengan temperatur ekstrusi yang berbeda yaitu 220-250, nilai kekuatan tekan mengalami peningkatan sedikit menjadi 101,67 MPa. Namun, terjadi penurunan kekuatan tekan pada specimen dengan temperatur 230-260 °C.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Uji Tekan

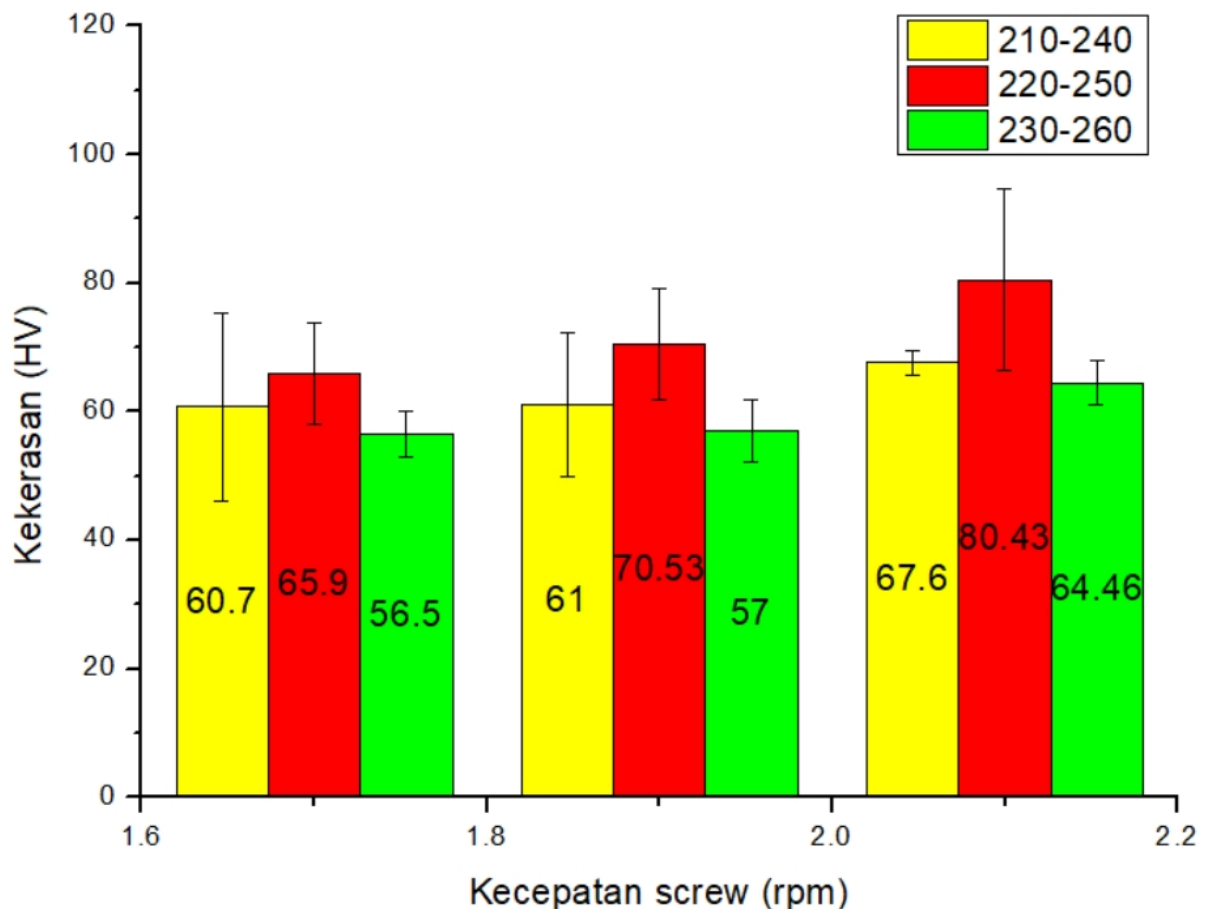
Pada variasi kecepatan screw 1,9 rpm, spesimen dengan temperatur ekstrusi 210-240 °C sebesar 116,7 MPa. Serupa dengan spesimen dengan variasi kecepatan screw 1,7 rpm, terjadi peningkatan kekuatan tekan pada spesimen dengan temperatur ekstrusi 220-250 °C menjadi sebesar 134,32. Lalu pada spesimen dengan temperatur 230-260, kekuatan tekan Kembali mengalami penurunan menjadi 113,67. Hal serupa juga terjadi pada variasi kecepatan screw 2,1 rpm. Dimana terjadi peningkatan kekuatan tekan pada specimen dengan temperatur 220-250 °C dibandingkan specimen dengan temperatur 210-240 °C. Kekuatan tekan spesimen dengan temperatur 210-240 sebesar 127,74. Lalu mengalami peningkatan menjadi 137,5 dengan menggunakan temperatur ekstrusi yang berbeda yaitu 220-250 °C. Nilai kekuatan pada variasi ini merupakan nilai tertinggi jika dibandingkan dengan nilai kekuatan spesimen dengan variabel lain. Namun, nilai kekuatan tekan mengalami penurunan pada spesimen dengan temperatur 230-260 °C.

Jika dilihat berdasarkan grafik pada **Gambar 4.6**, semakin tinggi kecepatan screw yang digunakan maka terjadi peningkatan nilai kekuatan tekan untuk setiap variasi temperatur ekstrusi yang digunakan. Selain itu, nilai kekuatan tekan juga mengalami peningkatan pada saat menggunakan temperatur ekstrusi 220-250 °C, hal ini dapat disebabkan oleh poliamida 6 yang mengalami pelelehan lebih sempurna dibandingkan dengan menggunakan temperatur 210-240

°C. Sehingga poliamida 6 mampu mengisi ruang kosong pada serbuk Cu lebih baik, sehingga semakin banyak serbuk Cu yang terikat oleh poliamida 6. Sistem ikatan seperti ini dapat membuat komposit lebih solid sehingga terjadi peningkatan pada kekuatannya (Dewanto, 2015). Lalu saat menggunakan temperatur ekstrusi 230-260 °C, kekuatan *feedstock* Cu/PA6 mengalami penurunan. Terjadinya penurunan nilai kekuatan tekan pada specimen dengan temperatur 230-260 °C dapat disebabkan oleh *local burning* yang terjadi pada proses ekstrusi tersebut karena menggunakan temperatur yang terlalu tinggi, sehingga dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik pada material tersebut.

Berdasarkan hasil uji tekan terhadap *feedstock* Cu/PA6 seperti pada **Gambar 4.6**, nilai kekuatan tekan tertinggi didapat oleh spesimen dengan variasi kecepatan screw 2,1 rpm dan temperatur 220-250 °C sebesar 137,5 MPa. Nilai tersebut masuk dalam batasan nilai kekuatan tekan Kruachatturat (2009) yang ideal dimiliki oleh material untuk proyektile *frangible*.

Selain uji kekuatan tekan, juga dilakukan uji kekerasan terhadap *feedstock* Cu/PA6 yang telah diproduksi menggunakan variasi kecepatan screw dan temperatur. Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *vickershardness*. Pengujian dilakukan pada 9 variasi menggunakan 3 kali pengulangan untuk setiap variasinya. Berdasarkan kruachatturat, nilai kekerasan yang dibutuhkan sebesar 54-119 HV. Pengujian kekerasan pada *feedstock* Cu/PA6 dilakukan menggunakan variasi temperatur dan kecepatan screw. Pada hasil pengujian kekerasan didapat nilai kekerasan terendah sebesar 56,5 HV dan tertinggi sebesar 80,43 HV. Adapun grafik dari hasil kekerasan *feedstock* Cu/PA6 dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Uji Kekerasan

Pada **Gambar 4.7**, tampak grafik nilai kekerasan dari *feedstock* Cu/PA6. Dari grafik tersebut, dapat terlihat bahwa nilai kekerasan akan semakin bertambah dengan penggunaan kecepatan screw yang semakin tinggi. Pada kecepatan screw 1,7 rpm, nilai kekerasan spesimen dengan temperatur 210-240 °C sebesar 60,7 HV. Kekerasan mengalami peningkatan pada specimen dengan temperatur 220-250 °C menjadi sebesar 65,9 HV. Peningkatan nilai kekerasan yang terjadi dapat disebabkan oleh pencairan poliamida 6 yang semakin meningkat. Hal tersebut dapat membuat ikatan antara filler dan matriks semakin baik dan solid, sehingga polimer dapat mengisi ruang kosong pada filer secara merata (Pratama, 2017). Namun pada penggunaan temperatur 230-260 °C, mengalami penurunan nilai kekerasan menjadi sebesar 65,9 HV. Turunnya nilai kekerasan pada variasi temperatur 230-260 diperkirakan karena pelelehan poliamida 6 yang terlalu lama dalam barrel, sehingga nilai kekerasan pada masing masing kecepatan screw mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi diperkirakan karena pemanasan poliamida 6 yang terlalu lama di dalam barel dengan suhu yang terlalu tinggi, nilai kekerasan pada variasi tersebut sebesar 65,9 HV.

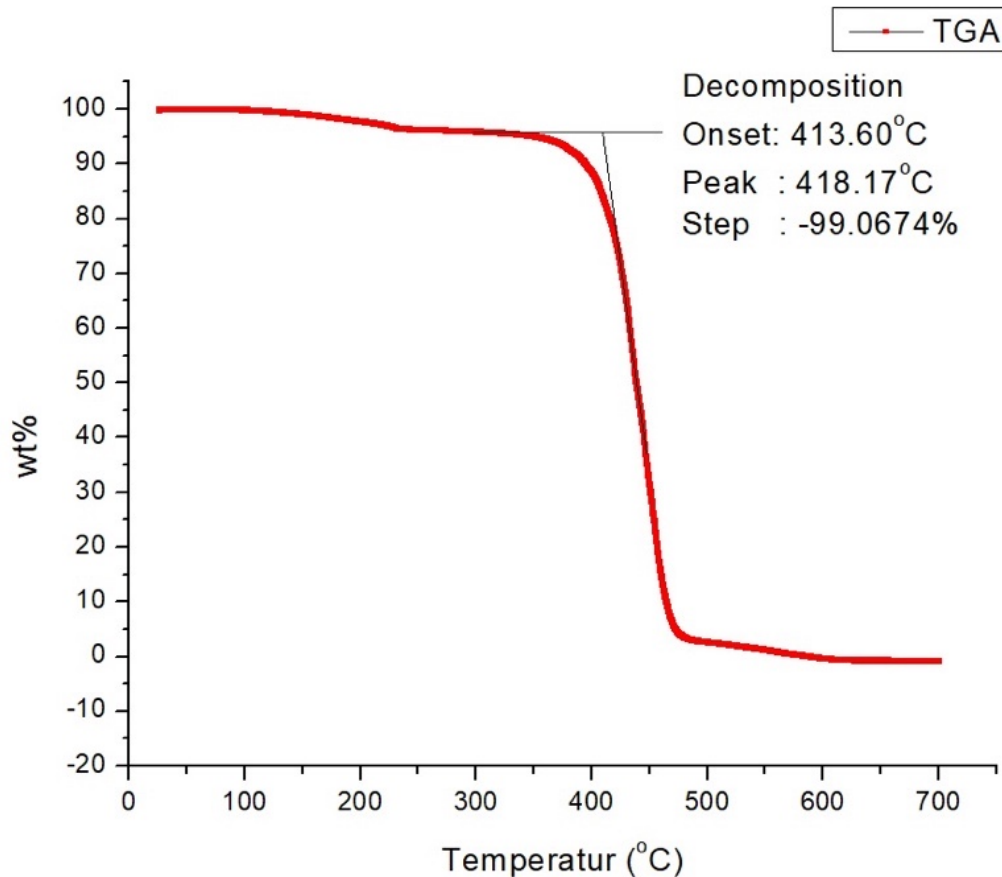
Hal serupa juga terjadi pada spesimen dengan kecepatan screw 1,9 rpm dan 2,1 rpm. Pada spesimen dengan kecepatan screw 1,9 rpm, kekerasan spesimen dengan temperatur 210-240 °C sebesar 61 HV. Lalu mengalami peningkatan pada spesimen dengan temperatur 220-250 °C menjadi sebesar 70,53 HV. Lalu saat menggunakan temperatur ekstrusi 230-260 °C, kekerasan mengalami penurunan menjadi 57 HV. Sedangkan, pada spesimen dengan kecepatan screw 2,1 rpm, spesimen dengan temperatur ekstrusi 220-250 °C memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 80,43 HV.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang dilakukan terhadap *feedstock* Cu/PA6, semua variasi spesimen memiliki nilai kekerasan yang melampaui batasan nilai kekerasan Kruachaturat (2009) yang dinilai ideal untuk material proyektil *frangible*. Dimana spesimen dengan kecepatan screw 1,7 rpm dan temperatur 230-260 °C memiliki nilai kekerasan terendah sebesar 56,5 HV. Sedangkan spesimen dengan kecepatan screw 2,1 rpm dan temperatur 220-250 °C memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 80,43 HV.

Berdasarkan hasil uji tekan dan uji kekerasan yang dapat terlihat pada **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4**, terdapat kecenderungan dimana nilai sifat mekanik *feedstock* semakin tinggi seiring dengan kecepatan screw yang semakin tinggi. Hal tersebut juga dapat diperkirakan karena distribusi ukuran serbuk yang muncul pada *feedstock*. Distribusi ukuran partikel yang muncul pada *feedstock* juga dapat mempengaruhi sifat mekanik dari suatu material (Raihan, 2021). Distribusi ukuran partikel yang muncul pada *feedstock* dapat terpengaruh dari kecepatan screw yang digunakan. Ukuran partikel serbuk yang muncul juga dapat mempengaruhi sifat mekanik dari material tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Raihan, dimana pada penelitian tersebut, ukuran partikel yang semakin kecil muncul seiring dengan kecepatan screw yang tinggi. Menurut teori yang dikemukakan oleh Grathwohl dan Warren, apabila ukuran butir semakin kecil maka kekerasan akan semakin meningkat. Selain itu, ukuran partikel yang semakin besar maka akan semakin tinggi titik leburnya, dan semakin rendah tingkat *compressibility*. Berdasarkan dari hasil pengujian tekan dan kekerasan pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**, spesimen dengan kecepatan screw tertinggi yaitu 2,1 rpm memiliki nilai kekuatan tekan kekerasan paling tinggi pada setiap variasi temperaturnya dibandingkan dengan spesimen dengan kecepatan screw 1,7 rpm dan 1,9 rpm. Hal tersebut memvalidasi teori Grathwohl dan Warren yang mengatakan bahwa nilai kekerasan akan semakin meningkat seiring dengan ukuran partikel yang semakin kecil.

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan dan kekerasan, terdapat penurunan nilai tersebut pada penggunaan temperatur 230-260 °C yang diperkirakan karena adanya *local burning* yang terjadi. Maka dari itu, dilakukan pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) untuk menganalisa temperatur saat PA6 mulai terdegradasi. Grafik dari pengujian TGA tersebut

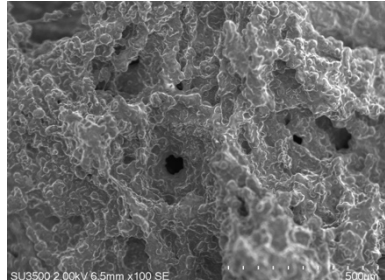
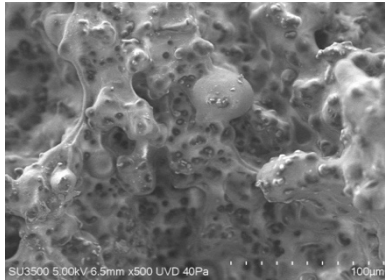
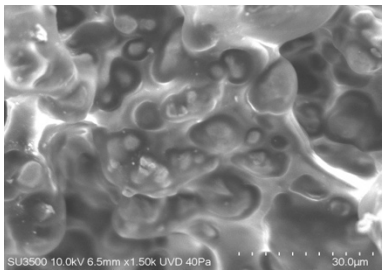
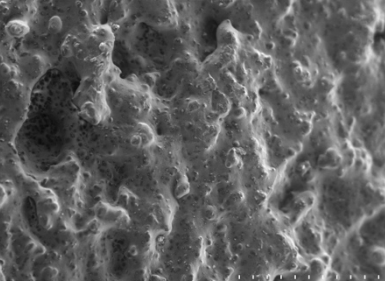
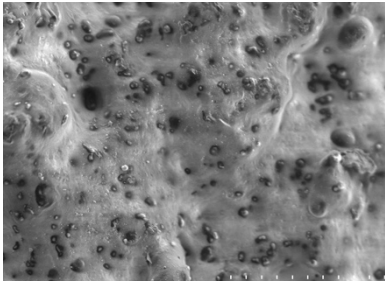
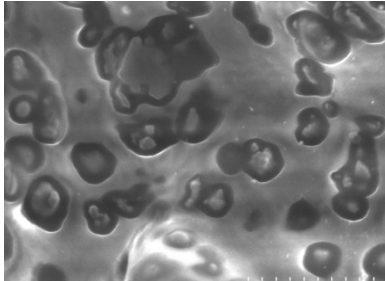
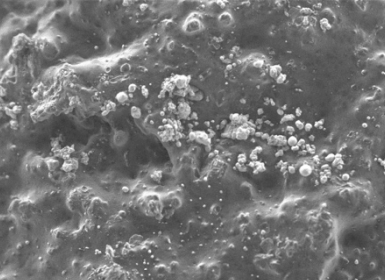
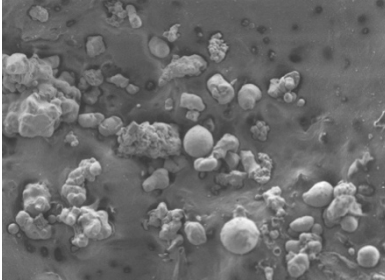
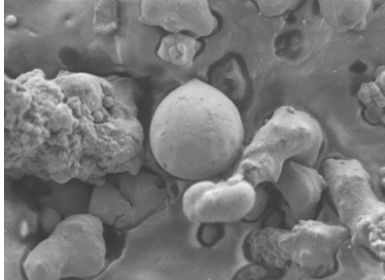
ditunjukkan pada **Gambar 4.8**. Berdasarkan **Gambar 4.8**, terlihat bahwa dekomposisi PA6 sudah mulai terjadi dari sekitar temperatur 250 °C, dimana dari grafik tersebut mulai terjadi penurunan komposisi PA6 pada temperatur tersebut. Hal tersebut dapat memvalidasi adanya *local burning* yang dapat terjadi pada rentang temperatur 230-260 °C sehingga memicu degradasi yang mulai terjadi pada PA6. Selain itu, dari grafik tersebut terlihat bahwa penurunan komposisi PA6 secara signifikan terjadi pada temperatur 418,17 °C.



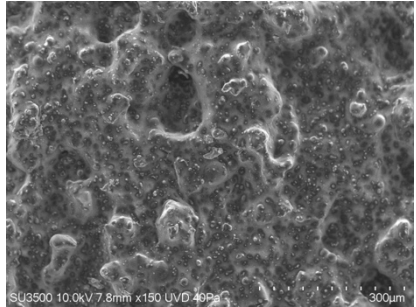
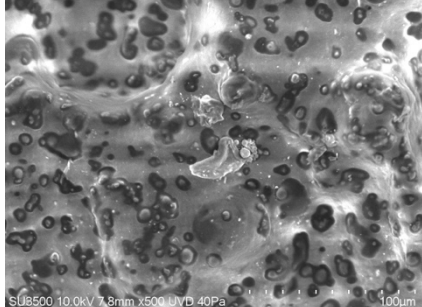
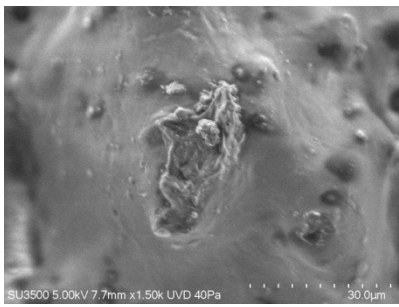
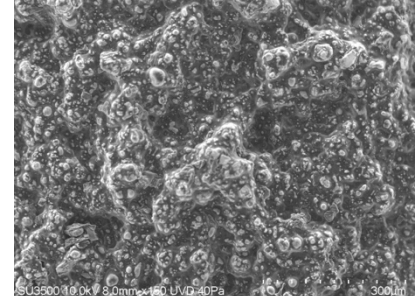
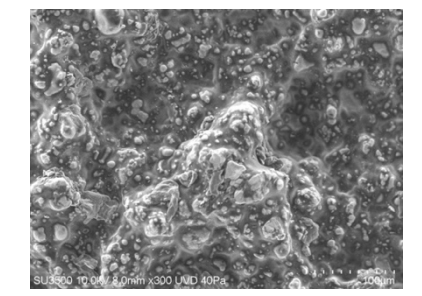
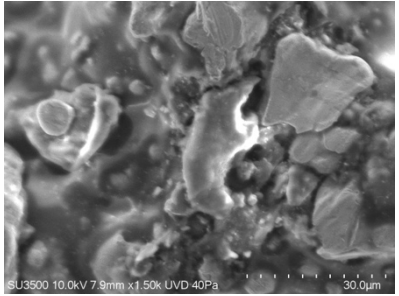
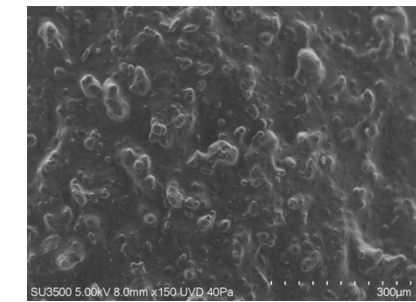
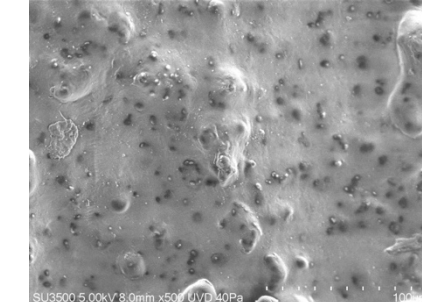
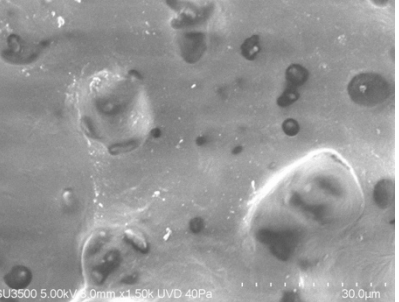
Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji TGA PA6

Pada penelitian ini, juga dilakukan pengujian SEM terhadap *feedstock* pada tiap variasi kecepatan screw dan temperatur yang digunakan. Tujuan dilakukannya pengujian ini untuk dapat mengetahui morfologi serta persebaran serbuk yang merata pada *feedstock* Cu/PA6. Berdasarkan Ding et al., variasi kecepatan screw dan temperatur yang digunakan dapat mempengaruhi morfologi dari *feedstock* yang diproduksi. Berikut pada **Tabel 4.2** hingga **Tabel 4.4** merupakan hasil pengujian SEM untuk setiap variasi yang digunakan.

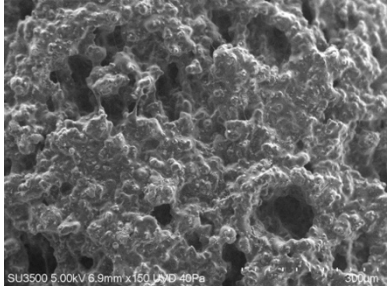
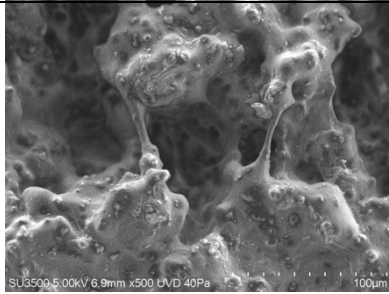
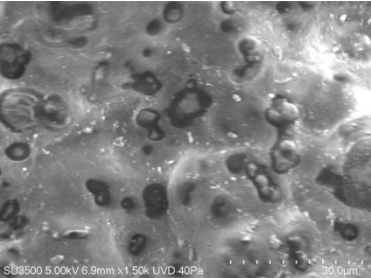
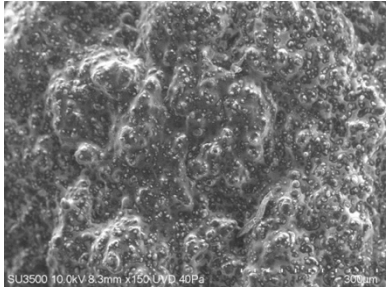
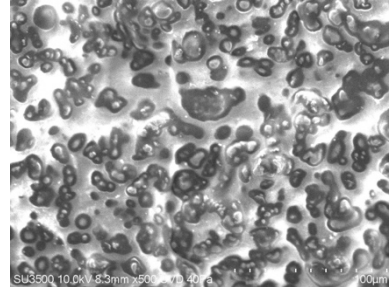
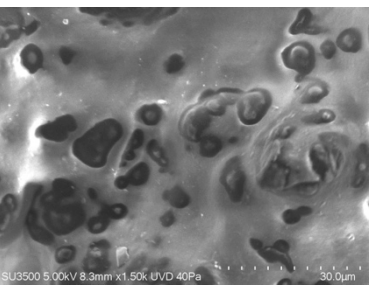
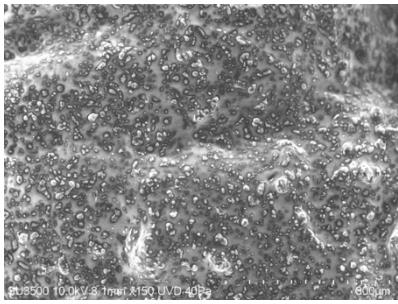
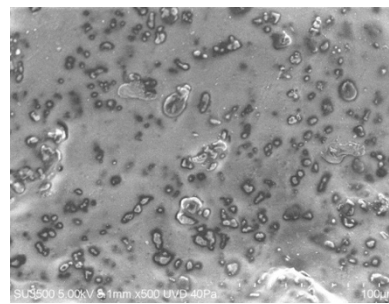
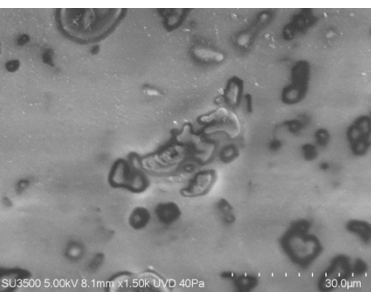
Tabel 4.2 Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan kecepatan screw 1,7 rpm

Temperatur (°C)	Perbesaran		
	150x	500x	1500x
210-240			
220-250			
230-260			

Tabel 4.3 Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan kecepatan screw 1,9 rpm

Temperatur (°C)	Perbesaran		
	150x	500x	1500x
210-240			
220-250			
230-260			

Tabel 4.4 Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan kecepatan screw 2,1 rpm

Temperatur (°C)	Perbesaran		
	500x	500x	1500x
210-240			
220-250			
230-260			

Pada **Tabel 4.2**, tampak hasil pengujian SEM yang dilakukan terhadap *feedstock* Cu/PA6 menggunakan variasi kecepatan screw 1,7 rpm. Dari hasil SEM yang terlihat untuk variasi temperatur 210-240 dan 220-250, terdapat void yang terlihat pada *feedstock* di perbesaran 500x. Terjadinya void yang terbentuk pada *feedstock* Cu/PA6 diperkirakan karena poliamida 6 tidak dapat mengisi rongga serbuk Cu seluruhnya. Adanya void diperkirakan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari *feedstock* tersebut. Selain void, juga teridentifikasi permukaan *feedstock* yang tidak rata *feedstock* dengan variasi temperatur 210-240, hal tersebut diperkirakan karena rendahnya kecepatan screw yang digunakan. Sedangkan, pada *feedstock* dengan variasi temperatur 230-260, dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa tidak terdapat void pada permukaan. Namun, terlihat adanya aglomerasi yang muncul pada morfologi *feedstock*. Hal tersebut diperkirakan karena rendahnya kecepatan screw yang digunakan. Kecepatan screw yang terlalu rendah dapat memicu turbulensi sehingga aglomerasi muncul dan permukaan yang tidak rata pada morfologi *feedstock* yang diproduksi (German, 2016). Selain itu, jika dibandingkan dengan variasi temperatur lainnya, persebaran serbuk Cu pada *feedstock* Cu/PA6 dengan variasi ini lebih sedikit. Hal tersebut menandakan bahwa persebaran serbuk Cu yang tidak tersebar secara merata dalam *feedstock* Cu/PA6 tersebut.

Berdasarkan hasil SEM pada **Tabel 4.3**, tampak hasil morfologi dari *feedstock* Cu/PA6 menggunakan kecepatan screw 1,9 rpm. Pada morfologi *feedstock* yang menggunakan temperatur 210-240 °C, teridentifikasi adanya void yang terbentuk pada morfologi *feedstock*. Adanya void diperkirakan karena rendahnya temperatur yang digunakan dapat memicu pelelehan Poliamida 6 yang kurang sempurna, sehingga tidak dapat mengisi dan menyelimuti ruang kosong pada serbuk Cu. Pada gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan parameter temperatur 220-250 °C, terlihat memiliki persebaran serbuk Cu yang lebih merata. Jumlah void yang terdapat pada material tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanik dari material tersebut. Hal tersebut juga telah terjadi pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Arivianto, 2021) dimana semakin banyak void yang terbentuk, maka dapat berakibat pada turunnya kekuatan suatu material. Dari gambar hasil SEM juga terlihat tidak terdapat void pada permukaan *feedstock* Cu/PA6. Tidak adanya void pada hasil SEM *feedstock* tersebut menandakan matriks dapat melapisi seluruh permukaan serbuk dengan baik. *Mechanical interlocking* yang baik pada permukaan antarmuka matriks dengan serbuk diperkirakan akan terbentuk dengan tidak adanya void tersebut (Chawla, 2004).

Pada **Tabel 4.4**, tampak hasil morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan variasi kecepatan screw 2,1 rpm pada setiap temperturnya. Berdasarkan hasil SEM untuk *feedstock* dengan parameter temperatur 210-240 °C, terlihat adanya void yang terbentuk. Adanya void dapat berpengaruh pada sifat mekanik material tersebut. Banyaknya void yang terbentuk maka dapat semakin menurunkan sifat mekanik dari material tersebut. Pada morfologi *feedstock* dengan temperatur 220-250 °C, dari gambar tersebut terlihat permukaan *feedstock* dengan parameter ini hampir tidak memiliki void dibandingkan dengan *feedstock* dengan temperatur 210-240 °C. Tidak adanya void pada hasil SEM *feedstock* tersebut menandakan matriks dapat melapisi seluruh permukaan serbuk dengan baik. Dengan tidak adanya void, akan mempengaruhi sifat mekanik dari *feedstock* tersebut. Berdasarkan German, adanya void dapat menurunkan sifat mekanik karena dapat mengakibatkan konsentrasi tegangan sehingga mudah untuk lokalisasi tegangan dan deformasi plastis.

Dari pengamatan yang dilakukan terhadap hasil dari pengujian SEM *feedstock* Cu/PA6 untuk semua variasi kecepatan screw dan temperatur, terdapat beberapa hasil *feedstock* Cu/PA6 yang memiliki void. Terjadinya void dapat disebabkan oleh pelelehan poliamida 6 yang kurang sempurna, sehingga tidak dapat mengisi ruang kosong pada serbuk Cu sepenuhnya. Void yang terdapat pada *feedstock* Cu/PA6 dapat mempengaruhi sifat mekanik dari *feedstock* tersebut. Maka dari itu, temperatur yang digunakan pada proses sangat berpengaruh karena dibutuhkan

untuk menghasilkan lelehan PA6 yang optimal. Selain adanya void, juga terdapat beberapa hasil feedstock yang memiliki aglomerasi. Adanya aglomerasi serbuk Cu dapat meningkatkan viskositas yang dimiliki oleh feedstock tersebut sehingga *flowability* dari *feedstock* tersebut menurun (Li et al., 2007).

4.4 Analisa Pengaruh Kecepatan Screw dan Temperatur terhadap Sifat Reologi Feedstock Cu/PA6

Dalam penelitian ini, feedstock Cu/PA6 yang dihasilkan perlu memiliki viskositas yang sesuai dengan proses *Injection Molding*. Dalam *injection molding*, karakteristik reologi feedstock merupakan faktor krusial agar dapat diproses dengan baik. Dalam proses metal injection molding (MIM), viskositas merupakan sifat reologi yang paling penting. Untuk menghasilkan produk MIM yang bebas cacat, maka viskositas perlu diatur dalam rentang nilai tertentu. Nilai viskositas yang dipersyaratkan untuk proses injection molding yaitu dibawah 1000 Pa.s.. Semakin rendah nilai viskositas, maka mengindikasikan *feedstock* tersebut mudah mengalir dalam proses. Maka dilakukan perhitungan viskositas relatif terhadap feedstock Cu/PA6 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Viskositas pada Temperatur Berbeda

Jenis Feedstock	%Vol Serbuk	Temperatur (°C)	Viskositas Relatif	Viskositas Feedstock
PA6/90Cu	53,24607	230	30,58164	1366,7406
PA6/90Cu	53,24607	253	30,58164	1087,1789
PA6/90Cu	53,24607	276	30,58164	854,2511

Berdasarkan data yang didapatkan dari Autodesk Moldflow, terdapat tiga variasi temperatur poliamida 6 yaitu 230, 253, dan 270. Temperatur tersebut menghasilkan viskositas yang berbeda beda untuk poliamida 6. Setelah data viskositas poliamida 6 didapatkan, maka viskositas *feedstock* dapat ditemukan menggunakan persamaan pada bab 3. Berdasarkan Tabel 4.4, terlihat bahwa semakin rendah temperatur yang digunakan maka semakin tinggi viskositas feedstock yang didapatkan. Hal tersebut juga terjadi pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Huang, 1999). Dimana pada seiring dengan bertambahnya temperatur, maka viskositas material tersebut akan semakin rendah. Dalam *injection molding* pada rentang shear rate 100-10000 s⁻¹, nilai maksimal viskositas untuk lelehan *feedstock* sebesar 1000 Pa.s.. Maka dari itu, berdasarkan **Tabel 4.5**, temperatur yang dapat digunakan sehingga viskositas *feedstock* memenuhi batasan tersebut yaitu 276 °C.

Dari hasil pengujian yang didapat terhadap *feedstock* Cu/PA6, maka dibuat tabulasi hasil pengujian *feedstock* tersebut seperti pada **Tabel 4.6**. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap *feedstock* Cu/PA6, maka dibuat tabulasi seperti pada Tabel 4.6. **Dari hasil pengujian yang** Dari tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan tekan dan kekerasan pada semua variasi *feedstock* memenuhi standar nilai yang dibutuhkan. Dari hasil penelitian ini, variasi *feedstock* dengan parameter ekstrusi kecepatan screw 2,1 rpm dan temperatur 220-250 memiliki nilai kekuatan tekan dan kekerasan tertinggi sebesar 137,5 MPa dan 80,43 HV

Tabel 4.6 Tabulasi *Feedstock* Cu/PA6

Parameter Feedstock	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekerasan (HV)	Viskositas	Hasil
Referensi	31-310 (Kruachatturat, 2009)	54-119 HV (Kruachatturat, 2009)	1000 Pa.s. (Afrilinda, 2017)	
1,7 rpm; 210-240 °C	101,37	60,70	-	✓
1,7 rpm; 220-250 °C	101,67	65,90	-	✓
1,7 rpm; 230-260 °C	91,59	56,50	-	✓
1,9 rpm; 210-240 °C	116,17	61,00	-	✓
1,9 rpm; 220-250 °C	134,32	70,53	-	✓
1,9 rpm; 230-260 °C	113,78	57,00	-	✓
2,1 rpm; 210-240 °C	127,74	67,60	-	✓
2,1 rpm; 220-250 °C	137,50	80,43	-	✓
2,1 rpm; 230-260 °C	111,67	64,47	-	✓

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai analisis pengaruh temperatur dan kecepatan screw proses ekstrusi terhadap sifat reologi dan sifat mekanik *feedstock* proyektil *frangible*, didapatkan hasil kekuatan tekan, kekerasan, dan viskositas yang berbeda untuk setiap variasi yang digunakan. Sehingga kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Pada proses ekstrusi *feedstock* Cu/PA6, *feedstock* dengan variasi kecepatan screw 2,1 rpm dan temperatur 220-250 menghasilkan nilai kekuatan tekan dan kekerasan tertinggi sebesar 137,5 MPa dan 80,43 HV. Nilai tersebut masuk dalam batasan nilai kekuatan tekan dan kekerasan yang ideal untuk material proyektil *frangible* yaitu 31-310 Mpa dan 54-119 HV Selain itu, pada semua variasi kecepatan screw, *feedstock* dengan temperatur 220-250 °C memiliki kekuatan tekan paling tinggi dibandingkan dengan *feedstock* dengan temperatur 210-240 °C dan 230-260 °C.
2. Nilai viskositas berkurang seiring dengan tingginya temperatur yang digunakan. Dalam hal ini, viskositas *feedstock* yang dapat memenuhi batasan nilai viskositas sesuai untuk injection molding yaitu menggunakan temperatur 276 °C.

4.2 Saran

Pada penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sehingga dapat menambah kualitas penelitian menjadi lebih baik. Adapun saran yang diberikan adalah sebagai berikut.

1. Untuk dapat memenuhi standar injection molding, dapat dilakukan pengujian *melt flow index* (MFI) juga selain perhitungan viskositas terhadap *feedstock* yang telah diproduksi
2. Menggunakan mesin ekstrusi dengan kapasitas kecepatan screw yang lebih tinggi, sehingga dapat menggunakan variasi kecepatan screw yang lebih luas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *feedstock* yang diproduksi
3. Dapat dilakukan pengujian *Scanning Electrone Microscopy* (SEM) pada spesimen uji tekan dan kekerasan sehingga hasil morfologi dapat dijadikan data pendukung hasil pengujian sifat mekanik *feedstock*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Afrilinda, ST., MT., E., Virhdian, S., & Doloksaribu, M. (2017). Studi Awal Pembuatan Feedstock Metal Injection Moulding Menggunakan Torque Rheometer. *Metal Indonesia*, 39(1), 33. <https://doi.org/10.32423/jmi.2017.v39.33-44>
- Al., B. et. (1993). Frangible Practice Ammunition.
- Al., W. et. (1998). Lead-Free Frangible Ammunition.
- Azmi, M. U. (2016). Desain Proses Produksi Proyektil Frangible dengan Proses Metalurgi Serbuk.
- Baird, D. G. et al. (n.d.). Applied Polymer Rheology Applied Polymer Polymeric Fluids with Industrial.
- Callister, W. D. (1991). Materials science and engineering: An introduction (2nd edition). In *Materials & Design* (Vol. 12, Issue 1). [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)
- Capone, C. et al. (2007). Thermal and Mechanical Degradation During Polymer Extrusion Processing. *Society*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/pen>
- Chawla, K. K. (2004). Composite materials. In *Chemical and Engineering News* (Vol. 82, Issue 35). <https://doi.org/10.1021/cen-v082n035.p034>
- Dewanto, H. A. (2015). Pengaruh Persen Massa Poliamida-6 dan Temperatur Sintering Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Proyektil Komposit Tembaga – Poliamida (Cu-PA6).
- Ding, Y., Abeykoon, C., & Perera, Y. S. (2022). The effects of extrusion parameters and blend composition on the mechanical, rheological and thermal properties of LDPE/PS/PMMA ternary polymer blends. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4, 100067. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2021.100067>
- Faisal, R. A., & Herianto. (2019). Analisis Pengaruh Parameter Operasional Mesin Ekstrusi Terhadap Konsistensi Produk Filamen. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada*.
- Falah, F. M. (2018). Pengaruh Jenis Polimer dan WT% Tembaga Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Material Komposit Tembaga/Polimer Sebagai Kandidat Material Peluru Frangible.
- German, R. M. (2016). Particulate composites: Fundamentals and applications. In *Particulate Composites: Fundamentals and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29917-4>
- Giles, H. F., Wagner, J. R., & Mount, E. M. (2005). Extrusion: the definitive processing guide and handbook. In *New York* (Issue November). <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Extrusion++The+Definitive+Processing+Guide#0>
- Goff, J., Whelan, T., & Delaney, D. (2000). *Dynisco Processors* (Vol. 2).
- Groover, M. P. (2013). Fundamental of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Han, C. D. (2007). *Rheology and Processing of Polymeric Material*.
- Handranto, L. (2018). Penentuan Level Parameter Proses Mesin Extruder Dalam Pembuatan Produk Hasil Daur Ulang Botol Plastik PET.
- Hansen. (2008). Bullet Composition. *United State Patent*, 2(12).
- Hartanto, Y. (2015). Karakteristik Rheologi Petis Berbasis Kepala dan Kulit Udang. *Engineering Science*, 2, 1–40.
- Hong, S., Sanchez, C., Du, H., & Kim, N. (2015). Fabrication of 3D Printed Metal Structures by Use of High-Viscosity Cu Paste and a Screw Extruder. *Journal of Electronic Materials*, 44(3), 836–841. <https://doi.org/10.1007/s11664-014-3601-8>

- Ikam, B. (2016). Pengaruh Temperatur Dan Line Speed Pada Proses Pembuatan Kabel Optik Yang Mengalami Kecacatan Diselubung Kabel Pada Mesin Extruder. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 1. <https://doi.org/10.22441/jtm.v5i2.709>
- Kaw, A. K. (2006). *Mechanic of Composite Material Second Edition*. In Taylor & Francis Group, LLC. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05224-9>
- Kelter, R. (2011). *Cast Bullet Alloys & Alloy Maintenance*. 1–15.
- Komenda, J., Hejna, P., Rydlo, M., Novák, M., Krajsa, J., Racek, F., Rejtar, P., & Jedlička, L. (2013). Forensic and clinical issues in the use of frangible projectile. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 20(6), 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2013.04.006>
- Kruachaturrat, S., Thanomsilp, C. & Wattanasiriwech, S. (2009). Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets. *The 3rd Thailand Metallurgy Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development*.
- Kulshreshtha, A. K. (2002). *Handbook of Polymer Blends and Composites, Volume 1* (Vol. 1, Issue 0). <https://books.google.com/books?id=k8lWp2Z33yQC&pgis=1>
- Kumar, R., Kumar, V., Singh, M., & Kumar, P. (2020). On Twin Screw Extrusion of Mn Doped ZnO Nanoparticles-Nylon 6 Thermoplastic Composites for Fused Filament Fabrication. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820352-1.00048-1>
- Liu, Z. Y., Loh, N. H., Tor, S. B., & Khor, K. A. (2003). Characterization of powder injection molding feedstock. *Materials Characterization*, 49(4), 313–320. [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(02\)00282-6](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(02)00282-6)
- Malkin, A. Y., & Isayev, A. (2017). *Rheology. Concepts, Methods, and Applications: Concepts, Methods, and Applications: 3rd Edition*. In *Rheology. Concepts, Methods, and Applications: 3rd Edition*.
- Martinez, C. (2013). (12) *United States Patent*. 2(12).
- Mates, S. P., Rhorer, R., Banovic, S., Whitenton, E., & Fields, R. (2006). High rate tensile strength measurements of frangible bullets using a Kolsky bar. *Proceedings of the 2006 SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics 2006*, 3(1), 1190–1198.
- Minh Do, V., Son Bui, X., Komenda, J., Vítek, R., & Skalický, P. (2019). Optimization of production process of frangible bullets based on bismuth powder. *Advances in Military Technology*, 14(2), 186–196. <https://doi.org/10.3849/aimt.01224>
- Moon, A. P., Dwarapudi, S., Sista, K. S., Kumar, D., & Sinha, G. R. (2021). Opportunity and challenges of iron powders for metal injection molding. *ISIJ International*, 61(7), 2015–2033. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-050>
- Mulyana, I. S. (2020). *Analisis Pengaruh Temperatur Pada Barell Terhadap Hasil Ekstrusi Dengan Material Daur Ulang Kulit Kabel PVC*. 14, 2013–2015.
- Nadkarni et al. (2003). Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same. In *United State Patent*.
- Özkan Gülsoy, H., & Taşdemir, M. (2006). Physical and mechanical properties of polypropylene reinforced with Fe particles. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 55(8), 619–626. <https://doi.org/10.1080/00914030500257664>
- Rauwendaal, C. (2018). Understanding Extrusion. In *Understanding Extrusion*. <https://doi.org/10.3139/9781569906996.fm>
- Ren, F., Zhou, R., Sun, F., Ma, H., Zhou, Z., & Xu, W. (2017). Blocked isocyanate silane modified Al₂O₃/polyamide 6 thermally conductive and electrical insulation composites with outstanding mechanical properties. *RSC Advances*, 7(47), 29779–29785. <https://doi.org/10.1039/c7ra04454b>

- Rosato, D. V. (2004). Injection Molding Handbook. In *Plastic Product Material and Process Selection Handbook* (Issue Chapter 5).
- Santos, C., Gatões, D., Cerejo, F., & Vieira, M. T. (2021). Influence of metallic powder characteristics on extruded feedstock performance for indirect additive manufacturing. *Materials*, *14*(23). <https://doi.org/10.3390/ma14237136>
- Singh, R., Singh, S., & Hashmi, M. S. J. (2017). Polymer Twin Screw Extrusion With Filler Powder Reinforcement. In *Encyclopedia of Materials: Composites*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.04162-x>
- Singh, S., & Singh, R. (2016). Experimental investigations for use of nylon6 industrial waste as FDM feedstock filament for investment casting applications. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, *23*(2–3), 181–187.
- Sonoda, K., Moriya, Y., & Jantunen, H. (2011). Dielectric property of Cu powder/polymer composites. *Materials Science- Poland*, *29*(1), 63–69. <https://doi.org/10.2478/s13536-011-0011-y>
- Zhang, H., Chen, L., Han, X., Jiang, F., Sun, H., & Sun, D. (2017). Enhanced mechanical properties of Nylon6 nanocomposites containing pristine α -zirconium phosphate nanoplatelets of various sizes by melt-compounding. *RSC Advances*, *7*(52), 32682–32691. <https://doi.org/10.1039/c7ra05458k>

LAMPIRAN

Hasil Pengujian Tekan

Kecepatan screw (rpm)	Temperatur (°C)	Nilai Uji Tekan (MPa)
1,7	210 – 240	101,37
	220 -250	101,67
	230 – 260	91,59
1,9	210 – 240	116,17
	220 -250	134,32
	230 – 260	113,78
2,1	210 – 240	127,74
	220 -250	137,50
	230 – 260	111,67

A. Grafik hasil pengujian tekan feedstock dengan variasi 1,7 rpm/210-240

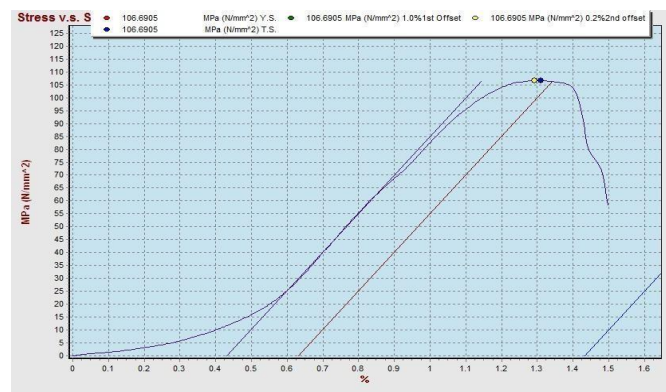
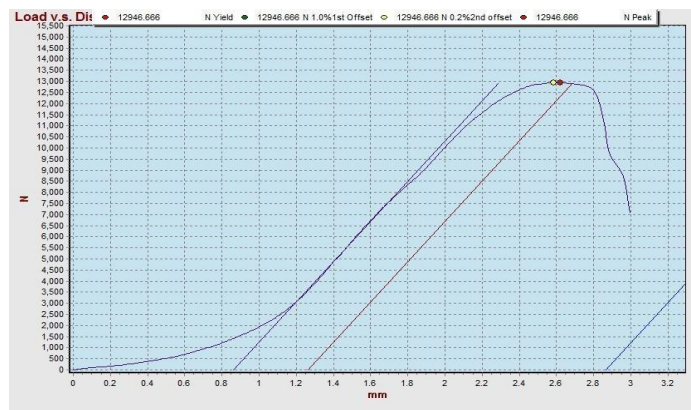
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 1-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	12946,67	12946,67	106,69	106,69



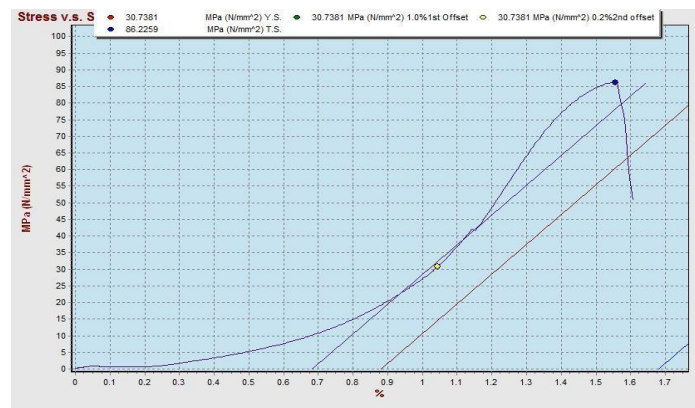
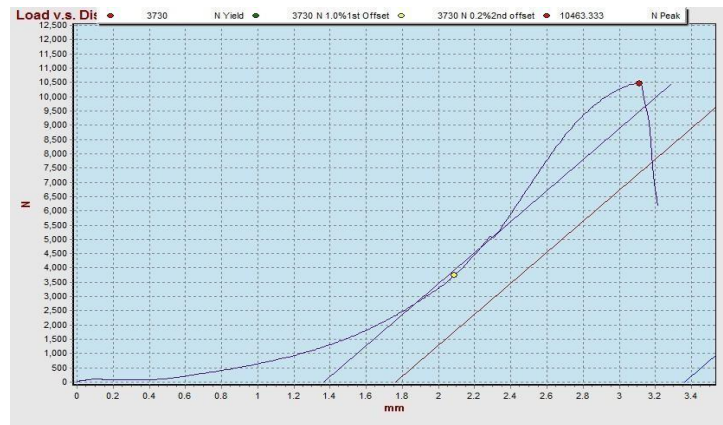
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 1-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2	3730.0	10463,33	30,74	86,23



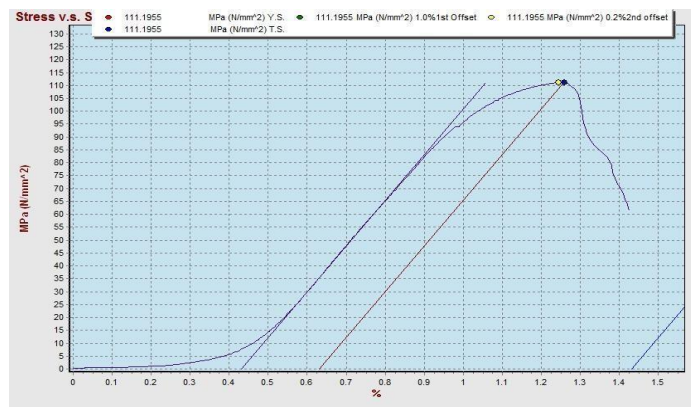
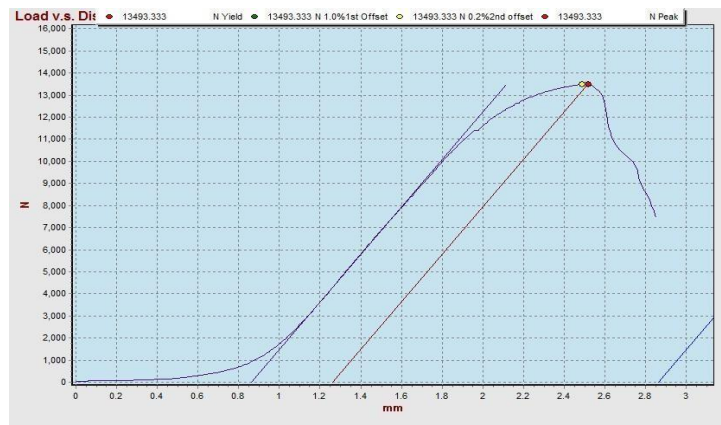
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 1-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3	13493,33	13493,33	111,19	111,19



B. Grafik hasil pengujian tekan feedstock dengan variasi 1,7 rpm/220-250

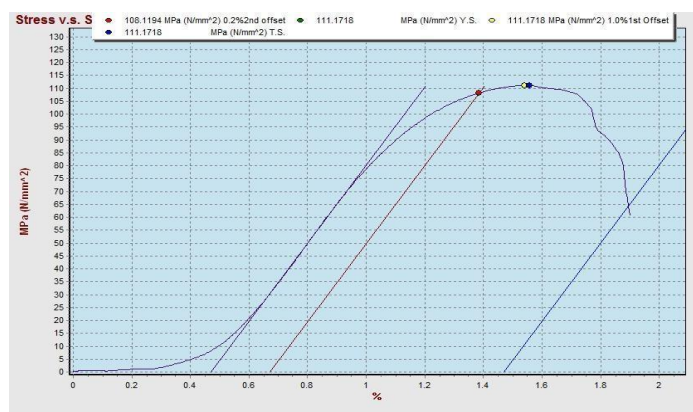
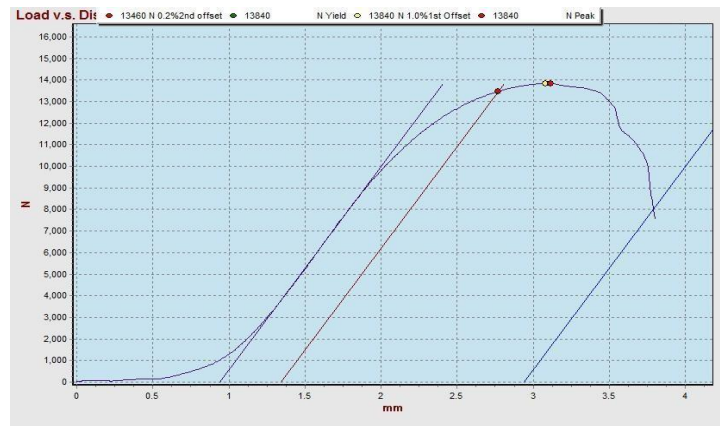
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 2-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	13460.0	13840.0	108,12	111,17



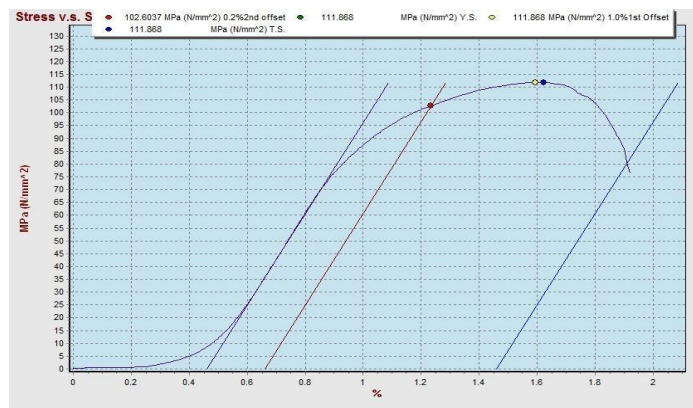
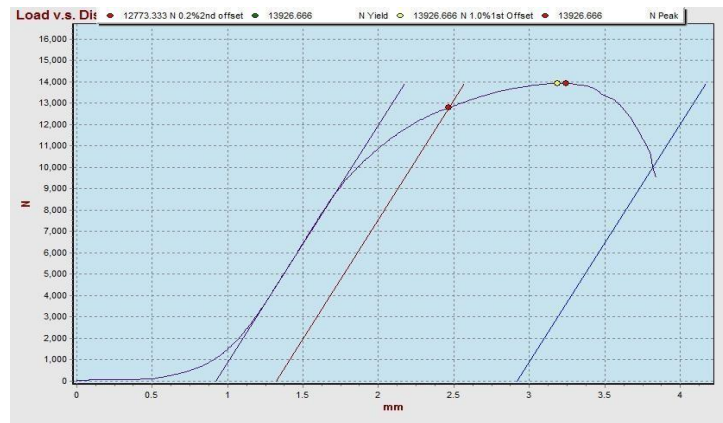
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 2-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2	12773,33	13926,67	102,60	111,87



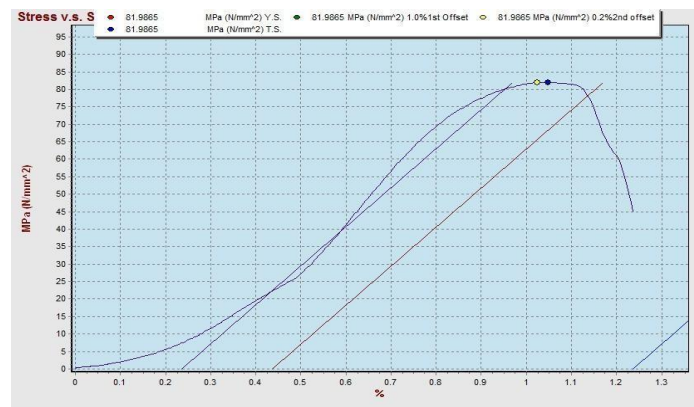
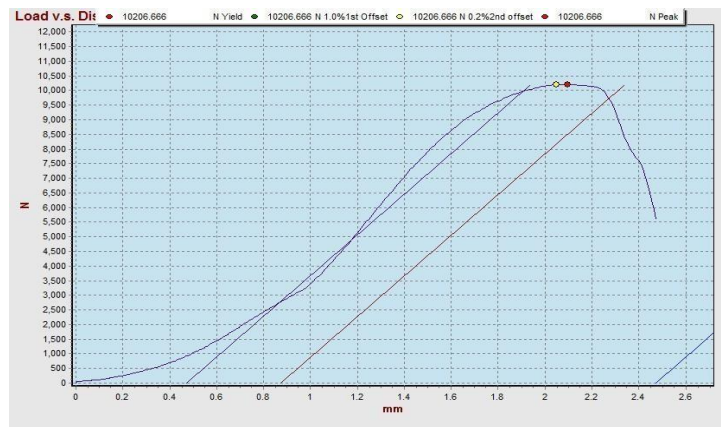
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 2-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3	10206,67	10206,67	81,99	81,99



C. Grafik pengujian tekan feedstock 1,7 rpm/230-260

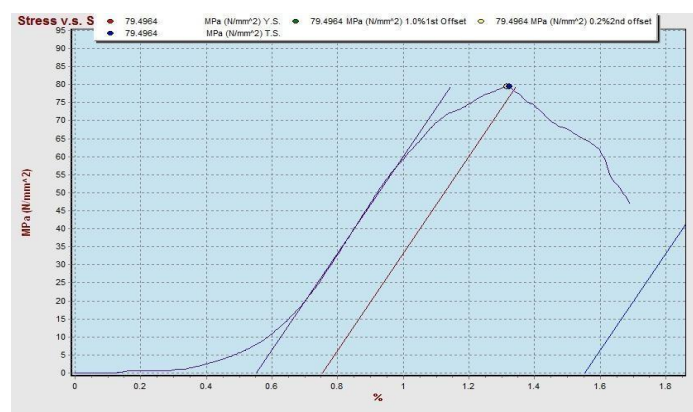
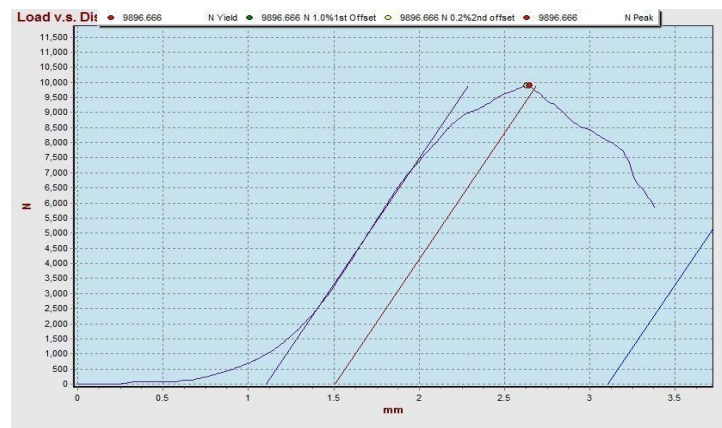
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 3-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	9896,67	9896,67	79,50	79,50



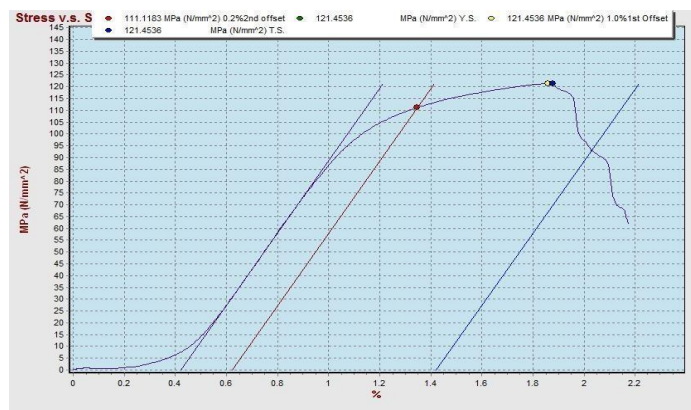
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 3-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2	13833,33	15120.0	111,12	121,45



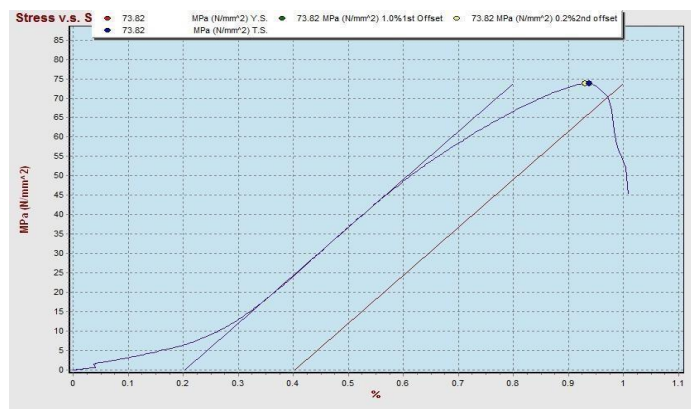
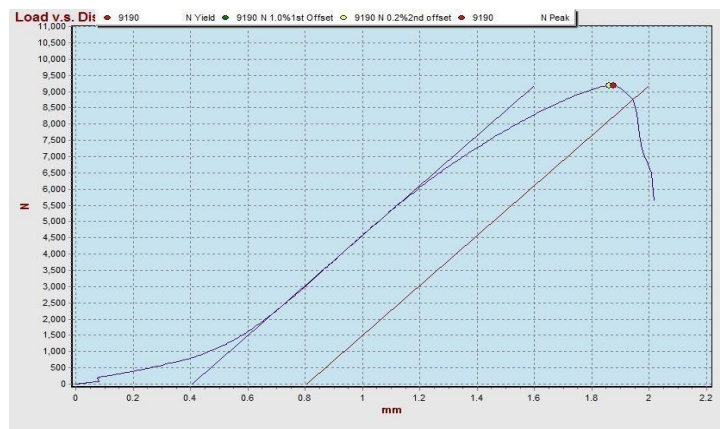
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 3-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3	9190.0	9190.0	73,82	73,82



D. Grafik pengujian tekan feedstock 1,9 rpm/210-240

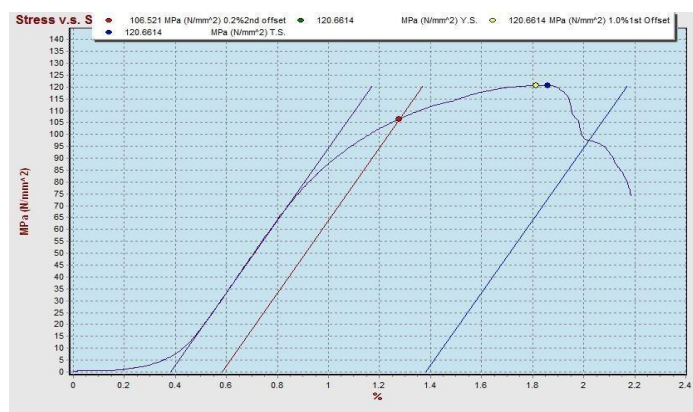
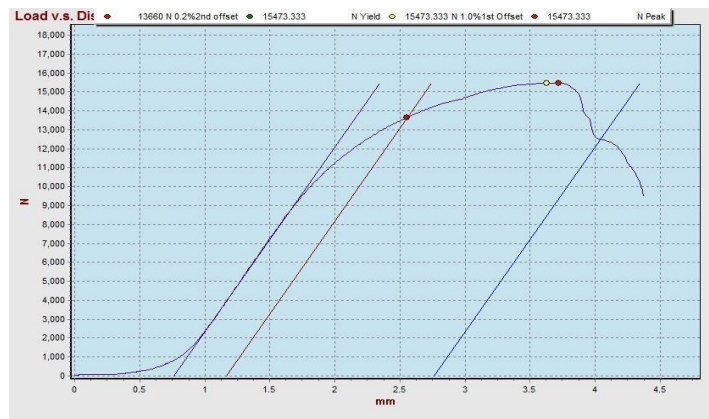
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 4-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	13660.0	15473,33	106,52	120,66



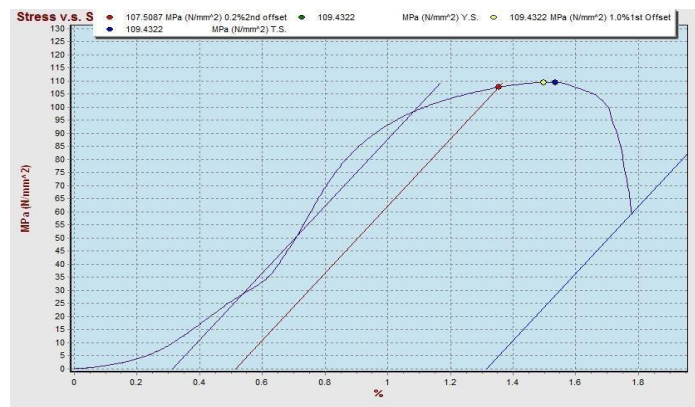
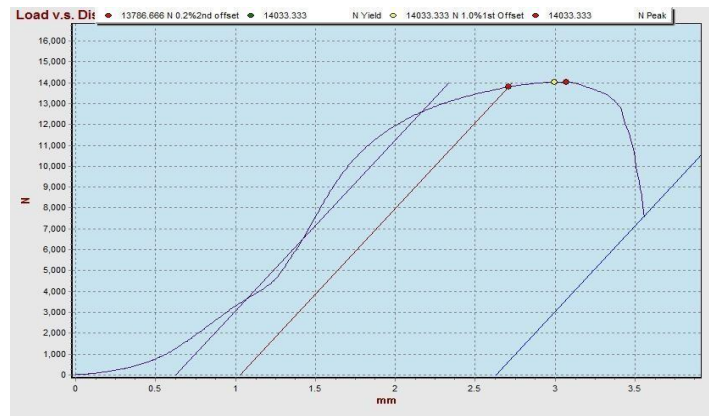
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 4-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2	13786,67	14033,33	107,51	109,43



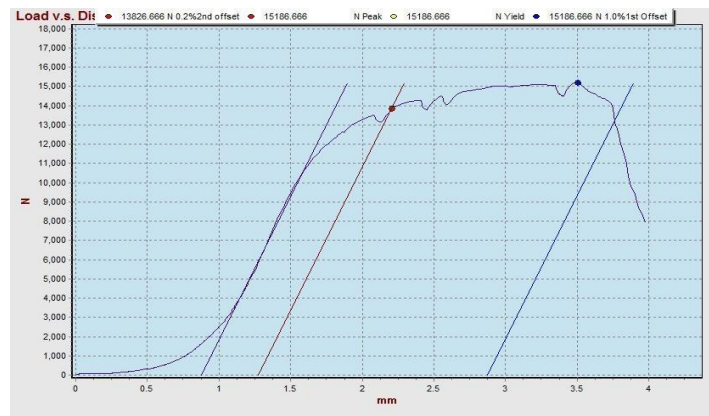
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 4-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3	13826,67	15186,67	107,82	118,43



E. Grafik pengujian tekan feedstock dengan variasi 1,9 rpm/220-250

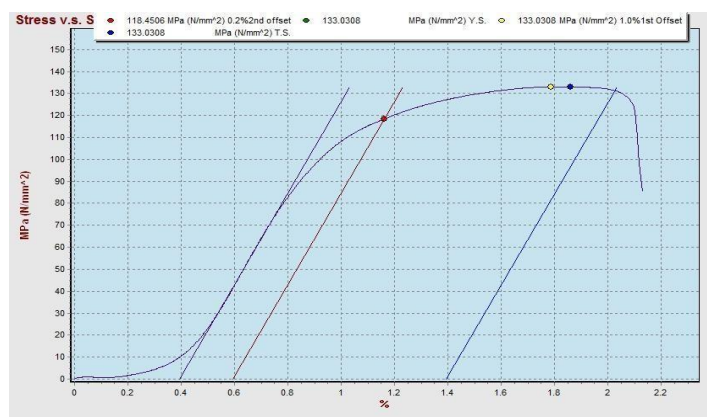
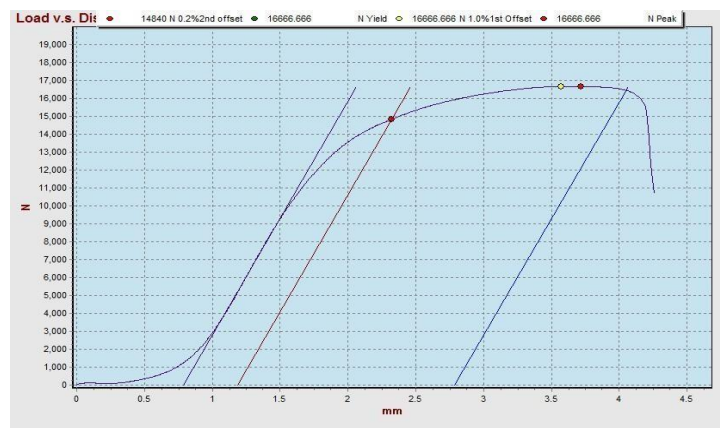
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 5-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	14840.0	16666,67	118,45	133,03



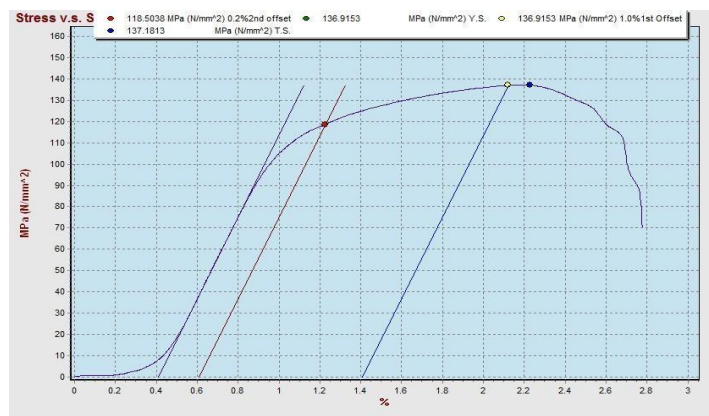
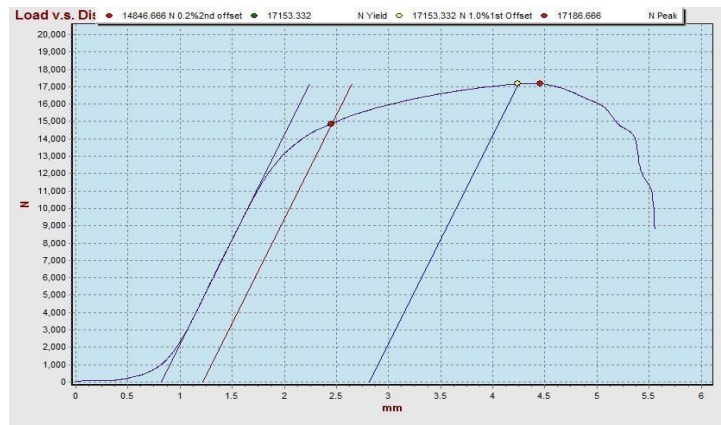
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 5-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2	14846,67	17186,67	118,50	137,18



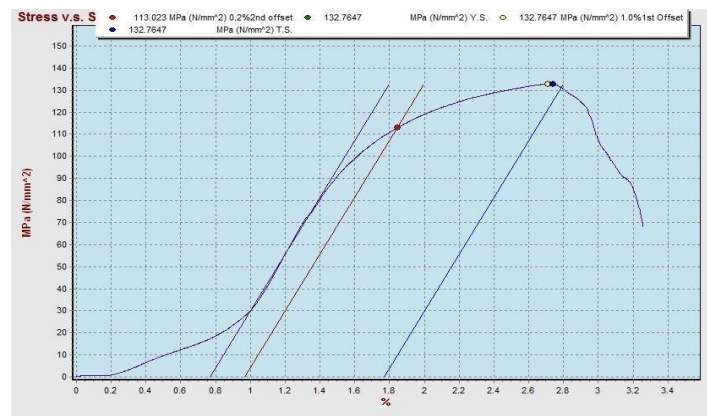
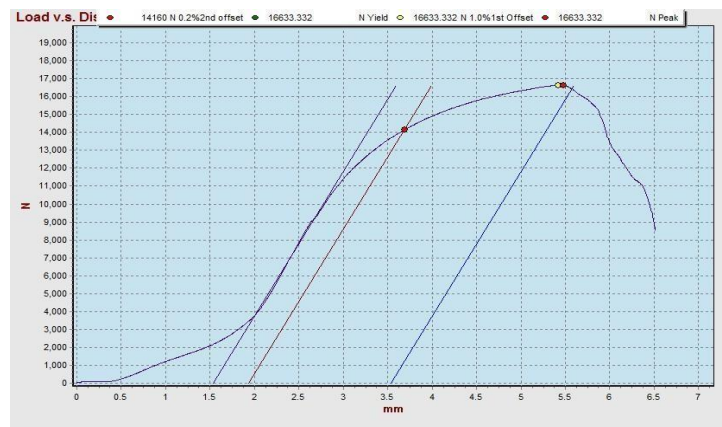
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 5-

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3	14160.0	16633,33	113,02	132,76



F. Grafik pengujian tekan feedstock dengan variasi 1,9 rpm/230-260

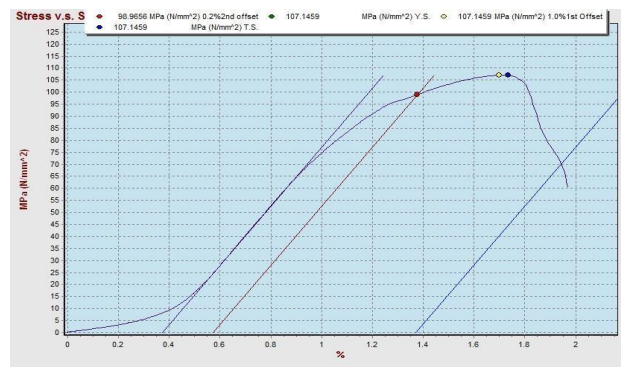
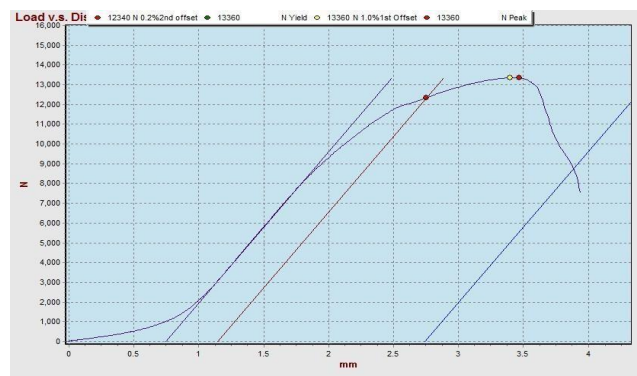
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 6

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	12340,00	13360,00	98,97	107,15



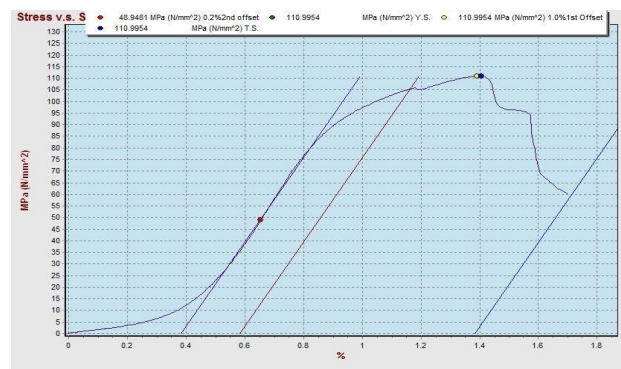
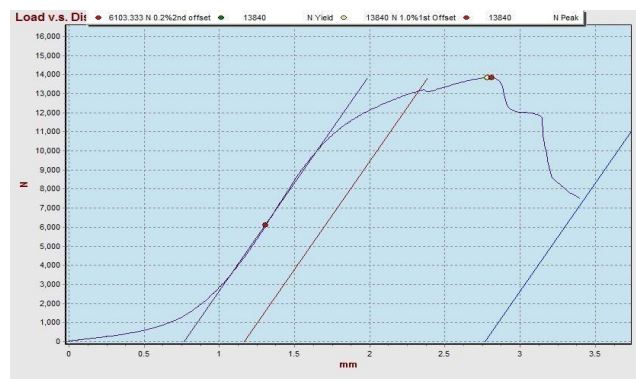
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 6

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2.	6103,33	13840,00	48,95	110,99



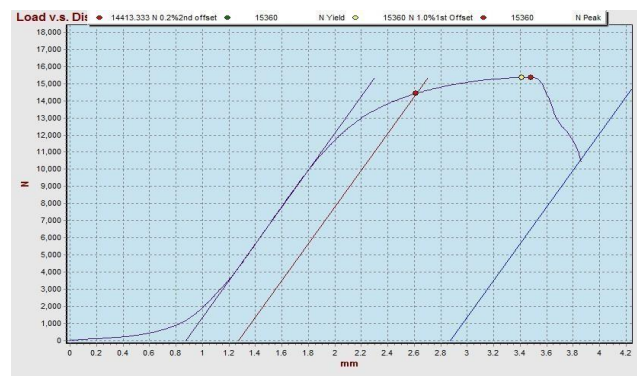
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 6

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3.	14413,33	15360,00	115,59	123,19



G. Grafik pengujian tekan feedstock dengan variasi 2,1 rpm/210-240

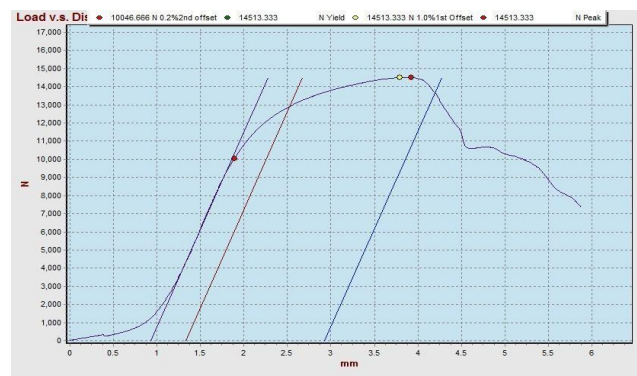
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 7

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	10046,67	14513,33	80,57	116,39



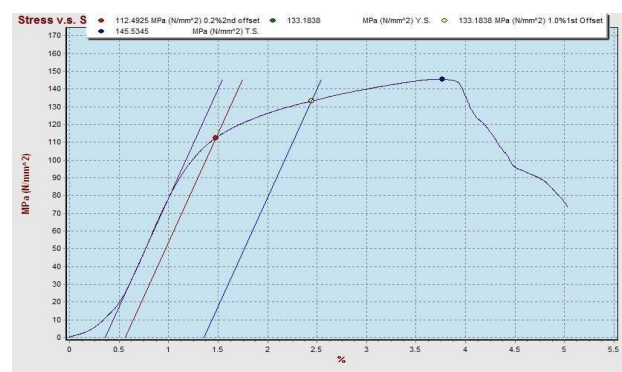
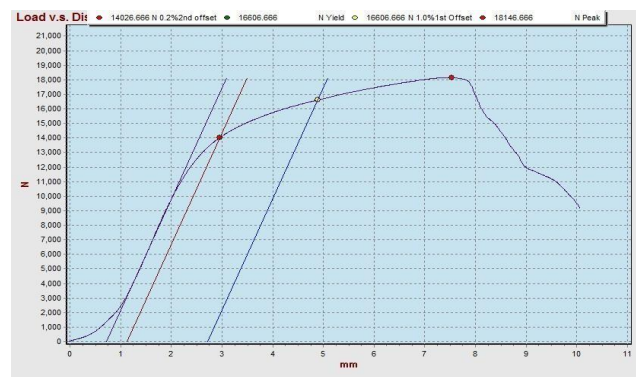
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 7

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2.	14026,67	18146,67	112,49	145,53



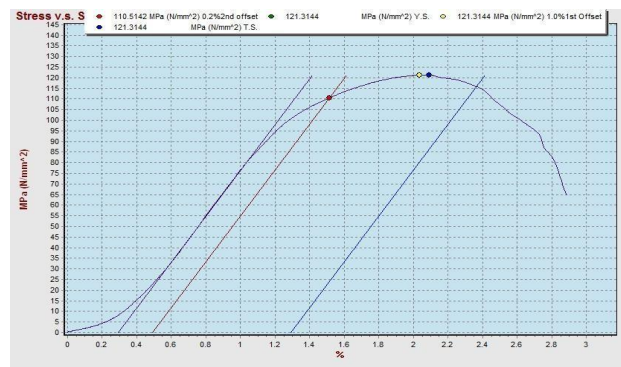
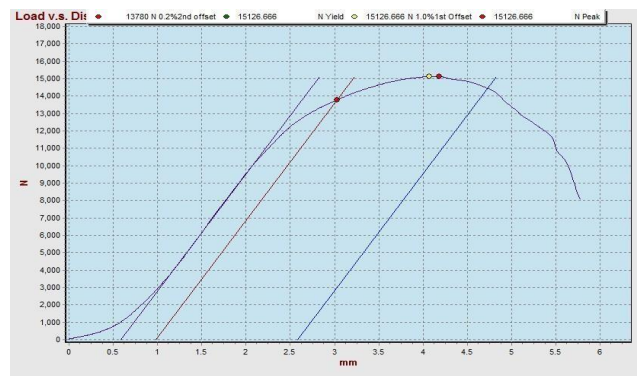
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 7

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3.	13780,00	15126,67	110,51	121,31



H. Grafik pengujian tekan feedstock dengan variasi 2,1 rpm/220-250

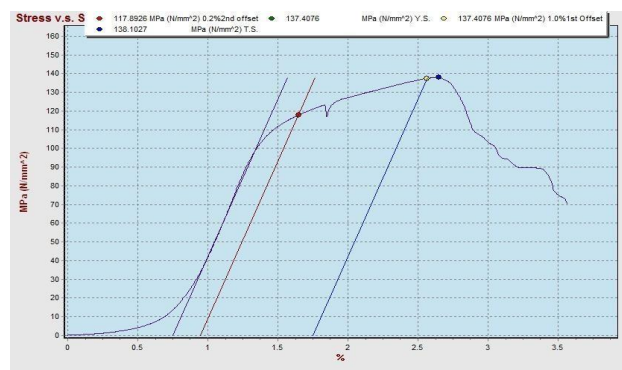
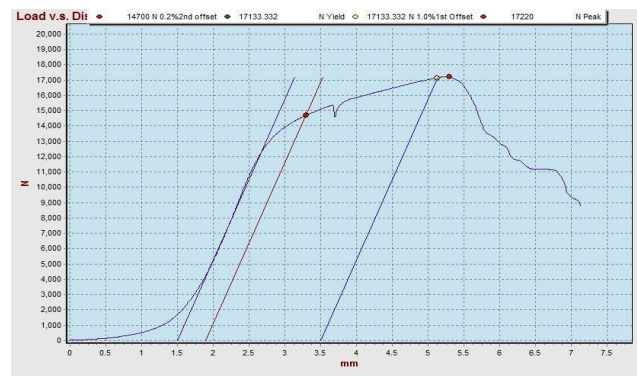
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 8

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	14700,00	17220,00	117,89	138,10



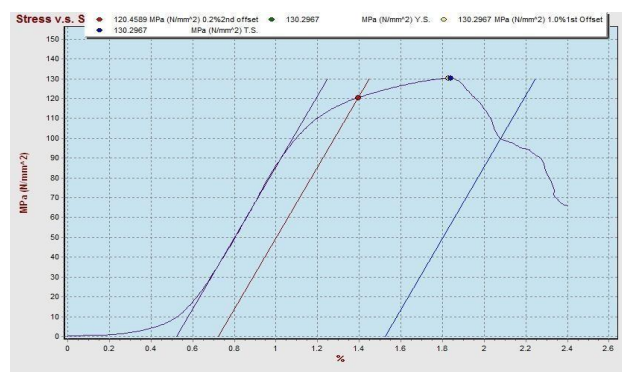
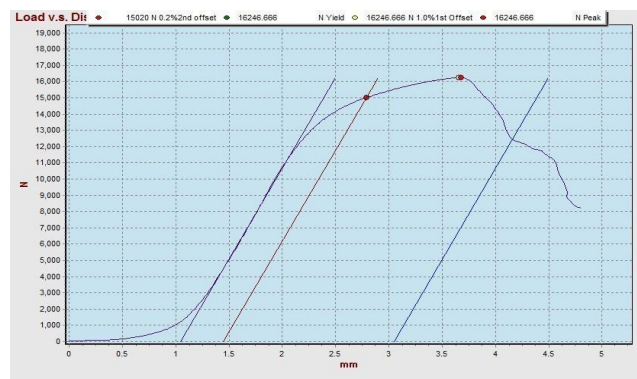
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 8

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2.	15020,00	16246,67	120,46	130,30



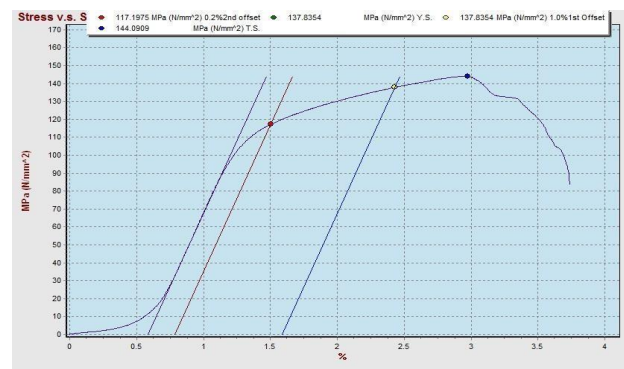
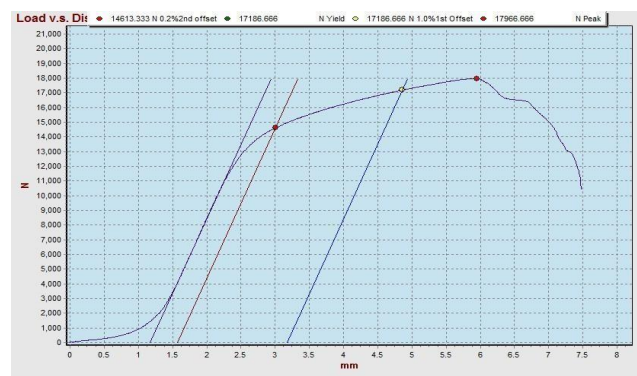
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 8

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3.	14613,33	17966,67	117,20	144,09



I. Grafik pengujian tekan feedstock dengan variasi 2,1 rpm/230-260

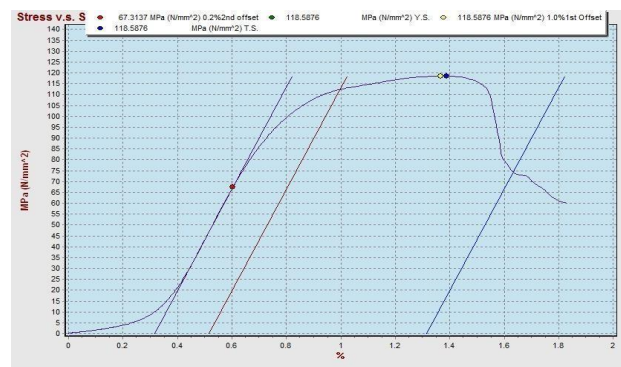
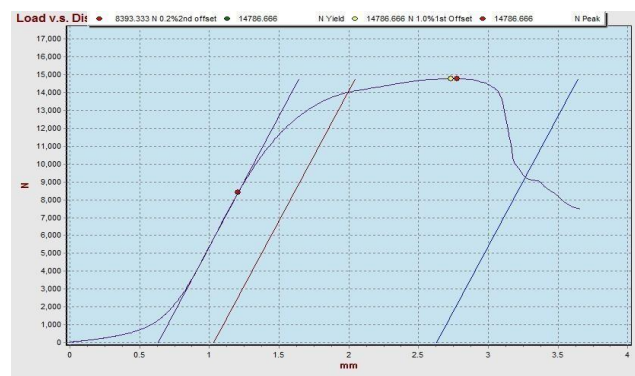
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 9

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
1.	8393,33	14786,67	67,31	118,59



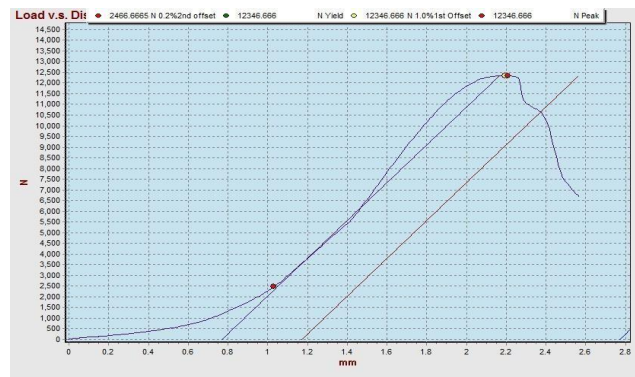
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 9

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
2.	2466,67	12346,67	19,78	99,02



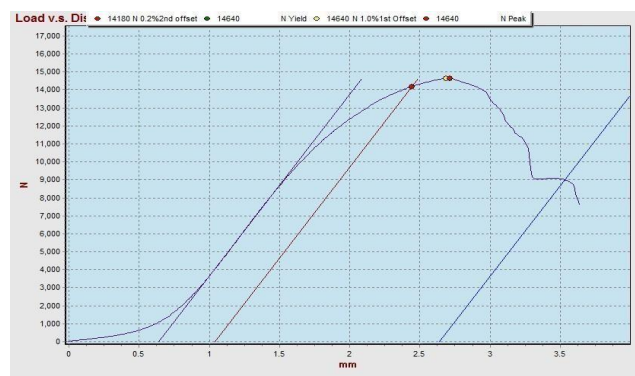
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tekan
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample 9

No.	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength
Spec	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
3.	14180,00	14640,00	113,72	117,41



Hasil Pengujian Kekerasan

Kecepatan screw (rpm)	Temperatur (°C)	Nilai Kekerasan (HV)
1,7	210 - 240	60,70
	220 -250	65,90
	230 - 260	56,50
1,9	210 - 240	61,00
	220 -250	70,53
	230 - 260	57,00
2,1	210 - 240	67,60
	220 -250	80,43
	230 - 260	64,47

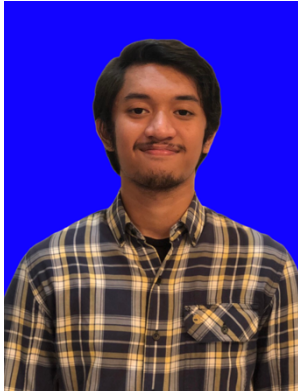
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak maka, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada orang-orang yang telah berperan penting dan membantu dalam proses ini. Diantaranya adalah:

1. Kedua orangtua penulis Bapak Firman Hidranto dan Ibu Erna Lestari serta keluarga besar yang telah memberikan doa, motivasi, dan dukungan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir hingga dapat terselesaikan.
2. Kepada teman teman MT20 yang selalu memberikan semangat dan menemani selama penelitian Tugas Akhir dilakukan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Mochamad Ichwan Al Shafa. Penulis lahir di Jakarta pada 8 November 2000 dari orang tua bernama Firman Hidranto dan Erna Lestari. Penulis merupakan anak satu satunya dalam keluarga. Pendidikan formal penulis mulai ditempuh dari SD Al Fath Cirendeu, SMP Labschool Kebayoran, SMA Labschool Kebayoran, dan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Penulis pernah mengikuti kegiatan kerja praktik di Divisi Engineering PT. Astra Honda Motor. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa kegiatan intra dan ekstra kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Biro Strategic Relation di Himpunan Mahasiswa Teknik Material & Metalurgi (HMMT) FTIRS-ITS dan staf Event National Association of Corrosion Engineer (NACE) ITS. Dalam kegiatan *event*, penulis pernah menjadi bagian dalam beberapa event seperti Isometric 2019 sebagai staf sponsorship division dan sebagai Co-Lead Organizer & Licensee dalam TEDxITS 2020.

Berbagai kegiatan yang diikuti oleh penulis selama menjadi mahasiswa senantiasa memberikan sumbangsih yang besar dalam mengasah kemampuan *hardskill*, *softskill* dan jejaring yang dibutuhkan dalam kehidupan.

Pertanyaan, kritikan, dan masukan terhadap penelitian Tugas Akhir penulis dapat ditanyakan dan dilayangkan melalui alamat yang tertera. Terima kasih.

Nomor HP : 087883786886
Email : shafaichwan43@gmail.com