

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ZAT ADITIF
MAGNESIUM STEARAT DAN GLYCERIN MONO STEARATE
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT REOLOGI
FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE**

ADITYA BRAMANTYO WICAKSONO
NRP. 02511840000131

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.
NIP. 198302012008122002

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 KOMPOSISI ZAT ADITIF
MAGNESIUM STEARAT DAN GLYCERIN MONO STEARATE
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT REOLOGI
FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE**

ADITYA BRAMANTYO WICAKSONO
NRP. 02511840000131

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.
NIP. 198302012008122002

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 – TL184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITIVES COMPOSITION
MAGNESIUM STEARATE AND GLYCERIN MONO
STEARATE ON MECHANICAL AND REOLOGICAL
PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTIL FEEDSTOCK**

ADITYA BRAMANTYO WICAKSONO
NRP. 02511840000131

Advisor

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

NIP. 197906202006042001

Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.

NIP. 198302012008122002

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 blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ZAT ADITIF MAGNESIUM STEARAT DAN GLYCERIN MONO STEARATE TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT REOLOGI FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE

TUGAS AKHIR

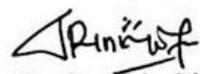
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ADITYA BRAMANTYO WICAKSONO**
NRP. 02511840000131

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
2. Rindang Fajarin S.Si., M.Si
3. Ir.Moh.Farid, DEA
4. Dr.Eng.Hosta Ardhyanta, S.T.M.Sc


Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji



SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITIVES COMPOSITION MAGNESIUM STEARATE AND GLYCERIN MONO STEARATE ON REOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTIL 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

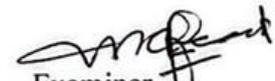
By : **ADITYA BRAMANTYO WICAKSONO**
NRP. 02511840000131

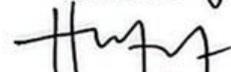
Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
2. Rindang Fajarin S.Si., M.Si
3. Ir.Moh.Farid, DEA
4. Dr.Eng.Hosta Ardhyananta, S.T.M.Sc


Advisor


Co-Advisor


Examiner


Examiner

SURABAYA
July, 2022



(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Aditya Bramantyo Wicaksono/02511840000131
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. / NIP. 197906202006042001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ZAT ADITIF MAGNESIUM STEARAT DAN GLYCERIN MONO STEARATE TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT REOLOGI 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, 7 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.)
NIP. 197906202006042001

Mahasiswa



(Aditya Bramantyo Wicaksono)
NRP. 02511840000131

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Aditya Bramantyo Wicaksono / 02511840000131
Departement : Material and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si./ NIP. 197906202006042001

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITIVES COMPOSITION MAGNESIUM STEARATE AND GLYCERIN MONO STEARATE ON MECHANICAL AND REOLOGICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTIL 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.

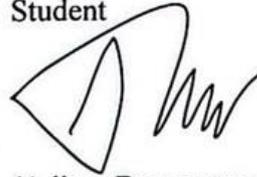
Surabaya, 7 July 2022

Acknowledged
Advisor



(Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.)
NIP. 197906202006042001

Student



(Aditya Bramantyo Wicaksono)
NRP.02511840000131

(This page is intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI ZAT ADITIF MAGNESIUM STEARAT DAN GLYCERIN MONO STEARATE TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT REOLOGI FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE

Nama Mahasiswa / NRP : Aditya Bramantyo Wicaksono / 02511840000131
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing I : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Dosen Pembimbing II : Rindang Fajarin S.Si., M.Si

Abstrak

Proyektil *frangible* merupakan proyektil yang didesain untuk dapat hancur ketika mengenai suatu permukaan. Proyektil *frangible* umumnya terbuat komposit berbasis logam dengan bahan seperti tembaga (Cu) dan Poliamida 6. Proses manufaktur yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan metode ekstrusi untuk membuat *feedstock*. *Feedstock* perlu memiliki kekerasan dan kekuatan tekan yang sesuai, untuk dapat digunakan sebagai proyektil *frangible*. Selain itu, *feedstock* perlu memiliki sifat reologi yang sesuai untuk dapat dilanjutkan dengan *injection molding*. Untuk mendapatkan sifat yang berkualitas untuk proyektil *frangible*, ada beberapa modifikasi yang perlu dilakukan yaitu dengan penambahan zat aditif. Zat aditif yang digunakan pada penelitian ini adalah magnesium stearate sebagai stabilizer dan gliserin monostearate sebagai plasticizer, dengan variasi komposisi 2, 3, dan 4 wt%. Untuk mengetahui sifat mekanik dari *feedstock* dilakukan pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk menganalisis morfologi permukaan *feedstock*, pengujian tekan untuk mengetahui nilai kekuatan *feedstock*, dan pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan *feedstock*. Sifat reologi *feedstock* diestimasi menggunakan persamaan berdasarkan literatur. Hasil pengujian SEM menunjukkan adanya aglomerasi dan void pada sebagian *feedstock* pada variasi yang berbeda. Hasil pengujian tekan dan pengujian kekerasan menunjukkan bahwa terjadi penurunan seiring bertambahnya komposisi zat aditif. Diperoleh nilai kekuatan tekan tertinggi sebesar 98.27 MPa pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 2% dan nilai kekerasan tertinggi sebesar 90.23 HV pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 2%. Adapun berdasarkan perhitungan estimasi viskositas *feedstock*, viskositas berbanding terbalik dengan penambahan persentase komposisi zat aditif. Hal ini mengakibatkan flowability yang lebih baik seiring dengan penambahan persentase komposisi zat aditif. Diperoleh viskositas terendah sebesar 303.2370 Pa.s pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 4%

Kata Kunci: *Feedstock, Zat Aditif, Sifat Mekanik, Reologi*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITIVES COMPOSITION MAGNESIUM STEARATE AND GLYCERIN MONO STEARATE ON MECHANICAL AND REOLOGICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTIL FEEDSTOCK

Student Name / NRP : Aditya Bramantyo Wicaksono / 02511840000131
Departement : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Advisor : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Co-Advisor : Rindang Fajarin S.Si., M.Si

Abstract

A frangible projectile is a projectile that is designed to disintegrate when it hits a surface. Frangible projectiles are generally made of metal-based composites with materials such as copper (Cu) and Polyamide 6. The manufacturing process carried out in this research is the extrusion method to make feedstock. The feedstock needs to have the appropriate hardness and compressive strength, in order to be used as a frangible projectile. In addition, the feedstock needs to have appropriate rheological properties to be able to proceed with injection molding. To obtain quality properties for frangible projectiles, there are several modifications that need to be made, namely the addition of additives. The additives used in this study were magnesium stearate as stabilizer and glycerin monostearate as plasticizer, with various compositions of 2, 3, and 4 wt%. To determine the mechanical properties of the feedstock, a Scanning Electron Microscopy (SEM) test was carried out to analyze the surface morphology of the feedstock, a compression test to determine the strength value of the feedstock, and a hardness test to determine the hardness value of the feedstock. The rheological properties of the feedstock were estimated using equations based on the literature. The results of the SEM test showed that there were agglomerations and voids in some of the feedstocks at different variations. The results of the compression test and hardness test showed that there was a decrease with increasing the composition of the additive. The highest compressive strength value was obtained at 98.27 MPa in Cu/PA6 feedstock with the addition of 2% GMS additive and the highest hardness value was 90.23 HV in Cu/PA6 feedstock with the addition of 2% GMS additive. Meanwhile, based on the calculation of the feedstock viscosity estimation, the viscosity is inversely proportional to the addition of the percentage of additive composition. This results in better flowability along with the addition of the percentage of additive composition. The lowest viscosity was obtained at 303.2370 Pa.s in Cu/PA6 feedstock with the addition of 4% GMS additive.

Keywords: *Feedstock, Additives, Mechanical Properties, Rheology*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir mengenai “**Analisis Pengaruh Komposisi Zat Aditif Magnesium Stearat Dan Glycerin Mono Stearate Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Reologi 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. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama sekaligus dosen wali yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Ibu 2. Rindang Fajarin S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

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, 07 Juli 2022

Penulis



Aditya Bramantyo Wicaksono

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Projektil Frangible	3
2.2 Material Komposit	4
2.3 Zat Aditif	7
2.3.1 Magnesium Stearate	7
2.3.2 Glycerin Mono Stearate	8
2.4 Poliamida 6	9
2.5 Tembaga (Cu)	9
2.6 Ekstrusi	10
2.7 <i>Feedstock</i>	11
2.8 Sifat Rheologi	13
2.9 Penelitian Sebelumnya	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram alir	23
3.2 Bahan Penelitian	24
3.3 Alat Penelitian	26
3.4 Metode Penelitian	26
3.5 Pengujian	29
3.6 Rancangan Penelitian	32
BAB IV Analisa data dan pembahasan	33
4.1 Karakterisasi Bahan	33
4.2 Analisis Proses Pembuatan <i>Feedstock</i> Cu/PA6	36
4.3 Analisa Pengaruh Komposisi dan Jenis Aditif terhadap Sifat Mekanik	39
4.4 Analisa Pengaruh Komposisi dan Jenis Aditif terhadap Reologi	44
BAB V Kesimpulan dan Saran	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-bagian proyektil	3
Gambar 2.2	Proyektil <i>frangible</i>	3
Gambar 2.3	Material komposit.....	4
Gambar 2.4	Material komposit berdasarkan penguatnya	5
Gambar 2.5	Ikatan mekanik pada antarmuka komposit (a) Ikatan mekanik ideal (tanpa void) dan (b) Ikatan mekanik dengan void.....	5
Gambar 2.6	Struktur kimia magnesium stearate	7
Gambar 2.7	Struktur kimia glycerin mono stearate.....	8
Gambar 2.8	Struktur poliamida 6 (PA6)	9
Gambar 2.9	<i>Single screw extruder</i>	10
Gambar 2.10	<i>Twin screw extruder</i>	11
Gambar 2.11	<i>Extrusion screw</i>	11
Gambar 2.12	Feedstock.....	12
Gambar 2.13	Aliran fluida pada lapisan yang berbeda	13
Gambar 2.14	Grafik viskositas beberapa polimer pada temperatur tertentu	13
Gambar 2.15	Viskositas berdasarkan jenis fluida	14
Gambar 2.16	Pengaruh beberapa variabel terhadap viskositas	15
Gambar 2.17	<i>Photomicrographs</i> poliamida dengan penambahan zat aditif (a) MgSt (b) CaSt (c) ZnSt	17
Gambar 2.18	Interaksi antara plasticizer dengan nilon 6	18
Gambar 2.19	Grafik penambahan komposisi GMS terhadap viskositas.....	19
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2	Serbuk magnesium stearate	24
Gambar 3.3	Serbuk glycerin mono stearate	24
Gambar 3.4	Serbuk Poliamida 6.....	25
Gambar 3.5	Serbuk tembaga (Cu).....	25
Gambar 3.6	<i>Barrel extruder</i>	28
Gambar 3.7	<i>Mold</i> dan bagian – bagiannya.....	28
Gambar 3.8	Mesin uji SEM merk HITACHI SU3500	29
Gambar 3.9	<i>Vickers hardness testing</i>	29
Gambar 3.10	Spesimen uji tekan dengan diameter 12,7 mm dan tinggi 25,42 mm.....	30
Gambar 3.11	HT-950 Universal Testing Machine	30
Gambar 3.12	Grafik viskositas PA6 pada temperatur dan shear rate yang berbeda	32
Gambar 4.1	Morfologi serbuk Cu dengan perbesaran (a) 2.500x dan (b) 5.000x.....	33
Gambar 4.2	Hasil Grafik FTIR Poliamida 6	34
Gambar 4.3	Hasil Grafik FTIR Magnesium Stearate	35
Gambar 4.4	Hasil Grafik FTIR Glycerin Mono Stearate	36
Gambar 4.5	Poliamida 6 (a) Sebelum <i>grinding</i> (b) Sesudah <i>grinding</i>	37
Gambar 4.6	Proses ekstrusi feedstock	37
Gambar 4.7	<i>Filament</i> komposit Cu/PA6.....	37
Gambar 4.8	<i>Feedstock</i> komposit Cu/PA6	38
Gambar 4.9	Mesin <i>injection</i>	39
Gambar 4.10	Spesimen uji kekuatan tekan dan kekerasan	39
Gambar 4.11	Grafik hubungan antara komposisi aditif terhadap kekuatan tekan feedstock Cu/PA6.....	40
Gambar 4.12	Grafik hubungan antara komposisi aditif terhadap kekerasan feedstock Cu/PA6	41

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik proyektil frangible secara umum	4
Tabel 2.2	Sifat material magnesium stearat.....	8
Tabel 2.3	Sifat material glycerin mono stearate	9
Tabel 2.4	Sifat material poliamida-6	9
Tabel 2.5	Sifat material tembaga	10
Tabel 2.6	Penelitian sebelumnya mengenai komposisi zat aditif	19
Tabel 2.7	Penelitian sebelumnya mengenai komposisi proyektil <i>frangible</i> dan sifat mekanik	21
Tabel 3.1	Variabel proses penelitian	27
Tabel 3.2	Variabel konstan penelitian	27
Tabel 3.3	Fraksi volume serbuk pada feedstock Cu/PA6.....	31
Tabel 3.4	Rancangan penelitian.....	32
Tabel 4.1	Karakteristik <i>infrared bands</i> poliamida 6.....	34
Tabel 4.2	Karakteristik <i>infrared bands</i> magnesium stearate	35
Tabel 4.3	Karakteristik <i>infrared bands</i> glycerin mono stearate	36
Tabel 4.4	perbandingan hasil feedstock Cu/PA6 dengan penambahan variasi aditif.....	38
Tabel 4.5	Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan penambahan aditif Magnesium Stearate	42
Tabel 4.6	Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan penambahan aditif Glycerin Mono Stearate.....	43
Tabel 4.7	Fraksi volume serbuk dan viskositas relatif feedstock Cu/PA6 penambahan aditif.....	44
Tabel 4.8	Tabulasi hasil penelitian feedstock Cu/PA6.....	44

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyektil *frangible* merupakan sebuah proyektil yang di desain untuk dapat hancur menjadi bagian yang kecil saat menghantam sebuah permukaan. Hal ini digunakan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan akibat pemantulan proyektil tersebut. Menurut penelitian yang telah dilakukan Falah (2018), proyektil *frangibel* pada awalnya merupakan proyektil *Metal Matrix Composite* yang terbuat dari paduan material Cu dan Sn dengan menggunakan metalurgi serbuk. Seiring dengan perkembangan ilmu dan pengetahuan diketahui proyektil *frangible* mulai diteliti untuk menggantikan Sn menjadi *Polymer Matrix Composite* (PMC) sebagai *filler*-nya supaya dapat lebih mudah saat di fabrikasi dan membutuhkan biaya produksi yang lebih rendah. Menurut penelitian yang telah dilakukan Dewanto, proyektil komposit yang terbuat dari poliamida-6 dengan kadar semakin banyak maka nilai densitas akan semakin turun dan porositas akan bertambah. Namun, Poliamida 6 merupakan termoplastik yang direkayasa dengan titik leleh tinggi karena strukturnya yang sangat kristal (Amintowlieh, 2008).

Salah satu proses manufaktur peluru *frangible* yaitu melalui proses ekstrusi dan *injection molding*. Sebelum melakukan proses menggunakan *injection molding* diperlukan *feedstock* sebagai bahan utamanya. Untuk mendapatkan *feedstock* yang berkualitas diperlukan modifikasi yang dapat meningkatkan dan mengubah kemampuan kualitas dan sifat suatu material. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mehmet Gonen (2014), komposit polimer yang ditambahkan dengan menggunakan magnesium stearat ini dapat meningkatkan stabilitas lelehan dalam komposit polimer. Lapisan pelumasan yang terbentuk dari zat aditif cukup menghilangkan perubahan drastis pada antarmuka dinding komposit polimer (Gönen et al., 2015). Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Alperstein (2012), dengan penambahan *Glycerin Mono Stearate* (GMS) yang dibatasi, sebuah komposit polimer dapat meningkatkan fleksibilitas intensitas interaksi antara *plasticizer* dan komposit, dengan mengurangi kohesi dan ketahanan mekanik polimer (Alperstein et al., 2012). Maka jika material komposit yang ditambahkan dengan *plasticizer* akan menghasilkan sifat mekanik yang lebih meningkat dibandingkan dengan *stabilizer* (Wibowo, 2002). Selain itu seiring dengan jumlah penambahan zat aditif yang semakin banyak, maka sifat mekanik dan reologi yang terbentuk semakin lebih baik (Mascia & Xanthos, 1992).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Huanhuan Ge (2012) mengenai proses ekstrusi pada komposit dengan penambahan bahan zat aditif. Adapun komposisi zat aditif yang digunakan sebesar 5 – 15 wt%. Didapatkan hasil bahwa nilai kekuatan tarik tertingginya sebesar 44.8 MPa dan ukuran partikel sebesar 0.44 μm (Ge et al., 2013). Dalam penelitian tersebut menggunakan komposisi 5 – 15 wt% sebagai zat aditifnya. Sementara itu, menurut Hansen, untuk mendapatkan sifat mekanik dan reologi yang optimal, komposisi zat aditif yang digunakan sekitar 2 – 4 wt% (Hansen, 2008).

Maka, penelitian ini akan menganalisis pengaruh komposisi Magnesium stearat dan *Glycerin Mono Stearate* terhadap reologi dan sifat mekanik dalam pembuatan proyektil *frangible*. Variabel dalam penelitian ini adalah jenis zat aditif beserta komposisinya. Respon yang diamati adalah reologi dan sifat mekanik yang dihasilkan dari pemilihan jenis zat aditif dan komposisi dalam pembuatan proyektil *frangible*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi zat aditif Magnesium stearat, dan Glycerin Mono Stearate terhadap sifat mekanik dari feedstock proyektil frangible
2. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi zat aditif Magnesium stearat, dan Glycerin Mono Stearate terhadap sifat reologi dari feedstock proyektil frangible

1.3 Batasan Masalah

Untuk diperoleh analisa dan kesimpulan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah serta tidak menyimpang dari tinjauan permasalahan, maka batasan – batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Lingkungan dianggap tidak berpengaruh
2. Distribusi serbuk dianggap homogen
3. Impuritas material diabaikan
4. Tekanan dan temperatur ekstrusi dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan komposisi zat aditif Magnesium stearat, dan Glycerin Mono Stearate terhadap sifat mekanik dari *feedstock* proyektil *frangible*
2. Menganalisis pengaruh penambahan komposisi zat aditif Magnesium stearat, dan Glycerin Mono Stearate terhadap sifat reologi dari *feedstock* proyektil *frangible*

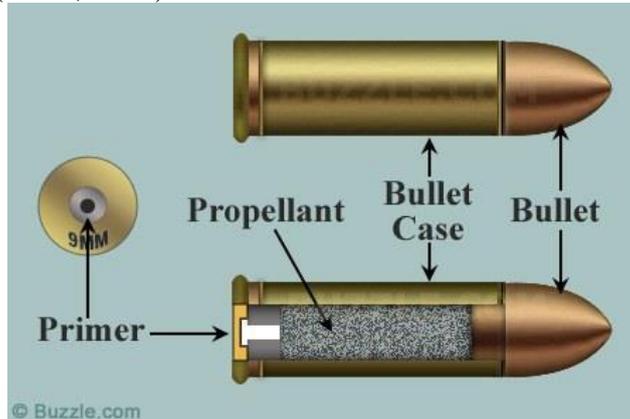
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mampu menganalisis pengaruh komposisi *Magnesium stearat* dan *Glycerin Mono Stearate* terhadap sifat mekanik dan sifat reologi *feedstock* proyektil *frangible*. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyektil *Frangible*

Peluru mempunyai beberapa bagian dalam penggunaannya, yaitu proyektil (*bullet*), kelongsong (*bullet case*), mesiu (*propellant*), dan pemantik (*rim/primer*). Bagian- bagian peluru dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Proyektil merupakan bagian dari peluru yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan dorongan sendiri, berat proyektil berpengaruh pada kecepatan proyektil menuju target (Falah, 2018)



Gambar 2.1 Bagian-bagian proyektil(Falah, 2018)

Pada umumnya, sebuah proyektil konvensional menggunakan material timbal sebagai bahan utama pembuatannya. Namun, dengan penggunaan proyektil timbal sebagai bahan utama dapat memiliki kerugian yang sangat signifikan bagi lingkungan sekitar dan kesehatan manusia (Dewanto, 2014). Selain itu, proyektil konvensional juga memiliki resiko *ricochet* yang dapat membahayakan penembak ataupun orang lain(Azmi, 2016).

Proyektil *frangible* di desain untuk dapat hancur menjadi bagian yang kecil saat menghantam suatu permukaan. Hal ini digunakan untuk meminimalisir *ricochet*. Massa yang cukup besar ditambah dengan kecepatan yang tersisa pada pantulan proyektil akan menimbulkan energi kinetik yang cukup besar, yang memiliki kemungkinan pantulan proyektil ke segala arah atau bisa disebut "*splashback*". proyektil dibuat dari bahan komposit yang berbasis logam berupa tembaga (Cu), besi (Fe), nikel (Ni), krom (Cr), dan lain-lain(Nugroho, 2018).



Gambar 2.2 Proyektil *frangible*(Azmi, 2016)

Adapun karakteristik yang terkandung dalam proyektil *frangible*, yaitu sebagai berikut

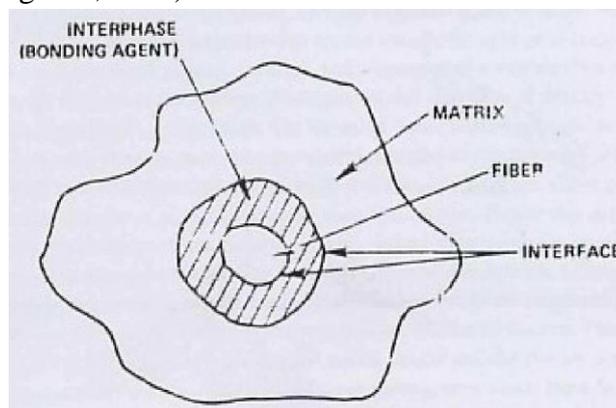
Tabel 2.1 Karakteristik proyektil *frangible* secara umum

Sifat	Keterangan	Sumber
Massa jenis (g/cm ³)	1,75 - 8,25	Hansen, 2008
Kekerasan permukaan (HV)	54 - 119	Kruachatturat, 2009
Kekuatan tekan (MPa)	31 - 310	Kruachatturat, 2009

2.2 Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai bahan yang terbuat dari gabungan secara makroskopis dua bahan atau lebih yang memiliki sifat kimia dan fisik yang berbeda untuk membentuk material baru dengan sifat yang lebih baik. Material komposit dibentuk dengan tujuan supaya sebuah material itu dapat menjadi lebih ringan dengan sifat mekaniknya yang tidak jauh berbeda atau dapat lebih baik agar dapat menekan biaya produksi. Selain itu, material komposit juga dapat mempermudah membentuk / mendesain suatu produk yang sulit (Callister, 2014).

Pada umumnya material komposit terdiri dari matriks dan filler. Matriks adalah fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat secara bersamaan. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu *Polymer Matrix Composites* (PMC), *Ceramic Matrix Composites* (CMC), dan *Metal Matrix Composites* (MMC) (Nugroho, 2018).



Gambar 2.3 Material komposit (Hanif, 2010)

Polymer Matrix Composite (PMC)

Polymer Matrix Composite terdiri atas polimer (contoh: epoksi, polyester, polyamida) yang diperkuat dengan serat berdiameter tipis (contoh: grafit aramid boron). Sebagai contoh, komposit grafit/epoksi lima kali lebih kuat daripada baja dalam basis *weight-to-weight*. Komposit serat polimer memiliki keunggulan, yaitu biaya yang lebih rendah, kekuatannya tinggi dan prinsip manufakturnya mudah. Kelemahan dari komposit serat polimer adalah temperatur operasi yang rendah, koefisien termal yang tinggi dan ekspansi kelembaban dan sifat elastisitas yang rendah pada arah tertentu.

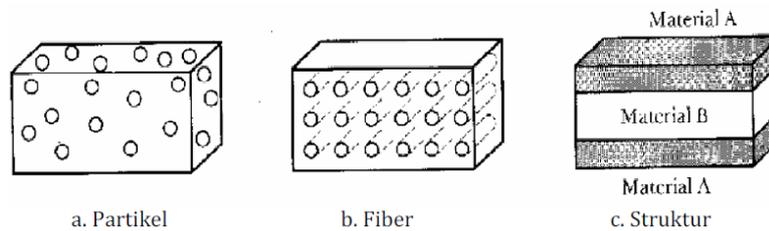
Metal Matrix Composite (MMC)

Metal Matrix Composite (MMC) merupakan salah satu klasifikasi jenis komposit berdasarkan matriksnya. Dalam komposit jenis ini menggunakan bahan logam sebagai matriksnya dan bahan logam lain serta polimer, *glass*, dan keramik sebagai *reinforcement*. MMC umumnya digunakan untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Adapun beberapa kelebihan yang dimiliki oleh MMC yaitu memiliki temperatur operasi yang tinggi, tidak mudah terbakar, dan tingkat resistensi yang lebih baik. Namun MMC memiliki kekurangan yaitu memiliki harga yang sangat mahal. Material logam seperti aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga umum digunakan sebagai bahan matriks.

Ceramic Matrix Composite (CMC)

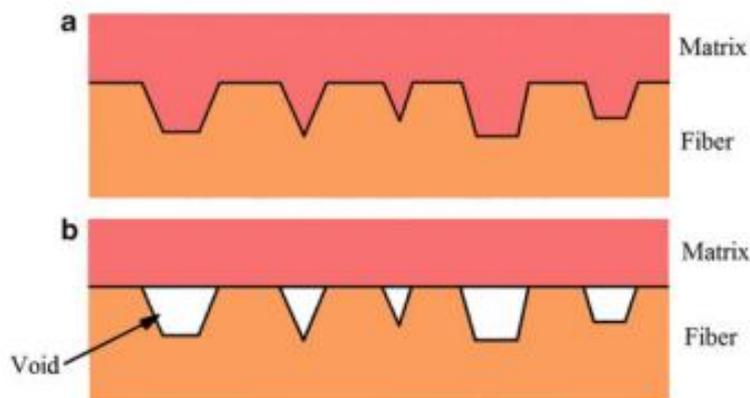
Ceramic Matrix Composite (CMC) merupakan salah satu jenis material komposit berdasarkan klasifikasi matriksnya. Komposit jenis ini terbuat dari material keramik sebagai matriksnya dan material keramik lain serta logam, polimer, dan *glass* sebagai *reinforcement*.

Sedangkan, berdasarkan jenis penguatnya komposit diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu *Particulate reinforced composite*, *Flake reinforced composite*, dan *Fiber reinforced composite*. Dalam jenis *Particulate reinforced composite* terdapat 2 sub klasifikasi, yaitu *large particle* dan *dispersion strengthened* (Irawan & Sukania, 2013).



Gambar 2.4 Material komposit berdasarkan penguatnya(Hanif, 2010)

Large particulate composite merupakan salah satu jenis komposit yang menggunakan partikel sebagai penguatnya. Pada partikel *filler* komposit jenis ini memiliki ukuran lebih dari $1\mu\text{m}$ (Egbo, 2021). Partikel *filler* memiliki kekerasan dan kekakuan yang lebih tinggi dibanding fasa matriks. Hal ini karena *filler* memiliki peran untuk menghambat pergerakan fasa matrik, sehingga material komposit akan semakin kuat. Terhambatnya fasa matrik disebabkan oleh adanya ikatan mekanik maupun ikatan kimia pada *interface*(Sánchez-Valdes et al., 2013).



Gambar 2.5 Ikatan mekanik pada antarmuka komposit (a) Ikatan mekanik ideal (tanpa void) dan (b) Ikatan mekanik dengan void.(Callister, 2014)

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).

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

$$\rho_c = \rho_m \times V_m + \rho_f \times V_f \quad (2.1)$$

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).

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

Dimana :

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

$$m_m = a \times m_c \text{ dan } m_f = b \times m_c \quad (2.3)$$

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 :

A. Massa Matriks

$$m_m = a \times \frac{\rho_m \times \rho_f}{a \times \rho_f + b \times \rho_m} \times V_c \quad (2.4)$$

B. Massa *reinforce*

$$m_f = b \times \frac{\rho_m \times \rho_f}{a \times \rho_f + b \times \rho_m} \times V_c \quad (2.5)$$

Dimana :

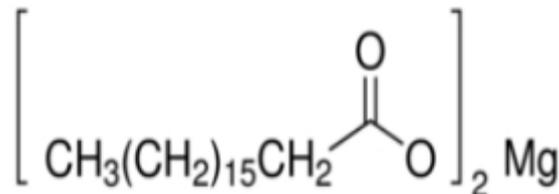
- V_c = Volume komposit

2.3 Zat Aditif

Zat aditif adalah zat atau bahan yang ditambahkan untuk meningkatkan dan mengubah kemampuan kualitas dan sifat suatu material. Komposisi zat aditif yang di injeksikan ke dalam material komposit terdiri kurang dari 5 wt% (Marcas & S, 2007) dan lebih dari 2 wt% (Hansen, 2008). Penggunaan zat aditif yang ditambahkan ke dalam suatu material komposit polimer berguna untuk menghasilkan produk dengan sifat yang lebih baik, memudahkan jalannya proses pembuatan produk, ataupun mengurangi bahkan menghilangkan sifat yang tidak diinginkan. Berdasarkan fungsinya, zat aditif dapat dikelompokkan menjadi beberapa bahan, yaitu bahan pelunak (*plasticizer*), bahan penstabil (*stabilizer*), bahan pengisi (*filler*), pewarna, dan sebagainya (Aryanti, 2021).

2.3.1 Magnesium Stearate

Magnesium stearat atau $C_{36}H_{70}MgO_4$ merupakan jenis garam netral yang diproses melalui dekomposisi ganda, menggunakan garam magnesium yang larut dalam air dan garam alkali asam organik dalam media berair, atau melalui reaksi langsung dengan magnesium oksida.



Gambar 2.6 Struktur kimia magnesium stearate (Rowe *et al*, 2009)

Pada umumnya magnesium stearate memiliki bentuk berupa serbuk. Dalam dunia industri plastik, magnesium stearate merupakan salah satu hal penting yaitu sebagai pelumas dan *mold-release agents* untuk plastik termoset maupun termoplastik. Berdasarkan kegunaannya yaitu sebagai pelumas, magnesium stearate ini digunakan sebagai *stabilizer* dan mencegah terjadinya degradasi polimer (Nora, 1928). Terdapat 3 jenis bahan *stabilizer*, yaitu sebagai berikut

1. **Penyetabil panas (*Heat Stabilizer*)** → memiliki fungsi untuk menghambat degradasi termal. Tanpa adanya *heat stabilizer*, energi panas dapat memicu radikal bebas yang dapat menimbulkan reaksi oksigen dan membentuk senyawa karbon, hal ini dapat menimbulkan warna kuning atau kecoklat-coklatan saat akhir produksi.
2. ***UV Stabilizer*** → memiliki fungsi untuk menghambat degradasi yang berasal dari panjang gelombang matahari. Hal ini dapat menyebabkan pemisahan ikatan yang menyebabkan degradasi langsung pada polimer.
3. ***Antioksidan*** → memiliki fungsi untuk mengurangi kerusakan produk dalam proses oksidasi yang dapat memutus rantai polimer. Apabila pada proses pembuatannya telah teroksidasi maka polimer akan rapuh dan terjadi retakan pada permukaan. Selain itu, kecepatan alir polimer menjadi tidak stabil dan mengakibatkan penurunan sifat mekaniknya.

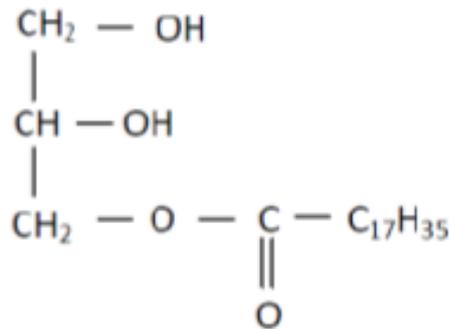
Untuk mencegah terjadinya degradasi pada polimer, *stabilizer* bereaksi dengan reaksi radikal bebas pada tahap awal proses ekstrusi, sehingga menghentikan auto oksidasi. Umumnya untuk melindungi polimer dari degradasi proses ekstrusi, *stabilizer* akan melebur pada temperatur 200 °C dan membuat lapisan film pada polimer (SCOTT, 1972). Adapun karakteristik yang terkandung dalam Magnesium Stearat, yaitu sebagai berikut

Tabel 2.2 Sifat material magnesium stearat(Lewis, R.J., 1997)

Sifat	Keterangan
Densitas (g/cm ³)	1.02
Temperatur leleh (°C)	200
Berat Molekul (g/mol)	591.2
Ukuran molekul (μm)	<100

2.3.2 Glycerin Mono Stearate

Glycerin Mono Stearate atau GMS merupakan sebuah *plasticizer* yang berguna untuk mempengaruhi *properties* daerah *amorphous* dari polimer khususnya termoplastik. Perubahan yang terjadi di daerah *amorphous* polimer adalah reduksi dalam *melt viscosity* dan *glass transition temperature* polimer, sehingga membuat rantai polimer lebih fleksibel (Harper, 1988). Selain itu perubahan yang terjadi pada polimer dengan adanya penambahan GMS adalah menghasilkan warna awal dan stabilitas panas sebagai pelumasannya(Phillips et al., 2021).



Gambar 2.7 Struktur kimia glycerin mono stearate (Ratnasari et al., 2019)

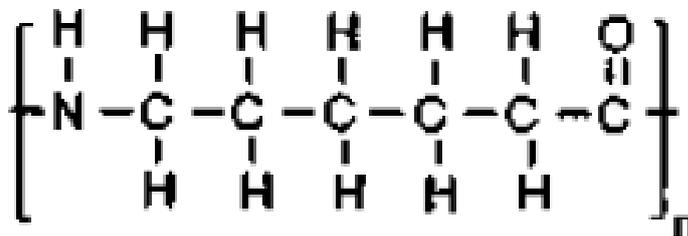
Pada umumnya *plasticizer* merupakan zat aditif yang ditambahkan ke dalam polimer berupa pelarut dengan titik didih yang tinggi atau suatu padatan dengan titik leleh yang rendah sehingga gaya intermolekuler pada rantai panjang akan menurun. *Plasticizer* dapat mengubah fisik dengan mengurangi kohesi dan ketahanan mekanik polimer. Adapun mekanisme yang terjadi bahwa kekakuan dari polimer tercapai dari pergeseran intermolekuler yang mengikat rantai polimer yang kaku. Pada saat pemanasan, gaya friksi ini melemah sehingga memungkinkan molekul *plasticizer* berada diantara rantai-rantai, dimana *plasticizer* mencegah kembali jaringan yang kaku. Hal ini akan dapat menurunkan temperatur transisi gelas (T_g) dan memungkinkan rantai polimer bergerak lebih cepat sehingga menghasilkan peningkatan fleksibilitas. Namun jika ter-plasticizer yang ditambahkan terlalu banyak molekul-molekul bergerak, maka akibatnya terjadi penurunan kekuatan dari spesimen tersebut(Umam, 2009). Adapun karakteristik yang terkandung dalam *Glycerin Mono Stearate*, yaitu sebagai berikut

Tabel 2.3 Sifat material glycerin mono stearate(Goderis et al., 2014)

Sifat	Keterangan
Densitas (g/cm ³)	0.97
Temperatur leleh (°C)	115
Berat Molekul (g/mol)	358.56
Ukuran molekul (µm)	0,1

2.4 Poliamida 6

Poliamida-6, atau biasa disebut dengan nilon 6 atau polikaprolaktam, merupakan polimer dalam keluarga poliamida (nilon). Penggunaan umum poliamida-6 adalah sebagai roda gigi, *bearing*, serabut sikat gigi, hingga senar alat musik(Dewanto, 2014).



Gambar 2.8 Struktur poliamida 6 (PA6) (Giles et al., 2005)

Menurut Belanger (1992) poliamida-6, dibandingkan dengan Nylon 11 maupun Nylon 12 memiliki titik lebur, densitas, penyusutan, dan pemekaran akibat kelembaban yang lebih tinggi(Belanger & Potvin, 1993). Sedangkan menurut Davis (2001) poliamida atau nylon 6 memiliki harga yang lebih rendah serta densitas dan *frangibilitas* (kecenderungan untuk pecah) lebih tinggi.

Tabel 2.4 Sifat material poliamida-6

Sifat	Keterangan
Konduktivitas Termal	0.25
Densitas (g/cm ³)	1.14
Temperatur leleh (°C)	225
Kekuatan tarik (MPa)	74,9 – 94,5
Modulus young (GPa)	0,8 – 2,9

2.5 Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan sebuah logam lunak dengan simbol Cu dan memiliki nomor atom 29. Tembaga memiliki sifat keuletan dan konduktivitas pada listrik yang tinggi. Pada umumnya, aplikasi penggunaan tembaga adalah sebagai kawat listrik karena memiliki sifat konduktivitas listrik yang tinggi(Dewanto, 2014). Selain itu, tembaga memiliki bentuk kristal *face centered cubic* (FCC) serta memiliki ketahanan korosi yang bagus, mudah untuk di fabrikasi sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai matriks maupun *filler* (Nugroho, 2018).

Penggunaan material tembaga dipilih sebagai bahan material dari proyektil *frangible* karena tembaga memiliki densitas yang cukup tinggi. Tembaga dengan densitas sebesar 8,96 g/cm³ dapat digunakan sebagai material pengganti timbal pada proyektil *frangible* (Nugroho, 2018). Adapun sifat dari material tembaga, yaitu sebagai berikut

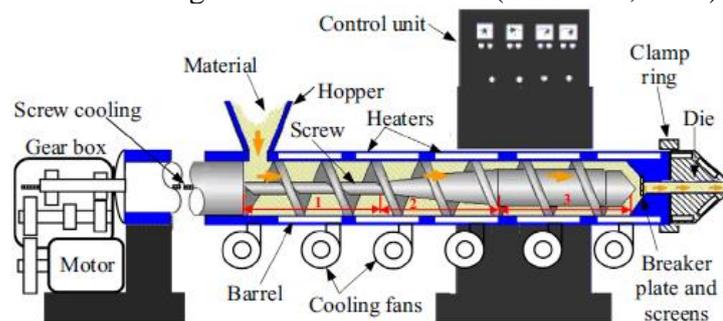
Tabel 2.5 Sifat material tembaga (*Handbook*, 1991)

Sifat	Keterangan
Struktur Kristal	FCC
Lattice (nm)	3,610
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
Yield Strength (MPa)	33,3
Koefisien muai (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	85

2.6 Ekstrusi

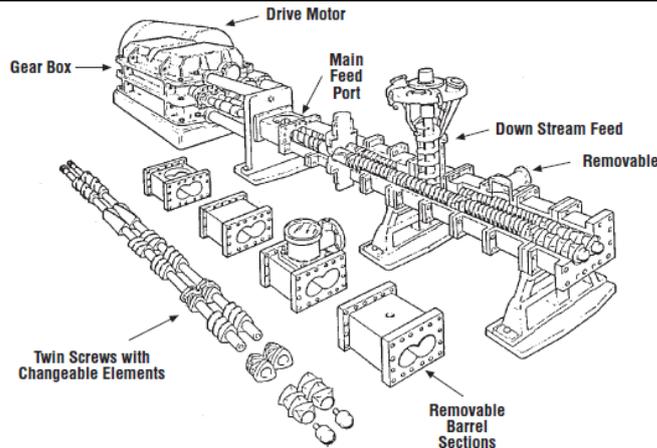
Proses ekstrusi adalah proses pengolahan yang bersifat kontinu melalui proses *mixing*, *shearing*, dan *shaping* dengan cara memproses bahan menggunakan mesin ekstruder. Keuntungan dari proses ekstrusi sendiri pengisian bahan material yang akan diolah dapat dilakukan secara kontinu sehingga dapat mengurangi penyusutan material produk. Pada umumnya, sebagian besar proses ekstrusi menggunakan bahan material plastik yang memiliki temperatur lebur di bawah 250 °C. Ekstrusi sendiri merupakan proses termoplastik untuk memproduksi produk dalam jumlah besar atau biasa disebut dengan *feedstock* (Afrilinda, 2017). Proses tersebut umumnya menggunakan bahan berbentuk lembaran dan *pellet*. Proses ekstrusi umumnya menghasilkan berbagai jenis dan bentuk produk seperti lembaran, tabung, batang, pelapis kayu, dan pelapis kabel. Modifikasi *die extruder* memungkinkan proses tersebut memproduksi produk dengan bentuk yang berbeda-beda (Rosato, 2000).

Terdapat dua jenis mesin ekstrusi berdasarkan jumlah *screw*-nya yaitu *single screw extruders* dan *twin screw extruders*. *Single screw extruders* lebih sering digunakan karena memiliki keuntungan yaitu lebih mudah dalam mengoperasikannya, biaya operasionalnya lebih murah, dan lebih mudah untuk digunakan secara kontinu (Garsiman, 2018).



Gambar 2.9 *Single screw extruder* (Abeykoon, 2016)

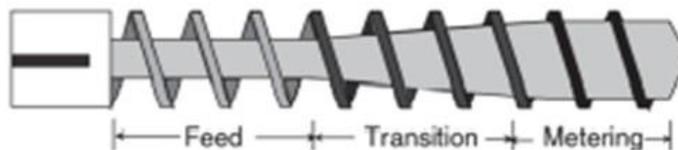
Sedangkan *twin screw extruders* umumnya digunakan untuk proses yang membutuhkan penggabungan dalam langkah ekstrusinya. Dalam mesin *twin screw extruders* terdapat dua *screw* yang dapat berputar searah maupun berlawanan arah. Mesin *twin screw extruders* cenderung jarang digunakan dibandingkan *single screw extruders* dikarenakan cara pengoperasiannya yang cenderung lebih *complex* dan biaya operasionalnya yang cenderung lebih mahal dibandingkan *single screw extruder*.



Gambar 2.10 *Twin screw extruder* (Goff et al., 2000)

Dalam sebuah mesin ekstrusi terdapat beberapa komponen penting, yaitu *drive system*, *feed system*, *screw system*, *barrel system*, *heaters system*, *head* dan *die assembly*, dan *control system*. Komponen dan fitur dari sebuah mesin extruder dapat dilihat pada **Gambar 2.9**. Pada umumnya extruder screw pada proses ekstrusi berputar dengan kecepatan kisaran 60 rpm. Pada sebuah mesin ekstrusi, *extruder screw* berada didalam barrel. Dalam mesin ekstrusi, barrel terbagi menjadi tiga bagian, yaitu sebagai berikut

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 2.11 *Extrusion screw* (Rauwendaal, 2018)

Dalam proses ekstrusi, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi *output* dari proses ekstrusi tersebut. Adapun beberapa parameter yang dapat mempengaruhi adalah sebagai berikut: (Rauwendaal, 2018)

- *Barrel Temperatures*
- *Die Temperatures*
- *Melt Temperature*
- *Melt Pressure*
- *Motor Load*
- *Screw Speed*
- *Power Draw of the various heaters*

2.7 *Feedstock*

Feedstock pada proses *injection molding* didefinisikan sebagai campuran serbuk logam dengan polimer dan wax binder. Persentase binder pada *feedstock* berkisar 35 – 50 vol% (Z. Y. Liu et al., 2003). Kualitas *feedstock* yang diinjeksikan pada mold cavity merupakan salah satu

faktor krusial dalam teknologi *metal injection molding* (MIM). Karena merupakan salah satu faktor krusial, kualitas *feedstock* memengaruhi sifat pada produk hasil MIM. Penentuan komposisi *feedstock* harus memenuhi persyaratan pada beberapa aspek seperti *mixing torque* selama proses pencampuran (Nm), *critical powder loading* (% vol), viskositas *feedstock* (Pa.s), dan homogenitas campuran *feedstock*. *Feedstock* campuran serbuk dengan binder nantinya akan berbentuk pellet dengan ukuran sekitar 5-7 mm (Afrilinda, 2017). Pada proses preparasi *feedstock*, polimer dan serbuk logam yang dipilih akan dicampurkan secara unirofrm pada temperatur yang sedikit melebihi temperatur leleh polimer.



Gambar 2.12 Feedstock

Polimer pada *feedstock* berfungsi untuk membantu mengalirkan partikel serbuk menuju *die cavity* pada *mold*, melapisi permukaan serbuk, mengisi celah diantara partikel serbuk, dan membantu proses pencampuran (mixing). Sifat – sifat yang perlu dimiliki oleh *feedstock* meliputi *viscosity of melt*, densitas, koefisien ekspansi thermal, kapasitas panas, dan *pyrolytic behavior*. Dari beberapa sifat ini, viskositas merupakan sifat yang paling berpengaruh pada kesuksesan proses *injection molding* (Moon et al., 2021).

Feedstock harus memiliki komposisi yang homogen dan memiliki perilaku *pseudo-plastic*. Dengan perilaku pseudo-plastik, viskositas *feedstock* akan berkurang seiring dengan peningkatan *shear rate*. Penurunan viskositas ini disebabkan karena adanya deformasi makromolekul pada polimer, sehingga menurunkan resistensi untuk mengalir (Malkin & Isayev, 2017).

$$\eta_r = \left[1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right]^{-2} \quad (2.6)$$

Dimana:

η_r : viskositas relative *feedstock*

θ : fraksi volume serbuk (powder loading)

θ_{max} : fraksi volume serbuk maksimum (maximum powder loading)

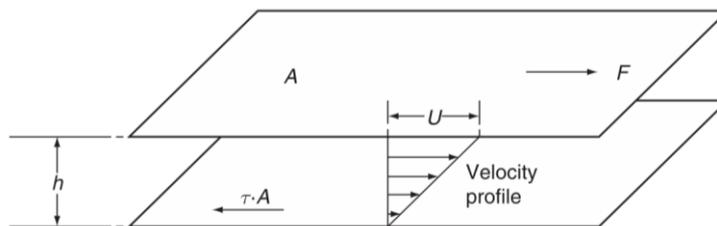
Adapun beberapa factor yang perlu memenuhi persyaratan seperti homogenitas campuran *feedstock* dan viskositas *feedstock*. Pada proses *metal injection molding* (MIM), karakteristik reologi *feedstock* menentukan pengisian rongga cetak. Kemampuan lelehan *feedstock* untuk mengalir (*pourability*), menyebar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

2.8 Sifat Rheologi

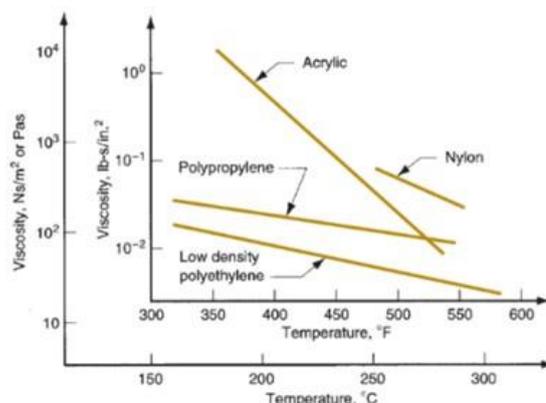
Rheology adalah ilmu yang mempelajari perubahan bentuk dan aliran dari fluida serta respon fluida saat menerima temperatur dan tekanan. Rheologi bertujuan untuk pengembangan suatu produk dengan mempelajari sifat, struktur yang berkaitan dengan perpindahan massa, panas dan perpindahan momentum. Sifat reologi suatu material dapat dipelajari dari beberapa parameter seperti viskositas, shear rate, shear stress, yield strength (Hartanto, 2015).

Viskositas adalah sifat karakteristik suatu aliran fluida yang memiliki hambatan internal untuk mengalir. Pada fluida yang mengalir, kecepatan aliran fluida pada tiap lapisan akan berbeda, dimana lapisan fluida yang paling dekat dengan dinding memiliki kecepatan terendah. Adapun kecepatan tertinggi dimiliki oleh fluida pada bagian tengah. Adanya perbedaan kecepatan alir pada lapisan fluida menimbulkan gaya gesek antar lapisan fluida dengan arah yang berlawanan dengan aliran fluida, sehingga menimbulkan hambatan bagi fluida untuk mengalir. Timbulnya viskositas diilustrasikan pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Aliran fluida pada lapisan yang berbeda (Viswanath, 2007)

Selain itu, pada polimer viskositas juga dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur yang digunakan maka viskositas semakin rendah. Grafik pengaruh temperatur dapat dilihat pada **Gambar 2.14**

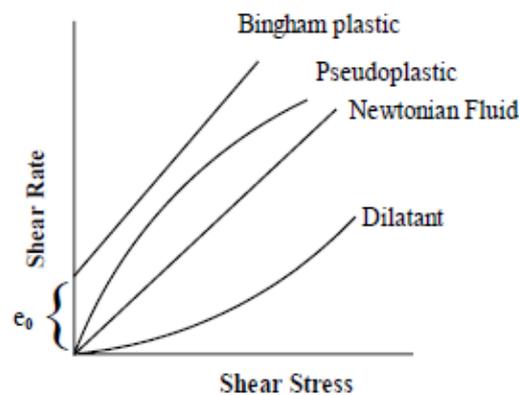


Gambar 2.14 Grafik viskositas beberapa polimer pada temperatur tertentu (Whelan & Brydson, 2002)

Karena viskositas fluida didefinisikan sebagai ukuran seberapa resistif fluida untuk mengalir, viskositas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\eta = \frac{SHEAR STRESS}{SHEAR RATE} = \frac{F/A}{V/h} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.7)$$

Dimana τ merupakan tegangan geser, $\dot{\gamma}$ merupakan *shear rate*, dan η merupakan viskositas dengan satuan Pa.s. Viskositas biasanya dipengaruhi oleh suhu dan tekanan. Berdasarkan karakterisasi alirannya, viskositas dibagi menjadi 2 yaitu viskositas *Newtonian* dan *non-Newtonian*. Ketika viskositas fluida yang terjadi tetap konstan dan tidak tergantung pada tegangan geser, disebut viskositas fluida Newtonian. Sedangkan viskositas fluida *non-Newtonian* viskositas tergantung pada gaya geser dan waktu yang diterapkan (Viswanath, 2007).



Gambar 2.15 Viskositas berdasarkan jenis fluida (Viswanath, 2007)

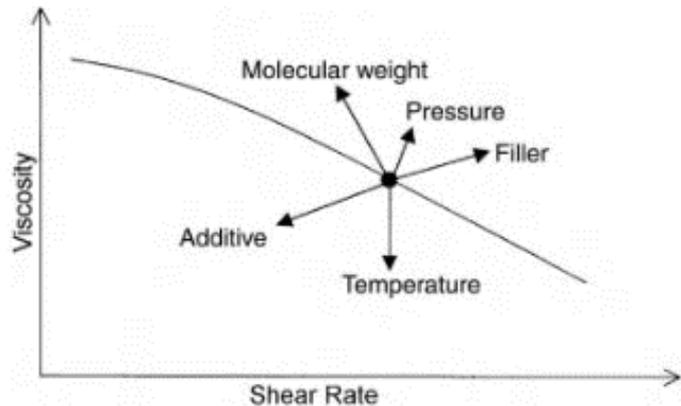
Pada **Gambar 2.10** terdapat 4 jenis fluida yaitu pseudoplastic, newtonian fluid, dilatant, dan bingham plastic. Berdasarkan *non-Newtonian*, pseudoplastic menunjukkan viskositas yang menurun dengan peningkatan shear rate dan fenomena ini biasa disebut juga sebagai shear thinning. Selain itu dilatant juga menunjukkan peningkatan viskositas dengan peningkatan laju geser dan fenomena ini biasa disebut juga sebagai shear thickening (Viswanath, 2007).

Pada pengaplikasiannya viskositas pada pseudoplastic sangatlah penting untuk pembuatan komponen yang memerlukan sifat mekanis yang tinggi, fleksibilitas desain dan material, dan permukaan akhir yang baik. Pada proses injeksi material pseudoplastic dibutuhkan tekanan tertentu untuk dapat mengisi rongga cetakan. Dimana jika viskositas terlalu tinggi, maka proses injeksi kedalam cetakan akan susah mengalir sehingga tidak dapat mengisi rongga cetakan dengan sempurna. Hal ini akan mengakibatkan terbentuknya void yang akan dapat mengurangi sifat mekaniknya (Afrilinda, 2017).

Viskositas dapat diukur dengan beberapa metode, namun umumnya diukur dengan menggunakan *Melt flow rate* (MFR) atau *Melt flow index* (MFI). Pengujian MFI ini umum dilakukan karena dianggap mudah dilakukan dan instrumen untuk melakukan pengujian tersebut relatif tidak mahal. Menurut ASTM D 1238, pengujian ini dapat melihat jumlah material yang diekstrusi dalam jangka waktu setiap 10 menit. (Whelan & Brydson, 2002)

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 (C. D. Han, 2007).

Faktor lain yang berpengaruh pada viskositas adalah distribusi berat molekul, *filler*, dan zat aditif. Polimer dengan distribusi berat molekul yang sempit memiliki viskositas yang lebih rendah daripada polimer dengan distribusi berat molekul yang lebar. Penambahan filler akan meningkatkan viskositas polimer secara signifikan. Penggunaan zat aditif seperti pelumas (*lubricant*) akan menurunkan viskositas. Selain itu, viskositas akan meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan berat molekul (Chen et al., 2016).



Gambar 2.16 Pengaruh beberapa variabel terhadap viskositas (Chen et al., 2016)

2.9 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya telah mempelajari interaksi, karakteristik maupun aplikasi dari material komposit PMC yang dipadukan dengan zat material aditif lainnya maupun material lainnya yang dipadukan juga dengan zat material aditif yang akan diteliti.

Mun-Gyu Bak (2021) melakukan penelitian mengenai Perilaku Migrasi Pelumas dalam Komposit Polypropylene (PP). Pada penelitian ini membandingkan pengaruh dari magnesium stearate dengan kalsium stearate dengan menggunakan ekstruder *twin-screw* yang berputar bersama dan *injection molding*. Keterkaitan antara sifat migrasi permukaan komposit PP/zat aditif diselidiki dengan mempertimbangkan fitur mikrostruktur dan morfologinya, yang dipengaruhi oleh kondisi *thermal aging*. Komposit polipropilena yang mengandung magnesium stearat sebagai pelumas ditemukan menunjukkan perilaku migrasi yang lebih stabil daripada komposit polipropilena yang mengandung pelumas kalsium stearat. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor sinergis, seperti tegangan antarmuka dan kerja adhesi antara PP dan pelumas (Bak et al., 2021).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Justin Phillips (2021), mengenai pengaruh penambahan metal stearate sebagai zat aditif untuk material komposit polimer terhadap karakteristiknya. Pada penelitian ini menggunakan polimer *linear low-density polyethylene* (LLDPE) yaitu polivinilklorida (PVC) dan zat aditif metal stearate yaitu zinc stearate, magnesium stearate, dan kalsium stearate. Setelah melakukan pencampuran antara metal stearate dengan polimer LLDPE, didapatkan hasil bahwa tidak ada perbedaan signifikan yang diamati untuk kalsium stearat dan seng stearat, namun pergeseran besar ke refleksi yang lebih tinggi diidentifikasi untuk magnesium stearat. Mereka menunjukkan titik leleh yang lebih rendah dibandingkan dengan komponen murni. Yang terendah adalah sekitar 66 °C untuk sampel 40% berat magnesium stearat; sekitar 82 °C untuk sampel 40% berat kalsium stearat;

dan sekitar 90 °C untuk sampel 40% berat zinc stearat. Sehingga magnesium stearat terbukti efektif untuk stabilitas termal dalam zat aditif polimer(Phillips et al., 2021).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Jinxin Liu (2019) mengenai pembuatan bahan penyaring udara Bicomponent Spunbond (BCS) dengan menggunakan polietilen/polipropilen (PE/PP). Pada penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan karakteristik penyaringan udara pada umumnya dianggap masih kurang efisien karena filtrasi yang cukup rendah yang mengakibatkan tekanan tinggi. Pembuatan filtrasi ini mulai dibuat dengan polietilen/polipropilen (PE/PP) dan menambahkan zat aditif magnesium stearate. Magnesium stearate ini digunakan untuk mengubah struktur kristal polimer, bahan tersebut dapat memberikan potensi permukaan yang lebih baik dan stabilitas penyimpanan muatan. Didapatkan hasil bahwa penambahan magnesium stearate juga dapat menambahkan ukuran partikel yang dapat meningkatkan efisien filtrasi yaitu sebesar 14.4 – 15.03 μm . Dengan penambahan magnesium stearate terbukti efisien filtrasi tinggi sebesar 98.94%(J. Liu et al., 2019).

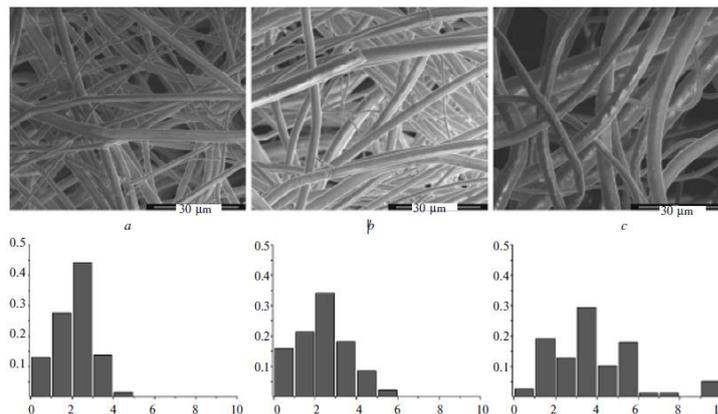
Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Nugroho, 2018 melakukan penelitian mengenai komposisi serbuk tembaga terhadap sifat mekanik material komposit tembaga dan vinil ester untuk material peluru frangible. Pada penelitian menggunakan variasi komposisi serbuk tembaga yaitu sebesar 20, 30, 40, dan 50% serta menggunakan metode casting dalam pembuatannya. Komposit Cu/VE ini akan diuji menggunakan uji kekerasan dan uji tekan. Didapatkan hasil dari penelitian tersebut bahwa nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 74.33 pada spesimen yang di ball mill dengan komposisi 20%Cu/80%VE. Hal ini disebabkan oleh ukuran material serbuk Cu yang memiliki ukuran partikel lebih kecil, sehingga porositas yang terbentuk akan berkurang. Untuk nilai kekuatan tekan didapatkan nilai tertinggi yaitu sebesar 147.7 MPa pada spesimen 30%Cu/70%VE dengan proses ball mill(Nugroho, 2018).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Falah (2018) melakukan penelitian mengenai 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). Adapun tiga variasi komposisi yang digunakan yaitu sebesar 30, 50, dan 70 wt%. Masing-masing jenis polimer menggunakan temperatur cetakan yang berbeda yaitu polikarbonat 400 °C, polipropilena 300 °C, dan polistirena 350 °C. Didapatkan hasil dari penelitian tersebut bahwa urutan jenis polimer dengan kekuatan tekan dan modulus elastisitas tertinggi adalah polistirena, polipropilena, dan polikarbonat. Adapun material yang memenuhi standar sebagai kandidat peluru *frangible* adalah tembaga dan *Polistirena* (PS), dengan nilai kekuatan tertinggi sebesar 53,08 MPa diperoleh pada komposisi 70%Cu-30%PS. Untuk nilai kekerasannya, urutan jenis polimer berdasarkan kekerasan tertinggi yaitu polistirena, polipropilena, dan polikarbonat. Pada polistirena dengan komposisi 70%Cu-30%PS didapatkan nilai kekerasan sebesar 112,27 HV(Falah, 2018).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Dewanto, 2015 melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi poliamida dan temperatur sintering terhadap sifat mekanik proyektil Cu-PA 6. Pada penelitian menggunakan variasi komposisi poliamida 6 yaitu sebesar 0.5, 1, dan 1.5% serta menggunakan metode metalurgi serbuk dengan variasi temperatur sintering 200°C,

250°C, dan 300°C. Didapatkan hasil dari penelitian tersebut 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°C dan massa poliamida 0,5% sebesar 153,61 MPa (Dewanto, 2014).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Malakhov (2015), mengenai pengaruh penambahan zinc stearate, magnesium stearate, dan kalsium stearate terhadap polimer poliamida 6. Dengan penambahan zat aditif ini menyebabkan viskositas menurun dan konduktivitas lelehan menjadi meningkat. Viskositas yang didapatkan pada poliamida 6 yaitu pada penambahan Magnesium Stearate sebesar 1.5 – 5.3 Pa.s, Kalsium Stearate sebesar 1.6 – 5.3 Pa.s, dan Zinc stearate sebesar 3 – 5.3 Pa.s. Kalorimetri pemindaian diferensial, spektroskopi IR, dan analisis struktur sinar-x menemukan bahwa struktur supramolekul poliamida-6 dalam bahan bukan tenunan sangat berbeda dari polimer awal. Sedangkan bentuk kristal mendominasi dalam butiran, bentuk metastabil mendominasi bahan non-anyaman yang dipintal baik dari polimer murni maupun dengan tambahan stearat. Berikut pada **Gambar 2.17** merupakan hasil *Photomicrographs* poliamida dengan penambahan zat aditif (Malakhov et al., 2015).

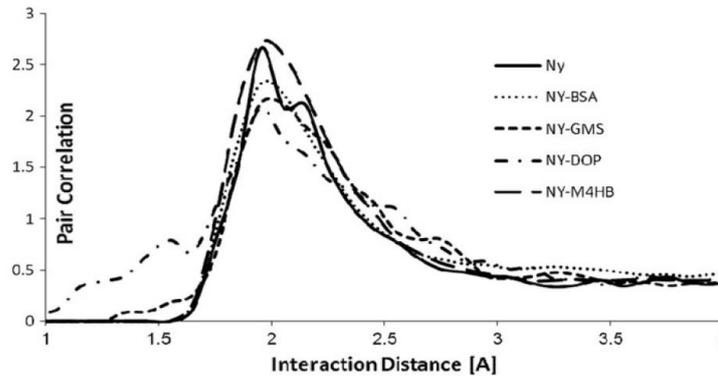


Gambar 2.17 *Photomicrographs* poliamida dengan penambahan zat aditif (a) MgSt (b) CaSt (c) ZnSt (Malakhov et al., 2015)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Huanhuan Ge (2012) mengenai pengaruh penambahan plasticized Glycerol Monostearate (GMS) terhadap ukuran partikel dan sifat mekanik. Pada penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan zat aditif dengan variasi komposisi sebesar 5, 10, 15 wt%. Didapatkan hasil dari sifat mekanik melalui uji tensile yaitu sebesar 44.8 ± 1.3 MPa, 41.9 ± 4.6 MPa, dan 39.7 ± 1.0 MPa serta ukuran partikel sebesar 0.44 μm , 0.52 μm , dan 0.92 μm . Sehingga penambahan plasticizer dapat viskositas lelehan secara substansial (Ge et al., 2013).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh D. Alperstein (2012) melakukan penelitian mengenai efisiensi penambahan zat aditif plasticizer terhadap nylon 6 dengan pemodelan *BIOVIA Materials Studio*. Pada penelitian ini menggunakan beberapa zat aditif, yaitu *Metil 4-Hidroksibenzoat* (M4HB), *BSA*, *Dietilheksil Ftalat* (DOP), dan *Gliserin Mono Stearat* (GMS). Konsentrasi *plasticizer* yang akan dicampur kedalam nylon 6 adalah sebesar 5, 10, 15, dan 20

wt%. Setelah melakukan pencampuran antara *plasticizer* dengan nilon 6 didapatkan hasil pada gambar 2.11 bahwa *Gliserin Mono Stearat* (GMS) dapat mereduksi *Glass Transition Temperature* (T_g) dan meningkatnya intensitas interaksi antara plasticizer dan rantai polimer. Pada pencampuran nilon 6 dan GMS dengan variasi 5, 10, 15, dan 20 wt% didapatkan T_g sebesar 48°C, 46°C, 43°C, 39°C. Berikut pada **Gambar 2.18** merupakan Interaksi antara plasticizer dengan nilon 6 (Alperstein et al., 2012).

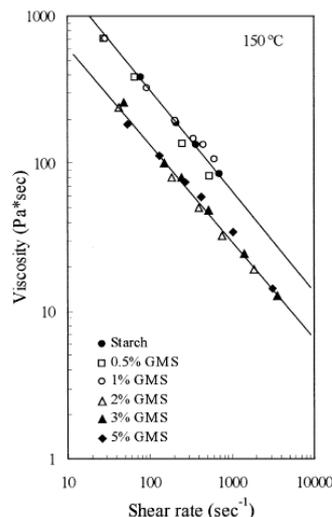


Gambar 2.18 Interaksi antara plasticizer dengan nilon 6 (Alperstein et al., 2012)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Khairul Umam (2009) mengenai pengaruh penambahan plasticizer terhadap laju alir dan sifat mekanik resin polivinilklorida (PVC). Pada penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan zat aditif dengan variasi komposisi sebesar 2, 4, 6, 8, dan 10 wt% menggunakan proses ekstrusi. Didapatkan hasil laju alir dari penambahan zat aditif dengan komposisi 2, 4, 6, 8, dan 10 wt% yaitu sebesar 8.2 gr/10 menit, 11.4 gr/10 menit, 14.5 gr/10 menit, 20.8 gr/10 menit, 28.2 gr/10 menit. Selain itu didapatkan hasil pengujian kekerasan yaitu sebesar 24.74, 23.3, 24.96, 22.14, 24.51. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kandungan zat aditif semakin tinggi pula MFR nya, namun semakin besar kandungan zat aditif maka nilai kekerasan dari material akan menurun (Umam, 2009).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Banovic (2007) melakukan penelitian mengenai sifat mekanik dari peluru frangible berbahan baku serbuk tembaga dan timah. Pada penelitian ini, proses pembuatan proyektil frangible menggunakan metode kompaksi dan menggunakan pengujian kekerasan metode Rockwell sesuai dengan ASTM E18. Berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan bahwa sebuah proyektil frangible memiliki nilai kekerasan 22.9 HRB. (Banovic, 2007)

Penelitian lainnya dilakukan oleh Liu (2001) mengenai pengaruh *Gliserin Mono Stearat* (GMS) terhadap performa dari termoplastik amilum. Pada penelitian ini menggunakan beberapa komposisi GMS yang digunakan pada termoplastik yaitu 2, 3, 5 wt%. Didapatkan hasil seperti pada **Gambar 2.19** bahwa dengan penambahan komposisi 2, 3, 5 wt% zat aditif mempengaruhi viskositasnya sebesar 40 – 450 Pa.s, 15 – 500 Pa.s, 20 – 300 Pa.s. Namun dengan penambahan konsentrasi GMS sebanyak 2% pada termoplastik, menyebabkan titik leleh dan temperatur degradasi menurun yang efisien. Sehingga dengan penambahan 2% GMS pada termoplastik, dapat secara efisien untuk mengurangi viskositas lelehan dan meningkatkan sensitivitas suhunya (Z. Q. Liu et al., 2001).



Gambar 2.19 Grafik penambahan komposisi GMS terhadap viskositas(Z. Q. Liu et al., 2001)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Belanger et al., (1993) melakukan penelitian mengenai peluru frangible untuk aplikasi latihan berbahan baku serbuk Cu diatas 90% dengan pengikat nilon 11. Pada penelitian ini menggunakan metode *injection molding*. Berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan bahwa sebuah proyektil frangible harus memiliki nilai densitas minimum $5,7 \text{ g/cm}^3$. Selain itu ditemukan bahwa untuk mendapat nilai tersebut komposisi Cu yang digunakan harus diatas 90%. Semakin tinggi komposisi Cu maka dapat meningkatkan nilai densitas peluru tersebut. Dengan densitas minimum $5,7 \text{ g/cm}^3$ didapatkan sifat balistik terbaik pada proyektil frangible(Belanger & Potvin, 1993).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Rosen (1982) melakukan penelitian mengenai pengolahan bahan plastik kaku seperti polivinilklorida, akrilonitril-butadiena-stirena dan polimer polipropilen untuk meningkatkan kemampuan proses polimer. Pada penelitian ini spesimen yang digunakan adalah polivinilklorida (PVC) dan zat aditif yang digunakan adalah Gliserin monostearat (GMS). Konsentrasi GMS yang akan dicampur kedalam PVC sebesar 1.5 dan 2 w%. Didapatkan hasil bahwa dengan penambahan GMS sebesar 1.5 dan 2 w% menghasilkan heat stability selama 43 menit dan 42 menit. Selain itu dapat meningkatkan stabilitas panas yang tidak terduga kandungan, gliserin dari GMS juga dapat, menghasilkan peningkatan warna awal pada PVC(Rosen & Hall, 1982).

Tabel 2.6 Penelitian sebelumnya mengenai komposisi zat aditif

No.	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Penulis Penelitian
1.	Ekstrusi dan <i>injection molding</i> polypropylene (PP) metal stearate 2 vol%	Adhesi (20 – 90°C) PP/metal stearate: • PP/MgSt = 18 mJ/m^2 • PP/CaSt = 12 mJ/m^2 Thermal aging PP/metal stearate: • PP/MgSt = 90°C	Bak, 2021(Bak et al., 2021)

		<ul style="list-style-type: none"> • PP/CaSt = 50 °C 	
		Melting poin PVC/metal stearate:	
2.	Ekstrusi (190 – 220°C) PVC metal stearate 3 vol%	<ul style="list-style-type: none"> • Magnesium Stearate = 66 °C • Kalsium Stearate = 82 °C • Zinc stearate = 90 °C 	Phillips, 2021(Phillips et al., 2021)
		Ukuran partikel SEM:	
3.	Ekstrusi polyethylene (PE)/polypropylene (PP) MgSt 0,4 vol%	<ul style="list-style-type: none"> • PE/PP = 14.13 μm • M-PE/PP = 14.4 μm • PE/PP-M = 14.08 μm • M-PE/PP-M = 15.03 μm 	Liu, 2019(J. Liu et al., 2019)
		Viskositas PA6 (345 °C, shear rate 20.000 s ⁻¹)	
4.	Ekstrusi poliamida 6 metal stearate 4 vol%	<ul style="list-style-type: none"> • Magnesium Stearate = 1.5 – 5.3 Pa.s • Kalsium Stearate = 1.6 – 5.3 Pa.s • Zinc stearate = 3 – 5.3 Pa.s 	Malakhov, 2015(Malakhov et al., 2015)
		Mekanikal properties (tensile strength) PLA/GMS	
5.	Ekstrusi, 60 rpm, 180°C, Polylactide (PLA) GMS : 5 – 15 vol%	<ul style="list-style-type: none"> • 95/5 = 44.8 ± 1.3 MPa • 90/10 = 41.9 ± 4.6 MPa • 85/15 = 39.7 ± 1.0 MPa 	Ge, 2012(Ge et al., 2013)
		Ukuran partikel PLA/GMS	
		<ul style="list-style-type: none"> • 95/5 = 0.44 μm • 90/10 = 0.52 μm • 85/15 = 0.92 μm 	
		Temperatur Tg	
6.	Modeling <i>BIOVIA Materials Studio</i> nilon 66/6 GMS : 5 – 20 vol%	<ul style="list-style-type: none"> • Nilon 6 : 50 °C • Nilon 6/GMS 5 wt% = 48 °C • Nilon 6/GMS 10 wt% = 46 °C • Nilon 6/GMS 15 wt% = 43 °C • Nilon 6/GMS 20 wt% = 39 °C 	Alperstein, 2012(Alperstein et al., 2012)

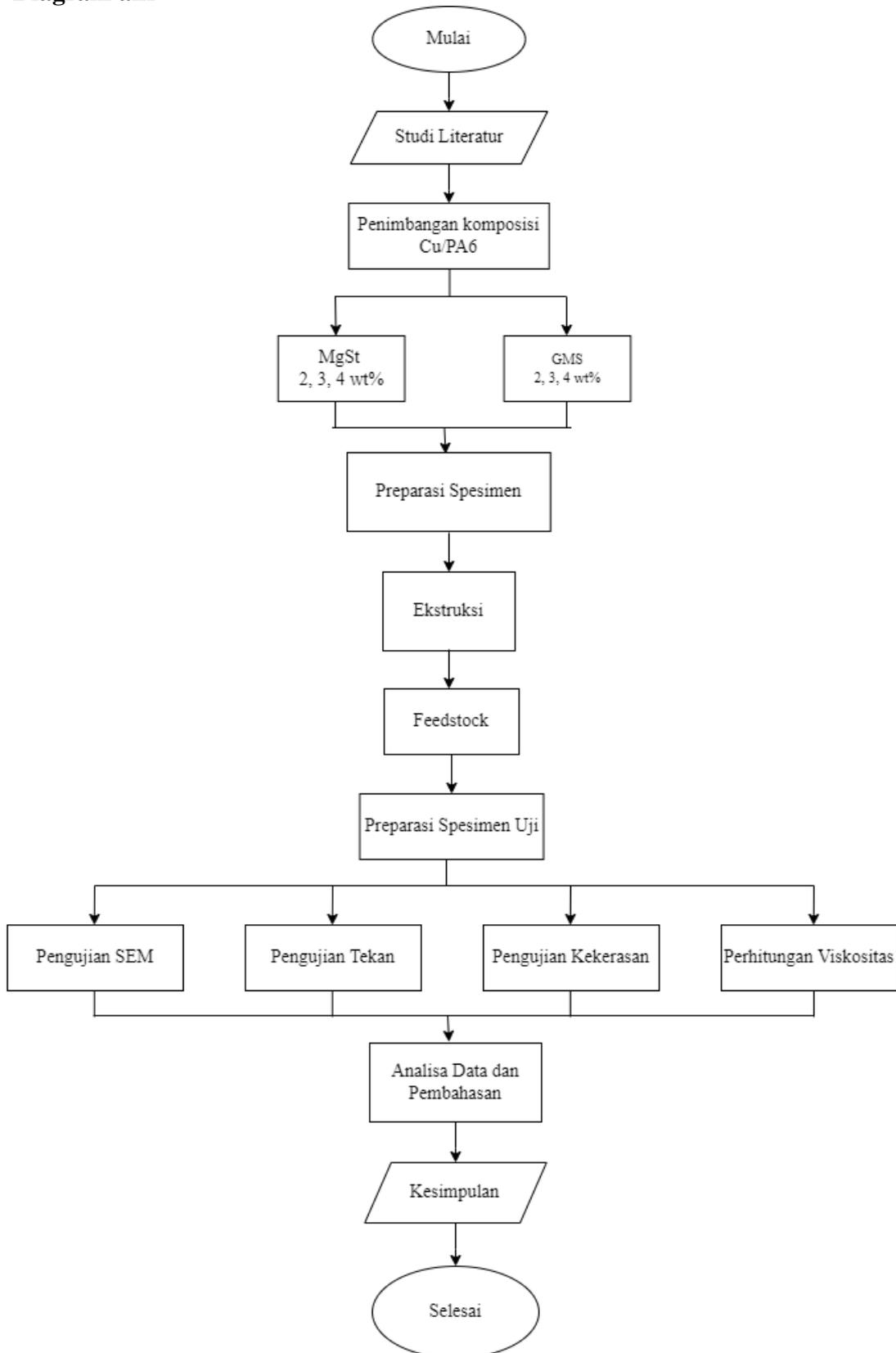
		MFR (gr/10 menit) PVC/DOP :	
		<ul style="list-style-type: none"> • 100/0 = 5.7 • 98/2 = 8.2 • 96/4 = 11.4 • 94/6 = 14.5 • 92/8 = 20.8 • 90/10 = 28.2 	
7.	Ekstrusi Polivinilklorida (PVC) <i>dioctyl phthalate</i> (DOP) : 0 – 10 vol%	Uji kekerasan ;	Umam, 2009(Umam, 2009)
		<ul style="list-style-type: none"> • 100/0 = 25.4 • 98/2 = 24.74 • 96/4 = 23.3 • 94/6 = 24.96 • 92/8 = 22.14 • 90/10 = 24.51 	
8.	Injection molding Termoplastik Starch (TPS) GMS : 2, 3, 5 vol%	Viskositas (150 °C, shear rate 10-1000 s ⁻¹)	Liu, 2001(Z. Q. Liu et al., 2001)
		<ul style="list-style-type: none"> • 2 wt% = 40 – 450 Pa.s • 3 wt% = 15 – 500 Pa.s • 5 wt% = 20 – 300 Pa.s 	
9.	Injection molding Polivinilklorida (PVC) GMS ; 1.5 dan 2 vol%	Heat stability PVC/GMS	Rosen, 1982(Rosen & Hall, 1982)
		<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 wt% = 42 menit • 2 wt% = 43 menit 	

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

No.	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Penulis Penelitian
1.	Casting Cu : 20, 30, 40, 50 wt% Vinyl Ester	Kekuatan tekan : 147.7 MPa Kekerasan : 74.33 HV	Nugroho, 2018(Nugroho, 2018)
2.	Casting Cu : 30, 50, 70 wt% Polikarbonat/Polistirena/Polipropilena : 30, 50, 70 wt%	Kekuatan tekan : 53,08 MPa Kekerasan : 112,27 HV Modulus elastisitas : 2,377 GPa	Falah, 2018(Falah, 2018)
3.	Metalurgi serbuk Cu Poliamida 6 : 0.5, 1, 1.5 wt%	Kekerasan : 26 HRB Kekuatan tekan : 153.61 MPa	Dewanto, 2015(Dewanto, 2014)
4.	Kompaksi Cu Sn	Kekerasan : 22,9 HRB	Banovic, 2007(Banovic, 2007)
5.	<i>Injection molding</i> Cu : 92.5 – 93.5 wt% Nylon 11 : 6.5 – 7.5 wt%	Densitas : 5.7 g/cm ³	Belanger et al., 1993(Belanger

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

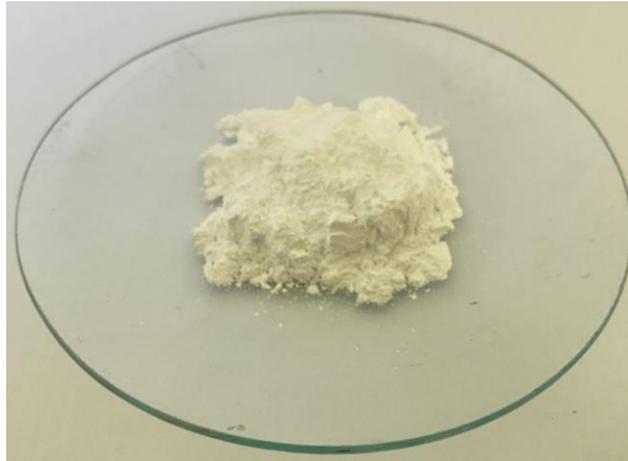
A. Magnesium stearat

Magnesium stearat akan berperan sebagai bahan zat aditif stabilizer dan memiliki bentuk berupa serbuk yang kemudian di campur dengan material komposit. Magnesium stearate yang digunakan penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : 1.02 g/cm³

Temperatur leleh : 88 °C

Massa molekul : 591.2 g/mol



Gambar 3.2 Serbuk magnesium stearate

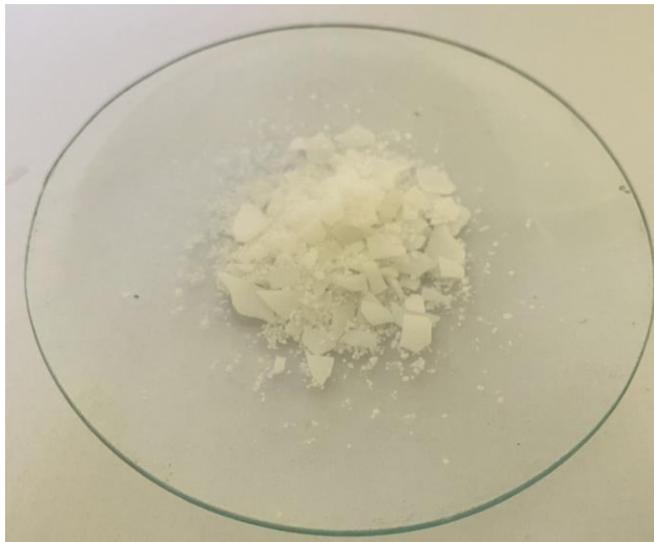
B. Glycerin Mono Stearate

Glycerin Mono Stearate akan berperan sebagai bahan zat aditif plasticizer dan memiliki bentuk berupa serbuk yang kemudian di campur dengan material komposit. Glycerin Mono Stearate yang digunakan penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : 0.97 g/cm³

Temperatur leleh : 78 °C

Massa molekul : 358.56 g/mol



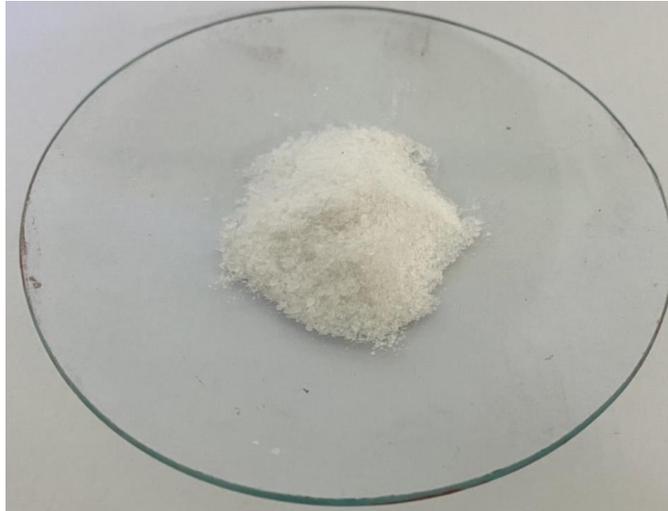
Gambar 3.3 Serbuk glycerin mono stearate

C. Serbuk Poliamida-6

Poliamida-6 yang digunakan adalah Poliamida-6 dengan bentuk serbuk yang kemudian di campur dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : 1,13 g/cm³

Temperatur lebur : 225 °C



Gambar 3.4 Serbuk Poliamida 6

D. Serbuk Cu

Tembaga yang digunakan adalah tembaga dengan bentuk serbuk yang kemudian di campur dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : 8,933 g/cm³

Temperatur lebur : 1084,62 °C

Massa molekul : 63,54 g/mol

Ukuran partikel : < 63 μm

Kemurnian : 99 %



Gambar 3.5 Serbuk tembaga (Cu)

3.3 Alat Penelitian

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

A. Jangka sorong

Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen uji yang digunakan dalam penelitian

B. Neraca digital

Digunakan untuk menimbang komposisi massa serbuk Cu dan poliamida yang digunakan untuk pembuatan *feedstock*.

C. Mesin Ekstrusi

Digunakan mesin ekstrusi berupa barrel untuk pembuatan *feedstock* komposit Cu-Poliamida 6.

D. Mesin *injection*

Digunakan mesin *injection* untuk pembuatan spesimen dari uji tekan dan kekerasan *feedstock* proyektil *frangible*

E. Gunting kawat

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

F. Mesin Uji Tekan

Digunakan untuk menguji tekan spesimen hasil dari proses ekstrusi.

G. Mesin Uji Kekerasan

Digunakan untuk menguji kekerasan spesimen hasil dari proses ekstrusi

H. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri yang digunakan adalah masker, sarung tangan tahan panas, sarung tangan lateks, dan jas lab yang digunakan selama proses penelitian

3.4 Metode 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, proyektil *frangible*, bahan material proyektil *frangible*, bahan zat aditif material proyektil *frangible*, dan proses ekstrusi.

Penimbangan *filler* dan matriks

Pada penelitian ini komposisi Cu-Pa 6 yang digunakan yaitu 86 – 88 wt% Cu dan 10 % wt Poliamida 6.

Menentukan perancangan eksperimen

Pada penelitian ini, terdapat tiga jenis variabel yaitu variabel proses, variabel konstan, dan variabel respon. Variabel proses merupakan variabel yang dapat dikendalikan. Pada penelitian ini terdapat 2 variabel proses yaitu temperatur dan *screw speed*. Setiap variabel proses memiliki 3 variasi yang akan diteliti.

Tabel 3.1 Variabel proses penelitian

No.	Variabel Proses	Keterangan
1	Magnesium Stearate (wt%)	2
		3
		4
2	Glycerin Mono Stearate (wt%)	2
		3
		4

Variabel konstan merupakan nilai variabel yang tidak diubah selama eksperimen. Dalam penelitian ini, terdapat beberapa variabel konstan, yaitu sebagai berikut

Tabel 3.2 Variabel konstan penelitian

	Variabel Konstan	Keterangan
1	Komposisi Cu wt%	86 - 88 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.

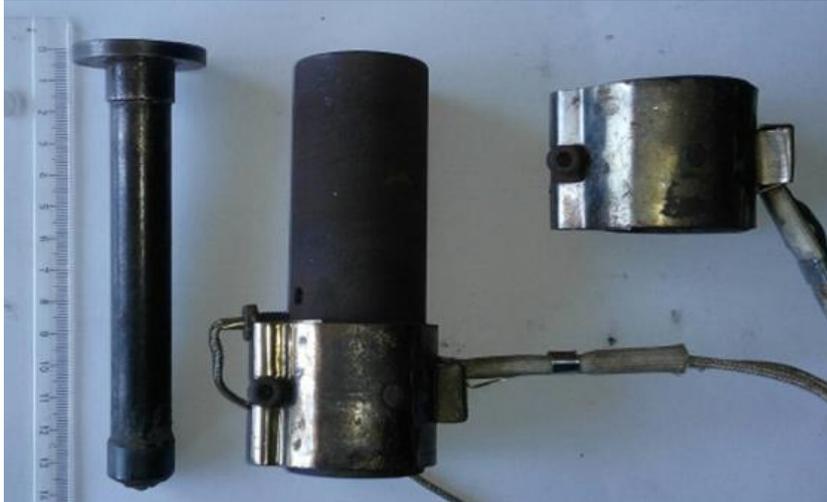
Preparasi Spesimen

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-PA 6 dan zat aditif akan di *mixing* menggunakan *magnetic stirrer*. Pada penelitian ini, *mixing* dilakukan selama 45 menit dengan kecepatan 25 rpm. Setelah itu, campuran serbuk Cu-PA 6 dan zat aditif dipindahkan pada mesin *extruder* untuk di ekstrusi.

Proses ekstrusi

Dalam tahapan ini, campuran serbuk Cu-PA6 dan zat aditif dimasukkan ke dalam mesin *extruder* berupa *barrel* dan di *mixing* menggunakan *drilling*. Parameter yang digunakan pada proses ini disesuaikan dengan variabel konstan yang telah ditentukan. Hasil dari proses ini menjadi sebuah *feedstock*. Adapun spesifikasi mesin *extruder* yang digunakan adalah sebagai berikut.

<i>Voltase</i>	: 220V/50 Hz
Daya maksimum:	: 2,3 kW
Diameter <i>barrel</i>	: 20 mm
Panjang <i>barrel</i>	: 120 mm



Gambar 3.6 *Barrel extruder*

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 kekerasan mengacu pada standar ASTM E92, dan untuk pengujian tekan mengacu pada standar ASTM D-695. Untuk membuat spesimen sesuai standar digunakan *mold* untuk mencetak spesimen uji. *Mold* yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 12,57 dan panjang 25,7 mm. Diameter dan panjang *mold* ini merujuk pada *standard* ASTM D695 ditambah dengan estimasi *shrinkage* pada PA6. *Mold* terdiri dari penutup *mold*, badan *mold*, dan penutup bawah. *Mold* terbuat dari baja VCN 150.



Gambar 3.7 *Mold dan bagian – bagiannya*

Pengujian

Pada penelitian ini, terdapat empat jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu karakterisasi SEM, pengukuran viskositas relatif, pengujian kekerasan, dan pengujian kekuatan tekan.

Analisa data dan pembahasan

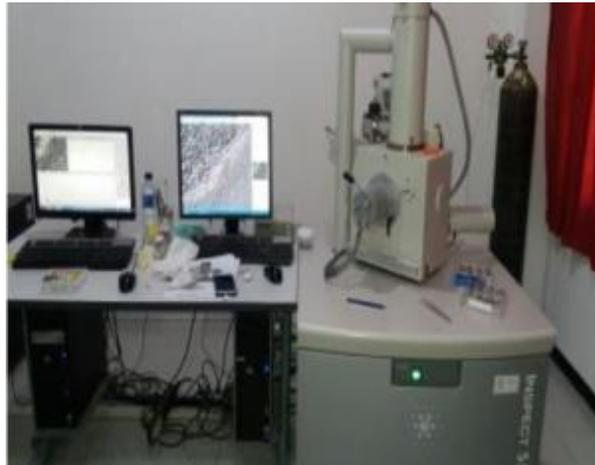
Dalam tahapan ini akan menganalisis data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Selain menganalisis, dilakukan juga pembahasan terhadap data tersebut berdasarkan dengan teori yang telah dipelajari sebelumnya.

3.5 Pengujian

Pada penelitian ini, terdapat tiga jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian MFI, pengujian kekerasan, dan pengujian kekuatan tekan.

A. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy atau SEM memanfaatkan pantulan elektron untuk menghasilkan gambar dengan perbesaran yang tinggi dan *depth of field*. Dengan perbesaran dan *depth of field* yang tinggi diperoleh gambar dengan area fokus yang lebih luas dan resolusi yang lebih baik. SEM dapat menganalisis topografi, morfologi, komposisi, dan kristalografi material (Widyastuti et al., 2019). Mesin SEM yang digunakan pada penelitian ini adalah merk HITACHI SU3500.



Gambar 3.8 Mesin uji SEM merk HITACHI SU3500

B. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode tes *Vickers*. 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* dengan indenter berbentuk intan piramida di Laboratorium Metalurgi Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya.



Gambar 3.9 *Vickers hardness testing*

C. 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.



Gambar 3.10 Spesimen uji tekan dengan diameter 12,7 mm dan tinggi 25,42 mm

Pengujian tekan dilakukan dengan memberikan beban berupa penekanan pada spesimen hingga terjadinya *fracture* pada spesimen. Hasil dari pengujian tekan adalah grafik tegangan dan regangan. Berdasarkan grafik tersebut dapat diperoleh beberapa sifat mekanik seperti kekuatan luluh, kekuatan tekan, dan modulus elastisitas. Langkah pengujian tekan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan preparasi spesimen untuk meratakan permukaan atas dan bawah spesimen
2. Mengukur diameter dan tinggi spesimen dengan jangka sorong
3. Memilih laju pembebanan tekan pada *universal testing machine*
4. Meletakkan sampel pada holder mesin *universal testing machine*
5. Menurunkan penekan pada *universal testing machine* hingga menyentuh spesimen
6. Memberikan pembebanan tekan pada spesimen hingga terjadi *fracture*

Pengujian tekan dilakukan menggunakan HT-950 *Universal Testing Machine* dengan kapasitas beban sebesar 300 ton.



Gambar 3.11 HT-950 *Universal Testing Machine*

D. Perhitungan Viskositas Relatif *Feedstock* Cu/PA6

Perhitungan viskositas *feedstock* PA6/Logam diawali dengan menghitung fraksi volume serbuk pada *feedstock* PA6/Logam. Fraksi volume serbuk dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

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)

Basis perhitungan massa *feedstock* adalah 40 gram. Adapun data yang diketahui adalah sebagai berikut:

- ρ_{PA6} : 1.14 g/cm^3
- ρ_{Cu} : 8.933 g/cm^3
- ρ_{MgSt} : 1.02 g/cm^3
- ρ_{GMS} : 0.97 g/cm^3

Sehingga perhitungan fraksi volume *feedstock* PA6/88Cu dengan penambahan magnesium stearate 2% adalah sebagai berikut:

$$\%vol\ serbuk = \frac{\left(\frac{0.88 \times 40}{8.933}\right)}{\left(\frac{0.88 \times 40}{8.933}\right) + \left(\frac{0.1 \times 40}{1.14}\right) + \left(\frac{0.02 \times 40}{1.02}\right)}$$

$$\%vol\ serbuk = 0.478585$$

Perhitungan ini kemudian dilakukan pada variasi *feedstock* lain sehingga diperoleh hasil fraksi volume serbuk pada *feedstock* sebagai berikut:

Tabel 3.3 Fraksi volume serbuk pada *feedstock* Cu/PA6

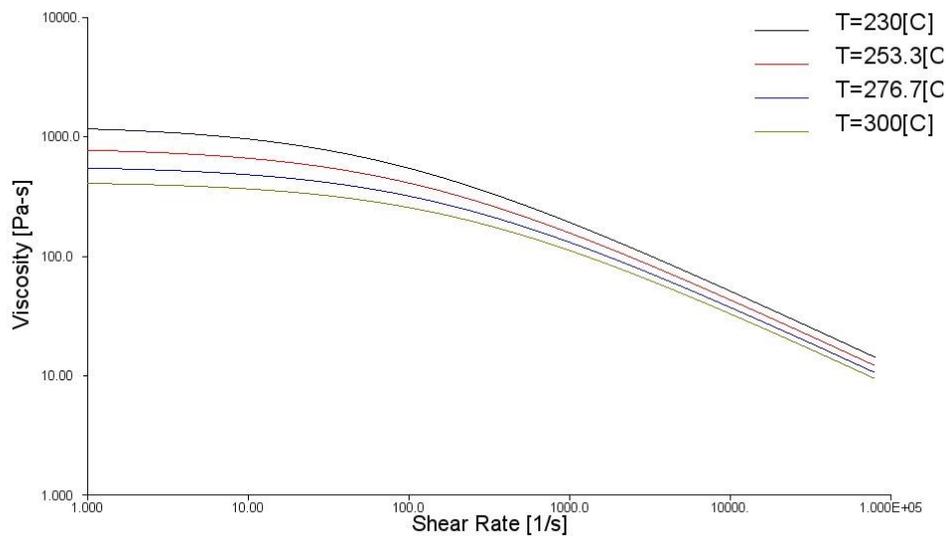
Jenis <i>Feedstock</i>	Jenis Zat Aditif	Vol Serbuk
PA6/88Cu	MgSt 2%	0.478585
PA6/87Cu	MgSt 3%	0.453992
PA6/86Cu	MgSt 4%	0.431313
PA6/88Cu	GMS 2%	0.476247
PA6/87Cu	GMS 3%	0.450806
PA6/86Cu	GMS 4%	0.427442

Data fraksi volume serbuk kemudian digunakan untuk menghitung viskositas relatif *feedstock*. Fraksi volume serbuk maksimum pada *feedstock* diasumsikan sebesar 65 vol% (Z. Y. Liu et al., 2003). Adapun perhitungan viskositas relatif *feedstock* PA6/88Cu dengan penambahan magnesium stearate 2% adalah sebagai berikut:

$$\eta_r = \left[1 - \frac{0.478585}{0,65}\right]^{-2}$$

$$\eta_r = 14.37903333$$

Perhitungan viskositas relatif ini kemudian digunakan untuk semua variasi feedstock Cu/PA6. Hasil dari perhitungan viskositas relatif feedstock kemudian dikalikan dengan viskositas PA6 pada shear rate dan temperatur tertentu. Adapun shear rate maksimum pada metode injection molding adalah 10.000 s^{-1} (Baird et al., 2012). Sedangkan temperatur yang dipilih adalah $253,3^\circ\text{C}$. Grafik Viskositas PA6 diperoleh dari database material feedstock pada aplikasi Autodesk Moldflow Adviser. Grafik viskositas PA6 adalah sebagai berikut:



Gambar 3.12 Grafik viskositas PA6 pada temperatur dan shear rate yang berbeda

Pada temperatur $253,3^\circ\text{C}$ dan shear rate 10.000 s^{-1} diperoleh viskositas PA6 sebesar $35,5501 \text{ Pa.s}$. Perhitungan viskositas feedstock ini kemudian dilakukan pada semua variasi feedstock Cu/PA6.

3.6 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

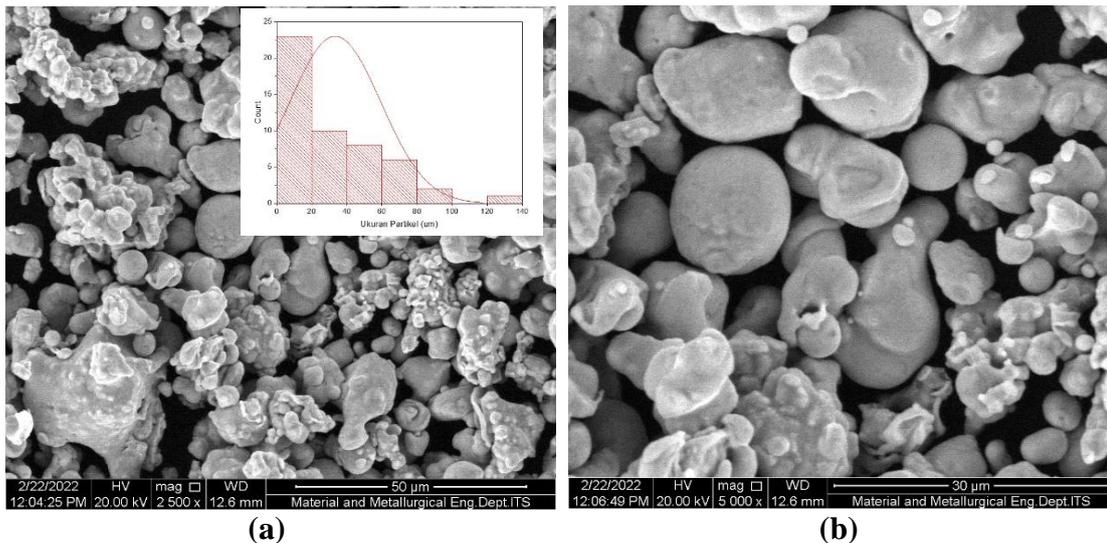
Tabel 3.4 Rancangan penelitian

Jenis Zat Aditif	Komposisi (wt%)	Pengujian			
		SEM	Kekerasan	Tekan	Viskositas
MgSt	2	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓	✓
GMS	2	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓	✓

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan

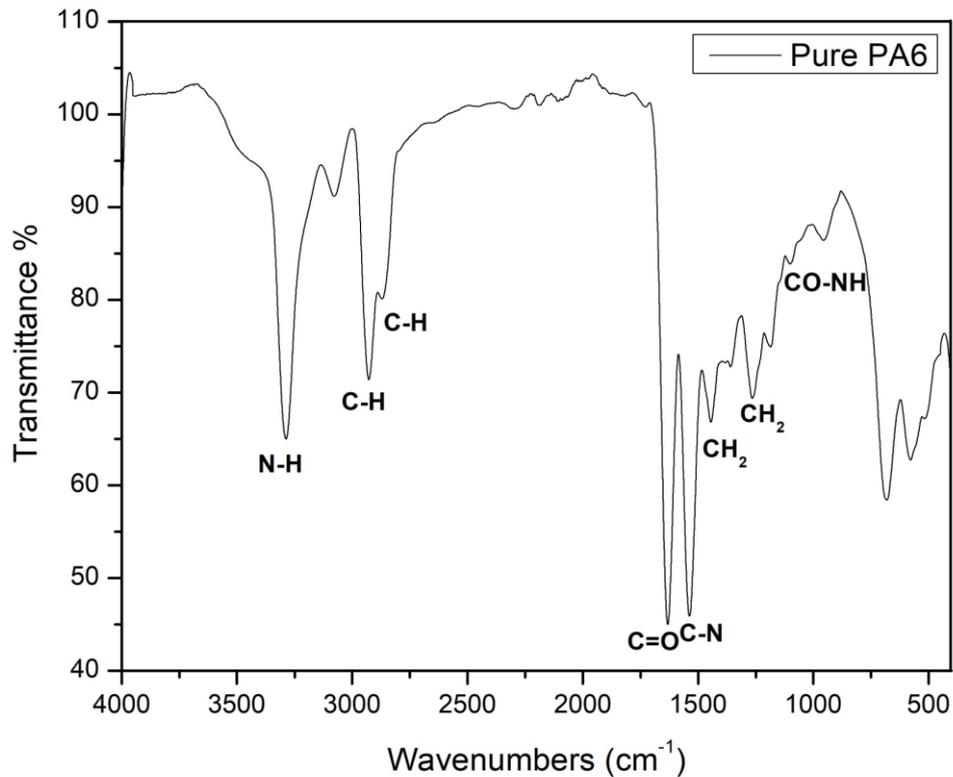
Sebelum dilakukannya eksperimen pada penelitian kali ini, perlu dilakukan karakterisasi bahan material yang akan digunakan dalam penelitian kali ini. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Serbuk tembaga (Cu), poliamida-6, magnesium stearate, dan glycerin mono stearate. Dari bahan tersebut dilakukan karakterisasi menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* untuk serbuk tembaga dan *Fourier Transform Infra Red* untuk serbuk poliamida-6, magnesium stearate, dan glycerin mono stearate.



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

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 $< 150 \mu\text{m}$. Serbuk Cu yang digunakan dalam penelitian kali ini di karakterisasi 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 itu, dalam spesifikasi serbuk tersebut, terdapat ukuran partikel serbuk tersebut yaitu sekitar $\leq 63 \mu\text{m}$. Serbuk Cu yang digunakan memiliki ukuran maksimal sebesar $100 \mu\text{m}$ dengan distribusi ukuran serbuk tertinggi pada ukuran serbuk $20 \mu\text{m}$.

Pada karakterisasi kali ini menggunakan *Fourier Transformed Infrared Red* (FTIR) pada Poliamida 6, magnesium stearate, dan glycerin mono stearate. Pengujian karakterisasi ini memiliki tujuan untuk dapat mengkarakterisasi ikatan pada senyawa organik. Dari hasil pengujian FTIR yang telah dilakukan, didapatkan hasil seperti pada **Gambar 4.2 - Gambar 4.4**.



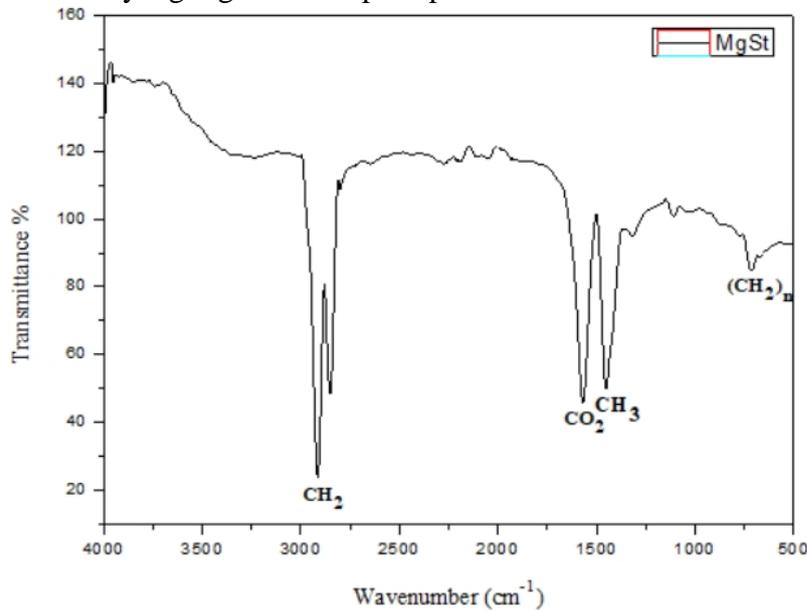
Gambar 4.2 Hasil Grafik FTIR Poliamida 6

Berdasarkan hasil grafik FTIR pada **Gambar 4.2** yang telah dilakukan, ditemukan adanya *peak* pada *wavenumbers* 3296 cm⁻¹ dengan ikatan N-H *bending* dan 1635 cm⁻¹ Amide-I C=O menandakan bahwa ikatan dan jenis gugus fungsi yang terdapat pada material tersebut adalah gugus fungsi poliamida. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR yang telah dilakukan, diperoleh kesesuaian data dengan penelitian yang dilakukan oleh Mindivan dimana berdasarkan karakteristiknya menandakan polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah Poliamida 6 (Mindivan, 2016).

Tabel 4.1 Karakteristik *infrared bands* poliamida 6 (Mindivan, 2016)

<i>Wavenumbers</i> (cm ⁻¹)	Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
3296	N-H <i>bending</i>
2934	C-H <i>in phase stretching</i>
2864	C-H <i>out of phase stretching</i>
1635	Amide-I C=O
1538	Amide-II N-H dan C-N <i>stretching</i>
1476	CH ₂ <i>scissoring</i>
1416	CH ₂ <i>scissoring</i>
1373	CH ₂ <i>twisting</i>
1201	CH ₂ <i>twisting</i>
959	CO-NH <i>in plane</i>
929	CO-NH <i>in plane</i>

Dilakukan pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada magnesium stearate yang digunakan pada penelitian ini, dengan tujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan ikatan polimer dari magnesium stearate yang digunakan seperti pada **Gambar 4.3**



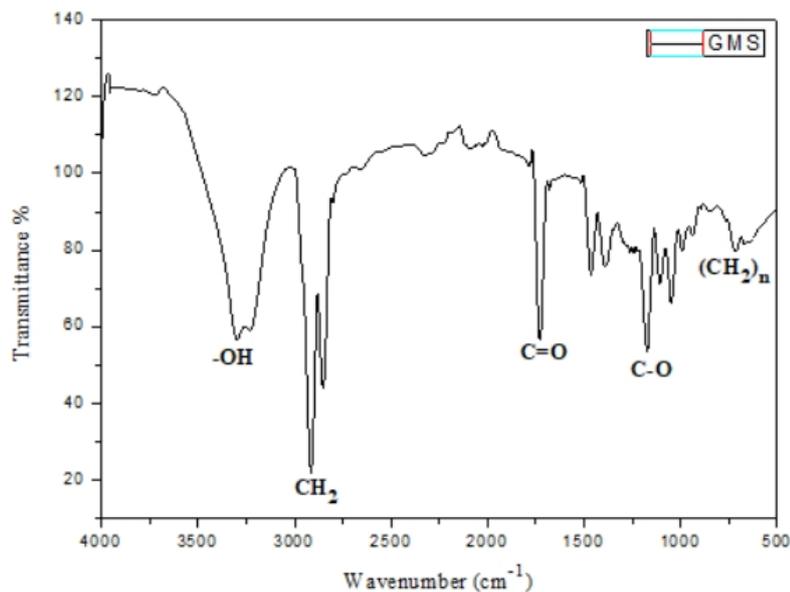
Gambar 4.3 Hasil Grafik FTIR Magnesium Stearate

Berdasarkan hasil grafik FTIR pada **Gambar 4.3** yang telah dilakukan, ditemukan adanya peak pada *wavenumbers* 1571 cm^{-1} dengan ikatan CO_2 *Stretching*, dan 1464 cm^{-1} dengan ikatan R-COO^- dan CH_3 *Deformation* menandakan bahwa ikatan dan jenis gugus fungsi *Acid Salts* yang terdapat pada material magnesium stearate. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR yang telah dilakukan, diperoleh kesesuaian data dengan penelitian yang dilakukan oleh Miller, dimana berdasarkan karakteristiknya menandakan polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah magnesium stearate (Miller & York, 1985).

Tabel 4.2 Karakteristik *infrared bands* magnesium stearate (Miller & York, 1985)

<i>Wavenumbers</i> (cm^{-1})	Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
2916	CH_2 <i>Stretching</i>
1571	CO_2 <i>Stretching</i>
1464	R-COO^- dan CH_3 <i>Deformation</i>
720	$-(\text{CH}_2)_n$ <i>Rocking</i>

Kemudian dilakukan kembali pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada zat aditif kedua yaitu Glycerin Mono Stearate yang digunakan pada penelitian ini, dengan tujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan ikatan polimer dari Glycerin Mono Stearate yang digunakan seperti pada **Gambar 4.4**



Gambar 4.4 Hasil Grafik FTIR Glycerin Mono Stearate

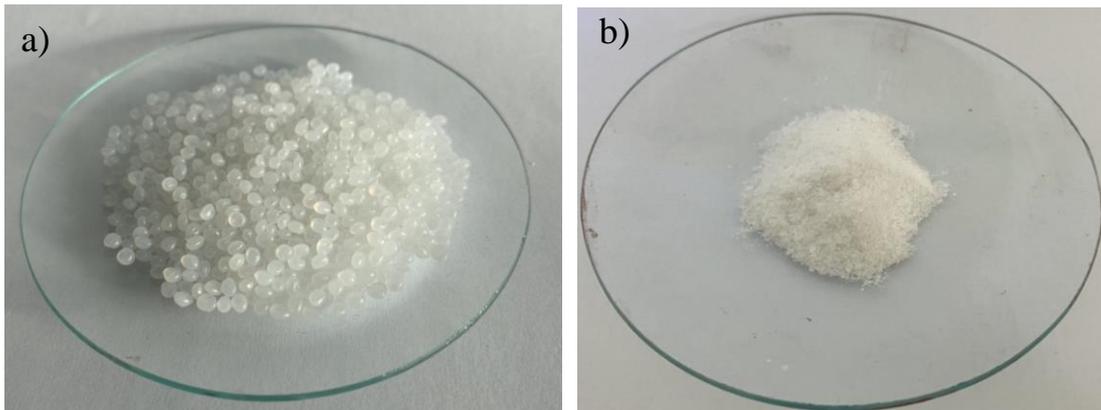
Berdasarkan hasil grafik FTIR pada **Gambar 4.4** yang telah dilakukan, ditemukan adanya *peak* pada *wavenumbers* 3300 cm^{-1} dengan ikatan *-OH Stretching*, 1738 cm^{-1} dengan ikatan *C=O Stretching*, dan 1215 cm^{-1} dengan ikatan *C-O Stretching* menandakan bahwa ikatan dan jenis gugus fungsi alkohol dan ester yang terdapat pada material glycerin mono stearate. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR yang telah dilakukan, diperoleh kesesuaian data dengan penelitian yang dilakukan oleh Han, dimana berdasarkan karakteristiknya menandakan polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah glycerin mono stearate (L. Han & Wang, 2016).

Tabel 4.3 Karakteristik *infrared bands* glycerin mono stearate(L. Han & Wang, 2016)

<i>Wavenumbers</i> (cm^{-1})	Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
3300	<i>-OH Stretching</i>
2915	<i>CH₂ Stretching</i>
1738	<i>C=O Stretching</i>
1215	<i>C-O Stretching</i>
1061	<i>C-O Stretching</i> dan <i>-OH deformasi</i>
719	<i>-(CH₂)_n Rocking</i>

4.2 Analisis Proses Pembuatan *Feedstock* Cu/PA6

Pada penelitian kali ini, pembuatan *feedstock* komposit Cu/PA6 dengan penambahan zat aditif magnesium stearate dan glycerin mono stearate dibuat dengan proses ekstrusi. Sebelum melakukan proses *grinding* poliamida 6 dari bentuk pelet menjadi serbuk berukuran $<100\ \mu\text{m}$. Hal ini bertujuan agar poliamida 6 dapat lebih mudah melapisi seluruh permukaan serbuk penguat dan mengisi rongga di antara serbuk saat proses *mixing*.



Gambar 4.5 Poliamida 6 (a) Sebelum *grinding* (b) Sesudah *grinding*

Serbuk PA6 kemudian dicampurkan dengan serbuk Cu dan aditif sesuai komposisi rancangan penelitian. Adapun persentase komposisi yang digunakan yaitu seperti pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**. Proses pencampuran dilakukan menggunakan *barrel* pada temperatur 220 °C selama 3 menit. Komposit Cu/PA6 kemudian diekstrusi menggunakan mesin ekstrusi.



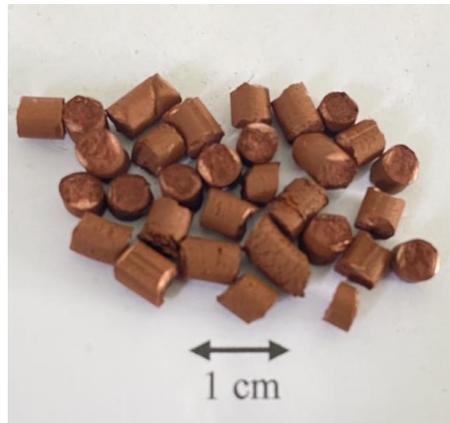
Gambar 4.6 Proses ekstrusi *feedstock*

Feedstock kemudian diekstrusi dengan cara ditekan sehingga menghasilkan *filament* komposit Cu/PA6. *Filament* ini kemudian dipotong untuk menghasilkan *feedstock* dengan panjang 4 mm.



Gambar 4.7 *Filament* komposit Cu/PA6

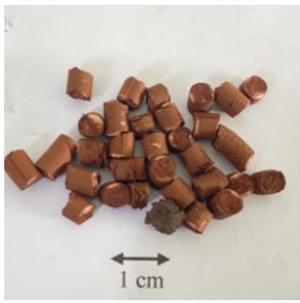
Fillament komposit Cu/PA6 kemudian dipotong-potong untuk menghasilkan *feedstock* Cu/PA6. *Feedstock* dipotong menggunakan tang potong dan menghasilkan *feedstock* dengan diameter dan panjang ± 4 mm. Adapun *feedstock* hasil pemotongan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8 *Feedstock* komposit Cu/PA6

Berikut pada **Tabel 4.4**, merupakan hasil dari proses ekstrusi untuk produksi *feedstock* Cu/PA6 berdasarkan masing-masing variasi yang digunakan

Tabel 4.4 perbandingan hasil *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan variasi aditif

Zat Aditif	Komposisi		
	2%	3%	4%
MgSt			
GMS			

Setelah *feedstock* Cu/PA6 diproduksi, akan dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh dari tiap variasi komposisi dan jenis zat aditif yang digunakan. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM), kekuatan tekan, kekerasan, dan reologi. Untuk pengujian tekan dan kekerasan, *feedstock* akan dibentuk menjadi spesimen uji menggunakan mesin injeksi.



Gambar 4.9 Mesin *injection*

Pada penelitian ini, spesimen dibentuk menggunakan *molding* dengan ukuran 1:2 sesuai dengan standar yang ada pada ASTM D695. *Molding* yang digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi diameter sebesar 12,7 mm dan tinggi sebesar 25,4 mm seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.10**. Untuk pengujian reologi dilakukan perhitungan viskositas secara teoritik dengan rumus perhitungan 3.1.

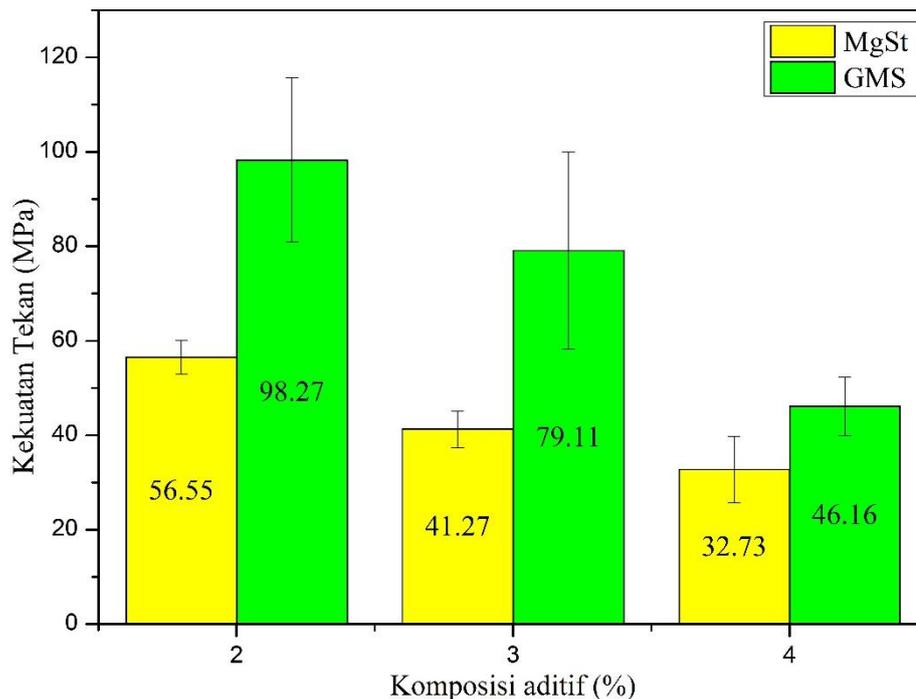


Gambar 4.10 Spesimen uji kekuatan tekan dan kekerasan

4.3 Analisa Pengaruh Komposisi dan Jenis Aditif terhadap Sifat Mekanik

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian sifat mekanik dari *feedstock* Cu/PA6 untuk mengetahui pengaruh dari penambahan komposisi dan jenis aditif yang digunakan. Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian kali ini, yaitu pengujian tekan untuk mengetahui nilai kekuatan tekan dari *feedstock*, dan pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dari *feedstock*.

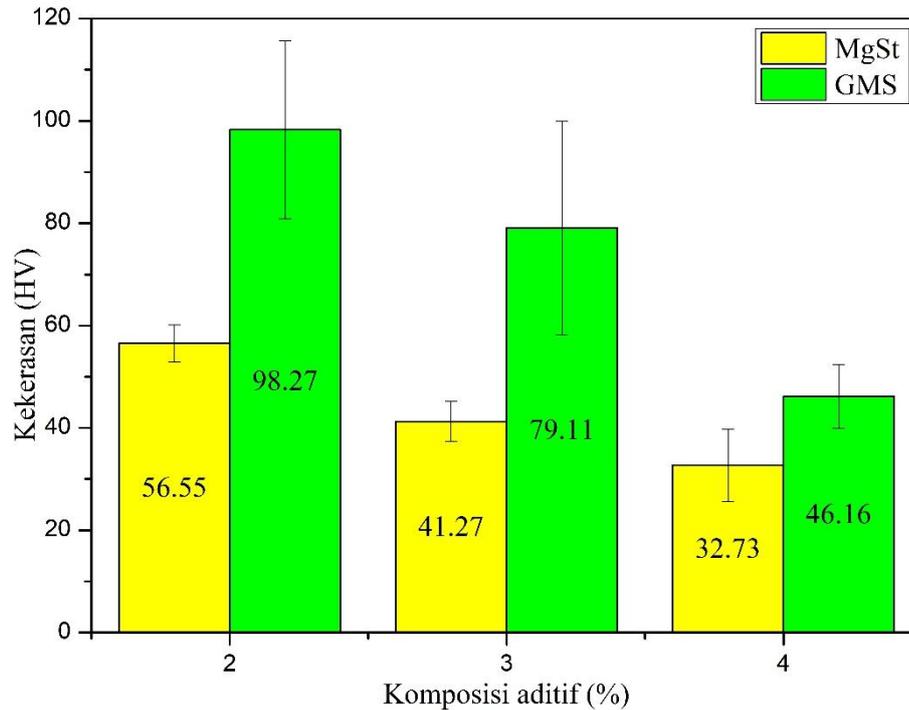
Kekuatan tekan dibutuhkan supaya proyektil yang nantinya digunakan dapat tahan saat dimasukkan pada selongsong dan juga saat proses penembakan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, nilai kekuatan tekan yang dibutuhkan untuk proyektil *frangible* yaitu 31-310 MPa. Adapun hasil pengujian tekan *feedstock* Cu/PA6 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara komposisi aditif terhadap kekuatan tekan *feedstock* Cu/PA6

Selain uji kekuatan tekan dilakukan juga uji kekerasan terhadap *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan komposisi dan jenis aditif yang telah diproduksi. Kekerasan dibutuhkan supaya untuk mengetahui seberapa besar kekerasan yang dimiliki sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan kekerasan dari sebuah laras (senapan). Karena jika kekerasan dari sebuah proyektil melebihi kekerasan sebuah laras maka dikhawatirkan akan merusak laras tersebut. Pada pengujian kekerasan kali ini menggunakan metode *vickers hardness*. Pengujian kekerasan dilakukan pada 6 variasi dimana pengujian dilakukan menggunakan 3 kali pengulangan untuk masing-masing variasi. Berdasarkan kruachatturat, nilai kekerasan yang dibutuhkan sebesar 54-119 HV. Adapun hasil pengujian kekerasan *feedstock* Cu/PA6 pada **Gambar 4.12**.

Berdasarkan hasil uji sifat mekanik yaitu uji kekuatan tekan dan uji kekerasan terhadap *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif dapat terlihat pada **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12**, semua variasi spesimen memiliki nilai kekuatan tekan dan nilai kekerasan yang melampaui batasan nilai kekerasan Kruachatturat (2009) yang dinilai ideal untuk material proyektil *frangible*. Pada spesimen dengan penambahan aditif MgSt sebanyak 4% memiliki nilai kekuatan tekan terendah sebesar 32.73 MPa. Sedangkan spesimen dengan penambahan aditif GMS sebanyak 2% memiliki nilai kekuatan tekan tertinggi sebesar 98.27 MPa. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi didapat oleh spesimen dengan variasi penambahan aditif GMS sebanyak 2% sebesar 90.23 HV dan nilai kekerasan terendah didapat oleh spesimen dengan variasi penambahan aditif MgSt sebanyak 4% sebesar 54.27 HV. Kedua sifat mekanik tersebut masuk dalam batasan sifat mekanik Kruachatturat (2009) yang ideal dimiliki oleh material untuk proyektil *frangible* yaitu untuk kekuatan tekan sebesar 31-310 MPa untuk kekerasan sebesar 54 – 119 HV.



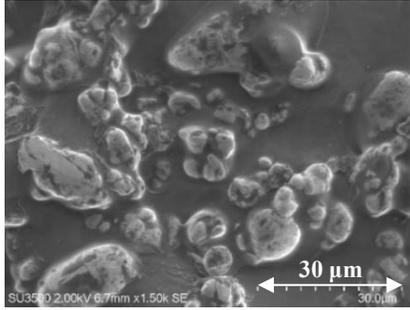
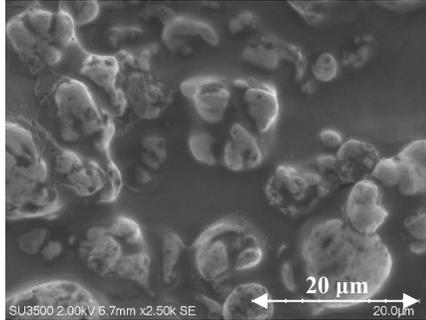
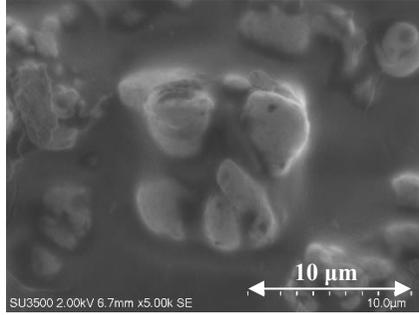
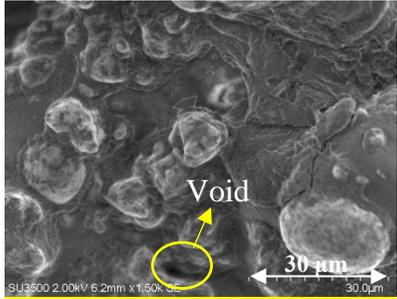
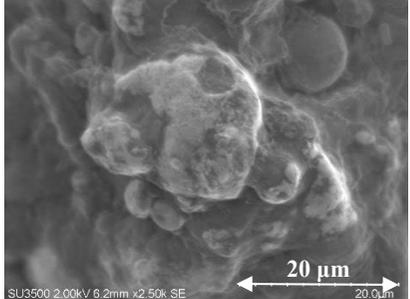
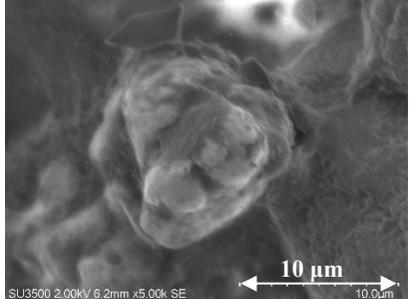
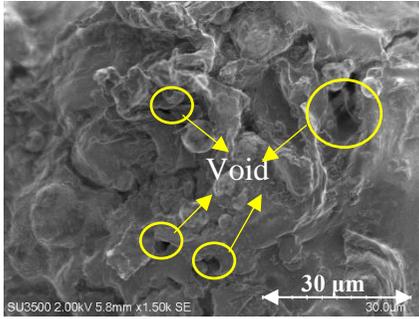
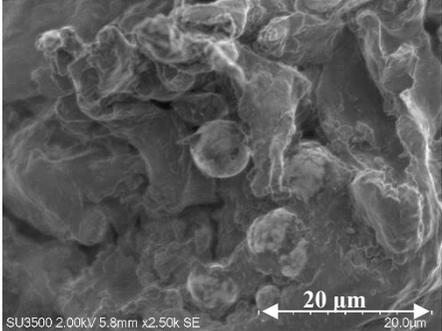
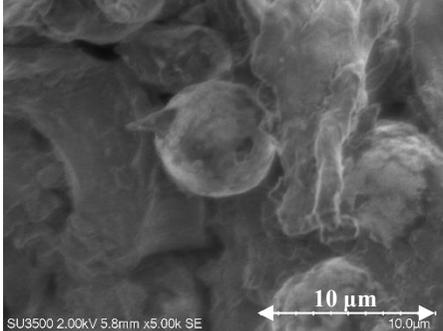
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara komposisi aditif terhadap kekerasan *feedstock* Cu/PA6

Pada hasil pengujian sifat mekanik yang telah dilakukan pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif MgSt seperti **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12** mengalami penurunan seiring dengan penambahan komposisi MgSt. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesis bahwa yang seiring penambahan komposisi magnesium stearate seharusnya sifat mekanik semakin meningkat. Namun pada penelitian ini mengalami penurunan seiring penambahan komposisi MgSt, hal ini terjadi bahwa magnesium stearate akan melapisi partikel-partikel akan mengurangi friksi dan mengurangi gaya adhesi antar partikel, sehingga *mechanical locking* tidak dapat menempel satu sama lain (Rusmartati, 2003). Berdasarkan morfologi pada **Tabel 4.5**, terlihat seiring dengan penambahan MgSt pada *feedstock* Cu/PA6 terjadi pengurangan gaya adhesi antar serbuk penguat dengan poliamida 6.

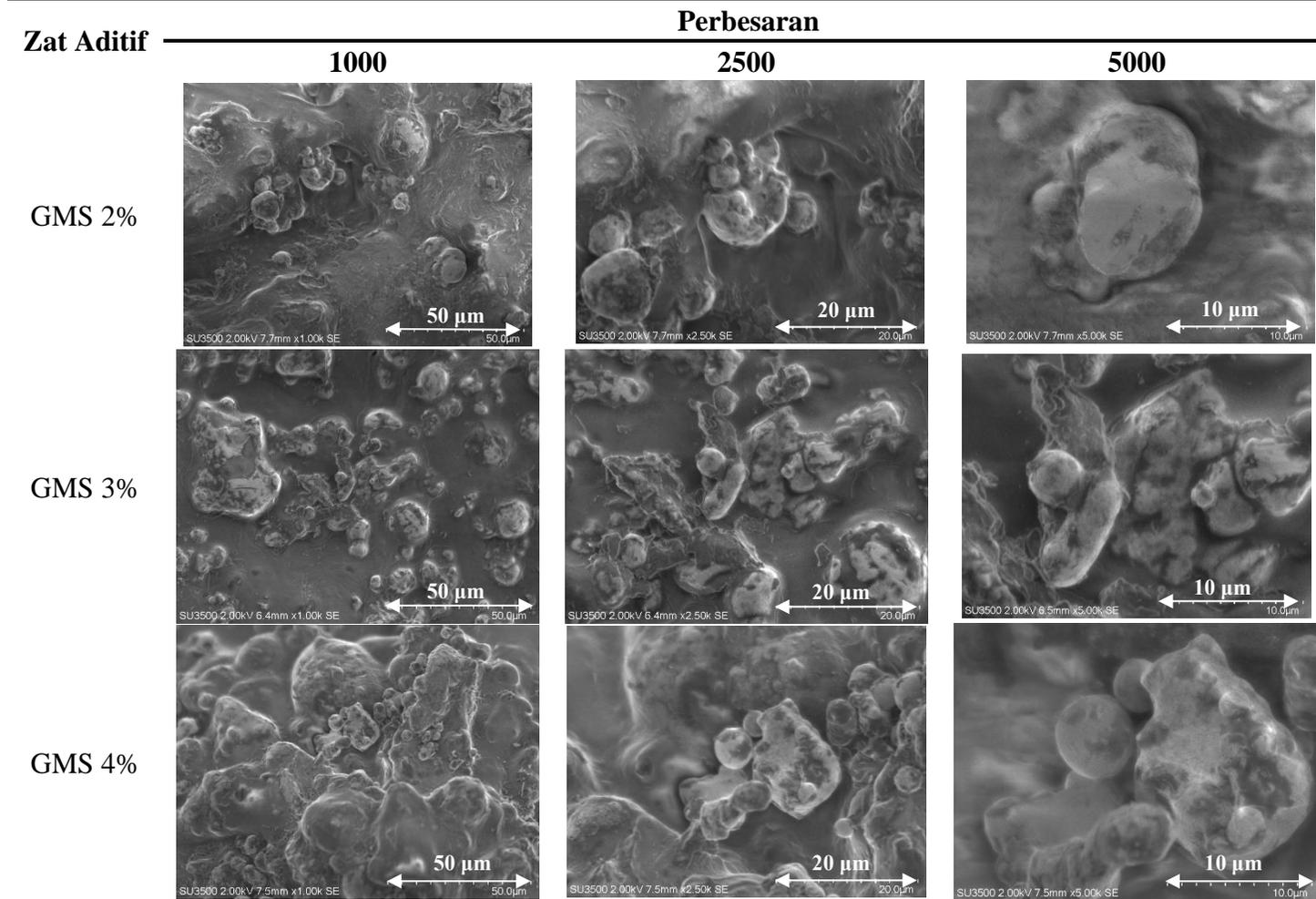
Dari hasil pengujian sifat mekanik pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS yang telah dilakukan seperti grafik pada **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12** mengalami penurunan seiring dengan penambahan komposisi GMS. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesis bahwa yang seiring penambahan komposisi GMS seharusnya sifat mekanik semakin meningkat. Namun pada penelitian ini mengalami penurunan seiring penambahan komposisi GMS, hal ini terjadi karena pada karakterisasi GMS seperti pada **Gambar 4.4** memiliki gugus alkohol (OH^-) yang dapat menginisiasi reaksi hidrolisis sedari kelembapan poliamida, sehingga terjadi penurunan sifat mekanik pada *feedstock* Cu/PA6 (Anita et al., 2013).

Berdasarkan pengujian sifat mekanik yang dilakukan seperti grafik pada **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12** terlihat bahwa GMS lebih unggul dibanding MgSt. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wibowo bahwa komposit yang ditambahkan dengan *plasticizer* akan menghasilkan sifat mekanik yang lebih meningkat dibandingkan dengan *stabilizer* (Wibowo, 2002). Selain itu morfologi *feedstock* juga mempengaruhi kualitas sifat mekanik *feedstock*, hal ini dapat terlihat dari **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**, dimana semakin banyak void yang terbentuk pada *feedstock* maka diperkirakan akan mengurangi sifat mekanik pada *feedstock* (Benjamin H. Rutz, 2010).

Tabel 4.5 Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif Magnesium Stearate

Zat Aditif	Perbesaran		
	1500x	2500x	5000x
MgSt 2%			
MgSt 3%			
MgSt 4%			

Tabel 4.6 Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif Glycerin Mono Stearate



4.4 Analisa Pengaruh Komposisi dan Jenis Aditif terhadap Reologi

Injection molding merupakan proses pembentukan *feedstock* untuk menghasilkan produk dengan variasi bentuk dan ukuran yang berbeda beda (Rosato, 2000). Sebelum *feedstock* dimasukkan kedalam *injection molding*, *feedstock* harus memiliki beberapa sifat agar *feedstock* dapat diproses dengan baik. Salah satu sifat ini adalah viskositas *feedstock* Cu/PA6. Viskositas relatif *feedstock* dapat di estimasi dengan menggunakan perhitungan. Adapun hasil estimasi viskositas relatif *feedstock* Cu/PA6 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Fraksi volume serbuk dan viskositas relatif *feedstock* Cu/PA6 penambahan aditif

Feedstock	Jenis Zat Aditif	% Vol Serbuk	Viskositas Relatif	Viskositas Feedstock (Pa.s)
PA6/88Cu	MgSt 2%	47.8585	14.3790	511.1761
PA6/87Cu	MgSt 3%	45.3992	10.9972	390.9501
PA6/86Cu	MgSt 4%	43.1313	8.8345	314.0674
PA6/88Cu	GMS 2%	47.6247	13.9946	497.5092
PA6/87Cu	GMS 3%	45.0806	10.6482	378.5446
PA6/86Cu	GMS 4%	42.7442	8.5298	303.2370

Pada hasil perhitungan viskositas relatif *feedstock* Cu/PA6 pada **Tabel 4.7**, terlihat bahwa viskositas relatif menurun seiring dengan peningkatan komposisi zat aditif. Penambahan komposisi zat aditif pada *feedstock* menimbulkan pengaruh yang signifikan untuk mempengaruhi laju aliran pada *feedstock* melalui pembentukan ikatan fisik maupun kimia (Rodic & Petric, 2004). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Peltola, dengan penambahan plasticizer membuat gaya antar molekul yang terjadi menjadi melemah dan daya tahan gaya gesek saat proses mixing meningkat, sehingga menghasilkan pengurangan nilai viskositas dan peningkatan *flowability* seiring dengan penambahan komposisi plasticizer (Peltola et al., 2011). Selain itu, pada penelitian yang dilakukan Kumar sesuai bahwa penambahan aditif stabilizer terjadi pula penurunan viskositas, hal ini dikarenakan aditif yang tercampur memiliki ketahanan akan temperatur tinggi dan gesek pada proses ekstrusi (Kumar & Sharma, 2020), sehingga dapat menjaga degradasi material pada saat temperatur tinggi maupun kecepatan *mixing* (Ding et al., 2022).

Tabel 4.8 Tabulasi hasil penelitian *feedstock* Cu/PA6

Feedstock	Zat Aditif	Viskositas (Pa.s)	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekerasan (HV)	Keterangan
Standard		1000 (Afrilinda, 2017)	31 – 310 (Kruachatturat, 2009)	54 – 119 (Kruachatturat, 2009)	
PA6/88Cu	MgSt 2%	511.1761	56.55	75.77	✓
PA6/87Cu	MgSt 3%	390.9501	41.27	70.87	✓
PA6/86Cu	MgSt 4%	314.0674	32.73	54.27	✓
PA6/88Cu	GMS 2%	497.5092	98.27	90.23	✓
PA6/87Cu	GMS 3%	378.5446	79.11	71.4	✓
PA6/86Cu	GMS 4%	303.2370	46.16	58.27	✓

Berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik dan reologi terhadap *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif dapat terlihat pada **Tabel 4.8**, semua variasi memiliki sifat mekanik dan reologi yang melampaui batasan nilai standar yang dinilai ideal untuk material *feedstock* proyektil *frangible*. Hal ini sesuai dengan nilai standar yang dilakukan oleh Kruachatturat (2009), bahwa pada spesimen dengan penambahan aditif MgSt sebanyak 4% memiliki nilai kekuatan tekan terendah sebesar 32.73 MPa dan spesimen dengan penambahan aditif GMS sebanyak 2% memiliki nilai kekuatan tekan tertinggi sebesar 98.27 MPa, dimana nilai tersebut masuk dalam batasan nilai kekuatan tekan untuk material proyektil *frangible* yaitu sebesar 31-310 MPa. Untuk nilai kekerasan juga memiliki kesesuaian dengan nilai standar yang dilakukan oleh Kruachatturat (2009), bahwa pada spesimen dengan penambahan aditif GMS sebanyak 2% memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 90.23 HV dan spesimen dengan penambahan aditif MgSt sebanyak 4% memiliki nilai kekerasan terendah sebesar 54.27 HV, dimana nilai tersebut masuk dalam batasan nilai kekerasan untuk material proyektil *frangible* yaitu sebesar 54 – 119 HV. Selain pengujian sifat mekanik, terdapat perhitungan viskositas untuk mengetahui reologi *feedstock* proyektil *frangible*. Berdasarkan penelitian Afrilinda (2007), nilai viskositas pada sebuah *feedstock* memiliki nilai maksimum sebesar 1000 Pa.s. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan *feedstock* Cu/PA6, semua variasi spesimen memiliki nilai viskositas yang melampaui standar Afrilinda (2007) yang dinilai ideal untuk *feedstock* proyektil *frangible*. Dimana spesimen dengan penambahan aditif MgSt sebanyak 2% memiliki nilai viskositas tertinggi sebesar 511.1761 Pa.s, sedangkan spesimen dengan penambahan aditif GMS sebanyak 4% memiliki nilai viskositas terendah sebesar 303.2370 Pa.s. Sehingga penelitian ini dinilai ideal untuk digunakan sebagai material *feedstock* proyektil *frangible*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Peningkatan persentase komposisi aditif menurunkan sifat mekanik *feedstock* komposit Cu/PA6. Selain itu, terbentuknya void pada *feedstock* dapat memengaruhi penurunan sifat mekanik. Sifat mekanik yang digunakan pada penelitian ini yaitu kekuatan tekan dan kekerasan. Pada *feedstock* Cu/PA6 diperoleh nilai kekuatan tekan tertinggi sebesar 98.27 MPa pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 2% dan nilai kekuatan tekan terendah sebesar 32.73 MPa pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif MgSt 4%. Pada *feedstock* Cu/PA6 diperoleh nilai kekerasan tertinggi sebesar 90.23 HV pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 2% dan nilai kekerasan terendah sebesar 54.27 HV pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif MgSt 4%.
2. Peningkatan persentase komposisi aditif meningkatkan *rheologi feedstock* proyektil *frangible*. Peningkatan persentase komposisi aditif dapat menurunkan viskositas relatif. Penurunan viskositas relatif ini disebabkan karena zat aditif dapat memperlancar mobilitas molekul polimer, sehingga *feedstock* mudah untuk mengalir. Pada *feedstock* Cu/PA6 diperoleh viskositas relatif terendah sebesar 8.529848741 pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 4% dan viskositas relatif tertinggi sebesar 14.37903333 pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif MgSt 2%. Penurunan viskositas relatif ini berbanding lurus dengan viskositas *feedstock*, dengan penurunan viskositas *feedstock* dapat meningkatkan *flowability* yang baik. Pada *feedstock* Cu/PA6 diperoleh viskositas terendah sebesar 303.2370 Pa.s pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif GMS 4% dan viskositas tertinggi sebesar 511.1761 Pa.s pada *feedstock* Cu/PA6 dengan penambahan aditif MgSt 2%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan saran untuk dapat digunakan pada penelitian selanjutnya adalah

1. Melakukan pengujian sifat *rheologi* menggunakan *rheometer* maupun *melt flow indexer* yang sesuai untuk material komposit
2. Melakukan pembuatan *feedstock* komposit menggunakan mesin ekstrusi sesuai standar, sehingga kecepatan *screw*, dan durasi proses pencampuran dapat seragam untuk *feedstock*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abeykoon, C. (2016). Single screw extrusion control: A comprehensive review and directions for improvements. *Control Engineering Practice*, 51, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.03.008>
- Afrilinda, E. (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>
- Alperstein, D., Knani, D., Goichman, A., & Narkis, M. (2012). Determination of plasticizers efficiency for nylon by molecular modeling. *Polymer Bulletin*, 68(7), 1977–1988. <https://doi.org/10.1007/s00289-012-0705-2>
- Amintowlieh, Y. et al. (2008). Flame-Retardancy Properties of Intumescent Ammonium Poly(Phosphate) and Mineral Filler Magnesium Hydroxide in Combination with Graphene. *Polymers and Polymer Composites*, 16(2), 101–113. <https://doi.org/10.1002/pc>
- Anita, Z., Akbar, F., Harahap, H., Kimia, D. T., Teknik, F., & Utara, U. S. (2013). *FILM PLASTIK BIODEGRADASI DARI PATI KULIT SINGKONG*. 2(2), 37–41.
- Aryanti, F. I. (2021). Pembuatan Komposit Polimer Polipropilena/Talk/Masterbatch Hitam Pada Cover Tail. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, 19(1), 1–6. <https://doi.org/10.52330/jtm.v19i1.8>
- Azmi, M. U. (2016). *Desain Proses Produksi Proyektil Frangible dengan Proses Metalurgi Serbuk*.
- Baird, D. G., Barres, C., Cassagnau, P., Chatterjee, T., Choi, H. J., Cloitre, M., Eberle, A. P. R., Fang, F. F., Gotsis, A., Vlachopoulos, J., & Vlassopoulos, D. (2012). *APPLIED POLYMER RHEOLOGY APPLIED POLYMER Polymeric Fluids with Industrial* (M. Kontopoulou (ed.)). John Wiley & Sons, Inc.
- Bak, M. G., Won, J. S., Koo, S. W., Oh, A., Lee, H. K., Kim, D. S., & Lee, S. G. (2021). Migration behavior of lubricants in polypropylene composites under accelerated thermal aging. *Polymers*, 13(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/polym13111723>
- Banovic, S. W. (2007). Microstructural characterization and mechanical behavior of Cu-Sn frangible bullets. *Materials Science and Engineering A*, 460–461, 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.01.113>
- Belanger, G., & Potvin, M. (1993). *United States Patent (19)*. 19, 1–8.
- Benjamin H. Rutz, J. C. B. (2010). A review of the feasibility of lightening structural polymeric composites with voids without compromising mechanical properties, *Advances in Colloid and Interface Science*. 160(1–2), 56–75.
- Callister, W. D. (2014). *Materials Science and Engineering*. 1–307.
- Chawla, K. K. (2004). Composite materials. *Chemical and Engineering News*, 82.
- Chen, C. hung, Sheen, Y. N., & Wang, H. Y. (2016). Case analysis of catastrophic underground pipeline gas explosion in Taiwan. *Engineering Failure Analysis*, 65, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.03.013>
- Dewanto, H. (2014). *MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK PROYEKTIL i (halaman ini sengaja dikosongkan) ii*.
- 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(December 2021), 100067. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2021.100067>
- Egbo, M. K. (2021). A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(8), 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>

- Falah, F. M. (2018). *Pengaruh Jenis Polimer Dan Wt% Tembaga Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Material Komposit Tembaga/Polimer Sebagai Kandidat Material Peluru Frangible*.
- Garsiman, G. (2018). *Studi Rancang Bangun Mesin Single Screw Extruder Portable Untuk Aplikasi Produksi Filament 3D Printer*. 104. https://repository.its.ac.id/53053/1/02511440000060_undergraduate-theses.pdf
- Ge, H., Yang, F., Hao, Y., Wu, G., Zhang, H., & Dong, L. (2013). Thermal, mechanical, and rheological properties of plasticized poly(L -lactic acid). *Journal of Applied Polymer Science*, 127(4), 2832–2839. <https://doi.org/10.1002/app.37620>
- Goderis, B., Putseys, J. A., Gommès, C. J., Bosmans, G. M., & Delcour, J. A. (2014). The structure and thermal stability of amylose-lipid complexes: A case study on amylose-glycerol monostearate. *Crystal Growth and Design*, 14(7), 3221–3233. <https://doi.org/10.1021/cg4016355>
- Goff, J., Whelan, T., & Delaney, D. (2000). *The Dynisco Extrusion Processors Handbook*. 2, 284.
- Gönen, M., Egbuchunam, T. O., Balköse, D., Inal, F., & Ülkü, S. (2015). Preparation and characterization of magnesium stearate, cobalt stearate, and copper stearate and their effects on poly(vinyl chloride) dehydrochlorination. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 21(4), 235–244. <https://doi.org/10.1002/vnl.21384>
- Han, C. D. (2007). *RHEOLOGY AND PROCESSING OF POLYMERIC MATERIALS*.
- Han, L., & Wang, T. (2016). Preparation of glycerol monostearate from glycerol carbonate and stearic acid. *RSC Advances*, 6(41), 34137–34145. <https://doi.org/10.1039/c6ra02912d>
- Handbook, A. S. M. (1991). Volume 4: Heat Treating. In *ASM international 10* (4th ed.).
- Hanif, I. (2010). *Teknologi Material Komposit*.
- Hansen. (2008). (12) Patent Application Publication (10) Pub . No . : US 2008 / 0225123 A1 Patent Application Publication. *Privateaccess Point Containinga Sm Card*, 1(19), 11–14.
- Harper, C. A. (1988). Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites. *Chemical Age of India*, 39(3), 165–167. <https://doi.org/10.1002/0471721557.ch4>
- Hartanto, Y. (2015). Karakteristik Rheologi Petis Berbasis Kepala dan Kulit Udang. *Engineering Science*, 2, 1–40.
- Irawan, A. P., & Sukania, I. W. (2013). Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(2), 59–63. <https://doi.org/10.9744/jtm.14.2.59-63>
- Kruachatturat. (2009). Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets. *The 3rd Thailand Metallurgical Conference*.
- Kumar, R. S., & Sharma, T. (2020). Stable SiO₂–TiO₂ composite-based nanofluid of improved rheological behaviour for high-temperature oilfield applications. *Geosystem Engineering*, 23(1), 51–61. <https://doi.org/10.1080/12269328.2020.1713909>
- Lewis, R.J., S. (1997). *Hawley's Condensed Chemical Dictionary* (13th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Liu, J., Zhang, H., Gong, H., Zhang, X., Wang, Y., & Jin, X. (2019). Polyethylene/Polypropylene Bicomponent Spunbond Air Filtration Materials Containing Magnesium Stearate for Efficient Fine Particle Capture. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(43), 40592–40601. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b13162>
- Liu, Z. Q., Yi, X. S., & Feng, Y. (2001). Effects of glycerin and glycerol monostearate on performance of thermoplastic starch. *Journal of Materials Science*, 36(7), 1809–1815. <https://doi.org/10.1023/A:1017589028611>
- 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)
- Malakhov, S. N., Belousov, S. I., Bakirov, A. V., & Chvalun, S. N. (2015). Electrospinning of Non-Woven Materials from the Melt of Polyamide-6 with Added Magnesium, Calcium, and Zinc Stearates. *Fibre Chemistry*, 47(1), 14–19. <https://doi.org/10.1007/s10692-015-9631-z>
- 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* (Third). ChemTec Publishing.
- Marcas, P. Y., & S, S. E. I. S. A. (2007). 2 320 710. 1–12.
- Mascia, L., & Xanthos, M. (1992). An overview of additives and modifiers for polymer blends: Facts, deductions, and uncertainties. *Advances in Polymer Technology*, 11(4), 237–248. <https://doi.org/10.1002/adv.1992.060110402>
- Miller, T. A., & York, P. (1985). Physical and chemical characteristics of some high purity magnesium stearate and palmitate powders. *International Journal of Pharmaceutics*, 23(1), 55–67. [https://doi.org/10.1016/0378-5173\(85\)90222-4](https://doi.org/10.1016/0378-5173(85)90222-4)
- Mindivan, F. (2016). Effect of Crystalline Form (Γ) of Polyamide 6 / Graphene Nanoplatelets (Pa6/Gn) Nanocomposites on Its Structural and Thermal Properties. *Machines. Technologies. Materials.*, 10(11), 56–59.
- 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>
- Nora, A. et al. (1928). Metallic soaps. *Oil & Fat Industries*, 5(11), 329–332. <https://doi.org/10.1007/bf02562161>
- Nugroho, H. A. (2018). *Tembaga / Vinil Ester Untuk*.
- Peltola, H., Madsen, B., Joffe, R., & Nättinen, K. (2011). Experimental study of fiber length and orientation in injection molded natural fiber/starch acetate composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/891940>
- Phillips, J., Weldhagen, M., Mhlabeni, T., Radebe, L., Ramjee, S., Wesley-Smith, J., Atanasova, M., & Focke, W. W. (2021). Thermal characterisation of metal stearate lubricant mixtures for polymer compounding applications. *Thermochimica Acta*, 699(November 2020), 178906. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2021.178906>
- Ratnasari, D., Tulaini, S., Setyawan, H., & Suari, N. M. I. P. (2019). Studi Pemilihan Proses Pabrik Gliserol Monostearat. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.41477>
- Rauwendaal, C. (2018). Understanding Extrusion. In *Understanding Extrusion* (Third Edit). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9781569906996.fm>
- Rodic, V., & Petric, M. (2004). The effect of additives on solid rocket propellant characteristics. *Sci.-Tech. Rev.*, 54(3–4), 9–14. <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad2004/34-04/rodi/rodi.pdf>
- Rosato, D. V. et al. (2000). *Injection Molding Handbook Third edition*.
- Rosen, M., & Hall, L. K. (1982). *Glyceryl Monostearate Plastic Lubricants*. 19.
- Rusmartati, I. N. (2003). *PENGARUH PERBEDAAN KADAR Mg.STEARAT TERHADAP SIFAT FISIK DAN DISOLUSI*.
- Sánchez-Valdes, S., Ramos-De Valle, L. F., & Manero, O. (2013). Polymer Blends. In *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1002/9781118480793.ch27>
- SCOTT, G. (1972). Mechanisms of Polymer Stabilization. *Chemical Transformations of Polymers*, 267–289. <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-70310-9.50021-6>

- Umam, K. (2009). *Pengaruh Penambahan Plasticizer Diocthyl Phtalate (Dop) Terhadap Mampu Alir Dan Sifat Mekanik Resin Polivinil Klorida (Pvc)*. 53(9), 1689–1699.
- Viswanath, D. S. et. al. (2007). *Viscosity of Liquids*. Springer International Publishing.
- Whelan, T., & Brydson, J. (2002). Practical Rheology Handbook. *Engineering*, 142. https://www.dynisco.com/userfiles/files/Practical_Rheology_Handbook_full_version.pdf
- Wibowo, S. S. (2002). The Addition Effect Of Stabilizer And Plasticizer On Rheology Properties And Morphology Of Starch Tapioca)/ Methyl Acrylate. *Jurnal Mikroskopi Dan Mikroanalisis*, 5, 35–37.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Zat Aditif	Komposisi (%)	Repetisi	Kekuatan Tekan (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Yield Strain	Modulus Elastisitas	Kekuatan Tekan Rata-Rata (Mpa)	Standar deviasi
MgSt	2	1	60.71	53.63	0.0126	4256.3492	56.55	3.6098
		2	54.29	36.4	0.0052	7000.0000		
		3	54.64	54.35	0.0078	6967.9487		
	3	1	40.62	40.62	0.0059	6884.7458	41.27	3.91567
		2	45.47	45.42	0.0081	5607.4074		
		3	37.72	37.72	0.0059	6393.2203		
	4	1	32.27	32.27	0.0075	4302.6667	32.73	7.0664
		2	40.02	40.02	0.0087	4600.0000		
		3	25.91	5.83	0.0062	940.3226		
GMS	2	1	78.84	76.87	0.0081	9490.1235	98.27	17.3798
		2	112.34	93.53	0.0073	12812.3288		
		3	103.62	101.49	0.0099	10251.5152		
	3	1	56.5	11.3	0.0047	2404.2553	79.11	20.8678
		2	97.63	92.58	0.0083	11154.2169		
		3	83.2	31.84	0.0031	10270.9677		
	4	1	40.34	8.2	0.0014	5857.1429	46.16	6.19389
		2	52.67	49.81	0.0051	9766.6667		
		3	45.47	45.42	0.0082	5539.0244		

Lampiran 2

Zat Aditif	Komposisi (%)	Repetisi	Kekerasan (HV)	Rata-rata Kekerasan (HV)	Standar deviasi
MgSt	2	1	60.71	56.55	3.609797
		2	54.29		
		3	54.64		
	3	1	40.62	41.27	3.915674
		2	45.47		
		3	37.72		
	4	1	32.27	32.73	7.066402
		2	40.02		
		3	25.91		
GMS	2	1	78.84	98.27	17.37976
		2	112.34		
		3	103.62		
	3	1	56.5	79.11	20.86781
		2	97.63		
		3	83.2		
	4	1	40.34	46.16	6.193892
		2	52.67		
		3	45.47		

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis juga mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak – pihak yang telah mendukung dan membantu. Diantaranya:

1. Ibu Dr. Widyastuti, S. Si, M. Si., selaku dosen pembimbing pertama dan juga selaku dosen wali penulis
2. Rindang Fajarin S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing kedua
3. Kedua orang tua dan kedua saudara penulis yang selalu menyemangati dan mendoakan selama pengerjaan tugas akhir ini
4. Aprilio Mori Syamra, Fransisca Angela Maria Rochdiyanti, Mochamad Ichwan Al Shafa, Mohammad Daffa Rizqi Siddieq, Johakim De Brito Dwiki Lakaseru, dan mas-mas penghuni Workshop selaku partner Tugas akhir penulis yang selalu berbagi motivasi dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir
5. Keluarga MT20 yang telah bersama penulis sejak awal memasuki perkuliahan hingga sekarang
6. MT17, MT18, MT19, MT21, dan MT22 yang banyak memberikan pengalaman, pembelajaran, dan pengalaman berharga semasa penulis berkuliah
7. HMMT FTIRS ITS yang telah memberikan wadah bagi penulis untuk belajar dan berkembang
8. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Aditya Bramantyo Wicaksono. Penulis lahir di Jakarta pada 11 November 2000 dari orang tua bernama Agus Mulyono dan Nining Setyaningrum. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dalam keluarganya. Pendidikan formal penulis mulai ditempuh dari SD Cindera Mata Bekasi, SMPN 19 Bekasi, SMAN 5 Bekasi, dan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Penulis pernah mengikuti kegiatan kerja praktik sebagai asisten peneliti di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia dan mengikuti magang kampus merdeka sebagai Operator Turbin Generator PLTU Jeranjang di PT Indonesia Power. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa kegiatan intra dan ekstra kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Wakil Direktur Badan Semi Otonom Kewirausahaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Material & Metalurgi (HMMT) FTIRS-ITS dan staf *Event Organizer* di ITS *Material Advantage Chapter*. Dalam kegiatan *event*, penulis pernah menjadi bagian dalam beberapa *event* seperti ISOMETRIC 2019 sebagai staf divisi perlengkapan dan ketua pelaksana webinar kewirausahaan BSO HMMT FTIRS-ITS.

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 : 081318585871
Email : adityabramantyo55@gmail.com