

**ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN  
TEMBAGA YANG DIPERKUAT PLASTIK TERHADAP  
KEKUATAN IMPAK**

**SKRIPSI**

**OLEH :  
ZAKARIA  
198130010**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/11/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)6/11/24

**ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN  
TEMBAGA YANG DIPERKUAT PLASTIK TERHADAP  
KEKUATAN IMPAK**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 6/11/24

Access From (repository.uma.ac.id)6/11/24

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Analisis Pengaruh Proses Penempaan Pada Bahan Tembaga yang Diperkuat Plastik Terhadap Kekuatan Impak

Nama Mahasiswa : Zakaria  
NIM : 198130010  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing



Muhammad Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T.

Pembimbing I



Dr. H. Supriatno, ST, MT  
Dekan



Ka. Prodi  
Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 19 Agustus 2024

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sevititas akademik Universitas Medan Area saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zakaria  
NPM : 198130010  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive- free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN TEMBAGA YANG DIPERKUAT PLASTIK TERHADAP KEKUATAN IMPAK.

Beserta perangkat yang ada (jika di perlukan). Dengan hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagi penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini buat dengan sebenarnya.

Di buat di : Medan

Pada tanggal : 1 Juni 2024

Yang menyatakan



(Zakaria)

198130010

## ABSTRAK

Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses penempaan pada bahan tembaga yang diperkuat dengan plastik terhadap kekuatan impact yang dihasilkan. Masalah difokuskan pada peningkatan kekuatan impact melalui proses tersebut. Dalam eksperimen yang dilakukan, spesimen tembaga dengan ukuran panjang 55 mm, lebar 12 mm dan tebal 12 mm dipanaskan hingga suhu 750°C dan kemudian ditempa untuk menciptakan struktur mikro yang lebih padat dan homogen. Setelah proses penempaan, spesimen tersebut diperkuat dengan lapisan plastik teflon dan plastik *mcbblue* dengan ukuran yang serupa, yang bertujuan untuk menambah ketahanan terhadap beban impact. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen yang telah ditempa dan diperkuat dengan plastik *mcbblue* memiliki nilai rata-rata energi impact yaitu 36,14 joule, 56,39 joule dan 77,46 joule dan terjadi penurunan nilai 18,82 Joule, 30,85 joule dan 43,98 joule pada tembaga yang diperkuat teflon. Demikian pula hasil rata-rata kekuatan impact pada tembaga yang diperkuat *mcbblue* memiliki nilai 0,45 J/mm<sup>2</sup>, 0,7 J/mm<sup>2</sup> dan 0,97 J/mm<sup>2</sup> dan terjadi penurunan nilai 0,24 J/mm<sup>2</sup>, 0,39 J/mm<sup>2</sup> dan 0,55 J/mm<sup>2</sup> pada tembaga yang diperkuat teflon. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan material tembaga yang diperkuat *mcbblue* dan diperkuat, menandakan bahwa kombinasi penguatan dengan plastik efektif dalam meningkatkan ketahanan impact material. Hasil ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan material baru yang lebih efisien dan tahan lama untuk berbagai kebutuhan industri.

Kata Kunci: penempaan, tembaga, plastik, kekuatan impact.

## ABSTRACT

*This paper aims to analyze the effect of the forging process on copper materials reinforced with plastic on the resulting impact strength. The problem is focused on increasing the impact strength through the process. In the experiments carried out, copper specimens measuring 55 mm long, 12 mm wide and 12 mm thick were heated to a temperature of 750°C and then forged to create a denser and more homogeneous microstructure. After the forging process, the specimen is reinforced with a layer of Teflon plastic and Mcblue plastic of a similar size, which aims to increase resistance to impact loads. The test results show that the specimens that have been forged and reinforced with McBlue plastic have an average impact energy value of 36.14 Joules, 56.39 Joules and 77.46 Joules and there is a decrease in the values of 18.82 Joules, 30.85 Joules and 43.98 joules on Teflon reinforced copper. Likewise, the average impact strength results for mcblue reinforced copper have values of 0.45 J/mm<sup>2</sup>, 0.7 J/mm<sup>2</sup> and 0.97 J/mm<sup>2</sup> and there is a decrease in values of 0.24 J/mm<sup>2</sup>, 0.39 J/mm<sup>2</sup> and 0.55 J/mm<sup>2</sup> on Teflon reinforced copper. The results showed a significant improvement compared to unwrought and reinforced copper materials, indicating that the combination of reinforcement with plastic is effective in increasing the impact resistance of the material. These results are expected to contribute to the development of new materials that are more efficient and durable for various industrial needs.*

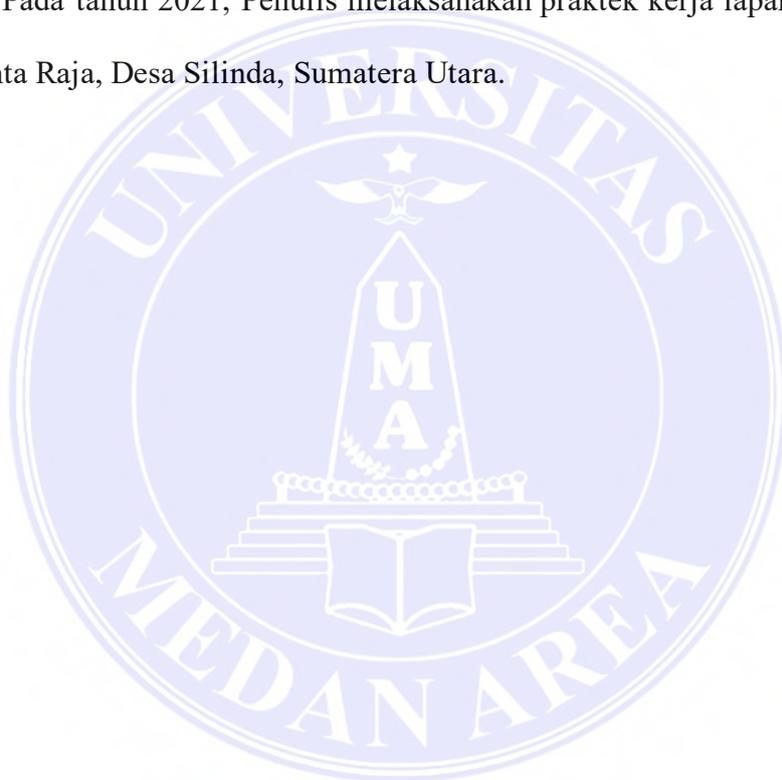
*Keywords: forging, copper, plastic, impact strength*

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Silinda Pada tanggal 26 September 2001 dari ayah Muhammad Jailani dan ibu Supiani. Penulis merupakan putra kedua dari empat bersaudara.

Tahun 2019 Penulis lulus dari SMK AKP Galang dan pada tahun yang sama terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Pada tahun 2021, Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. Cinta Raja, Desa Silinda, Sumatera Utara.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah pengujian spesimen dengan judul Analisis Pengaruh Proses Penempaan Pada Bahan Tembaga yang Diperkuat Plastik Terhadap Kekuatan Impak.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Muhammad Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T. selaku pembimbing yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman – teman grup Impak Charpy yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Zakaria)

## DAFTAR ISI

ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN TEMBAGA YANG DIPERKUAT PLASTIK TERHADAP KEKUATAN IMPAK .....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
RIWAYAT HIDUP .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR NOTASI .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Hipotesis Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tembaga .....	5
2.2 Plastik .....	10
2.3 Penempaan ( <i>Forging</i> ) .....	16
2.4 Uji Impak .....	23
2.5 Jenis Patahan .....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	34
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	34
3.2 Bahan dan Alat .....	35
3.3 Metode Penelitian .....	40
3.4 Populasi dan Sampel .....	42
3.5 Prosedur Kerja .....	43
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	53
4.1 Hasil .....	53
4.2 Pembahasan .....	62
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	77
5.1 Simpulan .....	77
5.2 Saran .....	78
DAFTAR PUSTAKA .....	79
LAMPIRAN .....	81

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Sifat karakteristik tembaga	6
Tabel 2.2.	Nama tembaga dan paduan tembaga	9
Tabel 2.3.	Sifat Mekanik Tembaga Yang Biasa Digunakan	10
Tabel 2.4.	Sifat karakteristik <i>mcbblue</i>	13
Tabel 2.5.	Komposisi Berisi PTFE	15
Tabel 3.1.	Jadwal Tugas Akhir	34
Tabel 3.2.	Data Populasi dan Sampel	42
Tabel 4.1.	Data ukuran masing - masing bahan	54
Tabel 4.2.	Data ukuran spesimen tembaga yang diperkuat <i>mcbblue</i>	56
Tabel 4.3.	Data ukuran spesimen tembaga yang diperkuat teflon	56
Tabel 4.4.	Data hasil pengujian spesimen tembaga yang diperkuat <i>mcbblue</i>	57
Tabel 4.5.	Data hasil pengujian spesimen tembaga yang diperkuat teflon	57
Tabel 4.6.	Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen tembaga yang diperkuat <i>mcbblue</i> variasi 1	63
Tabel 4.7.	Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen tembaga yang diperkuat <i>mcbblue</i> variasi 2	64
Tabel 4.8.	Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen tembaga yang diperkuat <i>mcbblue</i> variasi 3	65
Tabel 4.9.	Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen tembaga yang diperkuat teflon variasi 1	66
Tabel 4.10.	Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen tembaga yang diperkuat teflon	67
Tabel 4.11.	Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen tembaga yang diperkuat teflon	68
Tabel 4.12.	Nilai rata- rata energi impact dan kekuatan impact pada spesimen	68
Tabel 4.13.	Data persentase perubahan volume	71

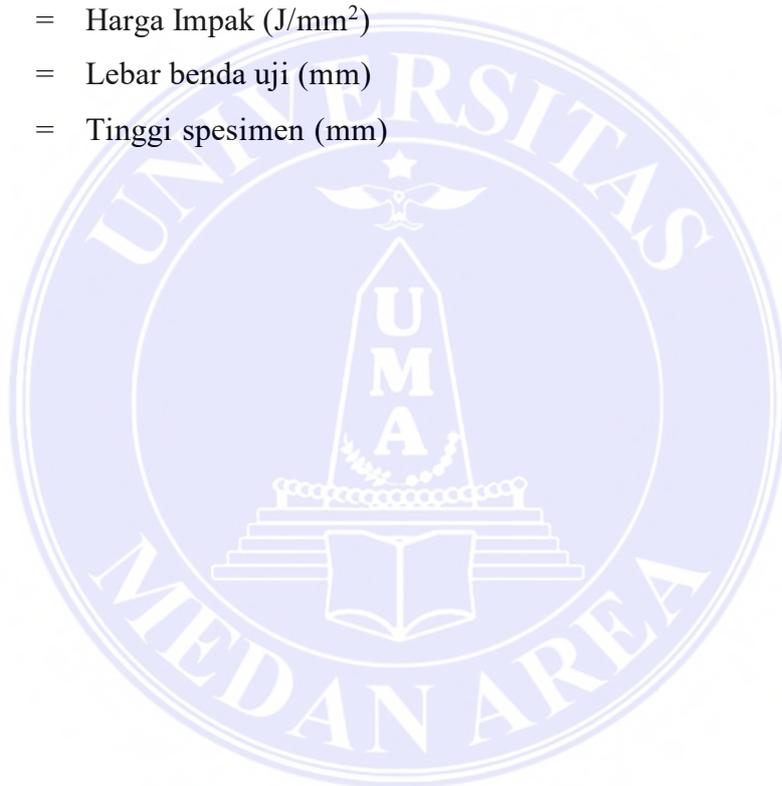
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram Fasa Cu-O	5
Gambar 2.2.	Profil material tembaga	7
Gambar 2.3.	Struktur Kristal Tembaga	9
Gambar 2.4.	Profil material <i>mcblue</i>	14
Gambar 2.5.	Profil material teflon	16
Gambar 2.6.	Ilustrasi <i>Open die forging</i>	19
Gambar 2.7.	Ilustrasi <i>Closed die forging</i>	19
Gambar 2.8.	<i>Flashless Forging</i>	20
Gambar 2.9.	Diagram yang menggambarkan jumlah pas dan urutan mereduksi penampang bilet 100 x 100 mm menjadi batang bulat	21
Gambar 2.10.	Penempaan timpa dengan die tertutup	21
Gambar 2.11.	Penempaan <i>Upset</i>	22
Gambar 2.12.	Pengaruh pengerolan panas pada bentuk dan besar butir	22
Gambar 2.13.	Ilustrasi pengujian impak metode <i>Charpy</i>	24
Gambar 2.14.	Ilustrasi pergerakan pendulum	25
Gambar 2.15.	Ilustrasi Skematis Pengujian Impak <i>Izod</i>	28
Gambar 2.16.	Ilustrasi alat uji impak jatuh bebas	30
Gambar 2.17.	Ilustrasi alat uji impak <i>Air Gun Compressor</i>	31
Gambar 2.18.	Patah ulet	32
Gambar 2.19.	Patah getas	33
Gambar 2.20.	Patah Campuran	33
Gambar 3.1.	Bahan Tembaga	35
Gambar 3.2.	<i>Mcblue</i>	35
Gambar 3.3.	Teflon	36
Gambar 3.4.	Mesin Uji Impak <i>Charpy</i>	37
Gambar 3.5.	Tungku	37
Gambar 3.6.	Landasan Besi	38
Gambar 3.7.	Palu	38
Gambar 3.8.	<i>Infrared Thermometer</i>	39
Gambar 3.9.	Lem Perekat	39
Gambar 3.10.	Mesin <i>milling</i>	40
Gambar 3.11.	Ukuran Standart Spesimen ASTM E23	41
Gambar 3.12.	Gambar 2 dimensi spesimen	41
Gambar 3.13.	Ukuran Spesimen Tembaga yang Diperkuat <i>Mcblue</i>	41
Gambar 3.14.	Ukuran Spesimen Tembaga yang Diperkuat Teflon	41
Gambar 3.15.	Diagram alir pembuatan spesimen tembaga	43
Gambar 3.16.	Pengukuran bahan tembaga sebelum ditempa	44
Gambar 3.17.	Proses pemanasan bahan tembaga didalam tungku	44
Gambar 3.18.	Pengukuran suhu sebelum tembaga dipukul	44
Gambar 3.19.	Proses pemukulan bahan tembaga	45
Gambar 3.20.	Pengukuran bahan tembaga setelah ditempa	45
Gambar 3.21.	Diagram alir pembuatan spesimen plastik	46
Gambar 3.22.	Bahan plastik yang belum dipotong	46
Gambar 3.23.	Bahan plastik yang sudah dilakukan proses pemotongan dan <i>milling</i>	47
Gambar 3.24.	Diagram alir penggabungan spesimen	47

Gambar 3.25. Tampak atas spesimen yang sudah digabung tetapi belum diberi beban plat	48
Gambar 3.26. Tampak atas spesimen yang sudah diberi beban plat besi dengan berat 5 kg	48
Gambar 3.27. Tampak samping spesimen yang diberi beban plat besi dengan berat 5 kg	48
Gambar 3.28. Diagram alir proses pengujian	49
Gambar 3.29. Persiapan alat uji impak <i>charpy</i>	50
Gambar 3.30. Posisi spesimen yang akan diuji	50
Gambar 3.31. Tampak samping spesimen yang akan diuji	50
Gambar 3.32. Lengan pendulum dinaikkan	51
Gambar 3.33. Posisi awal sudut $147^\circ$ sebelum pengujian spesimen	51
Gambar 3.34. Posisi sudut akhir setelah pengujian spesimen	51
Gambar 3.35. Diagram Alir penelitian	52
Gambar 4.1. Bahan tembaga yang sudah ditempa namun belum diperkuat plastik	53
Gambar 4.2. Bahan <i>mblue</i> yang sudah dipotong	54
Gambar 4.3. Bahan teflon yang sudah dipotong	54
Gambar 4.4. Spesimen tembaga yang sudah diperkuat <i>mblue</i>	55
Gambar 4.5. Spesimen tembaga yang sudah diperkuat teflon	55
Gambar 4.6. Spesimen 1STMb sebelum dan sesudah diuji	58
Gambar 4.7. Spesimen 2STMb sebelum dan sesudah diuji	59
Gambar 4.8. Spesimen 3STMb sebelum dan sesudah diuji	59
Gambar 4.9. Spesimen 1STT sebelum dan sesudah diuji	60
Gambar 4.10. Spesimen 2STT teflon sebelum dan sesudah diuji	61
Gambar 4.11. Spesimen 3STT sebelum dan sesudah diuji	61
Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil rata-rata energi impak	69
Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil rata-rata kekuatan impak	69
Gambar 4.14. Perubahan volume tembaga	72
Gambar 4.15. (a) Tampak depan (b) tampak atas spesimen variasi 1	72
Gambar 4.16. Tampak depan dan tampak atas spesimen variasi 2	73
Gambar 4.17. Tampak depan dan tampak atas spesimen variasi 3	74
Gambar 4.18. Tampak depan dan tampak atas spesimen variasi 1	74
Gambar 4.19. Tampak depan dan tampak atas spesimen variasi 2	75
Gambar 4.20. Tampak depan dan tampak atas spesimen variasi 3	76

## DAFTAR NOTASI

Cu	=	Lambang table periodik bahan logam tembaga
W	=	Energi impak ( <i>Joule</i> )
$m_p$	=	Berat pendulum (N)
$L_p$	=	Panjang lengan pendulum (m)
g	=	Ketetapan Gravitasi (9,81 m/s <sup>2</sup> )
$\alpha_r$	=	Sudut awal pendulum
$\alpha_0$	=	Sudut akhir pendulum
$a_c N$	=	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )
$b_n$	=	Lebar benda uji (mm)
h	=	Tinggi spesimen (mm)



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam dekade terakhir, infrastruktur kabel bawah laut telah menjadi tulang punggung komunikasi global, menghubungkan benua dan memfasilitasi pertukaran data lintas negara dengan kecepatan cahaya. Namun, keberadaan infrastruktur vital ini sering kali terancam oleh aktivitas maritim, khususnya tabrakan (benturan) dari jangkar kapal laut. Insiden yang melibatkan jangkar yang tidak sengaja menyeret atau merusak kabel bawah laut dapat menyebabkan gangguan komunikasi yang signifikan, merugikan ekonomi, dan menghambat layanan penting. Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi dampak tersebut, mengidentifikasi kelemahan dalam pengelolaan risiko saat ini, dan mengusulkan solusi untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur kabel bawah laut terhadap risiko yang ditimbulkan oleh jangkar kapal.

Tembaga adalah salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti listrik, elektronik, otomotif, konstruksi, dan lain-lain. Tembaga memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik, seperti konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, ketangguhan, keuletan, dan kemampuan untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk. Namun, tembaga juga memiliki beberapa kelemahan, seperti kekerasan dan kekuatan yang rendah, serta rentan terhadap korosi.

Untuk meningkatkan sifat-sifat tembaga yang kurang memadai tersebut, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pelapisan. Pelapisan adalah proses penambahan material pelindung atau hiasan berbahan logam atau

non-logam pada permukaan suatu benda. Bahan pelapis yang dapat digunakan antara lain adalah serat karbon, serat gelas, partikel keramik, dan lain-lain. Salah satu bahan pelapis yang menarik untuk dikaji adalah plastik.

Plastik adalah bahan polimer yang memiliki sifat ringan, murah, mudah dibentuk, dan tahan terhadap korosi. Plastik dapat digunakan sebagai bahan pelapis tembaga dengan cara melapiskannya dengan tembaga. Hasilnya adalah tembaga-plastik yang memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada tembaga saja.

Salah satu proses pembentukan logam yang dapat digunakan untuk menghasilkan tembaga menjadi lebih padat adalah penempaan. Penempaan adalah proses pembentukan logam dengan memberikan gaya tekan dengan laju pembebanan tertentu pada benda kerja logam. Penempaan dapat dilakukan pada temperatur tinggi (*hot forging*) atau temperatur rendah (*cold forging*) (Siahaan dkk. 2023). Penempaan dapat meningkatkan sifat mekanik logam dengan cara mengubah struktur serat atau garis alir logam sesuai dengan bentuk produk akhir.

Penelitian tentang pengaruh proses penempaan pada bahan tembaga yang diperkuat plastik terhadap kekuatan impact belum banyak dilakukan. Kekuatan impact adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi saat mengalami benturan atau pembebanan dinamis. Kekuatan impact merupakan salah satu sifat mekanik yang penting untuk mengetahui ketahanan bahan terhadap keretakan atau kegagalan. Uji impact adalah metode untuk mengukur kekuatan, kekerasan, dan keuletan material. Uji impact sering digunakan di lapangan untuk menguji sifat mekanik material (Handoyo 2013). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh proses penempaan pada bahan tembaga yang diperkuat plastik terhadap kekuatan impact.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana cara menganalisis pengaruh penempaan pada bahan tembaga yang diperkuat plastik terhadap kekuatan impact?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

- a) Membuat spesimen uji impact dengan penempaan untuk bahan tembaga yang diperkuat plastik sesuai standar ASTM E23.
- b) Menguji spesimen dengan penempaan untuk bahan tembaga yang diperkuat plastik menggunakan alat impact *charpy*.
- c) Analisis pengaruh penempaan pada bahan tembaga yang diperkuat plastik terhadap kekuatan impact.

## 1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah:

- a) Penempaan pada bahan tembaga yang diperkuat plastik dapat meningkatkan kekuatan impact material tersebut.
- b) Karakteristik material tembaga yang ditempa dan diperkuat dengan plastik akan berbeda dari material tembaga tanpa tempa dan penguatan plastik.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan teknologi material dengan memperkuat material tembaga dengan plastik melalui

proses penempaan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri yang menggunakan material tembaga dalam produk-produknya untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan impak material tersebut. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi bahan ajar bagi mahasiswa dan masyarakat yang ingin mempelajari tentang teknologi material.



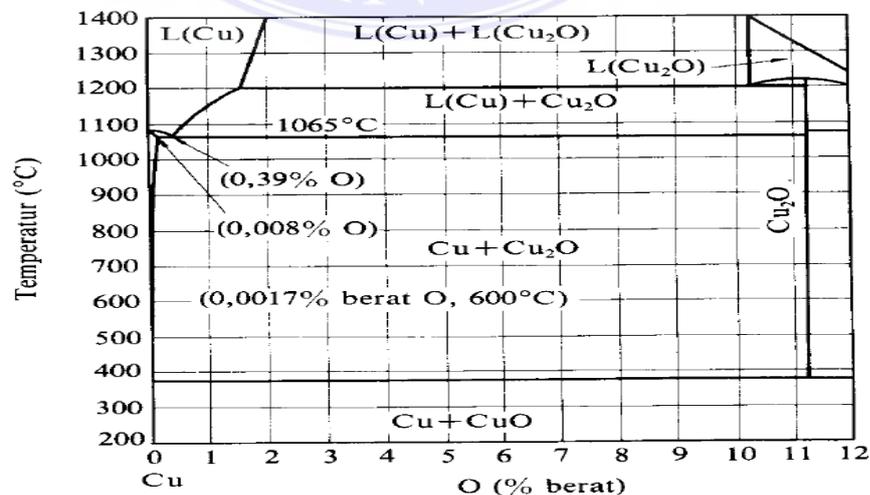
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tembaga

Tembaga (Cu) adalah logam transisi golongan IB yang memiliki nomor atom 29 dan berat atom 63,55 g/mol. Tembaga dalam bentuk logamnya mempunyai warna kemerahan, namun lebih banyak ditemukan dalam kombinasi dengan ion lain, seperti sulfat, sehingga menghasilkan warna yang berbeda dari logam tembaga murni.

Tembaga memiliki nama kimia cuprum dilambangkan dengan Cu, berbentuk kristal dengan warna kemerahan dan di alam dapat dijumpai dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Dalam tabel periodik unsur- unsur kimia tembaga menempati posisi dengan nomor atom 29 dan mempunyai bobot 63.456 (Palar 2004). Tembaga adalah logam berwarna merah muda yang lunak, mudah dibentuk, ulet, serta melebur pada suhu 1085°C. Diagram fasa dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram Fasa Cu-O

Menurut (Shairaz 2020), tembaga memiliki beberapa karakteristik yang dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1. Sifat karakteristik tembaga

Sifat Tembaga	Unit
Simbol Kimia	Cu
nomor atom	29
Berat Atom	63,54
Densitas	8.960 kg m <sup>-3</sup>
Titik lebur	1356 K
Panas spesifik cp (pada 293 K)	0,383 kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Termal Konduktivitas	394 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Koefisien ekspansi linier	16,5 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Elastisitas modulus young	110 x 10 <sup>9</sup> Nm <sup>-2</sup>
Konduktivitas listrik (% IACS)	1,673 x 10 <sup>-8</sup> ohm-m
Struktur Kristal	Face-Centered Cubic

Tembaga memiliki banyak manfaat dalam bidang industri, elektronik, perhiasan, kesehatan, dan lain-lain. Tembaga dimanfaatkan untuk berbagai alat listrik dan rumah tangga karena sifatnya sebagai penghantar listrik yang baik. Tembaga juga merupakan komponen utama perlengkapan handphone, komputer, dan elektronik lainnya. Tembaga juga dapat digunakan untuk membuat berbagai perhiasan menarik, apalagi jika dipadukan dengan emas dan logam lainnya. Tembaga juga memiliki fungsi biologis sebagai kofaktor enzim, antioksidan, antiinflamasi, antikanker, dan antibakteri. Tembaga juga dapat membantu menjaga kesehatan kulit, rambut, tulang, saraf, dan sistem kekebalan tubuh.

Tembaga memiliki beberapa keunggulan dan kerugian sebagai material. Keunggulan tembaga adalah memiliki konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, tahan terhadap korosi, mudah dibentuk dan disambung, memiliki warna yang menarik, dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Kerugian tembaga adalah memiliki berat jenis yang tinggi, mudah melunak pada suhu tinggi, mudah

teroksidasi pada udara lembab, dan memiliki harga yang relatif mahal. Profil material tembaga ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Profil material tembaga

### 2.1.1 Jenis - jenis tembaga

Berikut ini adalah beberapa jenis tembaga yang umum dikenal:

#### 1. Tembaga Dalung (TD)

Jenis tembaga yang pertama adalah tembaga dalung yang tergolong ke dalam kelas lima dan sering kali digunakan sebagai bahan baku pembuatan dandang atau kualifikasi bekas dengan harga yang lebih terjangkau.

#### 2. Tembaga Bakar

Dibandingkan dengan tembaga dalung, tembaga bakar memiliki harga yang lebih mahal dan termasuk dalam kelas empat. Tembaga ini memiliki penampilan yang lebih kotor atau hitam (mirip seperti terbakar) dan menunjukkan bekas kulit akibat proses pembakaran.

#### 3. Tembaga Biasa

Tembaga biasa, yang termasuk dalam kelas tiga, memiliki harga yang masih terjangkau dan berbentuk seperti rambut atau serabut. Jenis tembaga ini dapat ditemukan pada trafo, generator, dan dinamo penggerak dengan penampilan yang bersih dan tidak berbau seperti sisa pembakaran.

#### 4. Tembaga BC

Tembaga BC adalah jenis tembaga kelas dua yang berbentuk batangan atau pipa dan hampir mendekati kualitas tembaga super. Perbedaannya dengan tembaga super terletak pada warnanya yang lebih hitam, sedikit kusam, dan tidak berkilau. Kulitnya terkelupas karena proses pembakaran.

#### 5. Tembaga Super (TS)

Tembaga super adalah tembaga kelas satu dengan harga yang paling tinggi dibandingkan dengan jenis lainnya. Tembaga ini berwarna mengkilap, berukuran lebih kecil (setipis sapu ijuk), dan biasanya berbentuk kabel bertegangan tinggi.

#### 2.1.2 Klasifikasi Tembaga

Sistem penamaan *Unified Numbering System* (UNS) merupakan sistem penamaan yang diterima secara luas untuk produk *wrought copper*, *cast copper*, dan paduan tembaga. Penamaannya biasanya dapat diketahui dengan 5 digit angka yang dimulai dengan huruf "C". Sistem penamaan ini didasarkan pada sistem penamaan sebelumnya yang menggunakan 3 digit angka dalam industri tembaga di Amerika Serikat. Sebagai contoh, *Copper Alloy* No. 377 menjadi C37700 dalam sistem penamaan UNS. Sistem penamaan ini didaftarkan oleh *Copper Association Development (CDA)*. Penamaan ini kemudian disusun oleh *American Society for Testing Materials (ASTM)* dan *Society of Automotive Engineers (SAE)*. Penamaan range C10000 sampai C79999 merupakan penamaan yang digunakan untuk *wrought copper*, sedangkan range C80000 sampai C99999 merupakan penamaan untuk *cast alloy* (Cowie 2006). Nama dan paduan tembaga dapat dilihat pada tabel

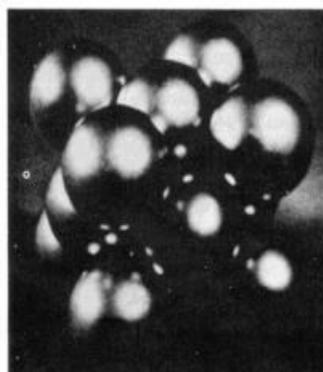
2.2.

Tabel 2.2. Nama tembaga dan paduan tembaga

<i>Copper or Copper Alloy UNS No.</i>	<i>Name</i>
C11000	<i>Copper</i>
C14500	<i>Copper-tellurium</i>
C14700	<i>Copper-sulfur</i>
C36500	<i>Leaded muntz metal, uninhibited</i>
C37000	<i>Free-cutting muntz metal</i>
C37700	<i>Forging brass</i>
C46400	<i>Naval brass</i>
C48200	<i>Medium leaded naval brass</i>
C48500	<i>Leaded naval brass</i>
C61900	<i>Tembaga bronze</i>
C62300	<i>Tembaga bronze, 9%</i>
C63000	<i>Tembaga-nickel bronze</i>
C63200	<i>Tembaga-nickel bronze</i>
C64200	<i>Tembaga-silicon bronze</i>
C64210	<i>Tembaga-silicon bronze, 6.7%</i>
C65500	<i>High silicon bronze (A)</i>
C67500	<i>Manganese bronze (A)</i>
C67600	<i>Leaded manganese bronze (A)</i>
C69300	<i>Copper-zinc-silicon</i>
C70620	<i>Copper-nickel 90-10</i>
C71520	<i>Copper-nickel 70-30</i>
C77400	<i>Nickel silver, 45-10</i>

### 2.1.3 Sifat – Sifat Tembaga

Tembaga adalah logam non-polimorf dengan kisi face centered cubic (FCC), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Tembaga murni berwarna kemerahan, ketembaga bila dicampur dengan seng, dan keperakan bila dicampur dengan nikel (Skočovský 2000).



Gambar 2.3. Struktur Kristal Tembaga

Sifat-sifat yang pada umumnya dianggap sebagai keunggulan tembaga antara lain sebagai berikut:

1. Konduktifitas termal dan listrik yang bagus
2. Kombinasi kekuatan dan keuletan yang baik
3. Mudah difabrikasi (*machinability, castability, serta weldingability*)
4. Memiliki ketahanan korosi yang tinggi
5. Memiliki penampilan estetika yang baik (Kutz 2006).

Tabel 2.3. Sifat Mekanik Tembaga Yang Biasa Digunakan

Base metal	Yield strength		Tensile Strength		% Elongation in 2 inch (50 mm) gage length	Hardness (BHN)
	Psi	Mpa	Psi	Mpa		
Copper	10	68	33	227	40	30

Tabel 2.3 di atas memperlihatkan sifat mekanik umum dari tembaga yang sering digunakan dalam industri fabrikasi. *Tensile Strength* (kekuatan tarik) adalah beban maksimal yang dapat ditahan oleh material sebelum patah, sedangkan *Yield Strength* (kekuatan luluh) adalah beban saat material mulai kehilangan elastisitasnya. *Elongation* (pemanjangan) adalah pengujian mekanis untuk mengukur pemanjangan material hingga putus, yang dihitung dengan rumus:  $\text{Elongation (\%)} = ((\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}) : \text{panjang awal}) \times 100$ . *Hardness* (kekerasan) diukur dengan uji kekerasan *Brinell*, sebuah pengujian kekerasan terhadap suatu bahan, dalam tes ini, sebuah bola baja berdiameter tertentu diletakkan di atas bahan yang sedang diuji, lalu dikenakan suatu beban.

## 2.2 Plastik

Plastik adalah bahan buatan yang dapat diubah menjadi berbagai produk dan barang melalui panas, penggilingan, pembentukan dan metode lainnya. Plastik

berasal dari kata Yunani “*plastikos*” yang berarti pembentukan. Plastik mirip dengan resin, sehingga kedua istilah sering keliru digunakan. Resin adalah bahan padat atau semi-padat yang lengket yang digunakan dalam produk seperti cat, bahan poles dan plastik. Resin disebut plastik ketika berubah menjadi padat pada proses akhirnya. Produk plastik dibuat dari resin padat dan diproses (Fenichell 1996).

Masyarakat Industri Plastik (S.P.I) pada tahun 1988 mendefinisikan plastik sebagai “sekelompok bahan yang berbeda dan luas yang seluruhnya atau sebagian terdiri dari kombinasi karbon dengan oksigen, hidrogen, nitrogen dan bahan organik dan anorganik lainnya”. Produk akhirnya berbentuk padat. Pada beberapa bagian proses produk, plastik berubah menjadi cair untuk mengambil bentuk apa pun seperti granul, botol dan lain-lain.

Secara umum, plastik adalah bahan organik dengan berat molekul tinggi yang diproduksi oleh polimerisasi, yaitu ikatan kimia bahan berat molekul rendah (monomer) menjadi polimer. Sifat bahan plastik ditentukan oleh ukuran dan struktur molekul polimer. Kadang-kadang, plastik diproduksi sebagai pelet, cairan, bubuk dan larutan. Plastik dapat diproduksi dari gas alam, batubara, minyak, dan garam. Namun, minyak dari industri petrokimia tetap menjadi bahan baku utama untuk produksi plastik karena menyediakan monomer dan polimer yang digunakan. Monomer dan resin plastik dengan sifat yang berbeda diproses melalui metode yang berbeda seperti cetak injeksi, cetak rotasi, cetak tiup, dan ekstrusi. Beberapa jenis material plastik yang umum digunakan adalah polietilena (PE), polipropilena (PP), polivinil klorida (PVC), polistirena (PS), poliester (PET), dan epoksi (EP).

(Putra dkk. 2017) mengatakan Pada dasarnya plastik secara umum digolongkan kedalam 3 (tiga) macam dilihat dari temperaturnya yakni:

1. Bahan Thermoplastik (*Thermoplastic*) adalah jenis bahan yang dapat meleleh ketika dipanaskan dan mengeras kembali ketika didinginkan tanpa mengalami perubahan kimia yang signifikan. Contoh bahan thermoplastik adalah: Polistiren, Polietilen, Polipropilen, Nilon, Plastik fleksiglass dan Teflon.
2. Bahan Thermoseting (*Thermosetting*) adalah jenis bahan yang mengalami perubahan permanen ketika dipanaskan. Setelah dipanaskan dan mengalami reaksi polimerisasi, bahan *Thermosetting* mengeras menjadi bentuk yang tidak dapat dilelehkan kembali atau diubah bentuknya dengan pemanasan ulang. Ini membuat bahan *Thermosetting* tahan terhadap suhu tinggi, memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik, serta daya tahan yang tinggi terhadap kimia dan pengaruh lingkungan. Contoh bahan *Thermosetting* termasuk resin epoksi, silikon, dan fenolik.
3. Bahan Elastis (*Elastomer*) adalah jenis bahan yang memiliki sifat elastisitas atau kemampuan untuk mengalami deformasi ketika diberikan gaya dan kembali ke bentuk semula setelah gaya tersebut dihilangkan. *Elastomer* dapat meregang dengan mudah dan mengembalikan bentuknya secara reversibel. Contoh bahan elastis adalah karet sintetis.

### 2.2.1 *Mtblue*

*Polyamide* atau nilon adalah resin yang memiliki ikatan amida. Struktur nilon ditunjukkan oleh gugus amida yang terhubung dengan unit hidrokarbon yang memiliki panjang yang berbeda dalam satu polimer. Karakteristik yang sangat dikenal dari plastik jenis ini adalah tahan panas, kekuatan tinggi, dan modulus

tinggi. Bahan ini banyak digunakan dalam pembuatan bahan komposit dan isolator listrik. *Polyamide* memiliki temperatur leleh yang lebih tinggi dari 200 °C. Serat nilon digunakan secara luas, misalnya sebagai serat industri untuk pembuatan tambang, benang ban mobil, jaring ikan, ban konveyor, dan sebagainya. Sifat karakteristik *mcbblue* dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Sifat karakteristik *mcbblue*

Sifat	Kering / Lembab	Unit
Densitas	1,15	g/cm <sup>3</sup>
<i>Yield Stress</i>	80 / 60	Mpa
Pemanjangan karena robek	40 / 100	%
Modulus elastisitas hasil uji tarik	3.100 / 1.800	Mpa
Modulus elastisitas hasil uji lentur	3.400 / 2000	Mpa
Kekuatan lentur	140 / 60	Mpa
Kekuatan Impak	o.B.	kJ/m <sup>2</sup>
Kekuatan tumbukan batang berlekuk	> 4 / > 15	kJ/m <sup>2</sup>
Suhu leleh	+ 220	°C
Konduktivitas termal	0,23	W/ (K.m)
Kapasitas termal spesifik	1,7	J/ (g.K)
Koefisien ekspansi linier	7 - 8	10 <sup>-5</sup> . K <sup>-1</sup>

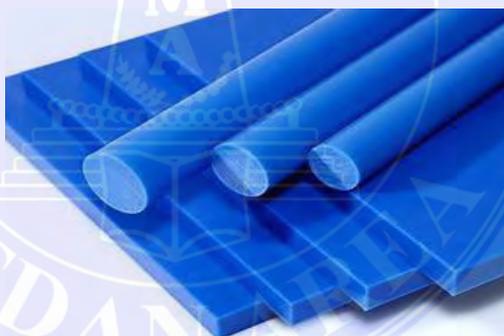
(Parodi 2017) menjelaskan *Polyamide 6* banyak digunakan sebagai polimer rekayasa, dengan banyak aplikasi seperti serat untuk pakaian, tali, komponen struktural dan mekanik, serat tambahan di ban dan perekat. Karena sifatnya yang sangat baik, poliamida 6 menyumbang sebagian besar pasar global untuk polimer industri. Penggunaan utama *Polyamide 6* adalah pada bidang manufaktur transportasi industri, meliputi 35% dari konsumsi *Polyamide (PA)*.

*Mcbblue* adalah bahan sintesis yang terbuat dari serat poliester yang memiliki sifat anti air, anti bakteri, anti jamur, dan anti UV. *Mcbblue* juga merupakan nama dari bahan polimer yang menunjukkan sifat yang sangat stabil pada kisaran panas - 40°C sampai 100°C dalam kondisi terus menerus. Bahan ini memerlukan pengondisian setelah proses annealing untuk menciptakan sifat mekanik yang

kuat. Pengkondisian dapat terjadi pada udara ruangan selama proses penyimpanan. Bahan ini lebih ulet dan keras dibandingkan dengan nylon karena melalui proses *casting* dan *annealing*.

Bahan *mcblue* dapat digunakan untuk berbagai aplikasi industri, seperti gigi roda, *pulley*, *coupling*, *bearing*, *chain guide*, *roller*, *bushing* *hanger bearing*, dan lain-lain yang bersifat gesekan mekanik. Bahan ini juga memenuhi standar untuk proses yang melibatkan makanan dan obat-obatan.

Keunggulan dari *Mcblue* adalah memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan rendah, kelembaban dan air, asam dan basa, serta gesekan dan abrasi. *Mcblue* juga memiliki warna biru yang menarik dan mudah dibersihkan. *Mcblue* dapat digunakan untuk pelapis spesimen tembaga dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan estetika dari tembaga. *Mcblue* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Profil material *mcblue*

### 2.2.2 Teflon

Teflon adalah nama dagang dari bahan sintetis yang disebut *politetrafluoroetilena* (PTFE). PTFE adalah sebuah fluoropolimer yang terbentuk dari monomer tetrafluoroetilena. PTFE ditemukan secara tidak sengaja oleh Roy J. Plunkett di DuPont pada tahun 1938 dan dipasarkan sebagai produk komersial pada tahun 1946.

Teflon adalah bahan yang sangat tidak reaktif, karena ikatan karbon-fluorin yang kuat, sehingga sering digunakan sebagai bahan wadah dan pipa untuk bahan kimia yang reaktif dan korosif. Teflon juga memiliki koefisien gesekan yang sangat rendah, sehingga digunakan sebagai pelapis antilengket untuk panci dan peralatan memasak lainnya.

Teflon digunakan sebagai lapisan untuk melindungi bagian mesin dari panas, pakaian dari gesekan, dan peralatan laboratorium dari bahan kimia korosif. Teflon juga digunakan sebagai lapisan pada peralatan masak dan peralatan lainnya (Aryanta dkk. 2017). Teflon memiliki titik leleh antara 260°C hingga 327°C, tergantung pada jenis polimer tertentu. Teflon juga memiliki sifat-sifat lain seperti tahan air, tahan api, tahan gesekan, tahan UV, dan tahan kimia.

Dalam hal sifat listrik, Teflon memiliki keunggulan sebagai isolator listrik dan sedikit dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban (Jambak 2023). Teflon memiliki banyak aplikasi di berbagai bidang, seperti elektronika, otomotif, dekorasi, kerajinan, tekstil, dan kedokteran. Teflon juga merupakan bahan baku untuk membuat polimer lain seperti *politetrafluoroetilena perfluoroalkoksi* (PFA) dan *politetrafluoroetilena etilen propilen* (FEP). Untuk grade dari PTFE dapat dilihat pada tabel 2.5, dan profil material teflon dapat dilihat pada gambar 2.5.

Tabel 2.5. Komposisi Berisi PTFE

No.	Grade	Kandungan pengisi berdasarkan beratnya %
1.	<i>Virgin</i> PTFE	---
2.	<i>Chemically Modified</i> PTFE	---
3.	<i>Glass Filled</i> PFTE	15-25
4.	<i>Carbon / Coke Filled</i> PFTE	25-35
5.	<i>Graphite Filled</i> PFTE	15
6.	<i>Bronze Filled</i> PFTE	40-60
7.	<i>Bronze Plus Molybdenum Disulphide Filled</i> PFTE	55+5

No.	Grade	Kandungan pengisi berdasarkan beratnya %
8.	<i>Glass Plus Molybdenum Disulphide Filled PTFE</i>	5/15+5
9.	<i>Tembaga Oxide (Ceramic) Filled PTFE</i>	5-10
10.	<i>Silicon Dioxide (Silica) Filled PTFE</i>	5-10
11.	<i>Calcium Flouride Filled PTFE</i>	5-10
12.	<i>Saniless Steel Filled PTFE</i>	5-10
13.	<i>Mica Filled PTFE</i>	5-10
14.	<i>Bronze Plus TSQ Filled PTFE</i>	40+1
15.	<i>Pigmented PTFE</i>	



Gambar 2.5. Profil material teflon

### 2.3 Penempaan (*Forging*)

Penempaan (*Forging*) adalah proses pembentukan logam secara plastis dengan mempergunakan gaya tekan untuk mengubah bentuk atau ukuran dari logam yang dikerjakan. Proses tempa bisa dilakukan dengan dua cara yaitu pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*). Pengerjaan panas adalah proses pembentukan logam di atas suhu rekristalisasi, sedangkan pengerjaan dingin adalah proses pembentukan logam di bawah suhu rekristalisasi (Siahaan dkk. 2023b). Proses forging dapat meningkatkan kekuatan dampak material logam. Peningkatan kekuatan dampak ini disebabkan oleh perubahan struktur mikro material logam akibat proses forging (Siregar dkk. 2023).

Penempaan dapat dilakukan dengan tangan maupun dengan mesin. Untuk benda kerja yang ringan, penempaan tangan dapat digunakan. Penempaan secara mekanis, baik menggunakan mesin *press* maupun tidak, biasanya dilakukan untuk

pekerjaan berat. Dalam melaksanakan pekerjaan menempa diperlukan alat dan peralatan, seperti dapur tempa, alat pemotong, alat pelubang, alat peregang, alat pembentuk, alat ukur, dan alat bantu lainnya.

Dalam proses penempaan, logam dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, kemudian ditempa menggunakan palu atau mesin tempa. Proses ini menyebabkan deformasi pada logam, yang mengubah bentuk dan ukurannya. Volume logam yang digunakan biasanya sedikit lebih besar dari volume komponen jadi untuk mengakomodasi perubahan bentuk. Selama proses penempaan, volume logam mengalami perubahan. Perubahan ini dapat dihitung menggunakan rumus yaitu:

$$\text{Persentase Perubahan Volume} = \frac{(V_0 - V_1)}{V_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

di mana:

$V_0$  = Volume awal sebelum penempaan

$V_1$  = Volume akhir setelah penempaan

Beberapa faktor yang mempengaruhi persentase perubahan volume dalam proses penempaan meliputi:

1. Suhu Penempaan: Suhu yang lebih tinggi biasanya menghasilkan deformasi yang lebih besar.
2. Jenis Logam: Berbagai jenis logam memiliki karakteristik deformasi yang berbeda.
3. Gaya Tekan: Besarnya gaya tekan yang diterapkan juga mempengaruhi perubahan volume.
4. Gesekan: Gesekan antara logam dan alat tempa dapat menyebabkan deformasi yang tidak merata.

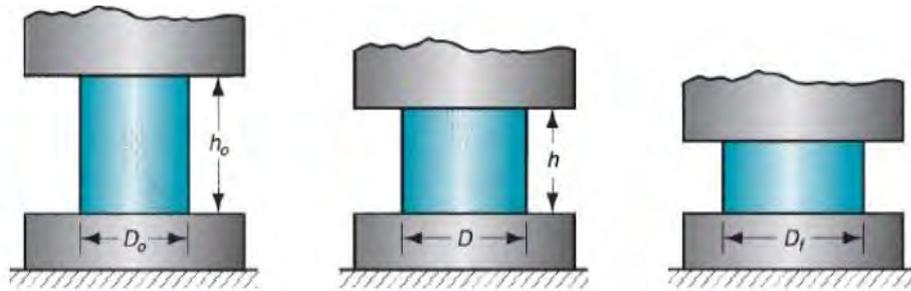
Secara umum proses penempaan dibedakan menjadi dua jenis tergantung pada jenis pembentukan benda kerja dan jenis alat tempa yang digunakan. Berikut ini merupakan klasifikasi dan jenis penempaan.

### 2.3.1 Penempaan Berdasarkan Jenis Pembentukan Benda Kerja

#### 1. *Open die forging*

*Open die forging* adalah penempaan cetakan terbuka, di mana benda kerja dikompresi antara dua pelat datar, sehingga memungkinkan logam mengalir tanpa ada pembatasan ke arah samping relatif terhadap permukaan cetakan. Contoh paling sederhana dari *open die forging* adalah mengompres *billet* di antara dua cetakan datar. Proses ini juga dikenal sebagai *upsetting* atau *upset Forging*. Dalam proses *open die forging*, tinggi benda kerja berkurang karena tekanan yang diberikan, dan diameter benda kerja bertambah.

Dalam kondisi ideal, di mana tidak ada gesekan antara *billet* dan permukaan cetakan, maka akan terjadi deformasi homogen. Dalam hal ini diameter bertambah secara merata sepanjang tingginya. Dalam operasi penempaan yang sebenarnya (aktual), deformasi tidak akan terjadi secara homogen karena adanya gesekan pada antarmuka *die-billet*. Gesekan ini berlawanan dengan pergerakan *billet* di permukaan, hal tersebut dikenal dengan *barreling effect*. *Barreling effect* akan signifikan sebagai rasio diameter-tinggi, karena area kontak yang lebih besar pada permukaan cetakan *billet*. Selain itu temperatur juga akan mempengaruhi fenomena tersebut. Ilustrasi *Open die forging* (penempaan cetakan terbuka) dapat dilihat pada gambar 2.6.

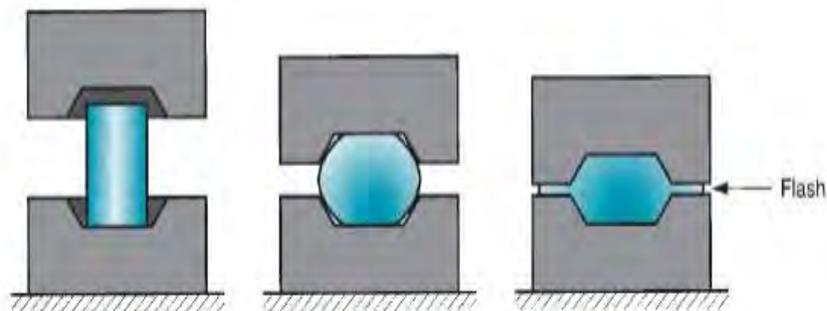


Gambar 2.6. Ilustrasi *Open die forging*

## 2. *Closed die forging*

*Closed die forging* adalah penempaan cetakan tertutup, di mana benda kerja dikompresi antara dua cetakan dengan bentuk tertentu pada permukaannya. Bentuk yang diberikan pada permukaan cetakan akan membatasi aliran logam secara signifikan. Namun pada proses ini menghasilkan bahan di luar cetakan yang disebut flash yang akan dihilangkan pada proses permesinan.

Pada proses *closed die forging* dibutuhkan tekanan yang lebih besar daripada *open die forging* karena adanya hambatan aliran logam oleh bentuk cetakan. Selain itu dibutuhkan juga akurasi geometri yang tinggi antara kedua cetakan agar tidak terjadi kebocoran logam saat dikompresi. Proses *closed die forging* dapat menghasilkan bentuk benda kerja yang lebih kompleks dan *presisi* daripada *open die forging*. Ilustrasi *Closed die forging* (penempaan cetakan tertutup) dapat dilihat pada gambar 2.7.

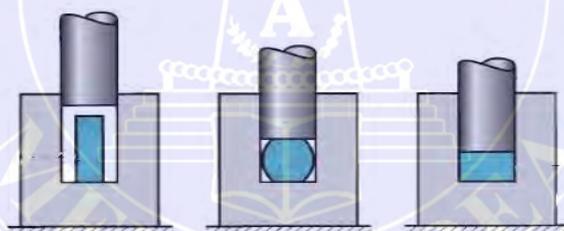


Gambar 2.7. Ilustrasi *Closed die forging*

### 3. *Flashless Forging*

Dalam penempaan tanpa flash (*flashless Forging*), benda kerja yang ditempa sepenuhnya dibatasi di dalam cetakan dan tidak ada flash yang dihasilkan. Dalam penempaan *flashless*, yang harus diperhatikan adalah volume benda kerja awal harus sama dengan ruang pada rongga cetakan dalam toleransi yang sangat dekat. Jika ukuran awal *billet* terlalu besar, tekanan yang berlebihan akan menyebabkan kerukanan pada cetakan dan penekan. Sedangkan jika ukuran *billet* terlalu kecil maka rongga cetakan tidak akan terisi sempurna.

Karena prosesnya yang membutuhkan ketelitian tinggi, proses ini cocok digunakan untuk membuat benda yang sederhana dan bagian yang simetris, selain itu untuk bahan yang digunakan pada proses ini umumnya berupa Al, Mg dan Paduan keduanya. Ilustrasi *flashless forging* dapat dilihat pada gambar 2.8.

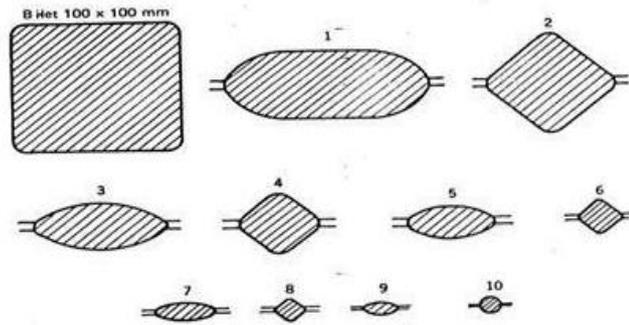


Gambar 2.8. *Flashless Forging*

#### 2.3.2 Penempaan Berdasarkan Jenis Alat Penempaan yang Digunakan

##### 1. Penempaan Palu

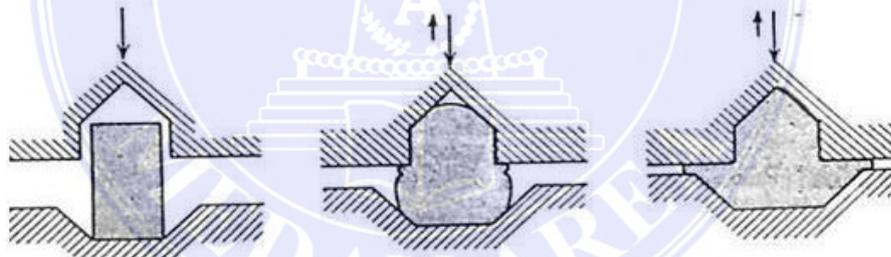
Penempaan palu adalah proses penempaan di mana benda kerja ditekan dengan mesin tempa uap di antara perkakas tangan atau *die* datar (Syarief 2008). Penempaan palu dapat dilakukan secara manual atau mekanis dengan menggunakan mesin palu. Penempaan palu dapat membentuk material dengan cepat dan efisien, namun memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan *pressisi* produk.



Gambar 2.9. Diagram yang menggambarkan jumlah pas dan urutan mereduksi penampang bilet 100 x 100 mm menjadi batang bulat

## 2. Penempaan Timpa

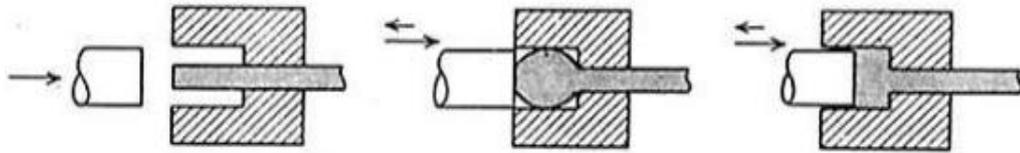
Penempaan timpa adalah metode penempaan yang menggunakan cetakan tertutup (*closed die*) untuk membentuk material dengan gaya impak dari mesin palu atau mesin drop hammer. Penempaan timpa dapat menghasilkan produk dengan bentuk kompleks dan *presisi* tinggi, namun memerlukan biaya cetakan yang mahal dan energi pembentukan yang besar.



Gambar 2.10. Penempaan timpa dengan die tertutup

## 3. Penempaan *Upset*

Penempaan *upset* adalah metode penempaan yang menggunakan cetakan tertutup (*closed die*) untuk membentuk material dengan gaya tekan aksial pada ujung material. Penempaan *upset* dapat menghasilkan produk dengan penampang melintang yang lebih besar dari penampang awal material, namun memerlukan kontrol temperatur yang ketat dan rentan terhadap cacat lipatan dan *barreling*.



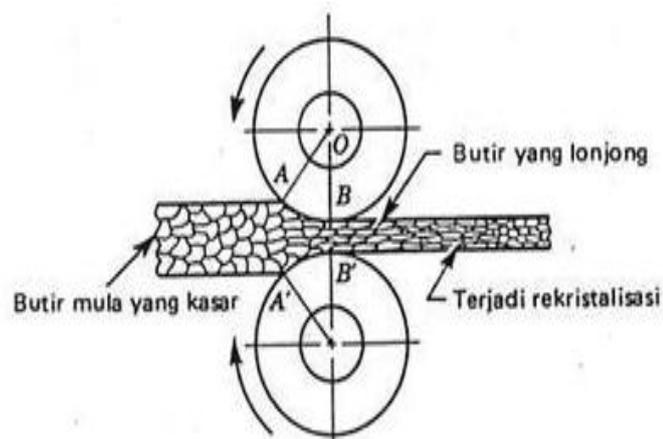
Gambar 2.11. Penempaan *Upset*

#### 4. Penempaan Tekan / Penempaan *Press*

Penempaan tekan / penempaan *press* adalah metode penempaan yang menggunakan cetakan terbuka (*open die*) atau tertutup (*closed die*) untuk membentuk material dengan gaya tekan dari mesin *press* hidrolik atau mekanik. Penempaan tekan / *press* dapat menghasilkan produk dengan bentuk sederhana atau kompleks dengan *presisi* sedang hingga tinggi, namun memerlukan waktu pembentukan yang lama dan biaya produksi yang tinggi.

#### 5. Penempaan Rol

Penempaan rol adalah proses penempaan di mana benda kerja dikompresi antara dua rol bergerigi yang berputar berlawanan arah. Pada proses ini terjadi peningkatan panjang dan penurunan diameter benda kerja. Proses ini biasanya digunakan untuk membuat poros, batang, dan komponen lainnya yang memiliki bentuk silindris. Pengaruh pengerolan panas dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Pengaruh pengerolan panas pada bentuk dan besar butir

## 6. Penempaan Dingin

Penempaan dingin adalah metode penempaan yang dilakukan pada temperatur kerja di bawah temperatur rekristalisasi material. Penempaan dingin memiliki keuntungan seperti meningkatnya kekerasan dan kekuatan material akibat strain hardening, memperbaiki akurasi dan ketelitian produk, serta mengurangi energi pembentukan. Namun, penempaan dingin juga memiliki kelemahan seperti menurunnya keuletan material, memerlukan alat yang lebih kuat dan tahan aus, serta sulit untuk membentuk material dengan bentuk kompleks.

### 2.4 Uji Impak

Menurut Dieter, George E (1988), pengujian impak digunakan untuk mengetahui kecenderungan getas atau ulet suatu bahan berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat menilai secara langsung keadaan patah batang uji karena komponen gaya tarik tiga dimensi yang dihasilkan pada batang uji tidak dapat diukur. Selain itu, tidak ada kesepakatan umum mengenai interpretasi atau penggunaan hasil uji dampak tersebut.

Untuk mengukur patah getas logam, beberapa uji impak dilakukan dengan menggunakan batang uji berlekuk dengan desain berbeda. Ada dua metode standar untuk uji impak ini, yaitu uji impak metode *Charpy* dan metode *Izod*. Metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *Izod* lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa (Handoyo 2013b).

#### 2.4.1 Uji Impak *Charpy*

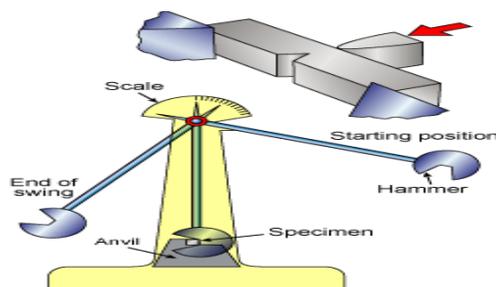
Uji impak *Charpy* adalah salah satu metode pengujian sifat mekanik material yang bertujuan untuk mengetahui ketangguhan atau kegetasan material

terhadap beban tiba-tiba(Handoyo 2013). Uji impak *Charpy* dilakukan dengan cara memberikan beban kejut pada spesimen material yang memiliki takik berbentuk V atau U pada bagian tengahnya.

Uji impak *Charpy* menggunakan alat yang terdiri dari palu pendulum yang dapat berayun secara bebas, pemegang spesimen, dan alat ukur energi impak. Palu pendulum diayunkan dari ketinggian tertentu hingga mengenai spesimen dan mematahkannya. Energi impak adalah selisih antara energi potensial palu sebelum dan sesudah mengenai spesimen(Nuhgraha dkk. 2020).

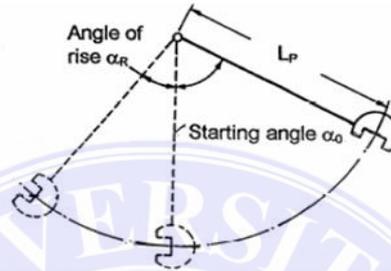
Energi impak dapat digunakan untuk mengukur ketangguhan material, yaitu kemampuan material untuk menyerap energi sebelum patah. Semakin besar energi impak yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen, semakin tangguh material tersebut. Uji impak *Charpy* dapat digunakan untuk membandingkan sifat mekanik material yang berbeda atau material yang sama dengan perlakuan panas yang berbeda.

Uji impak *Charpy* dapat diterapkan pada berbagai jenis material, seperti logam, keramik, polimer, komposit, dan lain-lain. Uji impak *Charpy* dapat mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Ilustrasi pengujian impak metode *Charpy* diperlihatkan pada gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13. Ilustrasi pengujian impak metode *Charpy*

Ketika suatu pengujian dilakukan, energi yang diserap oleh suatu benda uji (atau lebih tepatnya energi yang dilepaskan oleh pendulum selama tumbukan) dihitung dari selisih antara tinggi palu pendulum terhadap benda uji sebelum dan sesudah tumbukan serta massa dari palu pendulum itu sendiri. Pergerakan palu pendulum pada alat uji impak *Charpy* dapat dilihat pada gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14. Ilustrasi pergerakan pendulum

Energi impak menunjukkan besarnya energi yang diserap oleh benda uji sehingga benda uji tersebut mengalami patah sesuai dengan metode impak *Charpy* maka besarnya Energi impak dapat ditulis sebagai berikut:(Safrijal, Ali, dan Susanto 2017)

$$W = m p g L_p (\cos \alpha_r - \cos \alpha_0) \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

- W = Energi Impak (*Joule*)
- mp = Massa pendulum (*Kg*)
- g = Ketetapan Gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )
- Lp = Panjang lengan pendulum (*m*)
- $\alpha_r$  = Sudut pendulum setelah mematahkan spesimen ( $^\circ$ )
- $\alpha_0$  = Sudut pemukulan awal ( $^\circ$ )

Energi potensial yang dimiliki pendulum dari posisi awal sebelum memukul benda uji sampai posisi akhir setelah memukul benda uji disebut sebagai energi impak. Takik bertujuan agar spesimen benda uji bisa patah karena takik adalah

posisi paling lemah sebagai awal patahan. Rumus harga impak dinyatakan sebagai berikut:

$$a_{cN} = \frac{W_c}{b \cdot h} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

$a_{cN}$  = Kekuatan impak ( $J/mm^2$ )

$W_c$  = Energi (*Joule*)

$b$  = Lebar benda uji (mm)

$h$  = Tinggi benda uji (mm)

Alat uji impak *Charpy* memiliki begitu banyak keunggulan sehingga banyak digunakan daripada alat uji impak *Izod* dan lainnya. Berikut ini merupakan keunggulan uji impak metode *Charpy*, antara lain:

1. Hasil pengujian lebih akurat.
2. Pengerjaan lebih mudah dipahami dan dilakukan.
3. Menghasilkan tegangan lebih seragam disepanjang penampang
4. Harga alat lebih murah
5. Waktu pengujian terbilang singkat.

Walaupun memiliki keunggulan yang begitu mumpuni, uji impak metode *Charpy* juga memiliki kelemahan atau kekurangan, yaitu:

1. Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal saja.
2. Spesimen tidak dicekam, mengakibatkan spesimen dapat bergeser.
3. Hanya bisa dilakukan pada spesimen yang kecil.
4. Hasil pengujian kurang tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena level tegangan yang diberikan tidak rata.

#### 2.4.2 Uji Impak *Izod*

Uji impak *Izod* adalah salah satu metode pengujian impak yang menggunakan teknik kantilever, yaitu spesimen dijepit pada satu ujung hingga takik berada dekat penjepit. Uji ini dapat digunakan untuk bahan logam maupun non-logam (Porawati 2018). Tujuan uji ini adalah untuk mengetahui kekuatan impak dan sensitivitas takik pada material pada laju regangan tinggi.

Uji impak *Izod* dilakukan dengan menggunakan alat uji impak pendulum atau drop-weight, yang memiliki energi tertentu dan tinggi jatuh yang ditentukan. Pendulum diayunkan dari ketinggian tertentu akan memukul ujung spesimen yang tidak dijepit dari depan takik. Akibatnya, pendulum tidak kembali ke ketinggian jatuh semula setelah tumbukan. Perbedaan tinggi terukur antara tinggi jatuh dan tinggi jatuh kenaikan menjadi ukuran energi yang diserap oleh spesimen.

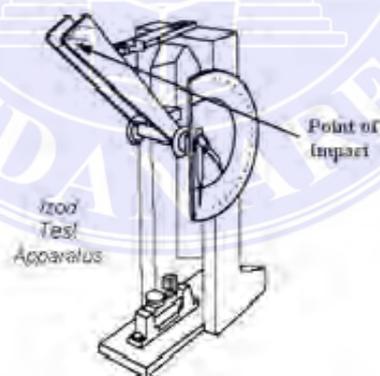
Uji impak *Izod* memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari uji ini adalah:

- a. Mudah dilakukan dan membutuhkan spesimen yang relatif kecil.
- b. Dapat memberikan informasi tentang perilaku kegagalan material atau komponen yang mengalami pemuatan cepat dan pada temperatur yang bervariasi.
- c. Dapat digunakan untuk perbandingan bahan cetakan yang berbeda, pemantauan toleransi, pembuatan kartu material, dan pengukuran efek penuaan.

Kerugian dari uji ini adalah:

- a. Tidak dapat memberikan informasi tentang sifat mekanik material secara detail, seperti modulus elastisitas, tegangan luluh, atau tegangan maksimum.
- b. Tidak dapat mengukur gaya secara langsung, tetapi hanya energi yang diserap.
- c. Tidak dapat digunakan untuk material yang sangat rapuh atau sangat lentur.

Perlu diingat bahwa kelebihan kekurangan ini tidak berarti bahwa uji *Izod* lebih baik daripada uji *Charpy* secara umum. Pemilihan antara uji *Charpy* dan uji *Izod* harus didasarkan pada tujuan pengujian, karakteristik material yang akan dievaluasi, dan kebutuhan spesifik aplikasi atau persyaratan standar yang relevan. Ilustrasi alat uji impact metode *Izod* ditampilkan pada gambar 2.13 berikut. Ilustrasi alat uji impact metode *Izod* ditampilkan pada gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15. Ilustrasi Skematis Pengujian Impact *Izod*

### 2.4.3 Uji Impact Jatuh Bebas

Uji impact jatuh bebas memanfaatkan massa benda dan gaya gravitasi untuk menghasilkan energi kinetik yang akan ditransfer ke bahan uji saat terjadi benturan (Dailami, Bahri, dan Hamdani 2020).

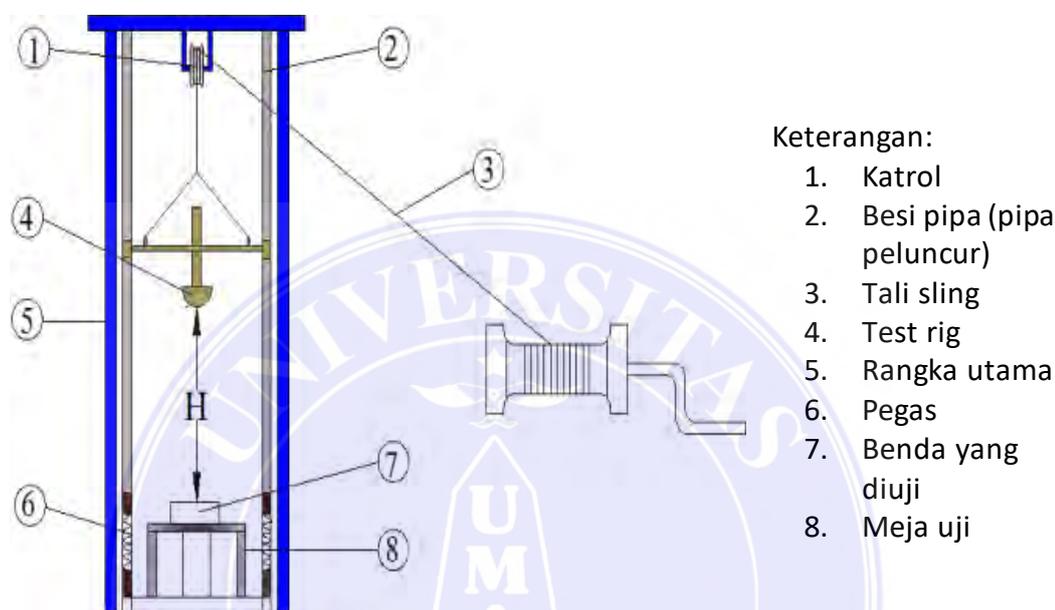
Sebuah benda yang jatuh bebas dari keadaan awal ke keadaan diam akan bertambah kecepatannya seiring jatuhnya benda tersebut. Ketika suatu benda jatuh ke bumi dari ketinggian tertentu yang relatif kecil dibandingkan jari-jari bumi, kecepatan benda bertambah dengan laju yang sama setiap detik. Hal ini berarti bahwa percepatan ke bawah benda bertambah dengan harga yang sama jika sebuah benda ditembakkan ke atas kecepatannya berkurang dengan harga yang sama setiap detik dan perlambatan ke atasnya seragam (Basir 2008).

Metode uji impak jatuh bebas menggunakan sebuah benda yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu ke atas sampel material yang ingin diuji. Uji impak jatuh bebas dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh pembebanan impak terhadap energi yang diserap, harga impak, momentum, implus dan ketangguhan pada material. (Pakpahan, Siahaan, dan Siregar 2023)

Uji impak jatuh bebas dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji impak jatuh bebas model *drop weight test*. Alat uji ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu: tiang struktur utama, pipa peluncur, meja anvil, *striker* dan spesimen. Tiang struktur utama berfungsi sebagai penyangga alat uji dan tempat meletakkan pipa peluncur. Pipa peluncur berfungsi sebagai tempat meluncurkan *striker* yang akan menjatuhkan beban pada spesimen. Meja anvil berfungsi sebagai tempat menempelkan spesimen yang akan diuji. *Striker* berfungsi sebagai beban yang akan memberikan benturan pada spesimen. Spesimen adalah bahan uji yang akan dianalisis perilaku mekanisnya akibat beban impak.

Uji impak jatuh bebas dilakukan dengan cara menjatuhkan *striker* dari ketinggian tertentu ( $h$ ) ke atas spesimen yang ditempelkan pada meja anvil. Saat *striker* menyentuh spesimen, terjadi transfer energi kinetik dari *striker* ke spesimen.

Energi kinetik ini akan menyebabkan spesimen mengalami deformasi dan pembengkokan akibat benturan. Energi kinetik yang tidak digunakan untuk deformasi spesimen disebut sebagai energi yang diserap oleh spesimen. Uji impact jatuh bebas dapat dilihat pada gambar 2.16.



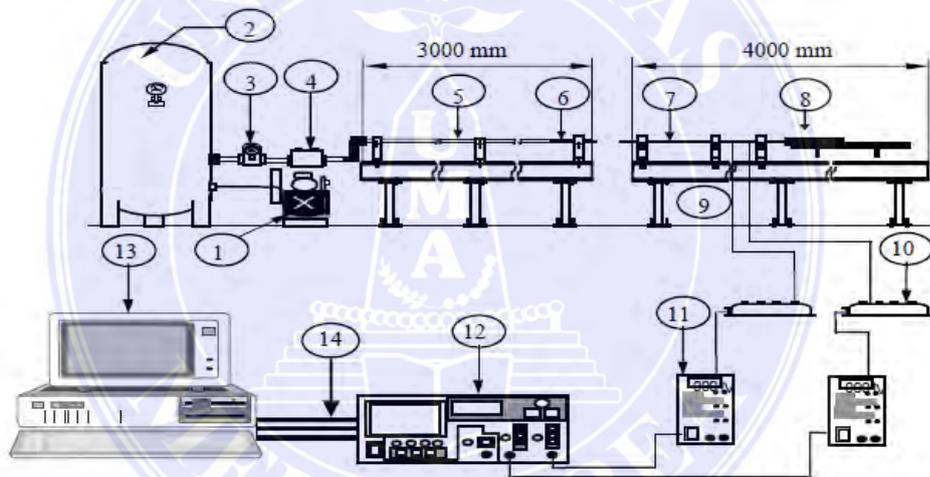
Gambar 2.16. Ilustrasi alat uji impact jatuh bebas

#### 2.4.4 Uji Impact *Air gun compressor*

Uji impact *air gun compressor* adalah metode pengujian dinamis untuk menentukan kekuatan dan keretakan bahan akibat beban impact yang tinggi. Metode ini menggunakan alat uji yang disebut *air gun compressor* (AGC) atau kompak, yang terdiri dari tiga buah batang yang disusun secara kolinier, yaitu batang impact (*striker*), batang penerus (impact bar), dan batang uji (spesimen). Uji impact ini dilakukan dengan memberikan beban impact pada salah satu ujung batang impact, yang kemudian menghasilkan gelombang tekanan yang merambat melalui batang dan spesimen. Gelombang tekanan ini dapat diukur dengan sensor tegangan yang dipasang pada batang. Dengan menganalisis gelombang tekanan yang masuk dan

keluar dari spesimen, dapat ditentukan kekuatan dan keretakan bahan(Haiyurn 2010).

Uji impak *air gun compressor* dapat digunakan untuk berbagai jenis bahan, seperti logam, keramik, polimer, komposit, dan lain-lain. Uji impak *air gun compressor* juga dapat dilakukan pada berbagai kondisi suhu dan lingkungan. Uji impak *air gun compressor* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan metode pengujian dinamis lainnya, seperti akurasi yang tinggi, fleksibilitas yang besar, dan kemampuan untuk menguji bahan dengan ukuran spesimen yang kecil. Alat uji impak *Air Gun Compressor* dapat dilihat pada gambar 2.17.



Keterangan gambar:

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Kompresor                 | 8. Spesimen                   |
| 2. Tangki udara              | 9. <i>Strain Gage</i>         |
| 3. <i>Pressure Regulator</i> | 10. <i>Bridge Head</i>        |
| 4. Katup Selenoid            | 11. <i>Signal Conditioner</i> |
| 5. Pipa Barel                | 12. <i>Transien Converter</i> |
| 6. <i>Striker</i>            | 13. <i>Personal Computer</i>  |
| 7. <i>Input Bar</i>          | 14. <i>Interface</i>          |

Gambar 2.17. Ilustrasi alat uji impak *Air Gun Compressor*

## 2.5 Jenis Patahan

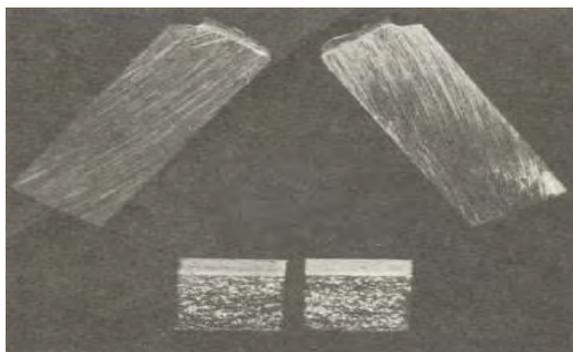
Patahan pada material adalah suatu kondisi dimana terjadi kerusakan atau pemisahan material akibat adanya beban atau gaya yang melebihi batas kekuatan material. Patahan pada material dapat mempengaruhi sifat mekanik, fungsi, dan keandalan material. Patahan pada material dapat dikategorikan berdasarkan jenis beban, mekanisme perpatahan, dan morfologi permukaan patahan. Menurut Akhmad, H. W, perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Patahan Ulet, berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram. Patah ulet dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Patah ulet

2. Patahan getas, granular/kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat). Patah getas dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19. Patah getas

3. Patahan campuran (berserat dan granular). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas permukaannya terlihat kusam dan sedikit berserat, potongan masih dapat dipasangkan kembali, dan terdapat deformasi pada retakan (Hasrin 2013). Patah campuran dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20. Patah Campuran

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

##### 3.1.1 Tempat

Ada pun pengujian eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Manufaktur Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.

##### 3.1.2 Waktu

Adapun waktu dan penelitian yang sejak tanggal di keluarkannya Surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	Tahun 2023 - 2024							
	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Juni	Juli	Ags
Pengajuan Judul	■							
Penulisan Proposal		■						
Seminar Proposal			■					
Proses Penelitian				■				
Pengolahan Data					■			
Penyelesaian Laporan						■		
Seminar Hasil							■	
Evaluasi dan persiapan Sidang								■
Sidang Sarjana								■

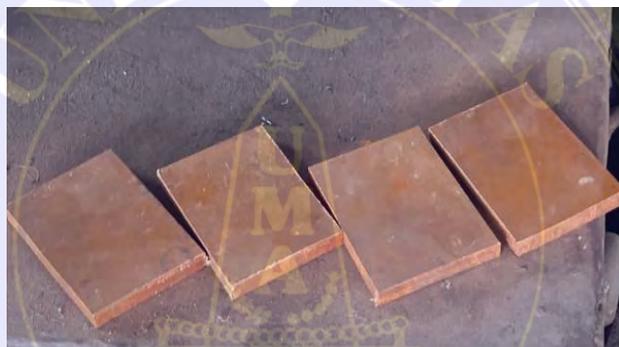
## 3.2 Bahan dan Alat

### 3.2.1 Bahan

Pada proses penelitian ini digunakan beberapa bahan uji yang dijabarkan sebagai berikut:

#### 1. Tembaga

Tembaga sebagai bahan uji pada penelitian ini yang kemudian dilapisi dengan *mcblue* dan teflon untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan material. Material awal tembaga yang digunakan memiliki ukuran panjang 100 mm, lebar 73 mm dan tebal 12 mm. Bahan tembaga dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bahan Tembaga

#### 2. *Mcblue*

*Mcblue* digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai pelapis untuk tembaga. Material awal *mcblue* yang digunakan memiliki ukuran panjang 250 mm, lebar 80 mm tebal 5 mm. *Mcblue* dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. *Mcblue*

### 3. Teflon

Teflon digunakan dalam penelitian ini untuk sebagai pelapis untuk tembaga. Material awal teflon yang digunakan memiliki ukuran panjang 250 mm, lebar 80 mm tebal 5 mm. Teflon dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Teflon

#### 3.2.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Mesin uji impak *charpy*

Mesin uji impak *charpy* digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui ketangguhan atau kegetasan material terhadap beban tiba-tiba. Mesin uji impak *charpy* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Model	: IR – 2023
Kapasitas maksimal	: 300 <i>Joule</i>
Massa pendulum	: 22,95 Kg
Panjang lengan pendulum	: 0,75 m
Sudut pemukulan awal	: 147°

Mesin uji impak *charpy* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4. Mesin Uji Impak *Charpy*

## 2. Tungku

Tungku digunakan dalam penelitian ini untuk memanaskan bahan tembaga yang akan ditempa. Tungku dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5. Tungku

## 3. Landasan Besi

Landasan besi digunakan sebagai alat penempaan untuk menahan spesimen yang akan dipukul dengan palu. Landasan besi dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6. Landasan Besi

#### 4. Palu

Palu digunakan sebagai alat penempaan yang paling sederhana dan paling sering digunakan dalam proses menempa. Palu yang digunakan memiliki berat berkisar  $\pm 5$  kg. Palu dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7. Palu

#### 5. *Infrared Thermometer*

*Infrared Thermometer* digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur suhu spesimen. *Infrared Thermometer* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

<i>Brand name</i>	: <i>SMART SENSOR</i>
<i>Color</i>	: <i>Grey + Orange</i>
<i>Material</i>	: <i>ABS Plastic</i>
<i>Measuring Range</i>	: <i>-18~1350°C(0~2462°F) / -18~1650°C(0~3002°F)</i> <i>(Optional)</i>
<i>Accuracy</i>	: <i>±2% or ±2°C</i>
<i>Resolution</i>	: <i>0.1°C or 0.1°F (&lt;1000°C); 1°C or 1°F (&gt;1000°C)</i>
<i>Repeatability</i>	: <i>±1% of reading or ±1°C</i>
<i>Response Time</i>	: <i>500mSec, 95% response</i>
<i>Display</i>	: <i>LCD with Switchable Backlight</i>
<i>Spectral Response</i>	: <i>(8-14) um &amp; 500ms</i>

*Emissivity* : 0.10~1.00 *Adjustable (Preset 0.95)*  
*Distance Spot Ratio* : 20 : 1  
*Laser Type* : *Class II, 635nm, <1mW*

*Infrared Thermometer* dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8. *Infrared Thermometer*

#### 6. Lem Perekat

Lem perekat digunakan untuk merekatkan spesimen tembaga dengan spesimen plastik. Lem perekat yang digunakan memiliki komposisi (*Cyanoacrylate adhesive*). Lem perekat dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9. Lem Perekat

#### 7. Mesin *Milling*

Mesin *milling* yang digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk mengurangi ketebalan pada bahan tembaga yang sudah ditempa agar ukuran menjadi lebih presisi. Mesin *milling* dapat dilihat pada gambar 3.10.

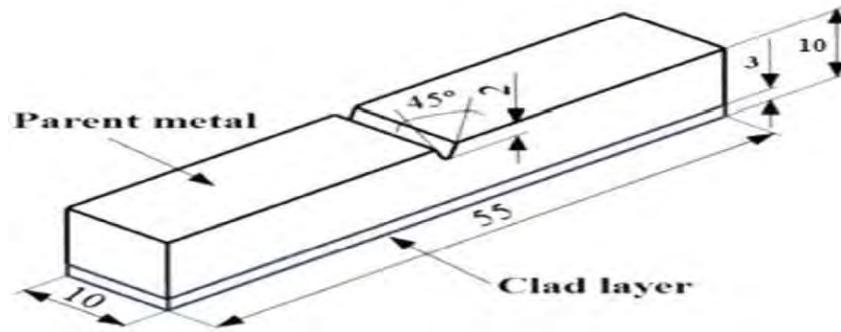


Gambar 3.10. Mesin *milling*

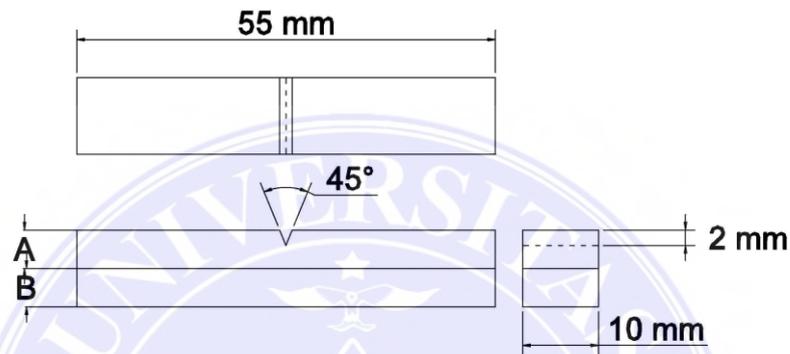
### 3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam menjalani penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

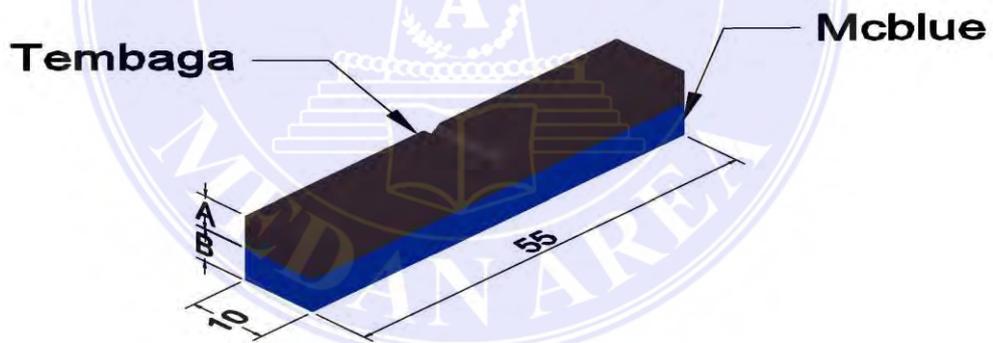
1. Meninjau secara cermat literatur yang berasal dari jurnal maupun buku.
2. Melakukan survei ketersediaan peralatan alat uji impak *charpy* di kota Medan.
3. Membeli spesimen atau bahan uji berupa bahan tembaga, *Mcbblue* dan juga teflon di kota Medan.
4. Membuat spesimen uji material sesuai standar ASTM E23 menggunakan bahan tembaga, teflon dan *mcbblue*.
5. Melakukan pengujian pada spesimen menggunakan pengujian alat uji impak *charpy* di Bengkel Bubut dan Las Sudarman atau Bengkel Arya.
6. Mencatat serta menganalisis hasil dari pengujian pada alat uji impak metode *charpy* di Bengkel Bubut dan Las Sudarman atau Bengkel Arya.
7. Melakukan analisis data hasil pengujian menggunakan persamaan 2.1, 2.2.
8. Membuat laporan naskah seminar hasil dan laporan naskah sidang sarjana.



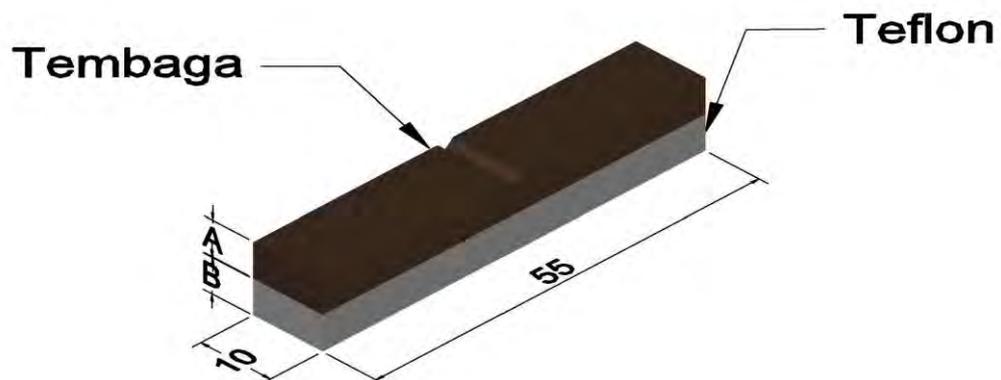
Gambar 3.11. Ukuran Standart Spesimen ASTM E23



Gambar 3.12. Gambar 2 dimensi spesimen



Gambar 3.13. Ukuran Spesimen Tembaga yang Diperkuat *Mcblue*



Gambar 3.14. Ukuran Spesimen Tembaga yang Diperkuat Teflon

Gambar 3.11 merupakan ukuran spesimen berdasarkan standart ASTM E-23, gambar 3.12 merupakan ukuran spesimen dari berbagai sudut pandang, gambar 3.13 merupakan tembaga yang yang diperkuat *mcblue*, sedangkan gambar 3.14 merupakan ukuran dari spesimen tembaga yang diperkuat teflon.

### 3.4 Populasi dan Sampel

Pada penelitian ini untuk populasi dan sampel menggunakan bahan tembaga yang diperkuat teflon dan *mcblue* terhadap kekuatan impak. Untuk data populasi dan sampel dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Data Populasi dan Sampel

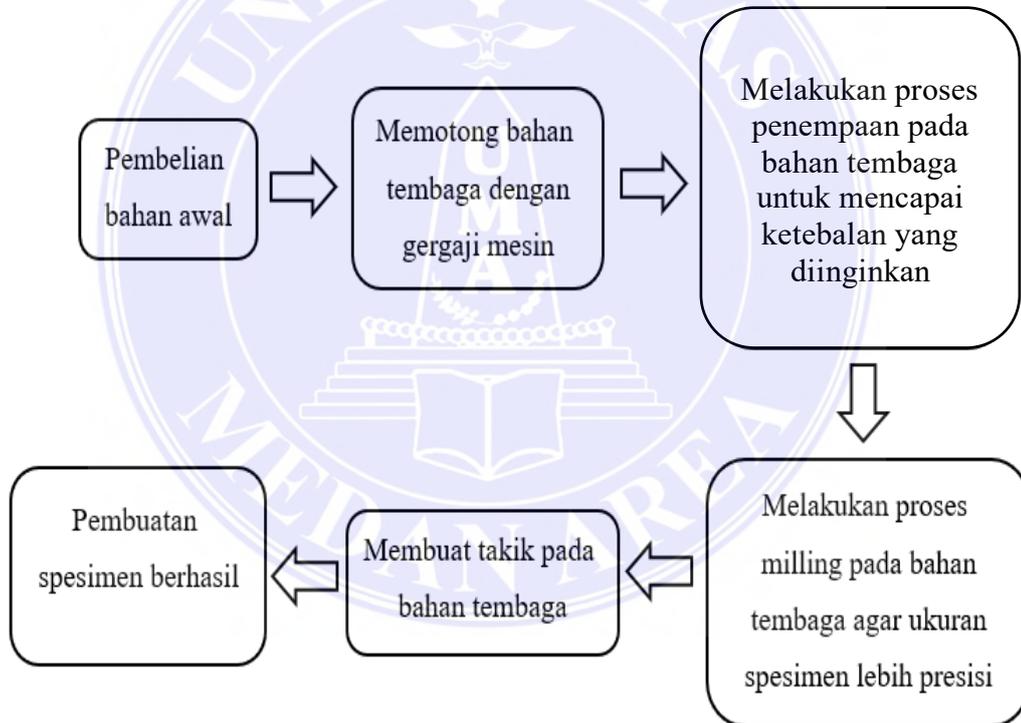
No	Bahan Material	l mm	b mm	t mm	Jumlah Spesimen
1	Tembaga	55	10	4	3
	Plastik <i>Mcblue</i>			6	
2	Tembaga	55	10	5	3
	Plastik <i>Mcblue</i>			5	
3	Tembaga	55	10	6	3
	Plastik <i>Mcblue</i>			4	
4	Tembaga	55	10	4	3
	Plastik Teflon			6	
5	Tembaga	55	10	5	3
	Plastik Teflon			5	
6	Tembaga	55	10	6	3
	Plastik Teflon			4	

### 3.5 Prosedur Kerja

#### 3.5.1 Prosedur Pembuatan Spesimen

##### 1. Pembuatan Spesimen Tembaga

Pembuatan spesimen dilakukan secara manual dengan beberapa tahapan, dimana pembelian material awal dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 73 mm dan tebal 12 mm untuk bahan tembaga yang kemudian dipotong dan ditempa sampai ukuran spesimen tembaga menjadi panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tebal 4 mm, 5 mm dan 6 mm kemudian diberi takik (*notch*) dengan bentuk V dengan kedalaman 2 mm, yang ditunjukkan pada gambar 3.15 sampai dengan gambar 3.20.



Gambar 3.15. Diagram alir pembuatan spesimen tembaga

Sebelum dilakukan proses penempaan, bahan tembaga harus dihitung terlebih dahulu ukuran awalnya. Ukuran awal bahan tembaga yaitu panjang 80 mm, lebar 12 mm, dan tebal 12 mm. Proses pengukuran bahan tembaga sebelum ditempa dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. Pengukuran bahan tembaga sebelum ditempa

Setelah bahan tembaga sudah diukur, kemudian dimasukkan kedalam tungku untuk memanaskan bahan tembaga agar lebih mudah (lunak) saat proses pemukulan dilakukan. Pemanasan bahan tembaga didalam tungku dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. Proses pemanasan bahan tembaga didalam tungku

Setelah bahan tembaga dipanaskan didalam tungku, harus dilakukan pengukuran suhu pada bahan tembaga terlebih dahulu. Suhu tembaga harus mencapai 750 °C sebelum dilakukannya proses pemukulan. Pengukuran suhu tembaga dapat dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18. Pengukuran suhu sebelum tembaga dipukul



Gambar 3.19. Proses pemukulan bahan tembaga

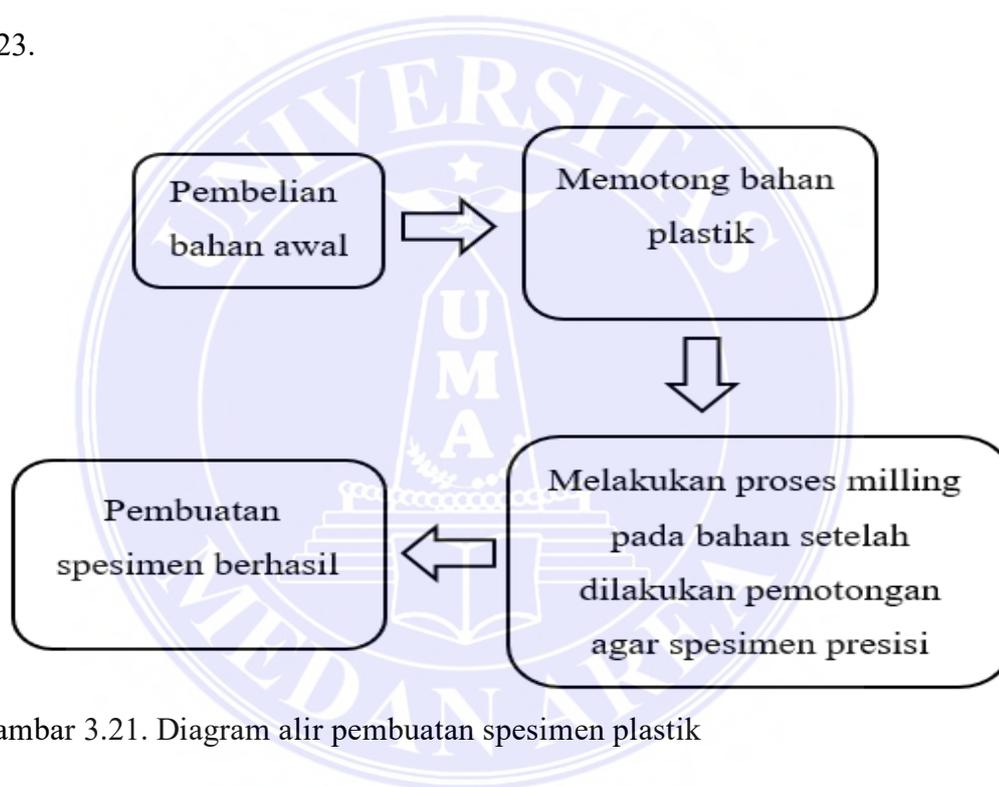
Proses pemukulan bahan tembaga dilakukan supaya terjadi pengurangan dari ketebalan tembaga dan struktur bahan tembaga menjadi lebih padat seperti yang terlihat pada gambar 3.19. Dalam proses pemukulan tembaga, tembaga dipukul dengan palu sebanyak kurang lebih 20 kali pukulan hingga tembaga mencapai ketebalan 5 mm. Setelah pemukulan bahan tembaga selesai dilakukan, bahan tembaga diukur kembali untuk melihat perubahan ukuran dari sebelum ditempa dan sesudah ditempa. Pengukuran bahan tembaga setelah ditempa dapat dilihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20. Pengukuran bahan tembaga setelah ditempa

## 2. Pembuatan Spesimen Plastik

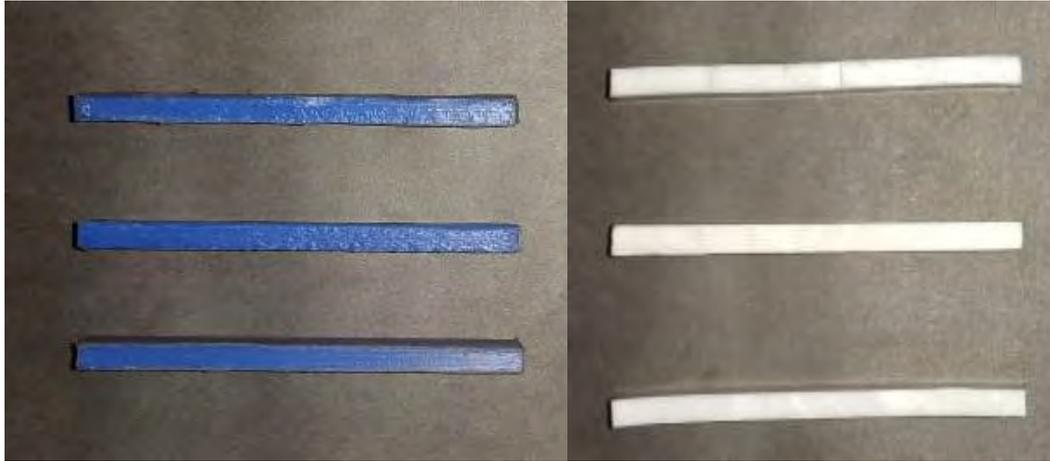
Pembuatan spesimen dilakukan secara manual dengan beberapa tahapan, dimana pembelian material awal Panjang 250 mm, lebar 80 mm tebal 4 mm, 5 mm dan 6 mm untuk bahan *mcblue* dan panjang 250 mm, lebar 80 mm dan tebal 4 mm, 5 mm dan 6 mm untuk bahan teflon dipotong sampai ukuran spesimen menjadi panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tebal 4 mm, 5 mm dan 6 mm setiap spesimen. Proses pembuatan spesimen plastik dapat dilihat pada gambar 3.21 hingga gambar 3.23.



Gambar 3.21. Diagram alir pembuatan spesimen plastik



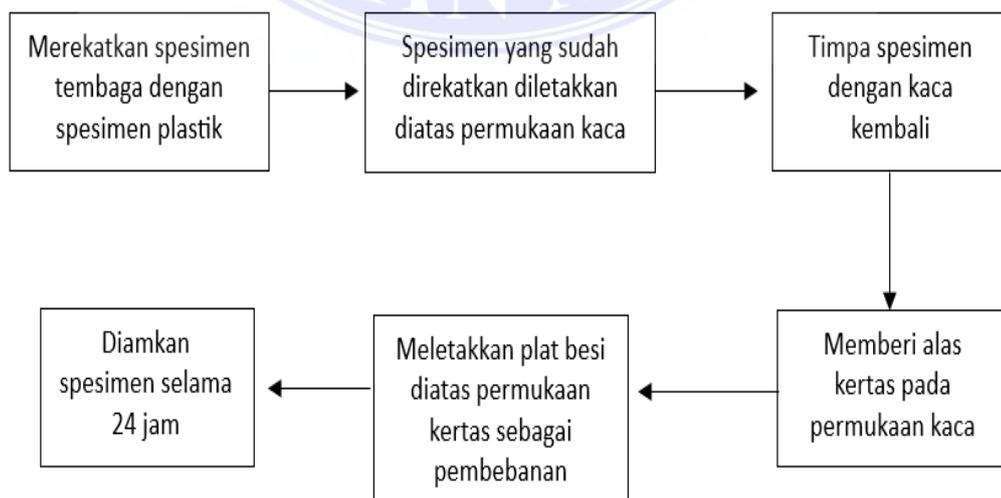
Gambar 3.22. Bahan plastik yang belum dipotong



Gambar 3.23. Bahan plastik yang sudah dilakukan proses pemotongan dan *milling*

### 3. Penggabungan Spesimen

Penggabungan (*joint*) spesimen tembaga dengan spesimen plastik merupakan proses yang dilakukan dengan cara merekatkan antar spesimen. Dalam hal ini, perekatan kedua spesimen tersebut dilakukan menggunakan lem. Lem tersebut harus memiliki sifat adhesi yang kuat dan mampu mengakomodasi perbedaan sifat fisik antara tembaga dan plastik. Proses perekatan ini membutuhkan persiapan permukaan yang teliti dan aplikasi lem yang merata untuk memastikan ikatan yang kuat di antara kedua spesimen. Proses penggabungan spesimen dapat dilihat pada gambar 3.24 hingga gambar 3.27.



Gambar 3.24. Diagram alir penggabungan spesimen



Gambar 3.25. Tampak atas spesimen yang sudah digabung tetapi belum diberi beban plat



Gambar 3.26. Tampak atas spesimen yang sudah diberi beban plat besi dengan berat 5 kg

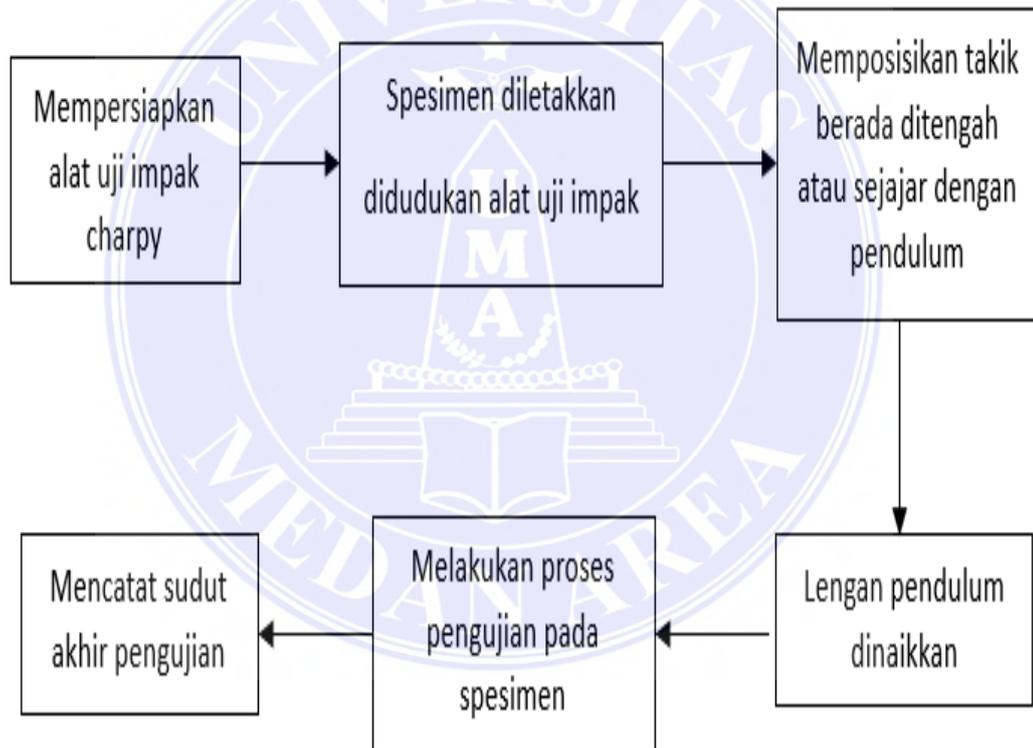


Gambar 3.27. Tampak samping spesimen yang diberi beban plat besi dengan berat 5 kg

Proses penggabungan spesimen ini dilakukan selama 24 jam untuk mendapatkan daya rekat yang maksimal antar spesimen tembaga dengan spesimen plastik.

### 3.5.2 Prosedur Pengujian Spesimen

Proses pengujian spesimen memiliki tujuan untuk mendapatkan sudut akhir pengujian, maka dalam hal ini perlu diperhatikan prosedur pengujian yang ada seperti pada gambar 3.28 hingga gambar 3.34. Setelah mendapatkan hasil sudut akhir maka perhitungan atau analisis untuk setiap spesimen dapat dilakukan.



Gambar 3.28. Diagram alir proses pengujian

Sebelum dilakukan pengujian terhadap spesimen hal yang pertama kali dilakukan yaitu mempersiapkan alat uji impak *charpy*. Baik dari kelistrikan dan kepresisian alat yang akan digunakan. Persiapan alat uji impak *charpy* dapat dilihat pada gambar 3.29.



Gambar 3.29. Persiapan alat uji impak *charpy*



Gambar 3.30. Posisi spesimen yang akan diuji

Posisi takik (*notch*) saat melakukan pengujian harus membelakangi pendulum. Posisi ini berlaku untuk semua spesimen yang akan diuji.



Gambar 3.31. Tampak samping spesimen yang akan diuji



Gambar 3.32. Lengan pendulum dinaikkan



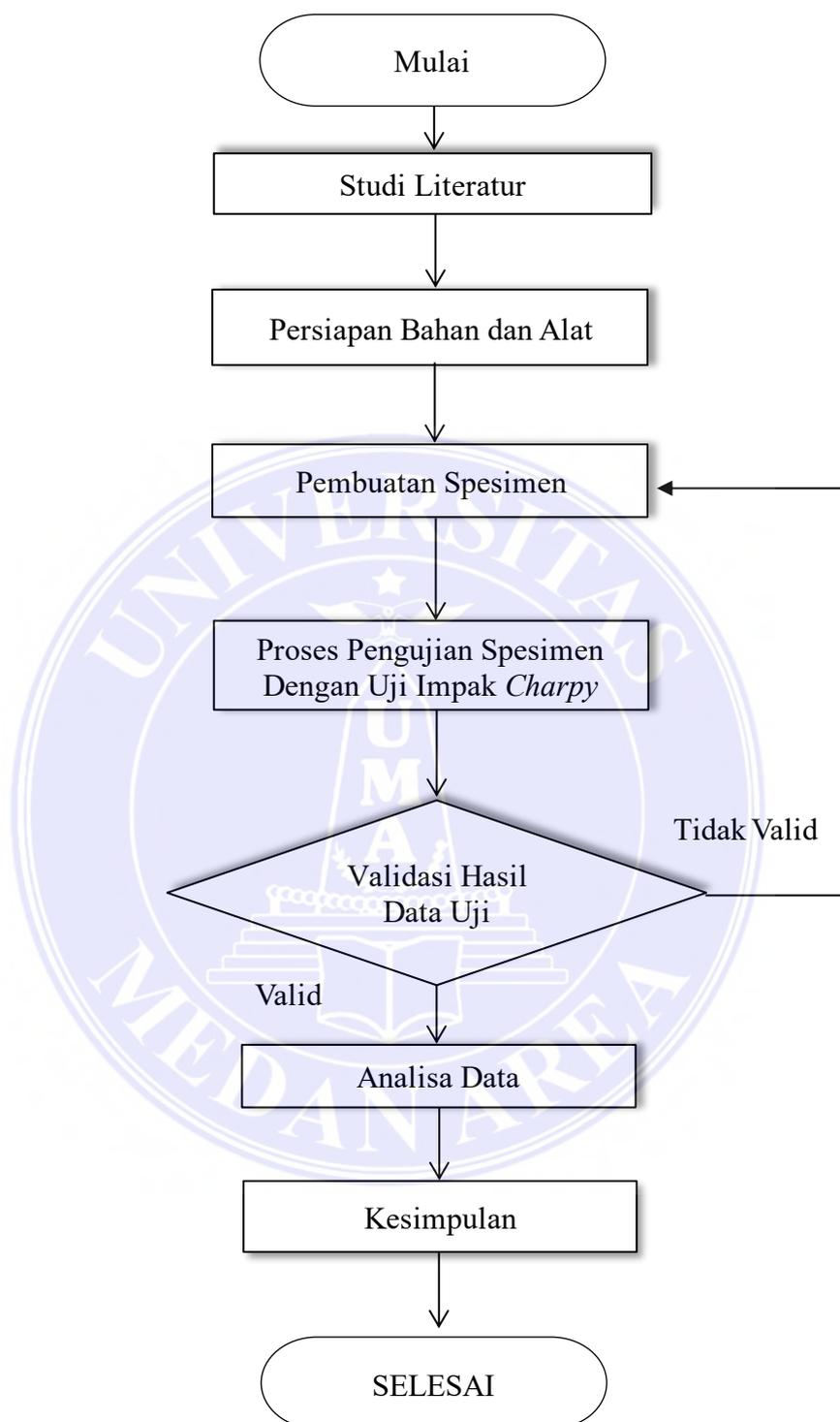
Gambar 3.33. Posisi awal sudut  $147^{\circ}$  sebelum pengujian spesimen



Gambar 3.34. Posisi sudut akhir setelah pengujian spesimen

Setelah semua spesimen diuji, sudut akhir pengujian dicatat untuk menghitung atau menganalisis energi impak dan kekuatan impak dari tiap-tiap spesimen yang diuji.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.35. Diagram Alir penelitian

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

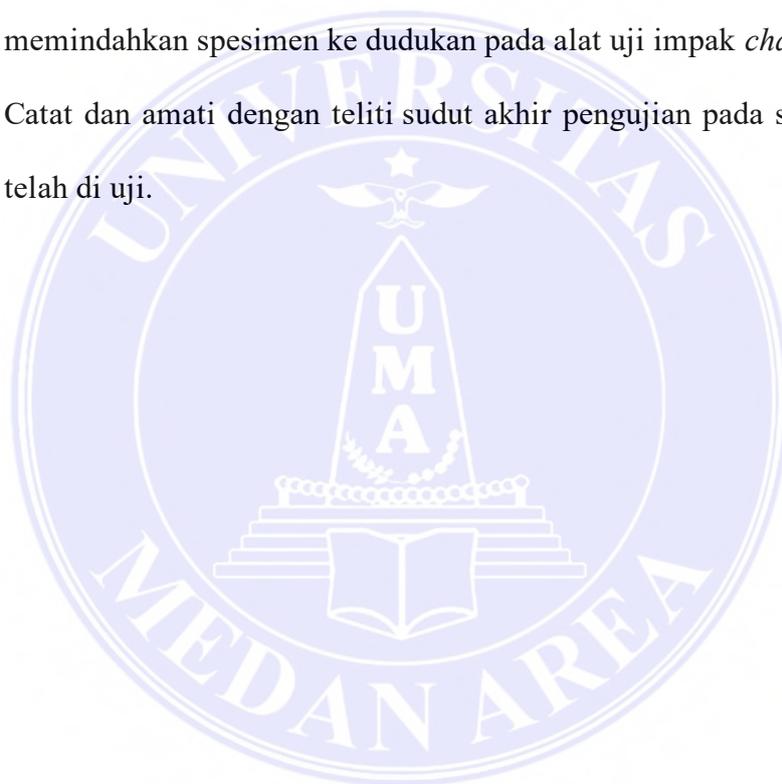
Simpulan yang didapat dari hasil pengujian dan perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Spesimen yang diuji dengan uji impak *charpy* memiliki ukuran panjang 55 mm, lebar 10 mm, tinggi 10 mm, *notch* dengan sudut  $45^\circ$ , kedalaman *notch* 2mm, dan radius pusat 0,2mm sesuai dengan dimensi ASTM-E23 yang diperkuat dengan *mcbblue* dan teflon telah berhasil untuk dibuat dengan jumlah spesimen sebanyak 18 pcs.
2. Hasil dari pengujian spesimen tembaga yang diperkuat *mcbblue* memiliki hasil yang lebih baik dalam menahan impak (benturan) dibandingkan dengan tembaga yang diperkuat teflon. Hal ini ditandai dengan nilai sudut akhir terendah yaitu  $111^\circ$  yang didapat pada spesimen tembaga yang diperkuat *mcbblue* pada variasi ke-3, sedangkan untuk spesimen tembaga yang diperkuat teflon mendapatkan sudut akhir yang tertinggi yaitu  $138^\circ$  yang didapat pada variasi ke-1. Dikarenakan semakin kecil nilai sudut akhir, maka spesimen tersebut dinyatakan lebih kuat dalam menahan impak.
3. Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil rata-rata energi impak pada tembaga yang diperkuat *mcbblue* memiliki nilai 36,14 *joule*, 56,39 *joule* dan 77,46 *joule* dan terjadi penurunan nilai 18,82 *Joule*, 30,84 *joule* dan 43,98 *joule* pada tembaga yang diperkuat teflon. Demikian pula hasil rata-rata kekuatan impak pada tembaga yang diperkuat *mcbblue* memiliki nilai 0,45

$J/mm^2$ ,  $0,7 J/mm^2$  dan  $0,97 J/mm^2$  dan terjadi penurunan nilai  $0,24 J/mm^2$ ,  $0,38 J/mm^2$  dan  $0,55 J/mm^2$  pada tembaga yang diperkuat teflon.

## 5.2 Saran

1. Penguji harus memilih dan memotong material spesimen sesuai dengan standar ASTM-E23 pada pengujian spesimen ini.
2. Spesimen harus diuji dengan alat uji impak *charpy* pada proses pengujian.
3. Saat melakukan pengujian selalu utamakan keselamatan, ketika hendak memindahkan spesimen ke dudukan pada alat uji impak *charpy*.
4. Catat dan amati dengan teliti sudut akhir pengujian pada spesimen yang telah di uji.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aryanta, Hendra, Abdullah Ma'ruf, Khanif Khoirul, dan Nurida Finahari. 2017. 10 Jurnal ROTOR Analisis Pengaruh Serat Limbah Teflon Terhadap Sifat Mekanik Komposit Fiber Sebagai Material Pengganti Alas Cor Beton.
- Basir, Abdul. 2008. "Analisis Hasil Pembuatan Koin Tembaga Dengan Proses Blanking Menggunakan Beban Impak Benda Jatuh Bebas."
- Dailami, Samsul Bahri, dan Hamdani. 2020. "Desain Alat Uji Impak Jatuh Bebas Untuk Pengujian Baja Struktur." VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal 1(2): 29–37. doi:10.38038/vocatech.v1i2.22.
- Fenichell, Stephen. 1996. Plastic : the making of a synthetic century. New York: HarperBusiness.
- Haiyum, Muhd. 2010. "Identifikasi Kekuatan dan Keretakan Komposit Gypsum Terhadap Beban Impak Kecepatan Tinggi." Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe: 876–84.
- Handoyo, Yopi. 2013a. "PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK METODE *CHARPY* KAPASITAS 100 *JOULE*." Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 1(2).
- Handoyo, Yopi. 2013b. Perancangan Alat Uji Impak Metode *Charpy* Kapasitas 100 *Joule*.
- Hasrin. 2013. Analisa Perpatahan Baja ST 60 Yang Dikenai Beban Impak *Charpy*.
- Nuhgraha, Yhudo, M Khairul, Amri Rosa, dan Indra Agustian. 2020. "Perancangan Alat Uji Impak Digital dengan Metode *Charpy* Untuk Mengukur Kekuatan Material Polimer."
- Pakpahan, Goodman, Muhammad Yusuf Siahaan, dan Rakhmad Arief Siregar. 2023. "Perancangan Alat Uji Impak Anak Panah Jatuh Bebas untuk Menguji Lembaran Plastik dengan Kapasitas 120 gr." JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy) 7(1): 95–103. doi:10.31289/jmemme.v7i1.6295.
- Palar, Heryando. 2004. Pencemaran & Toksikologi logam berat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Porawati, Hilda. 2018. 1 Jurnal Inovator Analisis Alat Uji Impak Metode Izod pada Bengkel Politeknik Jambi. www.ojs.politeknikjambi.ac.id/index/inovator.
- Putra, Wawan Trisnadi, Ismono Ismono, Fadelan Fadelan, dan Yoyok Winardi. 2017. "Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan Campuran (PP + PET)." R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal 2(1): 51. doi:10.21070/r.e.m.v2i1.751.
- Safrijal, Syurkarni Ali, dan Herdi Susanto. 2017. "Pengujian Papan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit ( TKKS ) Dengan Menggunakan Alat Uji Impact *Charpy*." 3(5): 158–67.
- Shairaz. 2020. The World Copper Factbook 2020. www.icsg.org.
- Siahaan, M. Yusuf Rahmansyah, Rakhmad Arief Siregar, Faisal Amri Tanjung, dan Agung Saktiawan. 2023a. "Analisis Karakteristik Bahan Tembaga Akibat Pengaruh Proses Penempaan Terhadap Kekuatan Impak." Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi 6(1).
- Siahaan, M. Yusuf Rahmansyah, Rakhmad Arief Siregar, Faisal Amri Tanjung, dan Agung Saktiawan. 2023b. "Analisis Karakteristik Bahan Tembaga Akibat

- Pengaruh Proses Penempaan Terhadap Kekuatan Impak.” Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi 6(1). doi:10.30596/rmme.v6i1.13709.
- Siregar, Rakhmad Arief, M Yusuf, Rahmansyah Siahaan, Amru Siregar, dan Ahmad Yunus Nasution. 2023. “Effect of Forging Process on Impact Strength in Brass Materials.” Jurnal Dinamis 11(01): 20–028. doi:10.26594/register.v6i1.idarticle.
- Syarief, Akhmad. 2008. 9 Analisa Kekerasan Pisau Potong (Parang) Pada Proses Penempaan (Forging).



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Tabel Data Uji Tarik Bahan Teflon

DATA UJI TARIK BAHAN TEFLON	
<i>Diameter</i>	9.5 mm
<i>Sectional Area</i>	70.882 mm <sup>2</sup>
<i>Elongation</i>	55.99 mm
<i>Maximum Point Load</i>	868.82 N
<i>Maximum Point Stress</i>	12.257 Mpa
<i>Break Point Strain</i>	502.05 %GL
<i>Upper Yield Stress</i>	10.471 Mpa
<i>Lower Yield Stress</i>	10.469 Mpa
<i>Elastic Modulus</i>	38.238 Mpa



Lampiran 2 Tabel Data Uji Tarik Bahan *Mcblue*

DATA UJI TARIK BAHAN <i>MCBLUE</i>	
<i>Diameter</i>	9.5 mm
<i>Sectional Area</i>	70.882 mm <sup>2</sup>
<i>Elongation</i>	55.54 mm
<i>Maximum Point Load</i>	2483 N
<i>Maximum Point Stress</i>	35.031 Mpa
<i>Break Point Strain</i>	23.527 %GL
<i>Upper Yield Stress</i>	10.505 Mpa
<i>Lower Yield Stress</i>	4.9573 Mpa
<i>Elastic Modulus</i>	48.592 Mpa

