

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISA PENGARUH BENTUK PARTIKEL DAN
DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL SERBUK TEMBAGA
TERHADAP SIFAT MEKANIK FEEDSTOCK PROYEKTIL
FRANGIBLE**

MOHAMMAD DAFFA RIZQI SIDDIQ
NRP. 02511840000114

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197604102002121002

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



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISA PENGARUH BENTUK PARTIKEL DAN
DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL SERBUK TEMBAGA
TERHADAP SIFAT MEKANIK FEEDSTOCK PROYEKTIL
FRANGIBLE**

MOHAMMAD DAFFA RIZQI SIDDIQ
NRP. 02511840000114

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197604102002121002

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 COPPER POWDER PARTICLE
SHAPE AND PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON
MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE
FEEDSTOCK**

MOHAMMAD DAFFA RIZQI SIDDIEQ
NRP. 02511840000114

Advisor
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197604102002121002

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

ANALISA PENGARUH BENTUK PARTIKEL DAN DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL SERBUK TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE

TUGAS AKHIR

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

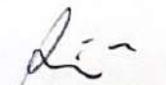
Oleh : **MOHAMMAD DAFFA RIZQI SIDDIQ**
NRP. 02511840000114

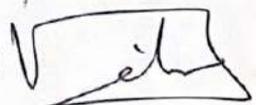
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Widyastuti, S. Si., M.Si
2. Budi Agung Kuniawan, S.T., M.Sc.
3. Yuli Setyorini, S.T., M.Phil., PhD.Eng.
4. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.


Pembimbing


Ko-Pembimbing

Penguji 

Penguji 



SURABAYA
Bulan, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS THE EFFECT OF COPPER POWDER PARTICLE SHAPE AND PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK

FINAL PROJECT

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

By : **MOHAMMAD DAFFA RIZQI SIDDIQ**
NRP. 02511840000114

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dr. Widyastuti, S. Si., M.Si
2. Budi Agung Kuniawan, S.T., M.Sc
3. Yuli Setyorini, S.T., M.Phil., PhD.Eng.
4. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Advisor



Co-Advisor



Examiner



Examiner



SURABAYA
Month, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Mohammad Daffa R.S / 02511840000114
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing/NIP : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. /
197906202006042001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENGARUH BENTUK PARTIKEL DAN DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL SERBUK TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

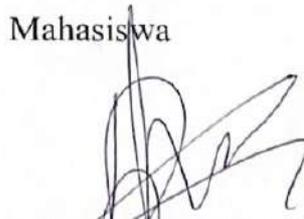
Surabaya, Tanggal 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Mahasiswa



(Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.)
NIP. 198012072005011004



(Mohammad Daffa R.S.)
NRP.02511840000114

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Mohammad Daffa R.S / 0251184000114
Departement : Material Engineering Department
Advisor/NIP : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. /
197906202006042001

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS THE EFFECT OF COPPER POWDER PARTICLE SHAPE AND PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

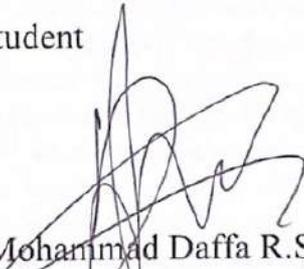
If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Tanggal 2022

Acknowledged
Advisor


(Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.)
NIP. 198012072005011004

Student


(Mohammad Daffa R.S.)
NRP. 0251184000114

(This page is intentionally blank)

ANALISA PENGARUH BENTUK PARTIKEL DAN DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL SERBUK TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK FEEDSTOCK PROYEKTIL FRANGIBLE

Nama Mahasiswa / NRP : **Mohammad Daffa Rizqi Siddieq / 02511840000114**
Departemen : **Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS**
Dosen Pembimbing : **Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.**

Abstrak

Proyektil *frangible* adalah salah satu dari aplikasi bidang ilmu komposit, dibuat dari logam dan polimer salah satunya adalah tembaga (Cu) sebagai penguat yang dicampurkan dengan Poliamida 6 sebagai matriks. Manufaktur dari proyektil *frangible* membutuhkan *feedstock* yang dibuat dengan proses ekstrusi dari kedua serbuk material, yang kemudian diproses kembali dengan injection molding. Proyektil *frangible* yang baik harus memiliki kekuatan tekan dan kekerasan yang sesuai agar saat proses penembakan tidak terjadi deformasi pada peluru tersebut. Sifat mekanik tersebut dapat dipengaruhi oleh bentuk partikel dan ukuran partikel dari material pembuat *feedstock*. *Feedstock* dibuat dengan metode ekstrusi campuran Cu/PA 6 dengan variasi bentuk partikel dan ukuran partikel bentuk yang digunakan adalah dendritik dan sperikal, dan ukuran serbuk yang digunakan Cu <53, 53-75, 75-125 μm . Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pengujian karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan pengujian sifat mekanik uji kekuatan tekan untuk menganalisis kekuatan tekan *feedstock*, uji kekerasan untuk menganalisis kekerasan *feedstock*. Hasil pengujian tekan, pengujian kekerasan, dan pengujian kekuatan tarik menurun seiring meningkatnya ukuran partikel. Untuk variasi bentuk partikel sperikal nilai tertinggi kekuatan tekan, kekerasan dan kekuatan tarik sebesar 139,03 MPa, 81,96 HV, dan 32,7 MPa dengan bahan partikel Cu ukuran <53 μm dan nilai terendahnya adalah 128,71 MPa, 63,8 HV, dan 25,68 Mpa dengan bahan partikel Cu ukuran 75-125 μm . Untuk variasi bentuk partikel dendritik nilai tertinggi kekuatan tekan, kekerasan, dan kekuatan tarik sebesar 109,30 MPa, 67,43 HV, dan 31,21 MPa dengan bahan partikel Cu ukuran <53 μm dan nilai terendahnya adalah 52,37 MPa, 56,26HV, dan 17,44 dengan bahan partikel Cu ukuran 75-125 μm . Parameter yang optimal untuk digunakan sebagai proyektil *frangible* adalah *feedstock* dengan bahan Cu berbentuk dendritik <53 μm karena memiliki nilai sifat mekanik yang telah memenuhi standar kebutuhan minimum, nilai sifat mekanik dikategorikan lolos kedalam kriteria kebutuhan nilai kekerasan, kekuatan tekan dan kekuatan tarik. Selain itu serbuk berbentuk dendritik memiliki harga yang lebih murah dibanding serbuk berbentuk sperikal.

Kata Kunci: *Bentuk Partikel, Distribusi Ukuran Partikel, Feedstock, Komposit.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF COPPER POWDER PARTICLE SHAPE AND PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF FRANGIBLE PROJECTILE FEEDSTOCK

Student Name / NRP : **Mohammad Daffa Rizqi Siddieq / 02511840000114**
Departement : **Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS**
Advisor : **Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.**

Abstract

Frangible projectiles are one of the application in composite studies, it is made from metal and polymer specifically copper (Cu) as a filler mixed with Polyamide 6 as the matrix. Manufacturing of frangible projectiles needs a feedstock made from extrusion of two powdered material, which will be going to further the process of injection molding. To reach ideal specification, a frangible projectile must have superior compressive strength and hardness to ensure the projectiles from deformation occurred when firing the gun. Mechanical properties are effected by particle shape and particle size of the feedstock material. The variation used on particle shape is irregular and spherical, with the distribution particle size of Cu powder being <53, 53-75, 75-125 μ m. The test applied to the feedstock is Characterization test using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared (FTIR) and mechanical properties test using Compressive strength test to analyze the strength, hardness test to analyze the hardness and tensile test to analyze the feedstock tensile properties. Results of the mechanical tests are all the mechanical properties value decreases when the particle size increases. The highest compressive strength, hardness, and tensile strength value of spherical particles feedstocks respectively are 139,03 MPa, 81,96 HV, and 32,7 MPa with a Cu particle size of <53 μ m and the lowest value are 128,71 MPa, 63,8 HV, and 25,68 MPa with a Cu particle size of 75-125 μ m. The highest compressive strength, hardness, and tensile strength value of dendritic particles feedstocks respectively are 109,30 MPa, 67,43 HV, and 31,21 MPa with a Cu particle size of <53 μ m and the lowest value are 52,37 MPa, 56,26 HV, and 17,44 MPa with a Cu particle size of 75-125 μ m. The optimum parameter used for frangible projectiles is feedstock with Dendritic shaped Cu particles and particle size <53 μ m with mechanical properties, The compressive strength, hardness, and tensile strength are accepted minimum standard. Furthermore, dendritic Cu powder are cheaper than spherical Cu powder.

Keywords: *Composite, Feedstock, Particle Shape, Particle Size Distribution*

(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 “Analisa Pengaruh Bentuk Partikel dan Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Tembaga terhadap Sifat Reologi dan Sifat Mekanik Feedstock Projektil Frangible” untuk memenuhi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi 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. Ibu Dr. Widyastuti, S. Si. M. Si, selaku dosen pembimbing pertama serta selaku dosen wali penulis;
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua;
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S. Si., M. Si., Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS
4. Tim Dosen Penguji seminar dan siding, serta seluruh dosen dan staff Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS – ITS;

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.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xvi
KATA PENGANTAR	xviii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Proyektil Frangible	3
2.2 Material Komposit	4
2.3 Poliamida 6	8
2.4 Tembaga (Cu)	8
2.5 Ekstrusi	9
2.6 <i>Feedstock</i>	10
2.7. Penelitian Sebelumnya	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Diagram Alir	17
3.2. Bahan Penelitian	18
3.3. Alat Penelitian	19
3.4. Metode Penelitian	21
3.4.1. Studi Literatur	22
3.4.2. Preparasi serbuk Cu	22
3.4.3. Preparasi Bahan <i>Feedstock</i> dan penimbangan komposisi Cu-Poliamida 6	23
3.5. Pengujian	23
3.5.1. Pengujian Kekerasan	23
3.5.2. Pengujian Tekan	23
3.5.3. Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)	24
3.6. Rancangan Penelitian	26
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Karakterisasi Bahan	27
4.1.1 Karakterisasi Serbuk Cu	27
4.1.2 Karakterisasi Poliamida-6	28
4.2 Analisis Proses Pembuatan <i>Feedstock</i> Cu/PA6	28
4.3 Pengaruh Bentuk Partikel dan Ukuran Partikel terhadap Sifat Mekanik <i>Feedstock</i> Cu/PA-6	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Bagian-bagian peluru(Falah, 2014).....	3
Gambar 2.2. Ikatan Mekanik pada Antarmuka Komposit (a) Ikatan Mekanik Ideal (Tanpa Void) dan (b) Ikatan Mekanik dengan Void (Callister & David Rethwisch, n.d.)	4
Gambar 2.3. Representasi faktor geometri dan spasial yang mempengaruhi sifat komposit: (a) konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk, (d) distribusi, dan (e) orientasi (Callister & DavidRethwisch, n.d.).....	5
Gambar 2. 4. Pengaruh kebulatan bentuk partikel terhadap densitas (Heaney, 2012)	6
Gambar 2. 5. Bentuk partikel serbuk logam (Randall M. German, 1984).....	6
Gambar 2. 6. Ilustrasi skematik distribusi ukuran partikel (Randall M. German, 1984).....	7
Gambar 2. 7. Skema Komponen Extruder (Callister & David Rethwisch, n.d.)	9
Gambar 2. 8. Bagian utama screw extruder (Callister & David Rethwisch, n.d.).....	9
Gambar 2. 9. Proses pembuatan <i>feedstock</i> (Moon et al., 2021).....	10
Gambar 2. 10. Hasil SEM stainless steel 17-4 PH (a) 3.18, (b) 4.91, dan (c) 9.33 μm (Jung et al., 2014).....	12
Gambar 2. 11. Viskositas vs Shear stress hasil dari pengujian <i>feedstock</i> (Jung et al., 2014)	13
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3. 2. Serbuk Poliamida 6	19
Gambar 3. 3. Cu Powder	19
Gambar 3. 4. Neraca Digital	20
Gambar 3. 5. Beaker Glass.....	20
Gambar 3. 6. Spatula.....	20
Gambar 3. 7. <i>Sieve Shaker</i>	21
Gambar 3. 8. <i>Barrel</i>	21
Gambar 3. 9. <i>Hardness testing machine</i>	23
Gambar 3. 10. Spesimen Uji Tekan	24
Gambar 3. 11. <i>HT-950 Universal Testing Machine</i>	24
Gambar 3. 12. Spesimen Uji Tarik.....	25
Gambar 3. 13. <i>Universal Testing Machine</i>	25
Gambar 3. 14. Mesin Uji SEM HITACHI SU3500.....	26
Gambar 4. 1 Morfologi serbuk tembaga bentuk sperikal dengan perbesaran (a) 1.500x dan (b) 5.000x	27
Gambar 4. 2 Morfologi serbuk tembaga bentuk dendritik dengan perbesaran (a) 1.500x dan (b) 5.000x	27
Gambar 4. 3 Grafik FTIR Poliamida 6 dan Feedstock Cu/PA6.....	28
Gambar 4. 4. Poliamida 6 (a) Sebelum <i>grinding</i> (b) Sesudah <i>grinding</i>	29
Gambar 4. 5. <i>Filament</i> komposit Cu/PA6.....	29
Gambar 4. 6. <i>Feedstock</i>	29
Gambar 4. 7. Grafik hubungan antara ukuran partikel terhadap kekuatan tekan <i>feedstock</i> Cu/PA-6	31
Gambar 4. 8. Grafik hubungan antara ukuran partikel terhadap kekerasan <i>feedstock</i> Cu/PA-6	31
Gambar 4. 9. Grafik hubungan antara ukuran partikel terhadap kekuatan tarik <i>feedstock</i> Cu/PA-6	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Karakteristik Proyektil Frangible	3
Tabel 2. 2. Sifat material poliamida-6	8
Tabel 2. 3. Sifat material tembaga	9
Tabel 2. 4. Standard Produk Ecomass® Compound 1700CO94	11
Tabel 3. 1. Variabel Proses Penelitian.....	22
Tabel 3. 2. Variabel Konstan	22
Tabel 3. 3. Rancangan Penelitian	26
Tabel 4. 1. <i>Feedstock</i> hasil pemotongan.....	30
Tabel 4. 2. Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan bentuk partikel sferikal	34
Tabel 4. 3. Gambar morfologi <i>feedstock</i> Cu/PA6 dengan bentuk partikel dendritik	35
Tabel 4. 4. Tabulasi	36

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia militer saat ini banyak menggunakan peluru *frangible* sebagai peluru latih. Peluru ini di desain untuk hancur ketika mengkantam target yang keras, sehingga akan meningkatkan keamanan dalam berlatih (Mates et al., 2008). Peluru *Frangible* adalah peluru yang dimaksudkan untuk hancur menjadi partikel kecil pada dampak sasaran untuk memaksimalkan penetrasi objek. Tidak seperti peluru konvensional yang digunakan biasanya memiliki kecenderungan memantul (*ricochet*) saat mengenai benda keras. Pantulan dari peluru tersebut sangat mematikan apabila mengenai seseorang. Untuk itu peluru *frangible* merupakan salah satu solusinya. Seiring dengan perkembangan zaman diketahui pengembangan peluru *frangible* berubah menjadi *polymer matrix composite* dengan menggantikan Sn sebagai filler sehingga lebih mudah di fabrikasi dan biaya yang rendah. Pada pengembangan ini metode manufaktur polimer banyak dilakukan, namun yang umum dilakukan yakni injection molding. Dan dengan beberapa metode yang lain yang dapat dilakukan untuk manufaktur polimer yakni ekstrusi dan casting. Hasil ekstrusi sendiri berupa *feedstock* yang merupakan campuran antar polimer dan serbuk logam. *Feedstock* merupakan bahan yang diperlukan untuk proses tahapan selanjutnya mencetak proyektil *frangible*. Maka dari itu diperlukan komposisi *feedstock* yang baik agar hasil proyektil tahap selanjutnya memiliki sifat mekanik yang diinginkan.

Menurut Heaney, banyak faktor yang memengaruhi sifat yang didapatkan oleh *feedstock* hasil proses ekstrusi, salah satunya adalah bentuk partikel dan ukuran serbuk partikel logam yang dipakai. Semakin besar ukuran partikel yang digunakan memengaruhi jumlah partikel yang mengalami kontak antar partikel dibanding partikel berukuran kecil. Semakin besar ukuran partikel maka semakin sedikit jumlah partikel yang mengalami kontak antarpartikel. (Heaney, 2012)

Menurut Wichianrak, bentuk partikel memengaruhi sifat mekanik karena dapat memengaruhi hasil ekstrusi dan memengaruhi gaya antar partikel. Logam dengan bentuk partikel sferikal lebih cocok digunakan untuk menjadi bahan *feedstock* karena memiliki densitas yang tinggi dan *flow rate* yang tinggi. Sedangkan ukuran partikel dapat memengaruhi sifat mekanik dari *feedstock* yang dibuat, serbuk dengan ukuran kecil menunjukkan sifat mekanik yang *superior*. Logam dengan bentuk partikel *irregular* diperlukan ukuran partikel lebih kecil untuk dapat di ekstrusi, logam dengan bentuk partikel *irregular* juga memiliki sifat mekanik yang baik dibanding serbuk sferikal karena memiliki area permukaan yang lebih tinggi dibanding serbuk sferikal, *interparticle locking* antara serbuk *irregular* dapat memengaruhi sifat mekanik dari serbuk partikel dan ukuran partikel yang digunakan untuk bahan pembuatan *feedstock*, dilakukan penelitian yang akan menganalisa bentuk partikel dan ukuran partikel logam terhadap sifat reologi dan sifat mekanik *feedstock* proyektil *frangible*. Respon yang diamati dalam penelitian ini antara lain adalah sifat mekanik yang dihasilkan dari pemilihan variasi bentuk partikel dan ukuran partikel bahan pembuatan *feedstock*. (Wichianrak et al., 2008)

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

Bagaimana pengaruh bentuk partikel dan distribusi ukuran partikel serbuk tembaga (Cu) terhadap sifat mekanik *feedstock* proyektil *frangible*?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang baik serta tidak menyimpang dari permasalahan, maka batasan masalah pada pembahasan ini adalah sebagai berikut:

1. Impuritas material dianggap tidak ada

2. Kondisi lingkungan dianggap tidak berpengaruh

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan adanya rumusan masalah di atas, maka dapat ditarik tujuan sebagai berikut:

Menganalisis pengaruh bentuk partikel dan distribusi ukuran partikel serbuk tembaga (Cu) terhadap sifat mekanik *feedstock* proyektil frangible?

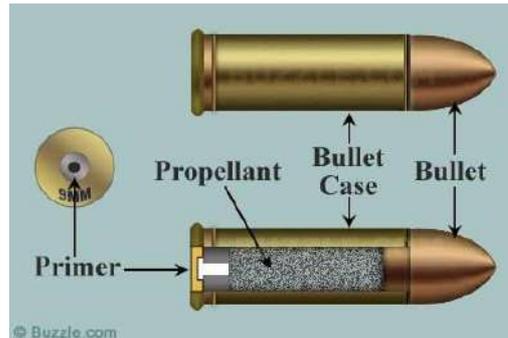
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mampu menganalisis pengaruh variasi bentuk partikel dan ukuran partikel serbuk tembaga (Cu) terhadap sifat rheologi dan sifat mekanik *feedstock* proyektil frangible

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyektil Frangible

Proyektil merupakan bagian dari peluru yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan dorongan sendiri. Berat proyektil berpengaruh pada kecepatan peluru menuju target. Bentuk dan ukuran kelongsong juga menentukan kekuatan peluru untuk terdorong ke depan. Semakin besar ukuran kelongsong maka dapat semakin banyak menyimpan mesiu sehingga menghasilkan ledakan yang lebih kuat (Kelter, 2011)



Gambar 2. 1. Bagian-bagian peluru (Falah, 2014)

Ketika pelatuk (*Firing pin*) menghantam pemantik (*primer*) akan menimbulkan percikan yang memicu ledakan pada propellant. Seluruh energi yang dihasilkan digunakan untuk mendorong proyektil (*bullet*) menyusuri laras senjata dan keluar menuju target sasaran. Peluru yang keluar dari laras mampu memiliki kecepatan hingga lebih dari 400 m/detik. Peluru di desain untuk memiliki kekerasan yang cukup artinya tidak terlalu keras dan tidak terlalu lunak. (Kelter, n.d.)

Peluru *frangible* adalah peluru yang di desain untuk hancur menjadi bagian yang kecil. Peluru *frangible* digunakan untuk meminimalisir adanya kecelakaan akibat adanya pantulan peluru/*ricochet* (Mates et al., 2008). *Ricochet* mempunyai potensi yang sangat berbahaya apabila peluru yang terpantul masih memiliki massa yang cukup besar. Massa yang cukup besar ditambah dengan kecepatan yang tersisa pada pantulan peluru akan menimbulkan energikinetik yang cukup besar. *Ricochet* memiliki kemungkinan arah pantulan peluru yang beragam, memantul kembali serong ke atas hingga sampai kembali ke arah penembak atau bisa disebut "*splashback*". Dengan penggunaan peluru *frangible* maka kemungkinan untuk terjadi *ricochet* atau *splashback* dapat diminimalisir dengan hancurnya peluru menjadi bagian-bagian yang kecil (Mullins, 2001)

Tabel 2. 1. Karakteristik Proyektil Frangible

Sifat	Nilai	Sumber
Densitas	5,7-5,8 g/cm ³	Belanger, 1993(Bélanger et al., 1993.)
Kekerasan	54 - 119 HV	(Kruachaturrat et al., 2009)
Kekuatan Tekan	31- 310 MPa	Kruachaturrat, 2009(Kruachaturrat et al., 2009)

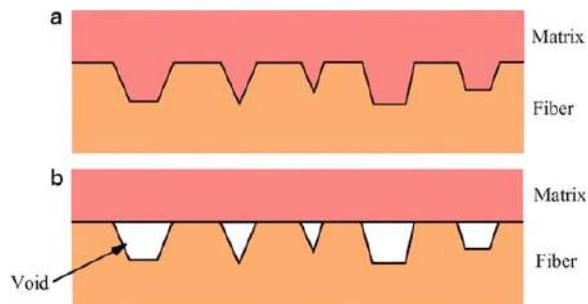
Peluru frangible dibuat dari komposit matriks logam dengan bahan logam atau paduan logam berupa tembaga, besi, nikel, emas, perak, timbal, krom, dan paduan mereka, namun sangat disarankan untuk memakai tembaga atau paduan tembaga. (Bélanger et al., 1993.)

2.2 Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai sebuah kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda dalam bentuk atau komposisi pada skala makro, dengan dua atau lebih fasa yang berbeda yang mempunyai ikatan antarmuka yang diketahui antara dua komponen tersebut. (Mazumdar, 2002)

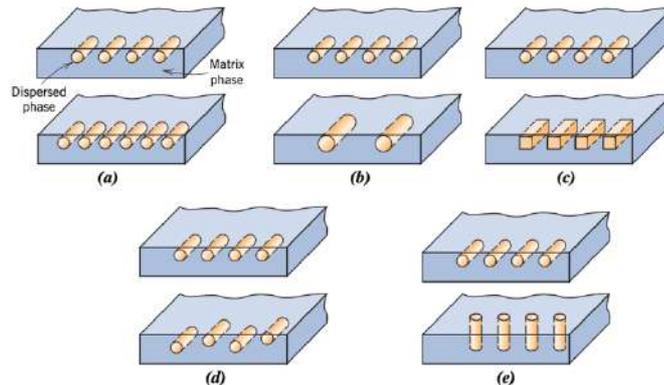
Komposit dibuat menyesuaikan dengan sifat-sifat yang diinginkan. Sifat yang didapat merupakan gabungan dari sifat konstituen material komposit. Material komposit terdiri dari 2 fase yaitu matriks dan penguat. Matriks adalah fase kontinu dan mengelilingi fase penguat. Fungsi matriks adalah untuk menyebarkan beban secara merata pada struktur material komposit dan menggabungkan fase-fase penguat untuk membentuk struktur yang homogen. Berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu PMCs (Polymer Matrix Composites) yang menggunakan polimer sebagai matriksnya, CMCs (Ceramic Matrix Composites) dengan matriks keramik, MMCs (Metal Matrix Composites) yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Komposit Matriks Polimer merupakan gabungan dari sekurang-kurangnya dua jenis material dimana salah satunya adalah polimer sebagai matriks induk (matriks) dan material yang kedua sebagai penguat. (Callister & David Rethwisch, n.d.)

Sedangkan, berdasarkan jenis penguatnya komposit diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu *Particulate*, *Flake*, dan *Fiber*. Dalam jenis *reinforced particulate*, jenisnya dibagi menjadi dua subklasifikasi yaitu *large particle* dan *dispersion strengthened*. *Large particle composite* merupakan material komposit yang menggunakan partikel sebagai fasa penguat (*filler*). Partikel penguat memiliki ukuran lebih dari 1 μm dan terdispersi secara merata pada matriks, sedangkan *dispersion strengthened* memiliki ukuran 10-100 nm. *Particulate composite* terdiri atas fasa yang berbentuk partikel dan fasa kedua dalam bentuk fluida maupun padatan seperti polimer maupun logam cair. Pada beberapa kasus, struktur *particulate composite* terdiri dari campuran dua jenis serbuk atau lebih. Partikel penguat memiliki kekerasan dan kekakuan yang lebih tinggi dibanding fasa matriks (German, 2016a). *Filler* berperan dalam menghambat pergerakan fasa matriks, sehingga memperkuat material komposit. Terhambatnya pergerakan matriks ini disebabkan oleh ikatan mekanik maupun ikatan kimia antara matriks dan *filler* pada antarmuka (*interface*) matriks dan *filler*. (Kulshreshtha & Vasile, 2002) Ikatan kimia antara matriks dan *filler* merupakan ikatan berskala atomik atau transport molekul, atau dengan proses difusi, larutan solid dan paduan yang terjadi pada *interface* komposit menghasilkan ketebalan pada *reaction zone* matriks/*filler*. Ikatan kimia memiliki gaya sekitar 40-400 kJ/mol sedangkan ikatan fisik seperti interaksi *dipolar*, gaya van der Waals, dan ikatan hidrogen tergolong lemah, memiliki energi ikatan sekitar 8-16 kJ/mol (Chawla, 2012). Ikatan mekanik pada *interface* matriks dengan *filler* dapat dilihat pada **Gambar 2.2**



Gambar 2.2. . Ikatan Mekanik pada Antarmuka Komposit (a) Ikatan Mekanik Ideal (Tanpa Void) dan (b) Ikatan Mekanik dengan Void (Callister & David Rethwisch, n.d.)

Penguat berfungsi untuk meningkatkan sifat fisik atau mekanik tertentu seperti kekakuan, kekerasan, kekuatan tarik, kekuatan dampak, stabilitas dimensi, dan ketahanan panas. Sifat fisik dan mekanik tersebut ditentukan oleh beberapa faktor yang adalah geometri dari penguat, dalam konteks ini geometri berarti bentuk partikel, ukuran partikel, distribusi partikel, dan orientasi partikel. Representasi faktor geometri dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Untuk penguatan yang efektif, partikel harus kecil dan merata di seluruh matriks. Selanjutnya, fraksi volume dari dua fase mempengaruhi perilaku seperti ketika sifat mekanik meningkat ketika meningkatnya konten partikulat. (Callister & David Rethwisch, n.d.)



Gambar 2. 3. Representasi faktor geometri dan spasial yang mempengaruhi sifat komposit: (a) konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk, (d) distribusi, dan (e) orientasi (Callister & DavidRethwisch, n.d.)

Ada beberapa faktor dari geometri serbuk yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Ukuran partikel

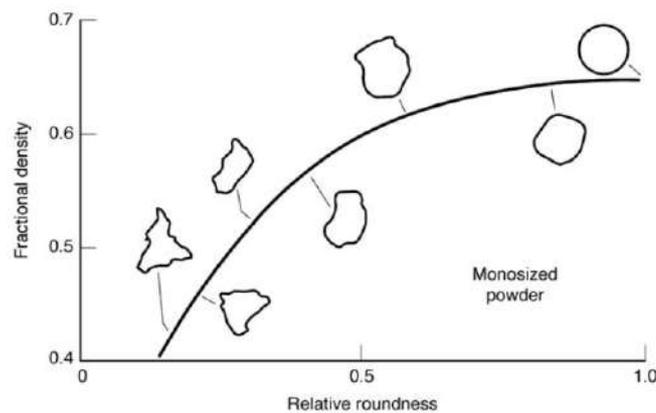
Semakin besar ukuran partikel yang digunakan memengaruhi jumlah partikel yang mengalami kontak antar partikel dibanding partikel berukuran kecil. Semakin besar ukuran partikel maka semakin sedikit jumlah partikel yang mengalami kontak antarpartikel. Partikel yang berukuran besar dapat mengakibatkan kegagalan pada proses dan terjadinya cacat.

2. Distribusi ukuran partikel

Distribusi ukuran partikel berpengaruh ketika ukuran partikel yang digunakan pada suatu proses tidak seragam akan menyebabkan distorsi karena kontak antar partikel yang sedikit. Maka diperlukan ukuran partikel yang konsisten agar dapat berperilaku konsisten antar partikelnya.

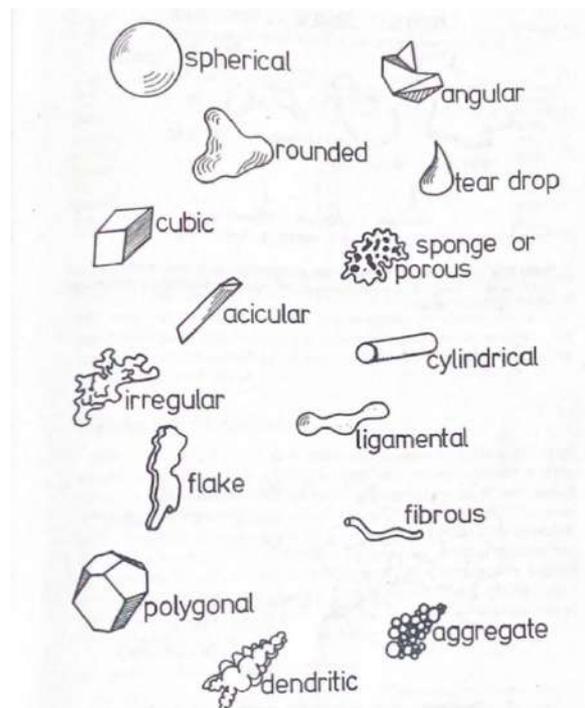
3. Bentuk partikel

Bentuk partikel yang digunakan memengaruhi densitas dan karakteristik *flow* dari hasil proses. Partikel dengan bentuk sferikal dianjurkan karena memiliki *high packing density* dan sifat *high flow* (Heaney, 2012)



Gambar 2. 4. Pengaruh kebulatan bentuk partikel terhadap densitas (Heaney, 2012)

Namun dengan bentuk partikel sferikal kontak antar partikel juga akan berkurang. Selain itu bentuk sferikal juga memiliki potensi terjadinya *shrinkage* yang lebih kecil dibanding bentuk *irregular* (Heaney, 2012). Bentuk partikel dari serbuk dapat dikarakterisasi berdasarkan dimensinya yang disebut sebagai *contour surface*. Bentuk serbuk yang umumnya dijumpai dapat dilihat pada **Gambar 2.5**

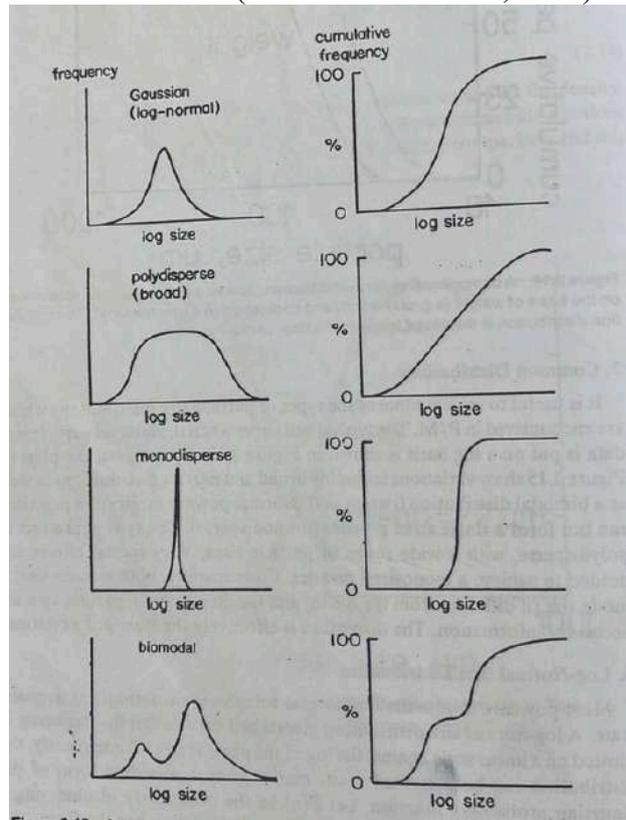


Gambar 2. 5. Bentuk partikel serbuk logam (Randall M. German, 1984)

Kebanyakan partikel serbuk logam memiliki bentuk dalam tiga dimensi dan terkadang ditemukan juga dalam bentuk *equiaxed*. Partikel berpori berbeda dengan bentuk biasanya karena adanya porositas yang dapat berbentuk tidak simetris baik ukuran maupun bentuk. Porositas yang besar akan membuat karakterisasi menjadi sulit. (Randall M. German, 1984)

Walaupun bentuk dari partikel secara keseluruhan dominan seragam, namun keseragaman ukuran dalam partikel sangat mustahil untuk didapatkan. Konsekuensinya adalah perlu adanya toleransi terhadap distribusi ukuran partikel. Terdapat berbagai macam metode yang digunakan untuk mengukur rata-rata diameter partikel.

Kurva distribusi ukuran partikel merupakan fungsi ukuran partikel terhadap perbandingan intensitas ukuran partikel secara keseluruhan. **Gambar 2.6** mengilustrasikan bagaimana distribusi ukuran dalam grafik. Dalam distribusi *unimodal*, terdapat satu titik kritis terhadap suatu ukuran tertentu. Distribusi *polymodal* menyajikan dua atau lebih titik kritis terhadap ukuran tertentu. Distribusi *broad band* menggambarkan konsentrasi yang seragam terhadap ukuran partikel pada interval ukuran tertentu. Sedangkan distribusi *irregular* merepresentasikan ukuran yang terkonsentrasi pada beberapa titik kritis ukuran tertentu namun variasi ukuran masih berkelanjutan secara keseluruhan. (Randall M. German, 1984)



Gambar 2. 6. Ilustrasi skematik distribusi ukuran partikel (Randall M. German, 1984)

Ukuran partikel secara langsung akan memengaruhi *flowability* (ukuran dari perubahan densitas sebagai fungsi dari penerapan tegangan normal). Semakin besar ukuran partikel, maka akan semakin rendah *flowability* yang dimiliki. (Hlosta et al., 2016). Di sisi lain, semakin besar ukuran partikel semakin tinggi titik leburnya. (Ju et al., 2015)

Dua ekspresi matematika telah dirumuskan untuk ketergantungan modulus elastisitas pada fraksi volume fase penyusun untuk komposit dua fase. Untuk mendukung data eksperimen yang di dapat maka perlu mendapatkan data yang teoritis dari komposit, untuk mendapatkan data densitas dari komposit. Penghitungan massa matriks dan penguat dalam suatu komposit dapat dilakukan dengan rumus *Rule of Mixture* (ROM) yang dinyatakan dalam persamaan 2.1. (Callister & David Rethwisch, n.d.) :

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

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

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

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

Dimana : ρ = Densitas material
 m = Massa material
 v = Volume material

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

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

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

1. Massa Matriks

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

2. Massa reinforce

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

Dimana : V_c = Volume Komposit

2.3 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)

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. 2. 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

2.4 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 (Falah, 2014)

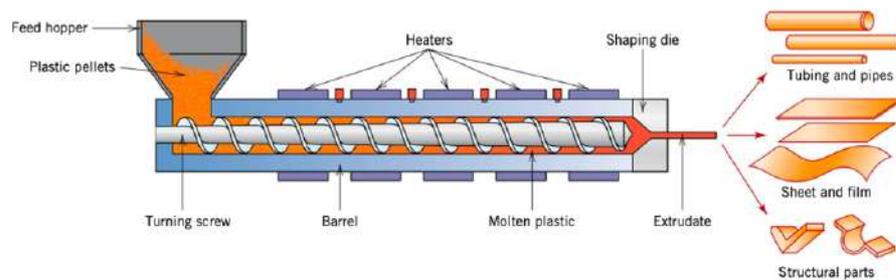
Penggunaan material tembaga dipilih sebagai bahan material dari proyektil frangible karena tembaga memiliki densitas yang cukup tinggi. Tembaga dengan densitas sebesar 8,96 g/cm³ dapat digunakan sebagai material pengganti timbal pada proyektil frangible(Nugroho, 2018). Adapun sifat dari material tembaga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

Tabel 2. 3. Sifat material tembaga

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

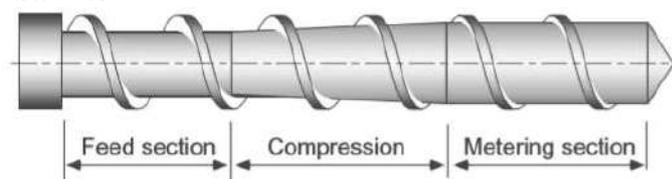
2.5 Ekstrusi

Proses ekstrusi merupakan pencetakan termoplastik dibawah tekanan yang melewati cetakan *open-ended*. Dengan menggunakan ulir mekanik, material yang telah dijadikan pellet melewati ruangan dengan panas yang diatur, dimana material akan tercampur, terkompaksi, mencair, dan membentuk fluida *viscous (extrudate)* secara kontinu membuat produk sederhana seperti tabung, lembaran dan film seperti pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2. 7. Skema Komponen Extruder (Callister & David Rethwisch, n.d.)

Screw extruder dibagi menjadi dua yaitu single screw extruder (SSE) dan Multi Screw Extruder (MSE). Single screw extruder adalah tipe yang paling banyak digunakan dalam industri polimer. Keuntungan dari tipe ini yaitu harga yang relatif murah dan desain yang sederhana. Extruder screw yang banyak digunakan memiliki tiga bagian utama yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**



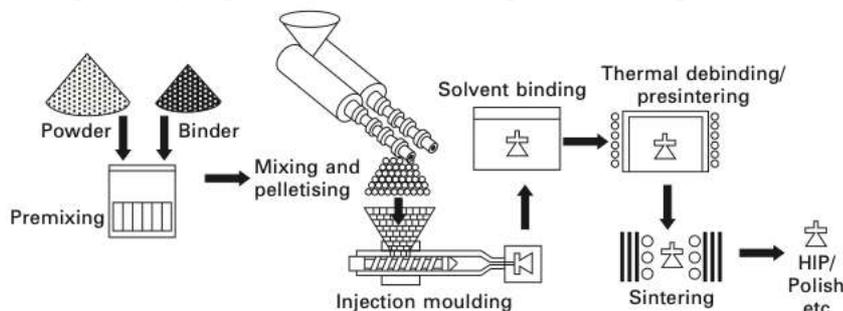
Gambar 2. 8. Bagian utama screw extruder (Callister & David Rethwisch, n.d.)

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*. 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.(Rauwendaal, 2018)

2.6 Feedstock

Feedstock pada proses *injection molding* didefinisikan sebagai campuran serbuk logam dengan polimer dan wax binder. Persentase binder pada *feedstock* berkisar 35 – 50 vol% (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, ST., MT. et al., 2017). Pada proses preparasi *feedstock*, polimer dan dan serbuk logam yang dipilih akan dicampurkan secara unirofrm pada temperatur yang sedikit melebihi temperatur leleh polimer.



Gambar 2. 9. Proses pembuatan *feedstock*(Moon et al., 2021)

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*) (Moon et al., 2021). 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*. *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). *Shear rate* pada *injection molding* berkisar antara 10 – 10.000 s⁻¹. Pada rentang *shear rate* ini, viskositas maksimum adalah 100 Pa.s pada temperatur *molding* (German, 2016b; Virhdian et al., 2020).

Sifat mekanik dari *feedstock* juga diperlukan untuk menentukan sifat dari hasil akhir produk yang difabrikasi. Nilai sifat mekanik tersebut mengacu pada standard *feedstock* yang dibuat

oleh *manufacturer Ecomass Technologies* dengan produk *Ecomass® Compound 1700CO94* dengan spesifikasi sebagai berikut;

Tabel 2. 4. Standard Produk *Ecomass® Compound 1700CO94*(*Ecomass Technologies, 2022*)

Sifat Mekanik	Metode pengujian	Nilai
Tensile Strength	ASTM D638	6.000 psi
Tensile Modulus	ASTM D638	1.400.000 psi
Tensile Elongation at Break	ASTM D638	< 1%

2.7. Penelitian Sebelumnya

Penelitian serupa telah dilakukan sebelumnya oleh belanger pada tahun 1993. Menggunakan metode *injection molding*. Penelitian ini menggunakan serbuk tembaga dengan konsentrasi sebanyak 92,5-93-5 wt% dengan filler Poliamida 11 dengan konsentrasi 6,5-7,5 wt%. Hasil dari penelitian tersebut adalah proyektil frangible dengan kaliber 9mm dan 5,56mm, dan densitas proyektil 5,7 g/cm³. Diketahui bahwa nilai densitas tersebut adalah nilai minimal sebuah proyektil mendapatkan sifat balistik terbaik. Maka semakin tinggi komposisi Cu yang di aplikasikan maka semakin tinggi nilai densitas proyektil tersebut.(Bélanger et al., 1993.)

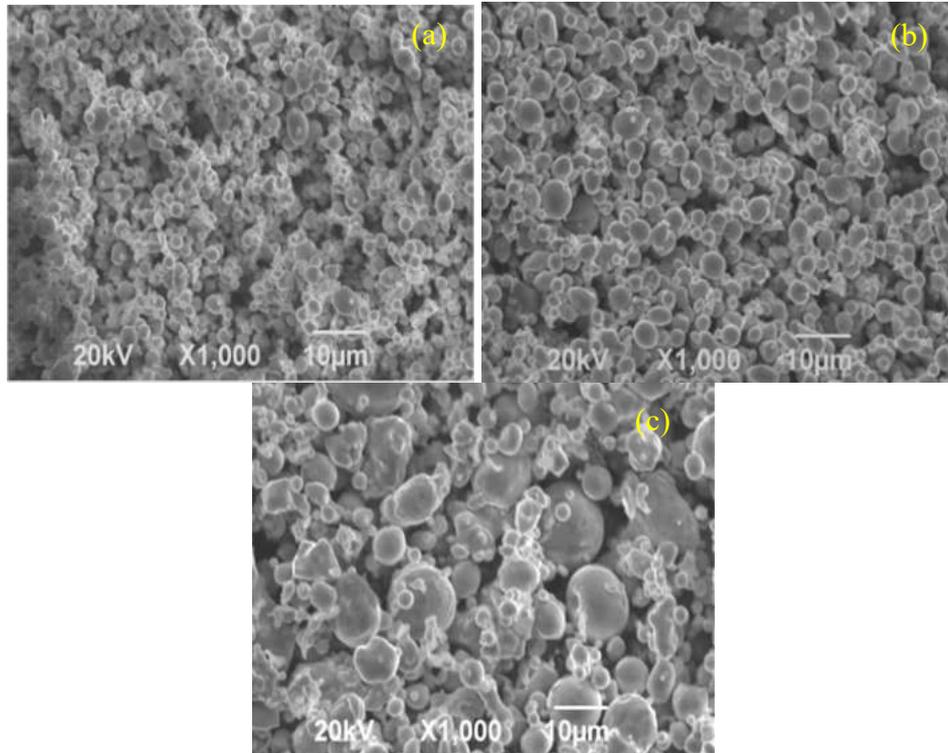
Penelitian lainnya dilakukan oleh Dewanto mengenai pengaruh temperatur sintering dan komposisi poliamida terhadap sifat mekanik proyektil Cu-PA 6. Penelitian menggunakan metode metalurgi serbuk dengan variasi temperatur sintering 27 (tanpa sinter), 200, 250, dan 300. Sedangkan untuk variasi komposisi poliamida yaitu 0.5, 1, dan 1.5%. Hasil dari penelitian tersebut didapat bahwa nilai densitas tertinggi diperoleh spesimen tanpa sinter dengan massa poliamida 0,5% sebesar 7,24 gr/cm³. Sedangkan untuk nilai kekerasan rata rata tertinggi diperoleh spesimen dengan massa poliamida 1,5% sebesar 26 HRB dan nilai kekuatan tekan tertinggi diperoleh spesimen dengan temperatur sintering 200 dan massa poliamida 0,5% sebesar 153,61 MPa.(Dewanto, 2014)

Selanjutnya, penelitian dilakukan oleh Hansen. Pada penelitian ini menjelaskan mengenai komposisi peluru bebas timbal. Komposisi yang disarankan untuk digunakan yaitu 60-90 wt% bubuk logam atau kombinasi bubuk komposit logam dan mineral filler. Selain itu, terdapat komposisi resin termoplastik sekitar 8-40 wt% dan 2-5 wt% *non corrosive lubricant*. Penelitian ini menggunakan proses ekstrusi untuk menghasilkan pellet, lalu dilanjutkan oleh proses *injection molding* untuk menghasilkan peluru. Hasil dari penelitian ini yaitu peluru bebas timbal dengan nilai densitas 1,75-8,25 g/cm³.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Falah. Penelitian ini berfokus pada pengaruh jenis polimer dan wt% tembaga terhadap sifat fisik dan mekanik material kandidat peluru *frangible*. Penelitian ini menggunakan metode casting. Terdapat tiga jenis polimer yang digunakan yaitu Polikarbonat (PC), Polipropilena (PP), dan Polistirena (PS). Varian komposisi Cu dan polimer yang digunakan adalah 70 %wt Cu-30 wt% polimer, 50 %wt Cu-50 wt% polimer, dan 30 %wt-70 wt% polimer. Masing masing jenis polimer menggunakan temperatur cetakan yang berbeda yaitu polikarbonat 400 °C, polipropilena 300 °C, dan polistirena 350 °C. Dari hasil penelitian didapat bahwa urutan jenis polimer dengan kekuatan tekan dan modulus elastisitas tertinggi adalah polistirena, polipropilena, dan polikarbonat. Berdasarkan penelitian tersebut, material yang memenuhi standar sebagai kandidat peluru *frangible* adalah polistirena. Nilai kekuatan tekan terendah sebesar 37,15 MPa diperoleh komposisi 30%Cu-70%PS. Sedangkan nilai tertinggi sebesar 53,08 MPa diperoleh komposisi 70%Cu-30%PS. Untuk nilai kekerasannya, urutan jenis polimer berdasarkan kekerasan tertinggi hingga terendah yaitu polistirena, polipropilena, dan polikarbonat. Namun, untuk polistirena dengan komposisi 30%Cu-70%PS

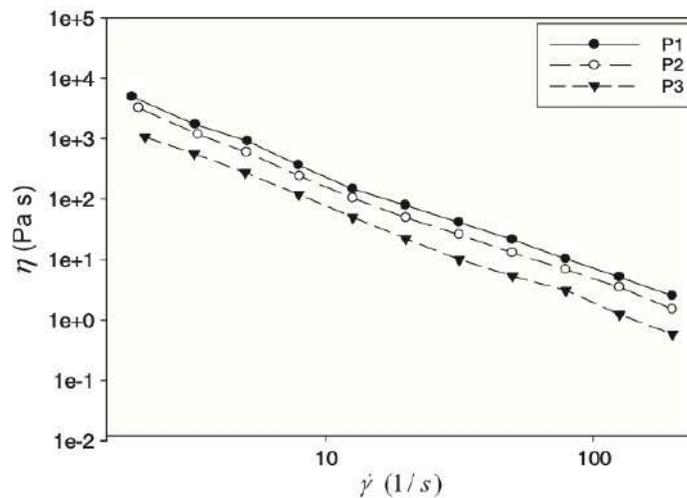
memiliki nilai kekerasan sebesar 44,23 HV dimana nilai tersebut tidak memenuhi syarat kekerasan peluru *frangible* yakni 54 - 119 HV. (Falah, 2014)

Penelitian selanjutnya oleh Jung mengenai variasi ukuran partikel dan juga sifat reologinya dengan material serbuk *stainless steel* 17-4 PH dengan komposisi 70% dan ukuran partikel 3.18, 4.91, dan 9.33 μm dengan *binder* paraffin wax yang memiliki densitas 0.9 g/cm^3 . Pengujian ini menggunakan *injection molding*. Temperatur saat *injection molding* di tetapkan menjadi 160 $^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. 10. Hasil SEM stainless steel 17-4 PH (a) 3.18, (b) 4.91, dan (c) 9.33 μm (Jung et al., 2014)

Hasil reologi dari ketiga *feedstock* menunjukkan adanya *shear thinning pattern*. Ditunjukkan pada **Gambar 2.11** Pada gambar (a) adalah *feedstock* 3.18 μm , (b) adalah *feedstock* 4.91 μm , dan (c) adalah *feedstock* 9.33 μm Menurut gambar tersebut, ketika *feedstock* memiliki wt% serbuk yang tinggi maka aglomerat dari *micro particles* akan terpisah karena tegangan geser yang tinggi. Yang menyebabkan menurunnya viskositas dengan *shear rates*. Yang mana *feedstock* dengan ukuran partikel lebih kecil memiliki viskositas yang lebih tinggi. Interaksi dari partikel yang berbeda bergantung kepada distribusi *particle sizenya*. *Feedstock* dengan partikel lebih kecil memiliki lebih banyak interaksi antar partikel yang menghasilkan tingginya viskositas. Seperti pada hasil **Gambar 2.11** *Feedstock* dengan ukuran 9.33 μm memiliki viskositas yang lebih rendah dan *feedstock* dengan ukuran 3.18 μm memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan lainnya dengan hasil viskositas $8 \times 10^3 \text{ Pa.s}$. (Jung et al., 2014)



Gambar 2. 11. Viskositas vs Shear stress hasil dari pengujian feedstock (Jung et al., 2014)

Penelitian tentang pengaruh bentuk partikel dan ukuran partikel *feedstock* dilakukan oleh Wichianrak et al. Ditunjukkan hasil ekstrusi serbuk tembaga dipengaruhi oleh bentuk serbuk, ukuran serbuk, dan rasio antara logam dan binder. Ukuran serbuk Cu divariasikan menjadi $<45 \mu\text{m}$, $45\text{-}75 \mu\text{m}$ dan $75\text{-}125 \mu\text{m}$ dan variasi bentuk serbuk Cu adalah sferikal dan *Irregular*. Bahan pengikat yang digunakan terdiri dari 45% *low density polyethylene* (LDPE), 50% *paraffin wax* (PW) dan 5% asam stearat (SA). Perbandingan volume antara serbuk Cu dan bahan pengikat divariasikan 60:40, 65:35, 70:30 dan 75:25. Parameter ekstrusi yang menggunakan temperatur 95°C dengan tekanan 30 bar. Dengan hasil uji reologi *feedstock* yang dibuat dari serbuk sferikal ($>45 \mu\text{m}$) menunjukkan nilai viskositas yang tidak jauh berbeda antar *binder* yang digunakan. Untuk bahan baku dengan serbuk $<45 \mu\text{m}$ menunjukkan kandungan *binder* yang rendah menyebabkan tingginya viskositas, hasil viskositas tertinggi didapat oleh 65% Cu dengan ukuran partikel $<45 \mu\text{m}$ dan bentuk partikel *irregular* dengan nilai sekitar $1,2 \times 10^3 \text{ Pa.s}$. Juga diketahui bahwa sifat mekanik dari *feedstock* dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel yang mana semakin kecil partikel Cu menunjukkan semakin baiknya sifat mekanik yang didapat, juga bentuk partikel sferikal memiliki sifat mekanik yang lebih baik karena memiliki kontak antarpartikel yang lebih banyak dengan nilai tertinggi didapat oleh Cu dengan ukuran partikel $<45 \mu\text{m}$ dan bentuk partikel *irregular* dengan nilai *tensile* 200 Mpa, nilai *yield* 65 Mpa, dan nilai *elongation* hampir 30%. (Wichlanrak et al., 2008)

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan terhadap sifat reologi pada *feedstock* dengan besi (Fe) sebagai filler. Tafti et al (2021) menggunakan *feedstock* dengan komposisi Fe 55 vol%, *paraffin wax* (PW) 42 vol%, asam stearat (SA) 2 vol%, dan EVA 1 vol%. PW, SA, dan EVA berperan sebagai *binder*. Bentuk partikel yang digunakan adalah *irregular* dengan ukuran 1.8, 16.6, 44.1 μm . Campuran serbuk dan *binder* dicampurkan pada temperatur 70°C . *Feedstock* yang dihasilkan memiliki viskositas 1,5-3 Pa.s pada *shear rate* $10\text{-}100 \text{ s}^{-1}$, sehingga sesuai untuk digunakan pada *low pressure injection molding*. (Tafti et al., 2021)

Tabel 2.4 Penelitian sebelumnya mengenai bentuk partikel dan distribusi ukuran partikel bahan

No	Komposisi	Metode	Hasil	Referensi
1	Cu : 61 vol% Binder : 39 vol% 28; 11,3; dan 3,97 μm <i>Spherical</i>	Ekstrusi 170, 175, dan 180 °C; 30 rpm	<i>Tensile strength</i> : 12,1 MPa Modulus elastisitas : 2,2 GPa	Santos et al., 2021(Santos et al., 2021)
2	Fe: 55 vol% Binder: 45 vol% <i>Irregular</i> 1.8,16.6, 44.1 μm	<i>Low-pressure powder injection molding</i>	Viskositas: 1,5–3 Pa.s, <i>Shear rate</i> : 10-100 s ⁻¹	Tafti et al, 2021(Tafti et al., 2021)
3	SS 17-4PH : 60 vol% Binder: PW 30 vol%, CW 7 vol%, SA 2vol%, EVA 1 vol% Bentuk & ukuran partikel SS: <i>Spherical, Near-Spherical</i> 3, 7, 12 μm	<i>Injection Molding.</i>	Pada 90°C Viskositas : 1,8 x 10 ² Pa.s (3 μm , <i>Near-spherical</i>) 0,7 x10 ² Pa.s (7 μm <i>Near-spherical</i>), dan 0,58 x10 ² (12 μm <i>Spherical</i>)	Trad et al. 2019(ben Trad et al., 2019)
4	SS 17-4PH : 70 vol% Binder : 30 vol% Bentuk & ukuran partikel SS: <i>spherical</i> 3.18, 4.91, 9.33 μm	<i>Powder Injection Molding (PIM) 160° C</i>	Viskositas : 1,2 x 10 ³ , 6 x 10 ³ , 8 x 10 ³ Pa.s.	Jung et al. 2014(Jung et al., 2014)
5	Cu : 60,65,70vol% Binder: LDPE 45vol%, PW 50 vol%, SA 5 vol% Bentuk & ukuran partikel Cu: <i>Spherical, irregular</i> <45, 45-75, 75-125 μm	<i>Mixing dan Extrusion</i> 95°C 30 bar	Viskositas tertinggi: 1,2 x 10 ³ Pa.s (<45 μm , <i>Irregular</i> , 65% Cu) <i>Tensile strength</i> tertinggi: 200 Mpa (<45 μm , <i>Irregular</i>)	Wichianrak et al. 2009(Wichianrak et al., 2008)

Tabel 2.5 Penelitian sebelumnya mengenai komposisi proyektil frangible dan sifat mekanik

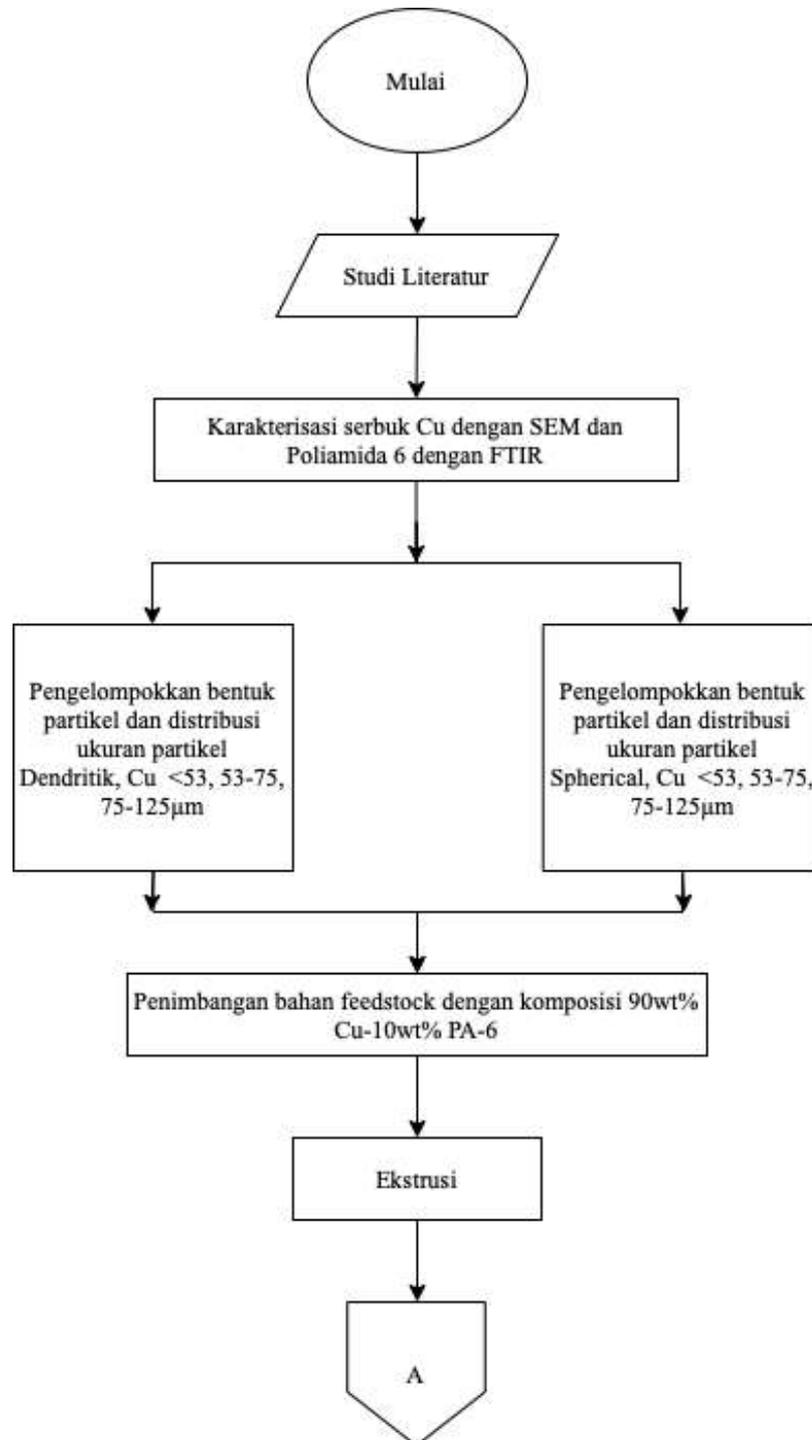
No	Komposisi	Metode	Hasil	Referensi
1	Cu : 30, 50, 70 wt% Polikarbonat/Polistirena/ Polipropilena : 30, 50, 70 wt%	Casting	Kekuatan tekan : 53,08 MPa Kekerasan : 112,27 HV Modulus elastisitas : 2,377 GPa	Falah, 2016(Falah, 2014)
2	Cu Poliamida 6 : 0,5, 1, 1,5 wt%	Metalurgi serbuk	Kekerasan : 26 HRB Kekuatan tekan : 153,61 MPa	Dewanto, 2015(Dewanto, 2014)
3	Serbuk logam : 60-80 wt% Resin termoplastik : 8-40 wt% Lubricants : 2-5 wt%	Ekstrusi dan <i>injection molding</i>	Densitas : 1,7-8,25 g/cm ³	Hansen, 2008(Hansen, 2008)
4	Cu : 92,5-93,5 wt% Nylon 11 : 6,5-7,5 wt%	<i>Injection molding</i>	Densitas : 5,7 g/cm ³	Belanger et al., 1993(Bélanger et al., n.d.)

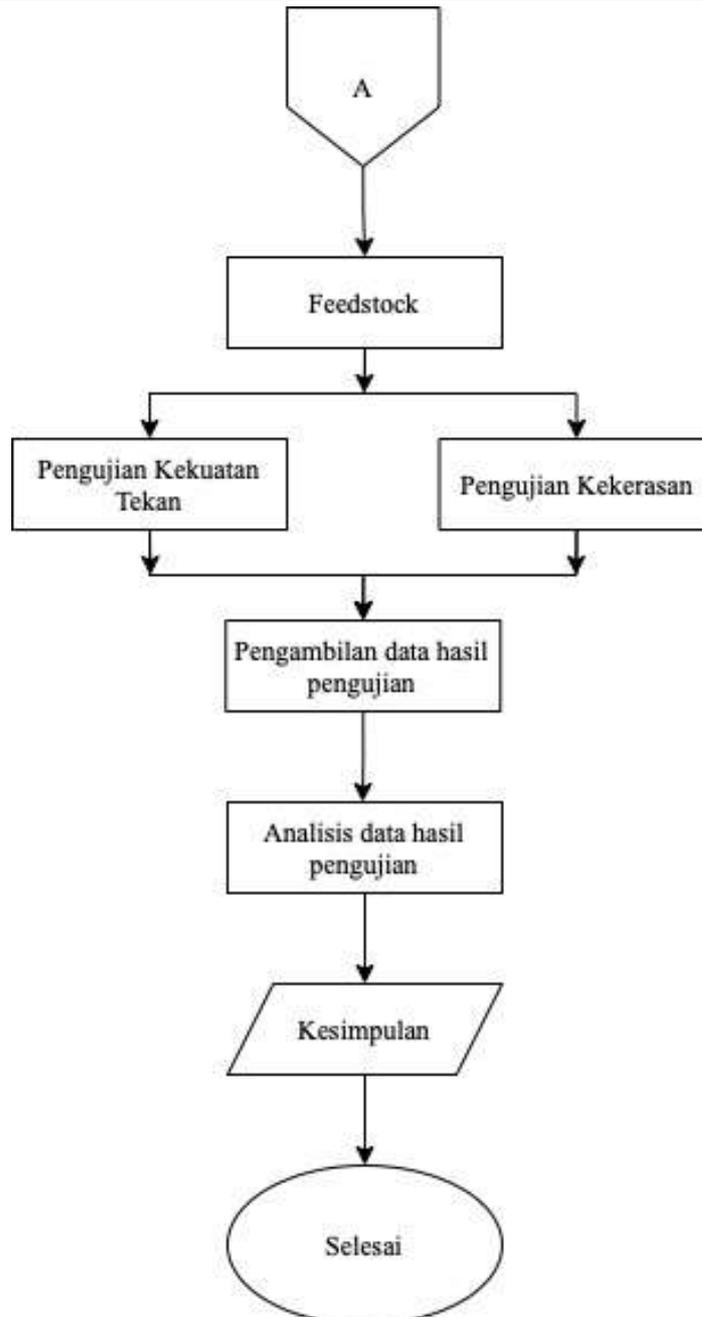
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini secara umum ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.





Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Poliamida 6

Poliamida 6 yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk serbuk dengan spesifikasi sebagai berikut :

Densitas : 1,14 g/cm³
Temperatur transisi gelas (T_g) : 41°C
Temperatur leleh (T_m) : 228°C



Gambar 3. 2. Serbuk Poliamida 6

2. Serbuk Cu

Serbuk tembaga yang digunakan didapatkan dari Merck, dan Innoxia Ltd. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Densitas	: 8,933 g/cm ³
Temperatur lebur	: 1084,62 °C
Massa molekular	: 63,55 g/mol
Ukuran partikel	: <53, 53-75, 75-125 μm
Kemurnian	: 97,5-99%
CAS Number	: 7440-50-8



Gambar 3. 3. Cu Powder

3.3. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca Digital

Neraca digital merk Metler Toledo digunakan untuk menimbang massa serbuk logam dan serbuk PA6. Spesifikasi alat yaitu kapasitas maksimum 220 g, ketelitian 0,0001 g, berat alat 4,6 kg, diameter weighing pan 90 mm, dan tinggi benda maksimum 237 mm.



Gambar 3. 4. Neraca Digital

2. *Beaker Glass*

Alat ini digunakan untuk menempatkan serbuk logam dan serbuk PA6 setelah penimbangan.



Gambar 3. 5. Beaker Glass

3. *Spatula*

Alat ini digunakan Untuk melakukan penuangan serbuk logam dan serbuk PA6 serta menempatkan material hasil penimbangan dalam *mixer*



Gambar 3. 6. Spatula

4. *Mesin Sieving*

Alat ini digunakan untuk melakukan penuangan serbuk logam dan serbuk PA6 serta menempatkan material hasil penimbangan dalam *mixer*.



Gambar 3. 7. *Sieve Shaker*

5. **Barrel Extruder**

Alat ini digunakan untuk pembuatan *feedstock*, dengan bantuan pemanas dan screw untuk proses mixingnya.



Gambar 3. 8. *Barrel*

6. **HT-950 Universal Testing Machine**

Alat ini digunakan untuk menguji kekuatan tekan *feedstock* komposit PA6 dengan memberikan pembebanan tekan pada spesimen uji tekan. Universal testing machine Hung Ta memiliki kapasitas beban 300 ton

7. **Jangka Sorong**

Jangka sorong digunakan untuk mengukur ukuran spesimen uji tekan. Pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah pengujian tekan.

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.

3.4.1. Studi Literatur

Dalam tahapan ini, peneliti melakukan kajian materi yang didapat dari berbagai sumber literatur seperti paten, buku, dan jurnal penelitian terdahulu. Materi yang dipelajari oleh peneliti mengenai material komposit, peluru *frangible*, bahan material peluru *frangible*, Bentuk partikel dari bahan beserta ukuran partikelnya. proses ekstrusi, dan pengujian yang dilakukan.

3.4.2. Preparasi serbuk Cu

Pada tahapan ini serbuk Cu dipreparasi untuk mengidentifikasi karakter morfologi bentuk partikel, ukuran partikel, dan distribusi ukuran partikelnya. Dengan cara melakukan uji Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk meneliti bentuk partikel, kemudian melakukan sieving pada 250gr copper powder untuk membagi ukuran partikel sesama kelompok ukurannya, setelah itu dilakukan penimbangan pada serbuk yang telah dikelompokkan. Pada penelitian ini, terdapat tiga jenis variabel yaitu :

1. Variabel proses merupakan variabel yang dapat dikendalikan. Pada penelitian ini terdapat 2 variabel proses yaitu bentuk partikel dan ukuran partikel pada Cu sebagai *filler*. Penentuan nilai variabel proses yang akan diteliti mengacu pada berbagai sumber berdasarkan penelitian terdahulu.

Tabel 3. 1. Variabel Proses Penelitian

No	Variabel Proses	Keterangan
		<53 μ m
1	<i>Particle size</i>	53-75 μ m 75-125 μ m
2	Bentuk Partikel	Dendritik (Merck) Sferikal (Inoxia)

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

Tabel 3. 2. Variabel Konstan

No	Variabel Konstan	Keterangan
1	Komposisi Cu wt%	90
2	Komposisi Pa 6 wt%	10
3	Temperatur ekstrusi	253

3. Variabel respon merupakan nilai variabel yang didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini, terdapat 3 variabel respon yaitu) kekuatan tarik, kekerasan, dan kekuatan tekan.

3.4.3. Preparasi Bahan *Feedstock* dan penimbangan komposisi Cu-Poliamida 6

Dalam tahapan ini, serbuk Cu dan pellet PA 6 akan ditimbang menggunakan neraca digital. Pada penelitian ini komposisi Cu-Pa 6 yang digunakan yaitu 90% wt Cu - 10% wt Poliamida 6 mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan. Serbuk Cu dan pellet PA 6 yang telah ditimbang akan melalui proses pengeringan menggunakan oven untuk mengurangi kandungan air pada serbuk Cu dan pellet PA 6. Kemudian serbuk Cu dan pellet PA 6 akan dicampur menggunakan *mixer*. Setelah itu, campuran serbuk Cu dan PA 6 dipindahkan pada mesin ekstruder untuk di ekstrusi.

3.5. Pengujian

Dilakukan beberapa pengujian untuk memenuhi penelitian yang akan dilakukan yaitu pengujian kekerasan dan pengujian kekuatan tekan untuk sifat mekanik, SEM dan FTIR untuk karakterisasi

3.5.1. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasannya ada penelitian ini menggunakan metode tes *Vickers*. Satuan dari tes ini diberikan *Vickers Pyramid Number* (HV). Pengujian bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik berupa kekerasan dari spesimen uji. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM E92. Pengujian ini menggunakan *hardness testing machine* di Laboratorium Metalurgi Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya.



Gambar 3. 9. *Hardness testing machine*

3.5.2. Pengujian Tekan

Pengujian tekan dilakukan untuk menganalisis 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

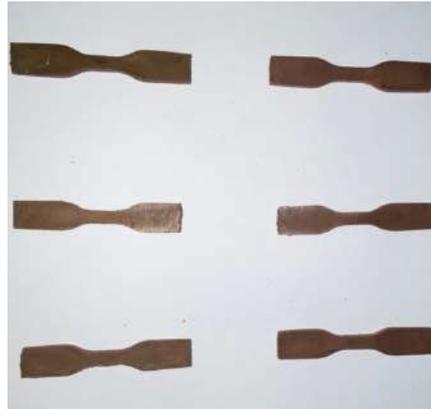
Pengujian tekan dilakukan dengan memberikan beban berupa penekanan pada spesimen hingga terjadinya fracture pada spesimen. Hasil dari pengujian tekan adalah grafik tegangan dan regangan. Berdasarkan grafik tersebut dapat diperoleh beberapa sifat mekanik seperti kekuatan luluh, kekuatan tekan, dan modulus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



Gambar 3. 11. HT-950 Universal Testing Machine

3.5.3. Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk menganalisis nilai kekuatan tarik dari *feedstock* dan di komparasikan dengan *feedstock* standar produksi massal. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D638 *Type V*.



Gambar 3. 12 Spesimen Uji Tarik

Sampel kekuatan tarik diuji dengan alat *Universal Testing Machine*. Dengan menggunakan 3 repetisi masing masing variabelnya. Kemudian hasil kekuatan tarik dapat dianalisa dan dikomparasikan dengan standar.



Gambar 3. 13. Universal Testing Machine

3.5.4. Pengujian 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. 12. Mesin Uji SEM HITACHI SU3500

3.6.Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen sebagai berikut :

Tabel 3. 3. Rancangan Penelitian

Bentuk Partikel	Ukuran Partikel	Tensile (MPa)	Kekerasan (HV)	Kekuatan tekan (MPa)
Dendritik (Merck)	<53 μ m	✓	✓	✓
	53-75 μ m	✓	✓	✓
	75-125 μ m	✓	✓	✓
Sferikal (Inoxia)	<53 μ m	✓	✓	✓
	53-75 μ m	✓	✓	✓
	75-125 μ m	✓	✓	✓

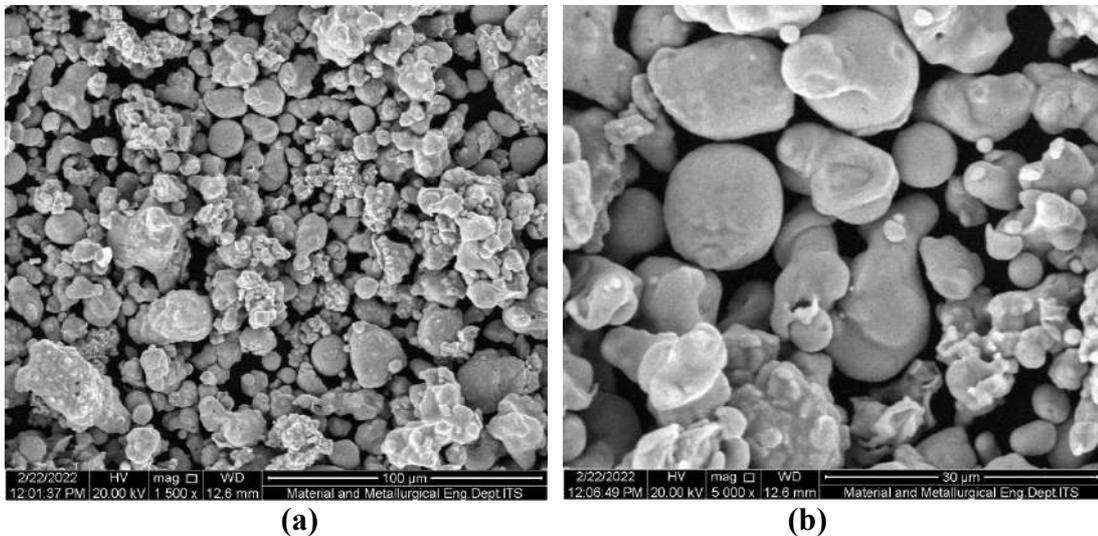
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan

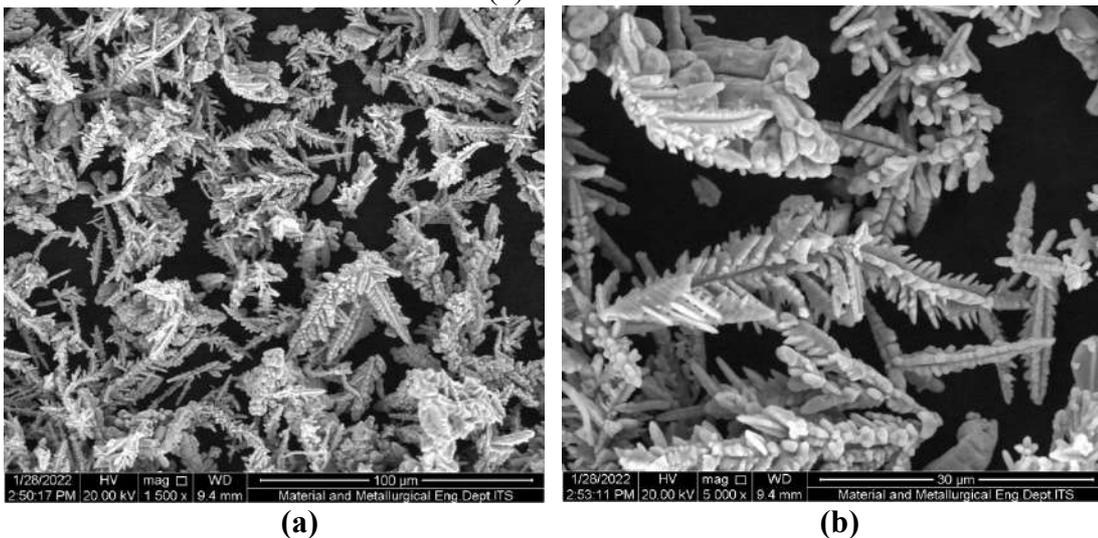
Bahan yang digunakan pada penelitian ini yang telah disebutkan adalah Serbuk tembaga dan serbuk poliamida-6. Dari bahan tersebut dapat diambil gambar perbesaran mikrostrukturnya dengan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* untuk serbuk tembaga dan *Fourier Transform Infra Red* untuk serbuk poliamida-6.

4.1.1 Karakterisasi Serbuk Cu

Serbuk Cu dikarakterisasi dengan pengujian SEM untuk dapat menganalisis morfologi dari Serbuk Cu yang akan digunakan dalam penelitian ini. Untuk itu dibedakan berdasarkan bentuknya yaitu sferikal dan dendritik.



Gambar 4. 1 Morfologi serbuk tembaga bentuk sferikal dengan perbesaran (a) 1.500x dan (b) 5.000x

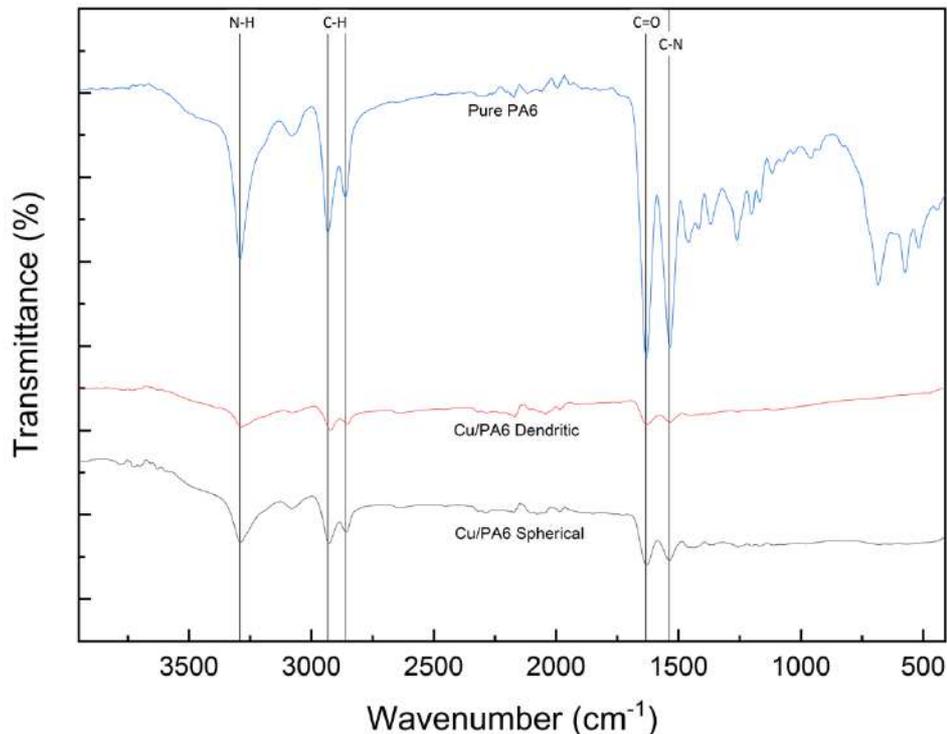


Gambar 4. 2 Morfologi serbuk tembaga bentuk dendritik dengan perbesaran (a) 1.500x dan (b) 5.000x

Dari hasil pengujian SEM yang telah dilakukan, didapat hasil seperti pada **Gambar 4.1** dan **4.2**. dapat dibedakan antara bentuk serbuk yang digunakan dalam penelitian ini memiliki bentuk sferikal dan dendritik.

4.1.2 Karakterisasi Poliamida-6

Poliamida 6 yang digunakan pada penelitian ini dikarakterisasi dengan pengujian Fourier Transformed Infrared Red (FTIR). Pengujian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi ikatan yang terdapat pada senyawa organik. Adapun hasil FTIR dari serbuk PA6 adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 3 Grafik FTIR Poliamida 6 dan Feedstock Cu/PA6

Dari **Gambar 4.3** terdapat beberap kelompok peak yang dapat diidentifikasi. *Peak* pada *wavenumber* 3292.66 cm^{-1} , 2933 cm^{-1} , dan 2861 cm^{-1} berturut – turut menandakan adanya N-H *bending vibration* pada *primary amine*, ikatan C-H *in phase*, dan ikatan C-H *out phase stretching vibration*. Adapun *peak* pada *wavenumber* 1634.05 cm^{-1} dan 1537.7 cm^{-1} menandakan adanya ikatan C=O *amide I* dan N-H and C-N *combination amide II stretch*. Keberadaan kristal α ditunjukkan dengan *peak* pada *wavenumber* 1476 cm^{-1} , sedangkan *peak* pada *wavenumber* 1415.7 cm^{-1} menandakan adanya CH₂ *scissors vibration*. Keberadaan *Amide III* dan CH₂ *wag* diketahui dengan adanya *peak* pada *wavenumber* 1370.62 cm^{-1} dan 1199.62 cm^{-1} . Adapun *peak* pada *wavenumber* 959.30 cm^{-1} dan 928.21 cm^{-1} menandakan adanya *characteristic CO-NH in plane vibration*. Ikatan yang diperoleh dari hasil karakterisasi FTIR menandakan polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah Poliamida 6. Penelitian yang dilakukan oleh Mindivan memiliki hasil yang sesuai dengan hasil karakterisasi FTIR pada penelitian ini (Mindivan, 2016.)

4.2 Analisis Proses Pembuatan Feedstock Cu/PA6

Metode pembuatan *feedstock* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode ekstrusi. Proses pembuatan *feedstock* diawali dengan melakukan *shieving* dengan variasi ukuran 53 μm , 75 μm , dan 125 μm . Kemudian menimbang masing – masing serbuk(serbuk Cu

bentuk dendritic dan serbuk Cu bentuk sperikal) dan PA6 menggunakan neraca digital dengan persentase serbuk logam sebesar 90 wt%. Serbuk PA6 dan logam kemudian dicampurkan pada barrel *extruder* pada temperatur 255°C selama 4 menit. *Feedstock* kemudian diekstrusi dengan cara ditekan sehingga menghasilkan filament komposit PA6-logam. Filament ini kemudian dipotong dengan panjang 4 mm. Proses pembuatan *feedstock* Cu/Pa-6 diawali dengan melakukan grinding pada pellet poliamida-6. Proses ini bertujuan untuk mereduksi ukuran pellet poliamida 6, sehingga poliamida 6 dapat lebih mudah melapisi seluruh permukaan serbuk dan mempermudah proses *mixing* karena ukurannya yang serupa.



Gambar 4. 4. Poliamida 6 (a) Sebelum *grinding* (b) Sesudah *grinding*

Serbuk PA6 kemudian dicampurkan dengan serbuk Cu dengan masing masing kategori dengan perbandingan 90 wt% Cu dan 10 wt% PA6. Proses *mixing* serbuk Cu dan PA6 menggunakan mesin *barrel* pada temperatur 220°C selama 3 menit. Komposit Cu/PA6 kemudian diekstrusi untuk menghasilkan *filament* komposit Cu/PA6.



Gambar 4. 5. *Filament* komposit Cu/PA6

Filament 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. 6. *Feedstock*

Tabel 4. 1. *Feedstock* hasil pemotongan

Serbuk	Ukuran Partikel um		
	53	53-75	75-125
Sperikal			
Dendritik			

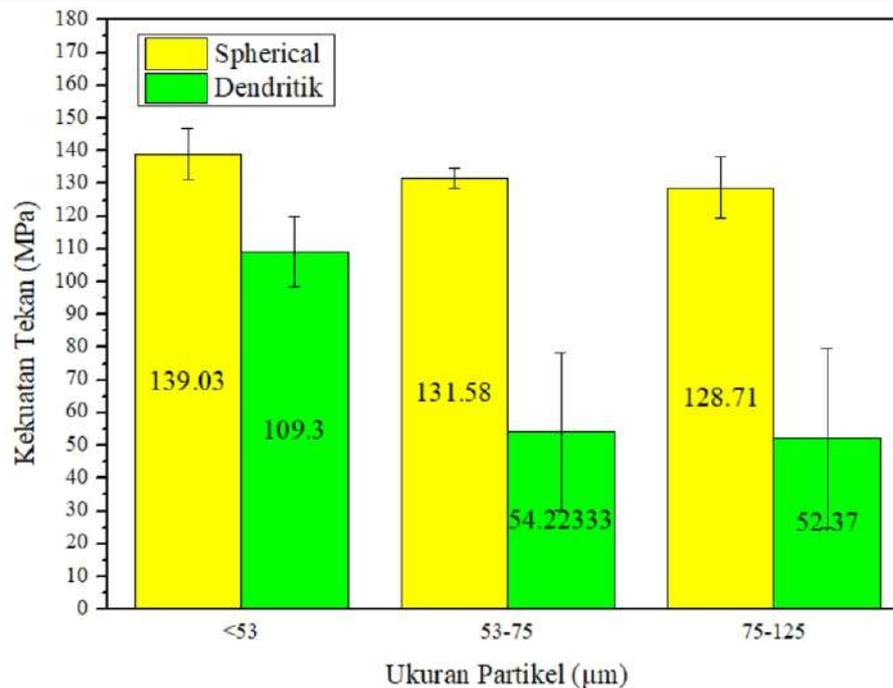
Feedstock yang telah dipotong dapat dilihat keadaan visualnya. Teridentifikasi *feedstock* dengan bahan serbuk Cu berbentuk sperikal memiliki permukaan yang lebih halus dan rapih, Sedangkan serbuk Cu berbentuk dendritik tidak memiliki visual yang baik, dan tidak memenuhi kualifikasi ukuran untuk dijadikan *feedstock*.

Setelah *Feedstock* Cu/PA6 diproduksi, kemudian dilakukan pengujian untuk menganalisis pengaruh dari tiap variasi bentuk serbuk dan ukuran partikel yang digunakan. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu *Scanning Electron Miscroscopy* (SEM), kekuatan tekan, kekerasan, dan reologi. Untuk pengujian tekan dan kekerasan. *Feedstock* akan dibentuk menjadi spesimen uji menggunakan mesin *injection molding*. *Mold* yang digunakan adalah ukuran 1;2 sesuai dengan standar yang ada pada ASTM D695. *Mold* yang digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi diameter sebesar 12,7mm dan tinggi sebesar 25,4 mm seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.

4.3 Pengaruh Bentuk Partikel dan Ukuran Partikel terhadap Sifat Mekanik *Feedstock* Cu/PA-6

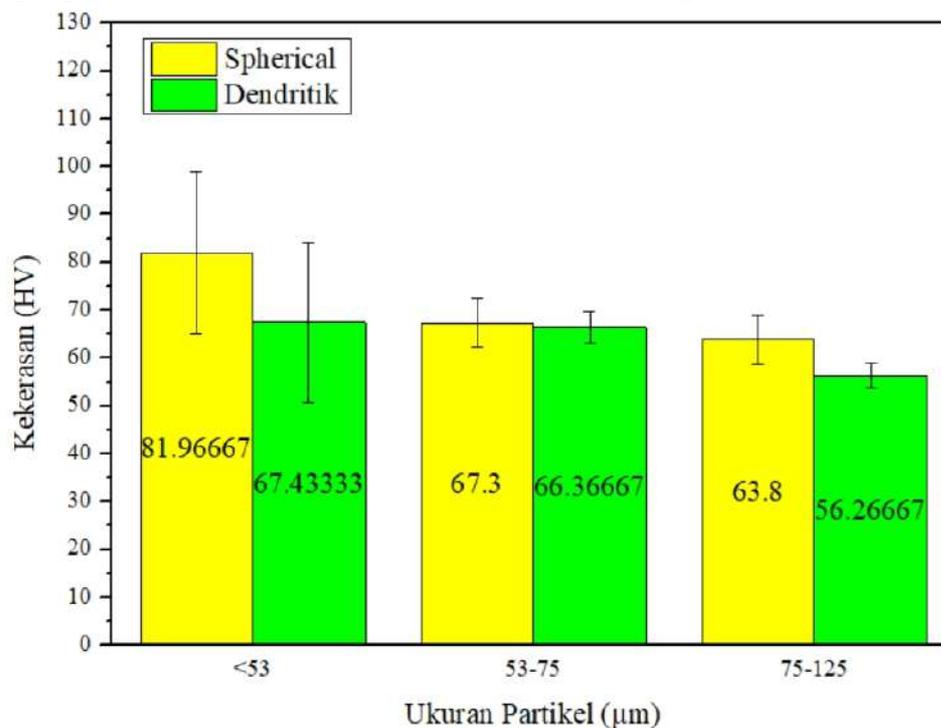
Sifat mekanik yang berpengaruh dalam nilai kualitas *feedstock* untuk proyektil *frangible* salah satunya adalah kekuatan tekan dan kekerasan. Kedua sifat mekanik tersebut dianalisa dan dibandingkan pengaruhnya dengan bentuk partikel dan ukuran partikelnya.

Dalam penelitian ini uji kekuatan tekan dilakukan pada *feedstock* Cu/Poliamida-6. Kekuatan tekan dibutuhkan untuk proyektil dapat menahan beban yang diberikan saat proses penembakan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, nilai kekuatan tekan yang dibutuhkan untuk proyektil *frangible* adalah 31-310 MPa (Banovic et al., 2008). Hasil dari pengujian kekuatan tekan diekspresikan pada grafik batang dibawah ini.



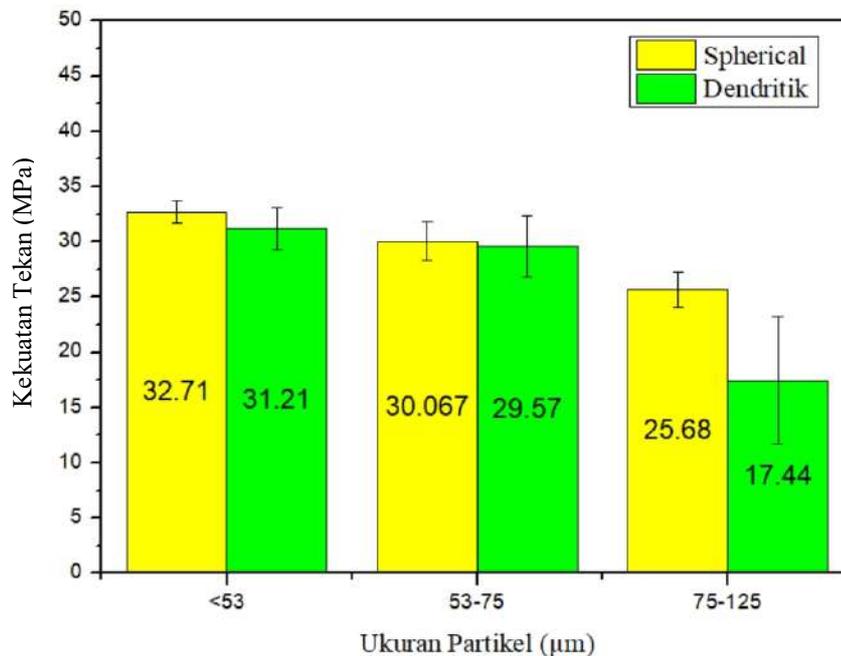
Gambar 4. 7. Grafik hubungan antara ukuran partikel terhadap kekuatan tekan *feedstock* Cu/PA-6

Selain uji kekuatan tekan dilakukan juga uji kekerasan terhadap *feedstock* Cu/PA6 dengan variasi bentuk partikel dan ukuran partikel yang telah diproduksi. 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 *kruachaturat*, nilai kekerasan yang dibutuhkan sebesar 54-119 HV. Adapun hasil pengujian kekerasan *feedstock* Cu/PA6 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 8. Grafik hubungan antara ukuran partikel terhadap kekerasan *feedstock* Cu/PA-6

Kemudian dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan standard ASTM D638 Type V. pada pengujian *tensile* ini dilakukan pada 6 variasi dimana pengujian dilakukan menggunakan 3 kali pengulangan untuk masing-masing variasi. Berdasarkan produk Ecomass Technologies, nilai *tensile* yang dimiliki produknya adalah 41,36 MPa. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai *tensile* spesimen yang telah difabrikasi.



Gambar 4. 9. Grafik hubungan antara ukuran partikel terhadap kekuatan tarik *feedstock* Cu/PA-6

Berdasarkan hasil uji sifat mekanik yaitu uji kekuatan tekan dan uji kekerasan terhadap *feedstock* Cu/PA6 dengan penggunaan ukuran partikel yang berbeda. **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8**, semua variasi spesimen memiliki nilai kekuatan tekan dan nilai kekerasan yang masuk kedalam kriteria nilai Kruachatturat (2009) yang dinilai idel untuk material proyektil frangible.

Pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.8** merupakan hubungan antara nilai kekerasan dengan ukuran partikel material Komposit Cu/PA-6. Dari grafik diketahui bahwa sifat mekanik hardness dari bentuk partikel tembaga dendritic lebih rendah dibandingkan nilai *tensile* dari partikel sperikal. Pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7** merupakan hubungan antara kekuatan tekan dengan ukuran partikel material Komposit Cu/PA-6. Dari grafik menjelaskan bahwa sifat mekanik tekan dari bentuk partikel tembaga dendritic lebih rendah dibandingkan nilai kekuatan tekan dari partikel sperikal.

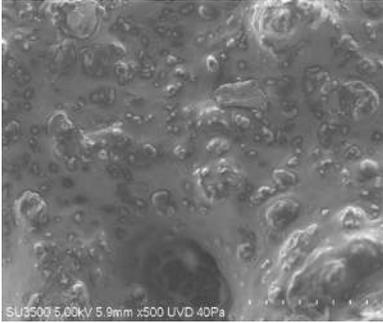
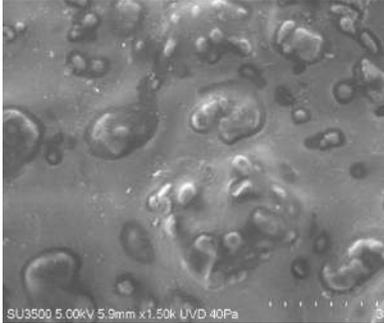
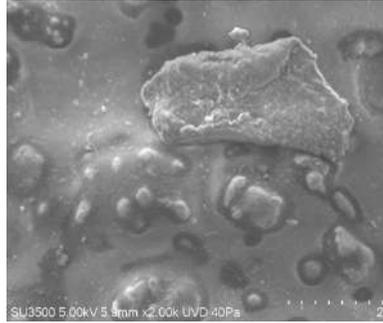
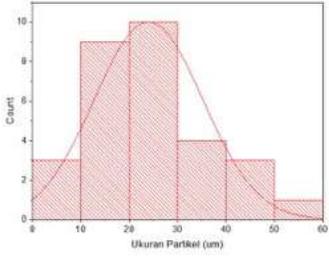
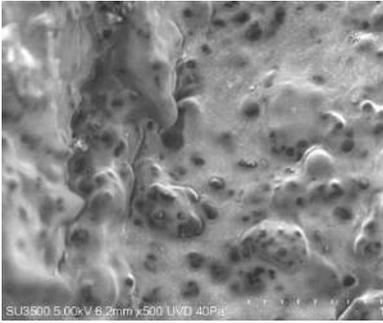
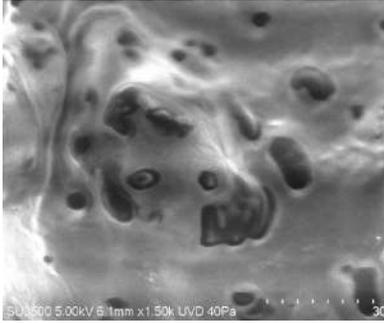
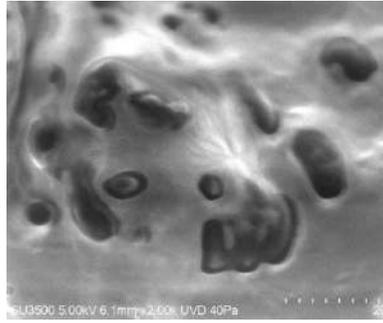
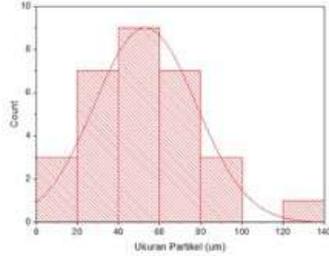
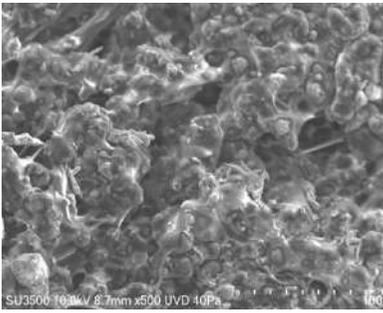
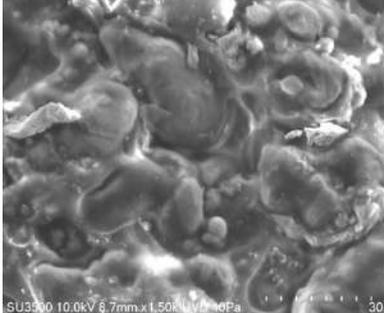
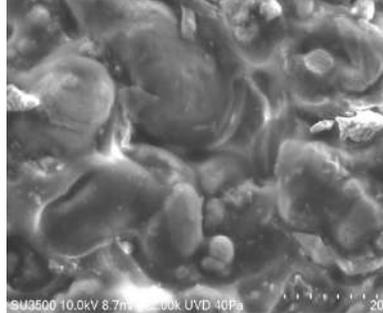
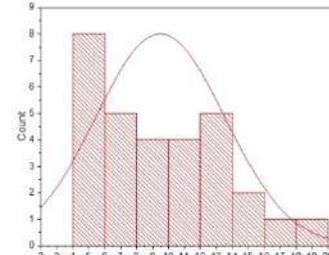
Dari **Gambar 4.7** terlihat bahwa material komposit Cu/PA nilai tertinggi dari kekuatan tekan pada *feedstock* dengan bahan serbuk berbentuk sperikal dengan ukuran ≤ 53 µm dengan nilai sebesar 139,03 MPa sedangkan nilai terendah 128,71 MPa dengan *feedstock* dari bahan dengan ukuran 75-125. Dengan bahan serbuk berbentuk dendritik nilai tertinggi dari kekuatan tekan *feedstock* adalah sebesar 109,3 Mpa dengan ukuran serbuk 53µm, sedangkan nilai terendahnya adalah 75-125 µm sebesar 52,37 Mpa. Dari **Gambar 4.8** terlihat bahwa material komposit Cu/PA nilai tertinggi dari kekerasan pada *feedstock* dengan bahan serbuk berbentuk sperikal dengan ukuran ≤ 53 µm dengan nilai sebesar 81,96 HV sedangkan nilai terendah 63,80 HV dengan *feedstock* dari bahan dengan ukuran 53-75 µm. Dengan bahan serbuk berbentuk dendritik nilai tertinggi dari kekerasan *feedstock* adalah sebesar 67,43 HV dengan ukuran serbuk 53-75, sedangkan nilai terendahnya adalah 75-125 µm sebesar 56,26 HV. Kedua sifat

mekanik yang diperoleh masuk dalam kriteria 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. Pada **Gambar 4.9** teridentifikasi bahwa material komposit Cu/PA dengan nilai tertinggi dari kekuatan tarik pada feedstock dengan bahan serbuk berbentuk sferikal dengan ukuran $\leq 53 \mu\text{m}$ dengan nilai sebesar 32,7 MPa sedangkan nilai terendah 25,68 MPa dengan feedstock dari bahan dengan ukuran 75-125. Dengan bahan serbuk berbentuk dendritik nilai tertinggi dari kekuatan tekan feedstock adalah sebesar 31,21 Mpa dengan ukuran serbuk $< 53 \mu\text{m}$, sedangkan nilai terendahnya adalah 75-125 μm sebesar 17,44 Mpa. Sifat tensile berikut tidak lebih tinggi dari produk feedstock dari produsen Ecomass Technologies. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan bahan fabrikasi dan komposisinya, dengan menggunakan jumlah Cu yang lebih banyak menghasilkan nilai kekuatan tekan yang lebih tinggi. Komposisi produk Ecomass® Compound 1700CO94 menggunakan Cu dengan 94 wt% dan Poliamida 12 dengan 6 wt%.

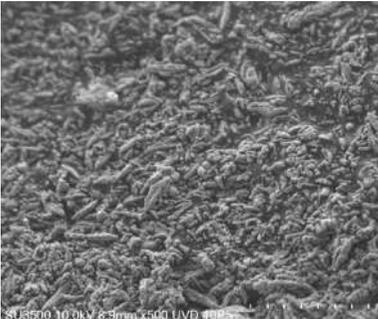
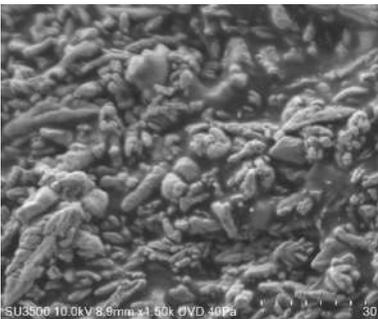
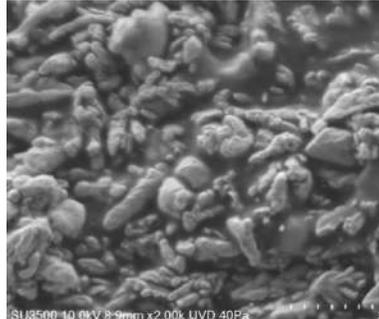
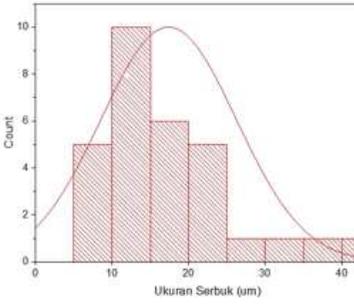
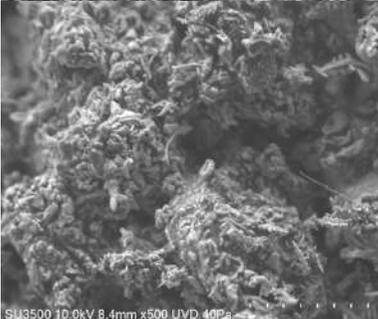
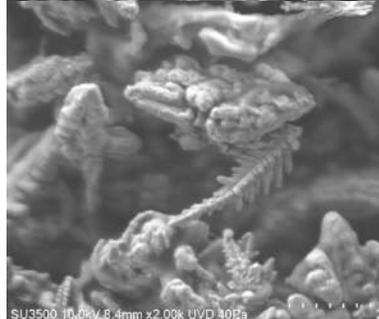
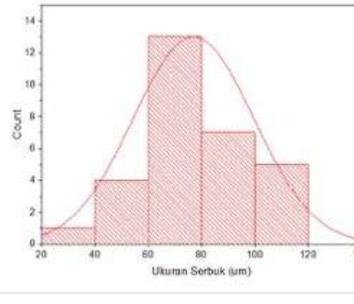
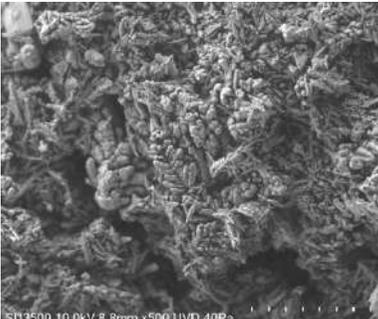
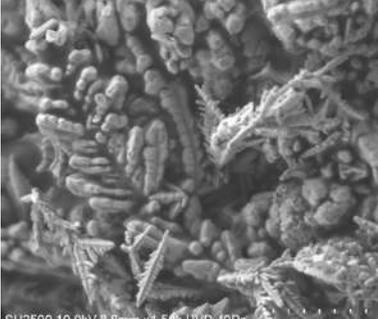
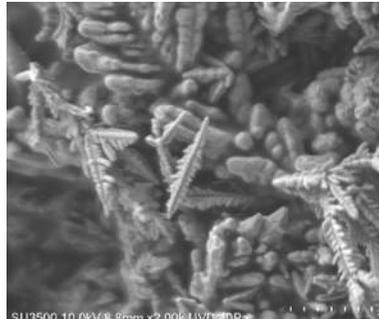
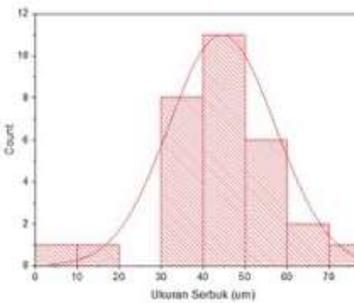
Menurut Wichianrak, juga diketahui bahwa sifat mekanik dari *feedstock* dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel yang mana semakin kecil partikel Cu menunjukkan semakin baiknya sifat mekanik yang didapat karena memiliki kontak antartikel yang lebih banyak

Hasil dari kedua pengujian mekanik tersebut didukung oleh data yang didapat dari hasil pengujian Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM) bertujuan untuk memeriksa kondisi morfologi permukaan dan juga sebagai pembanding pengaruh terhadap sifat mekanik material feedstock. Berikut hasil pengujian SEM pada **Tabel 4.2** dan **4.3**;

Tabel 4. 2. Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan bentuk partikel sperikal

Ukuran Partikel μm	Perbesaran			Distribusi Partikel
	500x	1500x	2000x	
53				
53-75				
75-125				

Tabel 4. 3. Gambar morfologi *feedstock* Cu/PA6 dengan bentuk partikel dendritik

Ukuran Partikel μm	Perbesaran			Distribusi Partikel
	1500x	2500x	5000x	
>53				
53-75				
75-125				

Berdasarkan hasil SEM pada **Tabel 4.3**, Pada *feedstock* Cu/PA6 berbentuk dendritik teridentifikasi bahwa hasil *mixing* homogenitas rendah dan banyaknya aglomerasi dan void yang terbentuk, partikel dendritik cenderung memiliki tingkat porositas yang lebih tinggi daripada sferikal yang memiliki morfologi lebih halus. Bentuk partikel dapat dilihat juga melalui perspektif fisik di mana semakin halus suatu permukaan partikel maka akan semakin sulit partikel tersebut bereaksi dengan lingkungannya (kurang reaktif secara kimiawi), dan semakin *irregular* bentuknya maka akan semakin reaktif partikel tersebut terhadap lingkungannya (Randall M. German, 1984).

Selain bentuk partikel, ukuran partikel juga memengaruhi kualitas produk, menurut Hlosta. Semakin besar ukuran partikel akan semakin tinggi titik leburnya, dan juga akan semakin rendah tingkat flowabilitynya. Di sisi lain semakin kecil ukuran partikel maka akan meningkatkan surface area, semakin besar surface area maka akan semakin banyak titik kontak yang terjadi antar-partikel, hal ini akan mengarah kepada semakin baiknya flowability(Hlosta et al., 2016).

Berdasarkan hasil SEM pada **Tabel 4.2**, pada *feedstock* Cu/PA6 serbuk sferikal tidak teridentifikasi adanya *void* atau porositas pada permukaan *feedstock* pada perbesaran 500x, 1.500x, dan 2.000x. Tidak terbentuknya void ini menandakan matriks dapat melapisi seluruh permukaan serbuk, sehingga mengisi ruangan diantara serbuk Cu. Menurut Chawla, dengan tidak adanya void, maka akan terbentuk mechanical interlocking yang baik pada antarmuka matriks dengan serbuk (Chawla, 2020). Persebaran serbuk yang merata pada *feedstock* diperkirakan dapat menghasilkan *feedstock* dengan viskositas yang rendah dan flowability yang baik (Asmawi et al., 2016; Li et al., 2007). Bentuk dari partikel akan memengaruhi laju aliran suatu partikel, semakin halus bentuknya maka akan memiliki flowability yang lebih baik, sebaliknya, semakin irregular bentuknya maka akan semakin buruk laju alirannya.

Tabel 4. 4. Tabulasi

Feedstock	Ukuran partikel (µm)	Tensile Strength (MPa)	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekerasan (HV)	Keterangan
Standar		41,36*	31-310**	54-119**	
Sferikal Cu/PA6	<53	32,7	139,03	81,96	✓
	53-75	30,06	131,58	67,30	✓
	75-125	25,68	128,71	63,80	✓
Dendritik Cu/PA6	<53	31,21	109,3	67,43	✓
	53-75	29,57	54,22	66,36	✓
	75-125	17,44	52,37	56,26	✓

*(Ecomass Technologies, 2022)

** (Kruachatturat, 2009)

Berdasarkan tabulasi perbandingan nilai standard dengan hasil penelitian, nilai kekuatan tekan dan nilai kekerasan seluruh sample memenuhi syarat minimum untuk *feedstock* proyektal frangible. Namun nilai tensilnya dibawah nilai tensile *feedstock* produksi Ecomass Technologies. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan bahan fabrikasi dan komposisinya, dengan menggunakan jumlah Cu yang lebih banyak menghasilkan nilai kekuatan tekan yang lebih tinggi. Komposisi produk Ecomass® Compound 1700CO94 menggunakan Cu dengan 94

wt% dan Poliamida 12 dengan 6 wt%. Berdasarkan tabulasi, parameter yang dianggap optimal untuk digunakan sebagai proyektil *frangible* adalah parameter *feedstock* dengan bahan Cu berbentuk dendritik ukuran $<53 \mu\text{m}$ karena memiliki nilai kekuatan yang tidak terlalu rendah, dengan nilai kekerasan dikategorikan lolos kedalam kriteria kebutuhan nilai kekerasan dan kekuatan tekan, selain itu serbuk berbentuk dendritik memiliki harga jual yang relatif rendah dibanding serbuk berbentuk sferikal. Namun dengan mengorbankan waktu proses pemanasan yang lebih lama karena memiliki surface area yang lebih besar sehingga memerlukan waktu lebih untuk konduksi panas yang diberikan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut

Sifat mekanik *feedstock* komposit Cu/PA6 dipengaruhi oleh peningkatan ukuran partikel Cu dan bentuk dari partikelnya. Nilai sifat mekanik berbanding terbalik dengan meningkatnya ukuran partikel yang digunakan. Nilai sifat mekanik untuk bentuk partikel sferikal lebih besar dibandingkan bentuk dendritik namun masih memenuhi kriteria proyektil *frangible*. Parameter yang optimal untuk digunakan sebagai proyektil *frangible* adalah *feedstock* dengan bahan Cu berbentuk dendritik <53 μm karena memiliki nilai sifat mekanik yang telah memenuhi standar kebutuhan minimum, dengan nilai kekerasan, kekuatan tekan, dan kekuatan tarik dikategorikan lolos kedalam kriteria. Selain itu, serbuk berbentuk dendritik memiliki harga yang lebih murah dibanding serbuk berbentuk sferikal.

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

- Afrilinda, ST., MT., E., Virdhian, S., & Doloksaribu, M. (2017). Studi Awal Pembuatan Feedstock Metal Injection Moulding Menggunakan Torque Rheometer. *Metal Indonesia*, 39(1), 33. <https://doi.org/10.32423/jmi.2017.v39.33-44>
- Asmawi, R., Ibrahim, M. H. I., Amin, A. M., & Mustafa, N. (2016). Characterization of Stainless Steel 316L Feedstock for Metal Injection Molding (MIM) Using Waste Polystyrene and Palm Kernel Oil Binder System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012062>
- Bélanger, G., Germain-De-Grantham, S., Potvin, M., & Bélair, V. (n.d.). *United States Patent (19) Bélanger et al. 54 (75) (73) (21) 22) (51) (52) (58) 56) Frangible Practice Ammunition.*
- Belanger, G., & Potvin, M. (1993). *United States Patent (19). 19*, 1–8.
- Ben Trad, M. A., Demers, V., & Dufresne, L. (2019). Effect of Powder Shape and Size on Rheological, Thermal, and Segregation Properties of Low-Pressure Powder Injection Molding Feedstocks. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(9), 5551–5562. <https://doi.org/10.1007/s11665-019-04276-9>
- Callister, W. D., & David Rethwisch, J. G. (n.d.). *Materials Science and Engineering.*
- Chawla, K. K. (2012). Composite materials: Science and engineering, third edition. In *Composite Materials: Science and Engineering, Third Edition*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74365-3>
- Chawla, K. K. (2020). Composite Materials. In *Solid Mechanics and its Applications* (Third, Vol. 263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35098-7_11
- Dewanto, H. A. (2014). *Pengaruh Persen Massa Poliamida-6 dan Temperatur Sintering Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Proyektil Komposit Tembaga-Poliamida (Cu-PA6).*
- TDS - 1700CO94, (2022).
- Falah, F. M. (2014). *Pengaruh Jenis Polimer dan wt% Tembaga terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Material Tembaga/Polimer sebagai Material Peluru Frangible.* Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- German, R. M. (2016). Particulate composites: Fundamentals and applications. In *Particulate Composites: Fundamentals and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29917-4>
- Hansen. (2008). Bullet Composition. *United State Patent*, 2(12).
- Heaney, D. F. (2012). Powders for metal injection molding (MIM). In *Handbook of Metal Injection Molding* (pp. 50–63). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9780857096234.1.50>
- Hlosta, J., Žurovec, D., Jezerská, L., & Necas, J. (2016). *Effect of Particle Shape and Size on The Compressibility and Bulk Properties of Powders in Powder Metallurgy.* <https://www.researchgate.net/publication/304657266>
- Ju, Y., Tasaka, T., Yamauchi, H., & Nakagawa, T. (2015). Synthesis of Sn nanoparticles and their size effect on the melting point. *Microsystem Technologies*, 21(9), 1849–1854. <https://doi.org/10.1007/s00542-014-2397-z>
- Jung, I. D., Park, J. M., Yu, J. H., Kang, T. G., Kim, S. J., & Park, S. J. (2014). Particle size effect on the magneto-rheological behavior of powder injection molding feedstock. *Materials Characterization*, 94, 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2014.05.004>
- Kelter, R. (n.d.). *Cast Bullet Alloys & Alloy Maintenance.*

- Kruachaturrat, S., Thanomsilp, C., & Wattanasiriwech, S. (2009). Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets. *The 3rd Thailand Metallurgy Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development*.
- Kulshreshtha, A. K. (Anand K.), & Vasile, C. (2002). *Handbook of polymer blends and composites*. Rapra Technology.
- Li, Y., Li, L., & Khalil, K. A. (2007). Effect of powder loading on metal injection molding stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 183(2–3), 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.10.039>
- Liu, Z. Y., Loh, N. H., Tor, S. B., & Khor, K. A. (2003a). Characterization of powder injection molding feedstock. *Materials Characterization*, 49(4), 313–320. [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(02\)00282-6](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(02)00282-6)
- Malkin, A. Y., & Isayev, A. (2017). Rheology. Concepts, Methods, and Applications: Concepts, Methods, and Applications: 3rd Edition. In *Rheology. Concepts, Methods, and Applications: Concepts, Methods, and Applications: 3rd Edition (Third)*. ChemTec Publishing.
- Mates, S. P., Rhorer, R., Banovic, S., Whitenton, E., & Fields, R. (2008). Tensile strength measurements of frangible bullets using the diametral compression test. *International Journal of Impact Engineering*, 35(6), 511–520. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2007.04.005>
- Mazumdar, S. K. (2002). *Composites Manufacturing, Product, and Process Engineering*.
- Mindivan, A. F. (n.d.). *Effect of Crystalline Form (γ) of Polyamide 6 / Graphene Nanoplatelets (PA6/GN) Nanocomposites on its Structural and Thermal Properties*.
- Moon, A. P., Dwarapudi, S., Sista, K. S., Kumar, D., & Sinha, G. R. (2021a). 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>
- Mullins, J. F. (2001). *Frangible Ammunition-The New Wave in Firearms Ammunition (1st ed.)*. Paladin Press, Boulder, CO.
- Randall M. German. (1984). *Powder metallurgy science. Metal Powder Industries Federation*.
- Rauwendaal, C. (2018). *Understanding extrusion (3rd ed.)*. Hanser.
- Santos, C., Gatões, D., Cerejo, F., & Vieira, M. T. (2021). Influence of metallic powder characteristics on extruded feedstock performance for indirect additive manufacturing. *Materials*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/ma14237136>
- Tafti, A. A., Demers, V., Majdi, S. M., Vachon, G., & Brailovski, V. (2021). Effect of thermal debinding conditions on the sintered density of low-pressure powder injection molded iron parts. *Metals*, 11(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/met11020264>
- Virdhian, S., Doloksaribu, M., Supriadi, S., Balfas, N. M., Suharno, B., & Shieddieque, A. D. (2020). Characterization of 17-4 PH stainless steel metal injection molding feedstock using mixing torque data. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012053>
- Wichianrak, R., Morakotjinda, M., Yodkaew, T., Torsangtum, N., Krataithong, R., Daraphan, A., Coovattanachai, O., Vetayanugul, B., Thavarungkul, N., Poolthong, N., & Tongsri, R. (2008). Extrusion of Cu Feed Materials. In *Journal of Metals, Materials and Minerals (Vol. 18, Issue 2)*.

LAMPIRAN

Lampiran 1

DATA PENGUJIAN KEKUATAN TEKAN

Bentuk Partikel	Ukuran Partikel	Repetisi	Kekuatan Tekan (MPa)	Yield Strength (N/mm ²)	Yield Strain	Modulus Elastisitas	Rata Rata Kekuatan Tekan (Mpa)	Standar Deviasi
Sferikal	<53	1	131.15	118.96	0.0085	13995.29412	139.03	7.835387674
		2	146.82	124.04	0.0134	9256.716418		
		3	139.12	123.13	0.0115	10706.95652		
	53-75	1	137.03	118.32	0.0114	10956.14035	131.58	9.319061112
		2	118.64	119.12	0.0084	13073.80952		
		3	130.46	121.74	0.0103	11705.82524		
	75-125	1	134.04	124.9	0.0152	7784.210526	128.71	3.17193947
		2	132.7	109.82	0.0125	9529.6		
		3	128	120.57	0.0117	10405.12821		
Dendritik	<53	1	80.04	112.65	0.0095	8425.263158	109.3	24.11819299
		2	50.36	96.88	0.0078	6456.410256		
		3	32.27	117.89	0.0075	4302.666667		
	53-75	1	112.65	80.04	0.0088	12801.13636	54.22333333	10.66710364
		2	97.36	50.36	0.0058	16703.44828		
		3	117.89	32.27	0.0101	11672.27723		
	75-125	1	25.91	5.83	0.0062	940.3225806	52.37	27.42633041
		2	50.53	50.53	0.0145	3484.827586		
		3	80.67	80.67	0.0089	9064.044944		

Lampiran 2

DATA PENGUJIAN NILAI KEKERASAN

Bentuk Partikel	Ukuran Partikel (μm)	Repetisi	Nilai Kekerasan (HV)	Rata Rata Nilai Kekerasan (HV)	Standard Deviasi
Sferikal	<53	1	63.5	81.9666667	16.944714
		2	96.8		
		3	85.6		
	53-75	1	61.8	67.3	5.04083326
		2	71.7		
		3	68.4		
	75-125	1	59.6	63.8	4.97895571
		2	62.5		
		3	69.3		
Dendritik	<53	1	54.1	67.4333333	16.5814153
		2	62.2		
		3	86		
	53-75	1	69.6	66.3666667	3.35608899
		2	66.6		
		3	62.9		
	75-125	1	55.5	56.2666667	2.63502056
		2	54.1		
		3	59.2		

Lampiran 3

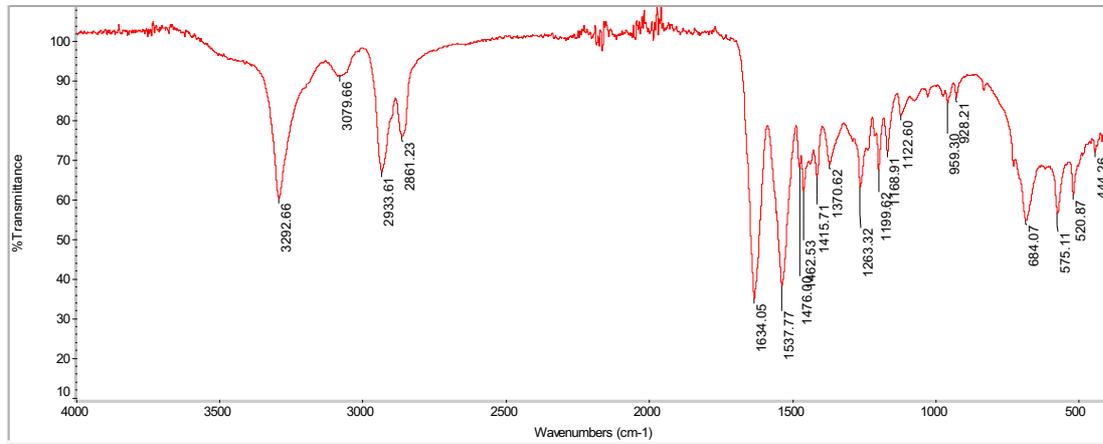
DATA PENGUJIAN NILAI KEKUATAN TARIK

Bentuk Partikel	Ukuran Partikel (μm)	Repetisi	Nilai Tensile (MPa)	Rata Rata Nilai Tensile (MPa)	Standard Deviasi
Sferikal	<53	1	33.64	32.716	1.02842015
		2	32.9		
		3	31.608		
	53-75	1	30.92	30.0666667	1.71715851
		2	28.09		
		3	31.19		
	75-125	1	26.37	25.6833333	1.63218667
		2	26.86		
		3	23.82		
Dendritik	<53	1	29.37	31.2133333	1.92458654
		2	33.21		
		3	31.06		
	53-75	1	32.68	29.5733333	2.7726221
		2	28.69		
		3	27.35		
	75-125	1	21.47	17.4433333	5.76442827
		2	10.84		
		3	20.02		

Hasil FTIR

Title: PA-6 Neat-B

Fri Feb 18 14:53:41 2022 (GMT+07:00)



Collection time: Fri Feb 18 14:52:25 2022 (GMT+07:0)

Spectrum: PA-6 Neat-B
Region: 3495.26-455.13
Search type: Correlation

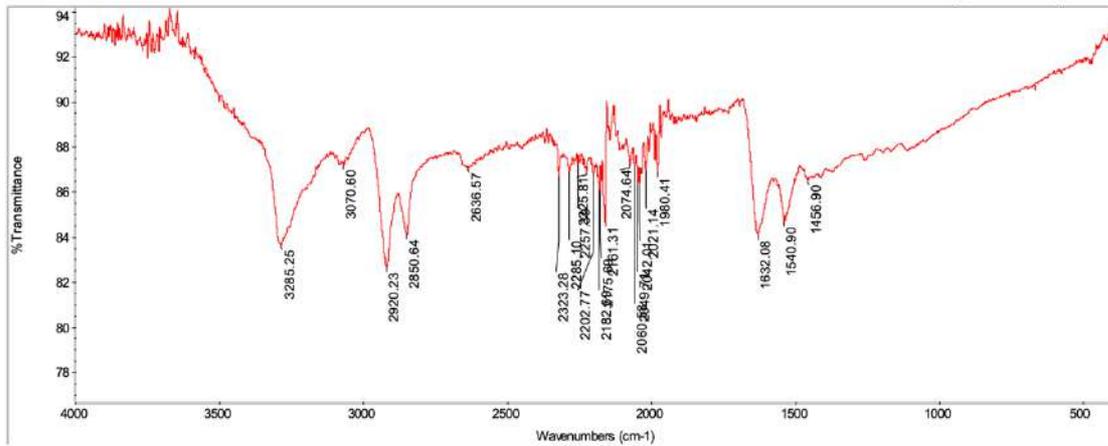
Fri Feb 18 14:53:24 2022 (GMT+07:00)

Find Peaks
Spectrum: PA-6 Neat-B
Region: 4000.00
Absorbance threshold: 400.00
Sensitivity: 50
Peak list:
Position: 444.26 Intensity: 71.809
Position: 520.87 Intensity: 61.139
Position: 575.11 Intensity: 52.233
Position: 684.07 Intensity: 54.523
Position: 928.21 Intensity: 65.798
Position: 959.30 Intensity: 84.208
Position: 1122.60 Intensity: 81.131
Position: 1199.67 Intensity: 71.837
Position: 1537.77 Intensity: 67.221
Position: 1634.05 Intensity: 62.550
Position: 1774.6 Intensity: 68.775
Position: 1861.23 Intensity: 65.631
Position: 2861.23 Intensity: 62.053
Position: 2920.23 Intensity: 67.971
Position: 3079.66 Intensity: 37.915
Position: 3292.66 Intensity: 54.752
Position: 3302.66 Intensity: 75.794
Position: 3352.66 Intensity: 68.473
Position: 3379.66 Intensity: 91.017
Position: 3392.66 Intensity: 60.085

Index	Match	Compound name	Library
28	70.20	POLYAMIDE 6 + POLYAMIDE 6,6	Hummel Polymer Sample Library
1	69.07	POLYAMIDE 6	Hummel Polymer Sample Library
288	67.39	Polyamide 6 + polyamide 6,6	HR Hummel Polymer and Additives
290	65.36	Poly(amide 6,6:amide 6)	HR Hummel Polymer and Additives
286	64.32	Polyamide 6 + polyamide 6,6	HR Hummel Polymer and Additives
17746	64.24	Nylon 6	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
688	63.49	Poly(amide-6 + polyamide-6,6)	HR Nicolet Sampler Library
17750	62.16	Nylon 6/12	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1025	62.03	Vestamid X4044	HR Hummel Polymer and Additives
7	61.88	Polyamide 6	HR Hummel Polymer and Additives

Title: Cu/PA6 Spherical

Thu Jul 14 09:40:32 2022 (GMT+07:00)



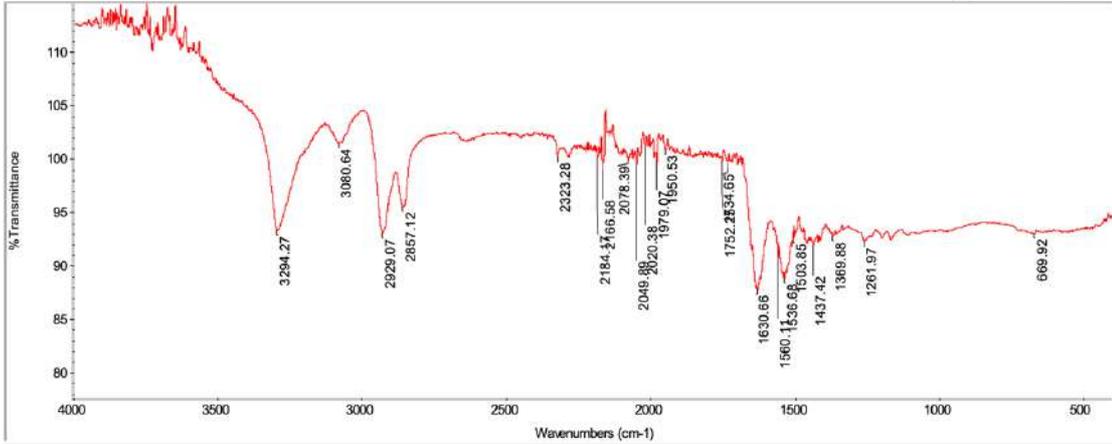
Collection time: Thu Jul 14 09:39:17 2022 (GMT+07:0)

Spectrum: Cu/PA6 Spherical
Region: 3495.26-455.13
Search type: Correlation

Thu Jul 14 09:40:32 2022 (GMT+07:00)

Find Peaks
Spectrum: Cu/PA6 Spherical
Region: 4000.00
Absorbance threshold: 400.00
Sensitivity: 50
Peak list:
Position: 1456.90 Intensity: 86.420
Position: 1540.90 Intensity: 86.420
Position: 1632.08 Intensity: 86.420
Position: 1960.41 Intensity: 86.420
Position: 2060.88 Intensity: 86.420
Position: 2074.64 Intensity: 86.420
Position: 2182.87 Intensity: 86.420
Position: 2202.77 Intensity: 86.420
Position: 2323.28 Intensity: 86.420
Position: 2636.57 Intensity: 86.420
Position: 2850.64 Intensity: 86.420
Position: 2920.23 Intensity: 86.420
Position: 3070.60 Intensity: 86.420
Position: 3285.25 Intensity: 86.420

Index	Match	Compound name	Library
1	50.23	POLYAMIDE 6	Hummel Polymer Sample Library
32	47.58	POLY(ETHYLENE:PROPYLENE:DIENE)	Hummel Polymer Sample Library
28	45.99	POLYAMIDE 6 + POLYAMIDE 6,6	Hummel Polymer Sample Library
97	45.01	NYLON 6/10	Aldrich Condensed Phase Sample Library
17	44.95	5A-ANDROSTANE	Sigma Biological Sample Library
7	42.00	POLY(ETHYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
39	40.63	1-BROMOADAMANTANE, 99%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
1	40.43	TRIACONTANE, 99%	Aldrich Condensed Phase Sample Library
95	40.25	POLY(ETHYLENE), LOW DENSITY	Aldrich Condensed Phase Sample Library
66	39.57	GRAMICIDIN FROM BACILLUS BREVIS	Sigma Biological Sample Library



Collection time: Thu Jul 14 09:36:37 2022 (GMT+07:0)

Spectrum: Cu/PA6 Dendritik
 Region: 3495.26-455.13
 Search type: Correlation

Thu Jul 14 09:37:14 2022 (GMT+07:00)
 F1ND F16405
 Spectrum: Cu/PA6 Dendritik
 Region: 4000.00 400.00
 Absolute Intensity: 101.421
 Sensitivity: 50
 Peak List:

Position	Intensity	Match
698.92	52.802	69.00
1351.97	52.148	68.17
1363.66	52.603	62.25
1437.42	51.816	61.66
1502.85	52.608	60.81
1536.68	58.715	60.15
1560.11	50.760	60.08
1630.66	47.610	59.30
1724.85	59.008	
1752.25	59.785	
1950.53	100.770	
1979.07	59.541	
2020.38	100.354	
2049.88	59.229	
2078.39	59.816	
2184.37	59.837	
2323.26	100.375	
2867.12	59.408	
2929.07	52.281	
3080.64	101.369	
3294.27	53.180	

Hit List	Index	Match	Compound name	Library
1	1	69.00	POLYAMIDE 6	Hummel Polymer Sample Library
28	28	68.17	POLYAMIDE 6 + POLYAMIDE 6,6	Hummel Polymer Sample Library
723	723	62.25	Polyamide-6,9	HR Hummel Polymer and Additives
97	97	61.66	NYLON 6/10	Aldrich Condensed Phase Sample Library
1025	1025	61.51	Vestamid X4044	HR Hummel Polymer and Additives
495	495	60.81	Polyamide-11	HR Hummel Polymer and Additives
1060	1060	60.46	Polyamide-10	HR Hummel Polymer and Additives
1002	1002	60.15	Grilon CR 9	HR Hummel Polymer and Additives
288	288	60.08	Polyamide 6 + polyamide 6,6	HR Hummel Polymer and Additives
515	515	59.30	Polyamide-11	HR Hummel Polymer and Additives

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.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua
3. Kedua orang tua dan saudara penulis yang selalu menyemangati dan mendoakan selama pengerjaan tugas akhir ini
4. Aprilio Mori Syamra, Fransisca Angela Maria Rochdiyanti, Mochamad Ichwan Al Shafa, Aditya Bramantyo, dan Dwiki selaku partner Tugas akhir penulis yang selalu berbagi motivasi dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir
5. Nabilla Putri Cindyanti yang telah membantu mengkoreksi dan menyempurnaan penulisan tugas akhir
6. Keluarga MT20 yang telah bersama penulis sejak awal memasuki perkuliahan hingga sekarang
7. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan

Surabaya, 17 Juli 2022

Penulis

Mohammad Daffa Rizqi Siddieq

02511840000114

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Mohammad Daffa Rizqi Siddieq, lahir di Surabaya pada tanggal 1 Mei 2000. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Cendekia, SMP Al Falah Deltasari, dan SMAN 1 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2018, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, UKM olahraga dan panitia acara. Penulis sempat menjabat sebagai *Vice President NACE Student Chapter ITS 2020/2021*, Staff Sponsorship ITS EXPO 2020 dan pernah menjuarai kegiatan Liga antar mahasiswa Indonesia cabang olahraga *Flag Football (College Bowl VII) tahun 2019*.