

**ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN  
ALUMINIUM YANG DIPERKUAT BAHAN KUNINGAN  
TERHADAP KEKUATAN IMPAK**

**SKRIPSI**

**OLEH :**

**JON FRIANDO PUTRA H PURBA  
198130096**



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

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 21/1/25

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)21/1/25

# **ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN ALUMINIUM YANG DIPERKUAT BAHAN KUNINGAN 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

Document Accepted 21/1/25

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)21/1/25

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Analisis Pengaruh Proses Penempaan Pada Bahan  
Alumunium yang Diperkuat Bahan Kuningan  
Terhadap Kekuatan Impak  
Nama Mahasiswa : Jon Friando Putra H Purba  
NIM : 198130096  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing

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

  
Dede Supriatne, ST, MT  
Dekan

  
Dedi Iswandi, ST., MT  
Prodi. Teknik. Prodi

Tanggal Lulus : 19 September 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.



Medan, 28 Agustus 2024



Jon Friando Putra H Purba  
NPM. 198130096

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

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

Nama : Jon Friando Putra H Purba

NPM 198130096

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 ALUMINIUM YANG DIPERKUAT KUNINGAN 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 sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini buat dengan sebenarnya.

Di buat di : Medan

Pada tanggal : 28 Agustus 2024

Yang menyatakan



(Jon Friando Putra H Purba)

NPM. 198130096

## ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada analisis proses penempaan bahan Alumunium yang diperkuat kuningan untuk meningkatkan kekuatan impaknya. Spesimen Alumunium dengan dimensi 55 mm x 10 mm dengan variasi ketebalan 4 mm, 5 mm, dan 6 mm dipanaskan hingga 380°C dan ditempa untuk menghasilkan struktur mikro yang lebih padat dan homogen. Kemudian, spesimen Alumunium yang ditempa tersebut diperkuat dengan lapisan kuningan dengan dimensi yang sama untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban impact. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen yang telah ditempa dan diperkuat kuningan memiliki nilai energi impact rata-rata 127,91 *joule*, 115,24 *joule* dan 92,27 *joule*. Demikian pula hasil rata-rata kekuatan impact pada alumunium yang diperkuat kuningan memiliki nilai 1,60 J/mm<sup>2</sup>, 1,44 J/mm<sup>2</sup> dan 1,15 J/mm<sup>2</sup>. Nilai ini menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan material Alumunium yang tidak diperkuat, yang menunjukkan bahwa kombinasi proses penempaan dan penguatan kuningan efektif dalam meningkatkan ketahanan impact material.

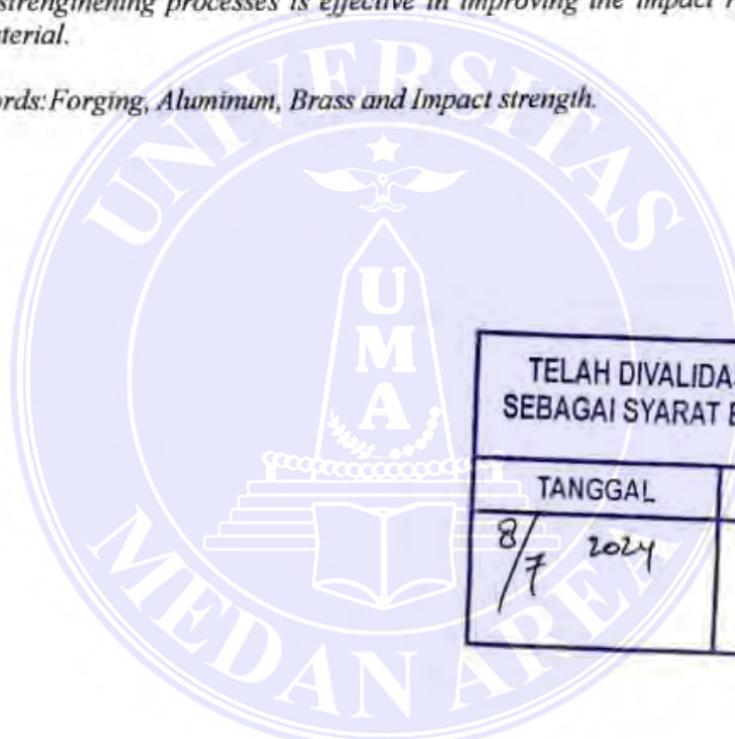
Kata kunci: Penempaan, Alumunium, Kuningan dan Kekuatan impact.



## ABSTRACT

*This research focuses on analyzing the forging process of aluminum reinforced brass to increase its impact strength. Aluminum specimens with dimensions of 55 mm x 10 mm with varying thicknesses of 4 mm, 5 mm and 6 mm were heated to 380°C and forged to produce a denser and more homogeneous microstructure. Then, the forged aluminum specimen is reinforced with a layer of brass with the same dimensions to increase resistance to impact loads. The test results show that specimens that have been forged and reinforced with brass have an average impact energy value of 127.9 Joules and a decrease in value of 90.1 Joules and an average impact strength of 1.6 J/mm<sup>2</sup> and a decrease in value of 1.13 J/mm<sup>2</sup>. This value shows a significant improvement compared to unreinforced aluminum material, indicating that the combination of forging and brass strengthening processes is effective in improving the impact resistance of the material.*

*Keywords: Forging, Aluminum, Brass and Impact strength.*



TELAH DIVALIDASI PUSBA UMA SEBAGAI SYARAT BERKAS SIDANG	
TANGGAL	PARAF
8/7 2024	TJ

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di SaribuDolok Pada tanggal 09 Oktober 2000 dari ayah Jon Alimanson Purba dan ibu Sontianna Br.Saragih. Penulis merupakan putra ketiga dari empat bersaudara.

Tahun 2019 Penulis lulus dari SMK GKPS 2 P SIANTAR dan pada tahun yang sama terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Pada tahun 2021, Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. SUKSESMOTOR GLOBALINDO, Jalan Setia Budi Komplek CITRA NO. 98 – 100, Sumatera Utara.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa 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 Alumunium yang Diperkuat Bahan Kuningan 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



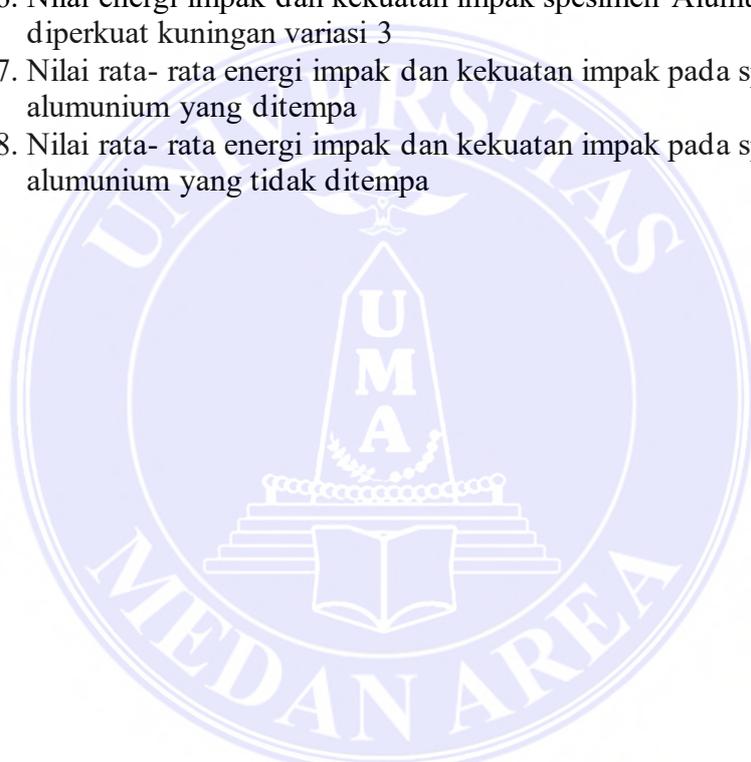
(Jon Friando Putra H Purba)

## DAFTAR ISI

ANALISIS PENGARUH PROSES PENEMPAAN PADA BAHAN ALUMINIUM YANG DIPERKUAT BAHAN KUNINGAN 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 .....	4
1.3 Tujuan penelitian .....	4
1.4 Hipotesis Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Alumunium .....	6
2.2 Kuningan .....	9
2.3 Penempaan ( <i>Forging</i> ) .....	14
2.4 Kekuatan Impak .....	20
2.5 Jenis Patahan .....	27
BAB III METODE PENELITIAN .....	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
3.2 Bahan dan Alat .....	31
3.3 Metode Penelitian .....	34
3.4 Populasi dan Sampel .....	36
3.5 Prosedur Kerja .....	37
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	46
4.1 Hasil .....	46
4.2 Pembahasan .....	53
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	61
5.1 Simpulan .....	61
5.2 Saran .....	62
DAFTAR PUSTAKA .....	63

## DAFTAR TABEL

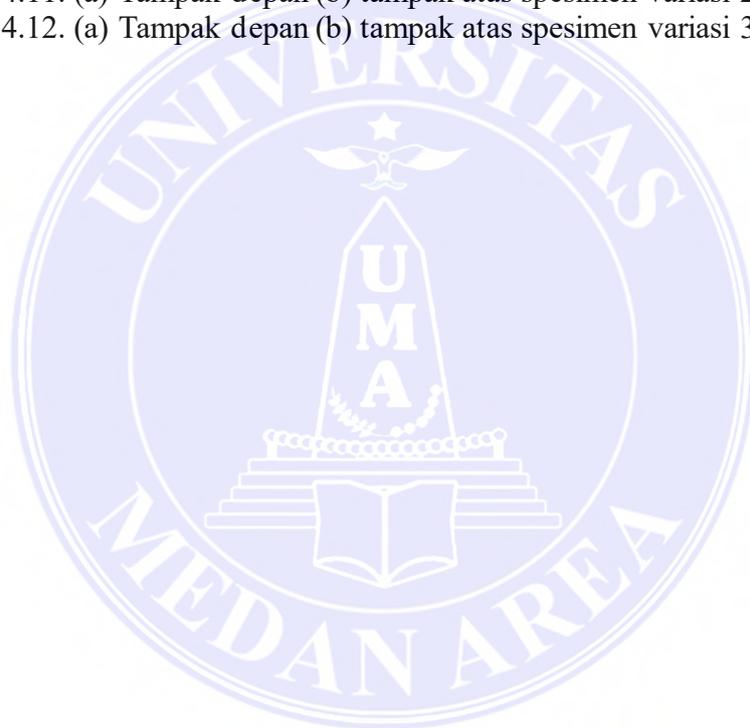
Tabel 2.1. Sifat Mekanik Alumunium Yang biasa dipakai	9
Tabel 2.2. Sifat Mekanik Kuningan Yang biasa dipakai	13
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	30
Tabel 3.2. Data Populasi dan Sampel	37
Tabel 4.1. Data ukuran masing-masing bahan	47
Tabel 4.2. Data persentase perubahan volume	49
Tabel 4.3. Data hasil pengujian spesimen alumunium yang diperkuat kuningan	50
Tabel 4.4. Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen Alumunium yang diperkuat kuningan variasi 1	54
Tabel 4.5. Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen Alumunium yang diperkuat kuningan variasi 2	55
Tabel 4.6. Nilai energi impact dan kekuatan impact spesimen Alumunium yang diperkuat kuningan variasi 3	56
Tabel 4.7. Nilai rata- rata energi impact dan kekuatan impact pada spesimen alumunium yang ditempa	57
Tabel 4.8. Nilai rata- rata energi impact dan kekuatan impact pada spesimen alumunium yang tidak ditempa	57



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Profil bahan Alumunium	6
Gambar 2.2. Profil bahan Kuningan	12
Gambar 2.3. Diagram Fasa Cu-Zn	13
Gambar 2.4. Ilustrasi Open Die Forging, a. Fullering, b. Edging, c. Cogging.	16
Gambar 2.5. Ilustrasi Closed Die Forging, a. Kotak awal benda kerja, b. Terjadi penekanan c. Tahap akhir.	17
Gambar 2.6. Flashless Forging, a. Sebelum terjadi kontak, b. Tekanan pada benda kerja, c. Akhir penempaan.	18
Gambar 2.7. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak	22
Gambar 2.8. Ilustrasi pergerakan pendulum	22
Gambar 2.9. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak <i>Izod</i>	24
Gambar 3.1. Bahan Alumunium	31
Gambar 3.2. Bahan Kuningan	31
Gambar 3.3. Alat uji impak metode <i>charpy</i>	32
Gambar 3.4. Tungku	32
Gambar 3.5. Landasan Besi	33
Gambar 3.6. Palu	33
Gambar 3.7. Thermogun	33
Gambar 3.8. Lem Perekat	34
Gambar 3.9. Ukuran Standart Spesimen ASTM E23	34
Gambar 3.10. Ukuran spesimen dengan variasi ketebalan 4 mm dan 6 mm	35
Gambar 3.11. Ukuran spesimen dengan variasi ketebalan 5 mm dan 5 mm	35
Gambar 3.12. Ukuran spesimen dengan variasi ketebalan 6 mm dan 4 mm	36
Gambar 3.13. Ukuran Spesimen Alumunium yang Diperkuat Kuningan	36
Gambar 3.14. Diagram alir pembuatan spesimen Alumunium	37
Gambar 3.15. Pengukuran bahan alumunium sebelum ditempa	38
Gambar 3.16. Proses pemanasan bahan alumunium ditungku	38
Gambar 3.17. Pengukuran suhu sebelum alumunium dipukul	39
Gambar 3.18. Proses pemukulan bahan alumunium	39
Gambar 3.19. Pengukuran bahan alumunium setelah ditempa	39
Gambar 3.20. Diagram alir pembuatan spesimen kuningan	40
Gambar 3.21. Bahan kuningan yang belum dipotong	40
Gambar 3.22. Bahan Kuningan yang sudah dilakukan proses pemotongan dan milling	41
Gambar 3.23. Diagram alir penggabungan spesimen	41
Gambar 3.24. Tampak atas spesimen yang sudah digabung tetapi belum diberi beban plat	42
Gambar 3.25. Tampak atas spesimen yang sudah diberi beban plat besi dengan berat 5 kg	42
Gambar 3.26. Tampak samping spesimen yang diberi beban plat besi dengan berat 5 kg	42
Gambar 3.27. Diagram alir proses pengujian	43
Gambar 3.28. Posisi spesimen yang akan diuji	43
Gambar 3.29. Tampak samping spesimen yang akan diuji	44
Gambar 3.30. Lengan pendulum dinaikkan hingga mencapai sudut 147°	44
Gambar 3.31. Posisi sudut akhir setelah pengujian spesimen	44

Gambar 3.32. Diagram alir penelitian	45
Gambar 4.1. Bahan alumunium yang sudah ditempa namun belum diperkuat kuningan	46
Gambar 4.2. Bahan kuningan yang sudah dipotong	47
Gambar 4.3. Spesimen Alumunium yang sudah diperkuat Kuningan	47
Gambar 4.4. Perubahan volume alumunium	49
Gambar 4.5. Spesimen variasi 1 sebelum dan sesudah diuji	51
Gambar 4.6. Spesimen variasi 2 sebelum dan sesudah diuji	51
Gambar 4.7. Spesimen variasi 3 sebelum dan sesudah diuji	52
Gambar 4.8. Grafik perbandingan rata-rata energi impact antara spesimen alumunium yang ditempa dengan yang tidak ditempa	57
Gambar 4.9. Grafik perbandingan rata-rata kekuatan impact antara spesimen alumunium yang ditempa dengan yang tidak ditempa	57
Gambar 4.10. (a) Tampak depan (b) tampak atas spesimen variasi 1	59
Gambar 4.11. (a) Tampak depan (b) tampak atas spesimen variasi 2	59
Gambar 4.12. (a) Tampak depan (b) tampak atas spesimen variasi 3	60



## DAFTAR NOTASI

Cu	=	Lambang table periodik bahan logam alumunium
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> )
$\alpha$	=	Sudut awal pendulum
$\alpha_0$	=	Sudut akhir pendulum
acN	=	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )
$b_n$	=	Lebar benda uji (mm)
h	=	Tinggi spesimen (mm)
ASTM	=	Sebuah organisasi yang mengembangkan teknik standarisasi untuk material, produk, system dan jasa

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Alumunium adalah salah satu jenis material yang banyak ditemui dan didapat disekitar kita seperti kaleng minuman, komponen mobil, pesawat, kereta api dan perabot rumah tangga. Alumunium yang sudah terbuang atau tidak terpakai berpotensi untuk dimanfaatkan kembali, sehingga beberapa pihak mencoba melakukan berbagai percobaan untuk mencari solusi memanfaatkan limbah dari Alumunium. Mendaur ulang sampah Alumunium dapat menghemat 5% dari energi dari pada memproduksi Alumunium dari bauksit, seperti diketahui terdapat jenis-jenis limbah organik dan non organik, limbah Alumunium termasuk jenis limbah non organik yang tidak bisa diuraikan oleh proses biologis.

Alumunium memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dari pada logam lainnya. Alumunium relatif lebih ringan dari pada baja, alumunium, maupun kuningan. Sebagai konduktor listrik dan panas yang baik, Alumunium juga memiliki titik titik lebur yang rendah, mempunyai ketahanan korosi yang baik sehingga lebih mudah difabrikasi dibandingkan dengan logam lainnya. Seperti dituang dengan cara yang mudah. Kekurangan logam Alumunium adalah ketahanan aus kurang, koefisien pemuaian rendah dan kekuatan rendah dibanding logam besi dan baja. Kekuatan logam Alumunium memang tidak sebaik logam- logam lainnya, tetapi untuk meningkatkan kekuatan logam Alumunium dipadukan dengan unsur-unsur lain seperti alumunium, magnesium, silikon, mangan dan seng. Alumunium paduan ini biasanya disebut *Alumunium Alloy* (Rustono, 2014).

Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari alumunium dan seng. Alumunium merupakan komponen utama dari kuningan. Kuningan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan alumunium. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga cahaya kuning. Kuningan lebih kuat dan keras dari pada alumunium, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah untuk dibentuk dalam berbagai bentuk. Kuningan bertindak sebagai konduktor panas yang baik dan umumnya tahan terhadap korosi dan air garam.

Bahan utama untuk membuat logam kuningan adalah alumunium dan seng. Kuningan merupakan paduan alumunium dan seng dengan kandungan alumunium sekitar 60-90% dan kandungan seng sekitar 10-40%. Selain alumunium dan seng kuningan juga dapat mengandung unsur-unsur lain seperti timbal, timah, nikel, Alumunium dan mangan dalam jumlah kecil untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik atau sifat lainnya. Proses pembuatan kuningan melalui proses peleburan dan pencampuran alumunium dan seng dalam proporsi yang sesuai. Setelah proses peleburan, paduan kuningan dicetak dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan seperti dalam bentuk plat, batang, atau pipa. Proses pengolahan selanjutnya seperti pemotongan, pengeboran dan pengelasan dapat dilakukan untuk membentuk produk akhir. Ketebalan kuningan mengacu pada ketebalan material kuningan yang digunakan dalam suatu produk atau aplikasi. Ketebalan kuningan dapat memengaruhi sifat-sifat mekanik, termal dan elektromagnetik material kuningan.

Ketangguhan (impak) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejutan. Inilah yang membedakan pengujian dampak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian dampak

merupakan suatu upaya untuk 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. Jika material tersebut memiliki kemampuan untuk menyerap energi ini, maka energi tersebut akan dikonversi menjadi bentuk lain, seperti panas atau deformasi dan tidak akan merusak benda atau struktur disekitarnya. Serapan energi dampak sangat penting dalam banyak aplikasi teknik dan industri, seperti pembuatan kendaraan, pesawat, alat-alat olahraga dan perlindungan personal.

Dalam aplikasi ini, material yang mampu menyerap energi dampak dapat membantu melindungi pengguna atau bagian penting dari kendaraan atau struktur dari kerusakan yang disebabkan oleh tumpukan atau benturan.

Untuk menguji kemampuan serapan energi dampak dari sebuah Aluminium, terlebih dahulu harus dipilih metode pengujian yang tepat dan standar. Berikut adalah beberapa metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengujian dampak, seperti metode *Charpy*, metode *Izod*, metode benda jatuh bebas, metode *Air Gun Compressor*, dan lain-lain (Pakpahan, dkk 2023).

Untuk menguji kekuatan dampak dari sebuah bahan Aluminium, terlebih dahulu harus dipilih metode pengujian yang tepat dan standar. Berikut adalah beberapa metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengujian dampak, seperti metode *Charpy*, metode *Izod*, metode benda jatuh bebas, metode *Air Gun Compressor* dan lain-lain (Pakpahan, dkk 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk membuat spesimen uji dampak bahan Aluminium yang diperkuat bahan kuningan menggunakan alat uji dampak *Charpy*

dan menganalisis pengaruh variasi proses penempaan pada bahan Alumunium yang diperkuat bahan kuningan terhadap kekuatan impak.

## 1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana cara menganalisis pengaruh penempaan pada bahan alumunium yang diperkuat kuningan terhadap kekuatan impak?

## 1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

- a) Membuat spesimen uji impak bahan alumunium yang diperkuat bahan kuningan sesuai standar ASTM E23.
- b) Menguji spesimen bahan alumunium yang diperkuat bahan kuningan menggunakan alat impak *Charpy*.
- c) Analisis pengaruh penempaan pada bahan alumunium yang diperkuat kuningan terhadap kekuatan impak.

## 1.4 Hipotesis Penelitian

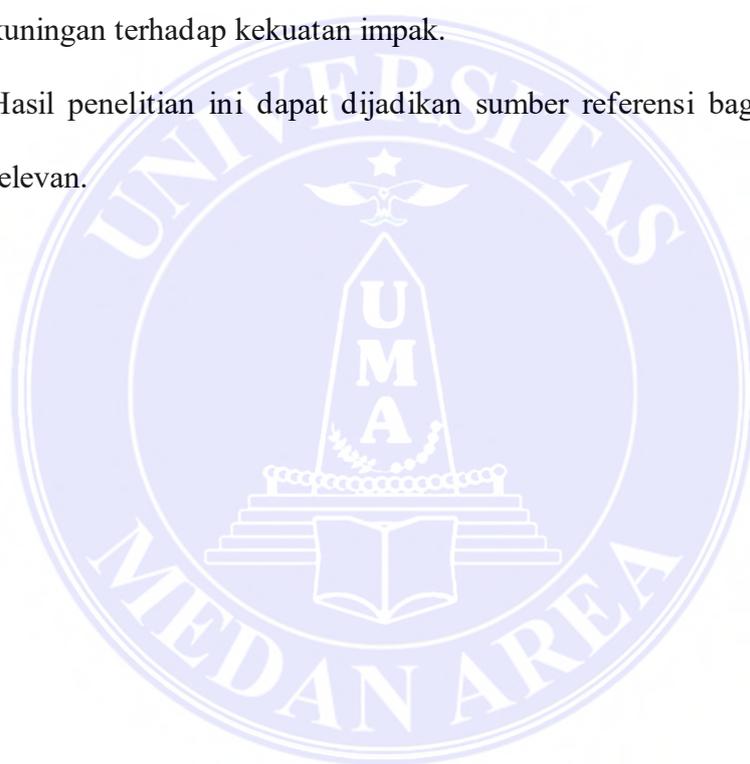
Hipotesis dari penelitian ini adalah :

- a) Penempaan pada alumunium yang diperkuat bahan kuningan berpengaruh positif terhadap kekuatan impak.
- b) Terdapat pengaruh yang signifikan antara penempaan bahan alumunium terhadap kekuatan impak.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca tentang analisis pengaruh proses penempaan pada bahan Alumunium yang dipengaruhi bahan kuningan terhadap kekuatan impact.
- b) Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai grafik kekuatan Alumunium yang dilapisi oleh bahan kuningan terhadap kekuatan impact.
- c) Hasil penelitian ini dapat dijadikan sumber referensi bagi peneliti yang relevan.

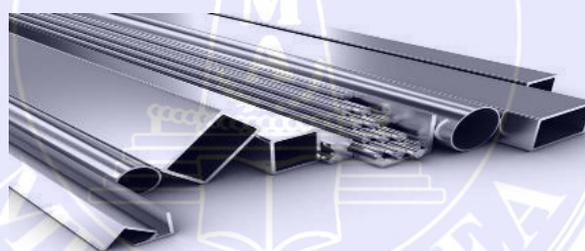


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Alumunium

Alumunium adalah salah satu jenis material yang banyak ditemui dan didapat disekitar kita seperti kaleng minuman, komponen mobil, pesawat, kereta api dan perabot rumah tangga. Alumunium yang sudah terbuang atau tidak terpakai berpotensi untuk dimanfaatkan kembali, sehingga beberapa pihak mencoba melakukan berbagai percobaan untuk mencari solusi memanfaatkan limbah dari Alumunium. Mendaur ulang sampah Alumunium dapat menghemat 5% dari energi dari pada memproduksi Alumunium dari bauksit, seperti diketahui terdapat jenis-jenis limbah organik dan non organik, limbah Alumunium termasuk jenis limbah non organik yang tidak bisa diuraikan oleh proses biologis.



Gambar 2.1. Profil bahan Alumunium

Banyak industri yang berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan kebutuhan yang ada, sehingga banyak teknologi yang digunakan dengan memanfaatkan dan mengkonversi sumber daya mineral, salah satunya yaitu industri logam Alumunium. Industri biasanya menggunakan bahan Alumunium sebagai bahan utama maupun bahan tambah untuk setiap produknya. Alumunium sendiri banyak digunakan dalam semua sektor utama industri seperti angkutan, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, peralatan rumah tangga serta peralatan mekanis.

Kelebihan Alumunium adalah dapat didaur ulang tanpa mengalami penurunan kualitas yang berarti mengalami banyak perubahan struktur mikro dan proses daur ulang ini dapat dilakukan berkali-kali. Mendaur ulang Alumunium hanya mengkonsumsi energi sebanyak 5% dari yang digunakan dalam memproduksi Alumunium dan bahan tambang (Pratiwi dan Paramitha 2013).

Alumunium murni memiliki sifat cor yang baik dan sifat mekanik yang jelek sehingga perlu adanya campuran dengan bahan lain. Dengan adanya penambahan kuningan pada Alumunium diperoleh data bahwa spesimen alumunium mengalami peningkatan kekerasan setelah dilakukan penambahan unsur kuningan (Nugroho 2015).

#### 2.2.1. Klasifikasi Alumunium Berdasarkan Komposisi Kimia

##### 1. Alumunium Murni

- a) Alumunium 99%: Mengandung Alumunium dengan kemurnian tinggi (99% atau lebih).
- b) Digunakan dalam aplikasi yang memerlukan konduktivitas listrik tinggi dan ketahanan korosi yang baik.

##### 2. Paduan Alumunium

- a) Paduan Seri 1xxx: Paduan dengan Alumunium murni (minimum 99% Al), memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan korosi yang sangat baik.
- b) Paduan Seri 2xxx: Paduan Alumunium-alumunium, dikenal dengan kekuatan tinggi, biasanya digunakan dalam industri kedirgantaraan.
- c) Paduan Seri 3xxx: Paduan Alumunium-mangan, memiliki ketahanan korosi yang baik dan digunakan dalam industri makanan dan minuman.

- d) Paduan Seri 4xxx: Paduan Alumunium-silikon, digunakan dalam aplikasi pengelasan dan pengecoran.
- e) Paduan Seri 5xxx: Paduan Alumunium-magnesium, memiliki kekuatan sedang hingga tinggi dan ketahanan korosi yang baik, sering digunakan dalam industri kelautan.
- f) Paduan Seri 6xxx: Paduan Alumunium-magnesium-silikon, dapat diolah dengan panas, memiliki sifat mekanik yang baik dan ketahanan korosi, umum digunakan dalam konstruksi.
- g) Paduan Seri 7xxx: Paduan Alumunium-seng, dikenal dengan kekuatan tinggi, biasanya digunakan dalam industri kedirgantaraan dan otomotif.
- h) Paduan Seri 8xxx: Paduan Alumunium dengan elemen lain (seperti lithium), digunakan dalam aplikasi khusus.

#### 2.2.2. Klasifikasi Alumunium Berdasarkan Bentuk Fisik

1. Lembaran Alumunium (Sheet): Digunakan dalam pembuatan panel, bodi kendaraan, dan penutup bangunan.
2. Pelat Alumunium (Plate): Digunakan dalam aplikasi struktural dan manufaktur.
3. Foil Alumunium: Digunakan dalam pengemasan makanan, farmasi, dan produk konsumen.
4. Batangan Alumunium (Bar): Digunakan dalam konstruksi dan industri manufaktur.
5. Pipa Alumunium: Digunakan dalam sistem perpipaan, rangka, dan aplikasi konstruksi.

6. Rofil Alumunium: Digunakan dalam pembuatan rangka pintu dan jendela, serta struktur bangunan.

Dalam bentuk senyawa, Alumunium juga digunakan dalam berbagai aplikasi. Salah satu senyawa Alumunium yang paling umum adalah Alumunium oksida ( $Al_2O_3$ ), yang digunakan dalam produksi keramik, kaca tahan panas, dan sebagai bahan baku dalam industri metalurgi.

### 2.2.3. Sifat - Sifat Alumunium

Alumunium adalah logam ringan dengan kepadatan sekitar  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , yang membuatnya lebih ringan dibandingkan banyak logam lainnya seperti baja atau alumunium. Kekuatan tarik Alumunium bervariasi tergantung pada paduan dan perlakuan panasnya. Kekuatan tarik umumnya berada di kisaran 70 hingga 700 MPa. Alumunium memiliki titik lebur relatif rendah sekitar  $660^\circ\text{C}$ , yang memungkinkan proses pengecoran dan daur ulang yang lebih mudah. Sifat – sifat mekanik Alumunium dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1. Sifat Mekanik Alumunium Yang biasa dipakai

Base metal	Yeild strength		Tensile strength		% Elongation in 2 inch (50 mm) Gage length	Hardness (BHN)
	psi	Mpa	psi	Mpa		
Alumunium	5	34	13	89.6	35	23

## 2.2 Kuningan

Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari alumunium dan seng. Kuningan biasanya diklarifikasikan sebagai paduan alumunium. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga cahaya kuning. Kuningan lebih kuat dan lebih keras dari pada alumunium, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah untuk dibentuk dalam berbagai bentuk.

Kuningan bertindak sebagai konduktor panas yang baik dan umumnya tahan terhadap korosi dan air garam (Jaya 2019). Seng merupakan unsur pertama golongan 12 pada tabel periodik. Seng (bahasa belanda zink). Zink atau timah sari adalah unsur kimia dengan lambang kimia Zn, bernomor atom 30 dan massa atom relatif 65,39. Seng merupakan unsur paling melimpah ke-24 dikerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Biji seng yang paling banyak ditambang adalah sfalerit (seng sulfida). Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut (Jaya 2019).

Kuningan juga memiliki kelebihan dan kekurangan, berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan dari kuningan. Kelebihan kuningan adalah ketahanan terhadap korosi, kekerasan yang tinggi, konduktifitas termal dan listrik yang tinggi. Kekurangan kuningan adalah kuningan mempunyai kekuatan tarik yang rendah, biaya relatif tinggi dan ketika berada dalam lingkungan bersuhu dingin, kuningan memiliki keterbatasan dalam kemampuan kerjanya.

### 2.2.1. Klasifikasi Kuningan Berdasarkan Kandungan Seng

#### a) Kuningan Alfa ( $\alpha$ )

Mengandung hingga 36% seng. Bersifat lunak, mudah dibentuk dan ditempa. Digunakan untuk aplikasi yang memerlukan tingkat keuletan yang tinggi dan kemampuan kerja dingin, seperti dalam pembuatan barang-barang dekoratif, kunci, dan aksesoris pipa.

#### b) Kuningan Beta ( $\beta$ )

Mengandung 36% hingga 45% seng. Lebih keras dan lebih kuat daripada kuningan alfa, tetapi kurang mudah dibentuk. Cocok untuk aplikasi yang

memerlukan kekuatan yang lebih tinggi, seperti katup, fitting pipa, dan roda gigi.

c) Kuningan Alfa-Beta ( $\alpha$ - $\beta$ ) atau Duplex

Mengandung antara 45% hingga 50% seng. Kombinasi dari kedua fasa alfa dan beta, memiliki sifat mekanik dan keuletan yang seimbang. Digunakan dalam aplikasi seperti komponen mesin dan fitting pipa yang memerlukan kombinasi kekuatan dan kemampuan bentuk.

2.2.2. Klasifikasi Kuningan Berdasarkan Unsur Paduan Tambahan

a) Kuningan Timbal (*Lead Brass*)

Mengandung tambahan timbal (Pb) untuk meningkatkan machinability. Digunakan dalam pembuatan komponen mesin presisi seperti sekrup, mur, dan katup.

b) Kuningan Arsenik (*Arsenical Brass*)

Mengandung tambahan arsenik (As) untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Digunakan dalam aplikasi kelautan dan pipa yang terpapar air.

c) Kuningan Alumunium (*Alumunium Brass*)

Mengandung tambahan Alumunium (Al) untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kekuatan. Digunakan dalam aplikasi kelautan dan pembuatan kondensor dan penukar panas.

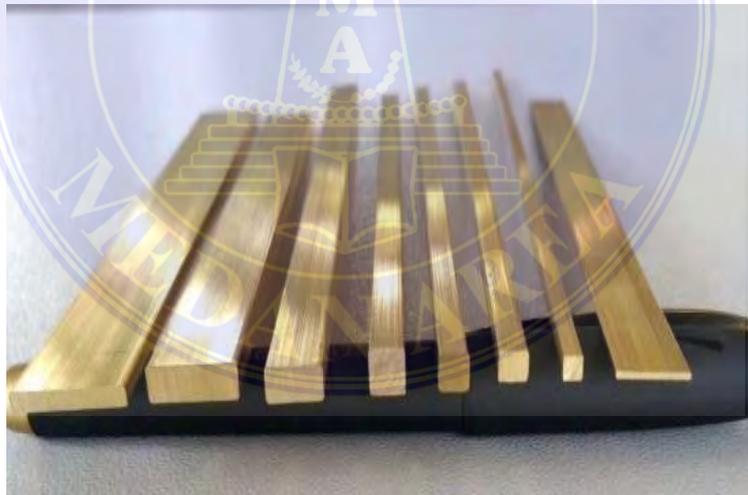
d) Kuningan Silikon (*Silicon Brass*)

Mengandung tambahan silikon (Si) untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan kemampuan pengecoran. Digunakan dalam pembuatan komponen cor seperti fitting pipa dan katup.

e) Kuningan Mangan (*Manganese Brass*)

Mengandung tambahan mangan (Mn) untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan aus. Digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan aus tinggi seperti roda gigi dan bantalan.

Kuningan yang memiliki kualitas terbaik adalah jenis *catride brass* dengan komposisi 70% alumunium dan 30% seng. Campuran ini menghasilkan kuningan yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Penting untuk mencatat bahwa paduan seng dalam kuningan sebaiknya tidak melebihi 35% agar dapat mempertahankan sifatnya pada suhu dingin. Oleh karena itu, kuningan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti tangki kendaraan, fitting lampu, amunisi, senjata api dan termasuk piston skep pada komponen karburator sepeda motor (Purwanti dan Sutjahjo 2015). Bahan kuningan ini ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Profil bahan Kuningan

### 2.2.3. Sifat – Sifat Kuningan

Kuningan memiliki kekuatan tarik dan kekerasan yang bervariasi tergantung pada komposisi dan perlakuan panasnya. Umumnya, kuningan lebih kuat daripada alumunium murni, terutama pada paduan dengan kandungan seng

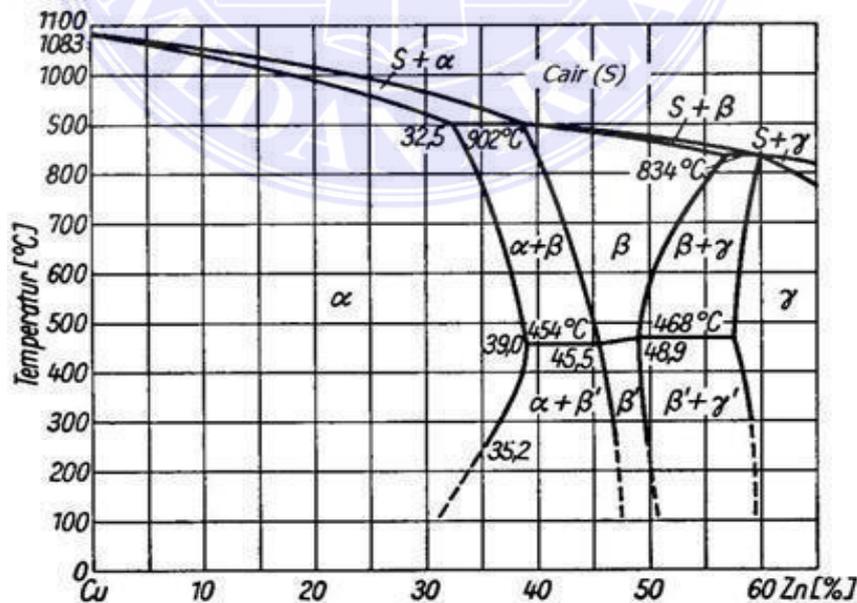
yang lebih tinggi.

Kuningan memiliki sifat *machinability* yang sangat baik, artinya mudah dipotong, dibor, dan dibentuk menggunakan alat pemesinan. Paduan kuningan dengan tambahan timbal (*Lead Brass*) memiliki *machinability* yang lebih baik lagi. Sifat mekanik kuningan dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2. Sifat Mekanik Kuningan Yang biasa dipakai

Base metal	Yeild strength		Tensile strength		% Elongation in 2 inch (50 mm) Gage length	Hardness (BHN)
	psi	Mpa	psi	Mpa		
Brass	20	206	62	427	47	89

Paduan kuningan dipengaruhi oleh jumlah presentase kandungan alumunium dan seng pada paduannya. Hal ini dapat dilihat melalui diagram fasa paduan kuningan (Gambar 2.2). Pada diagram fasa paduan kuningan fasa a dengan unit sel FCC cenderung memiliki sifat ulet serta cukup memiliki keternesinan yang baik sedangkan fasa b dengan unit sel BCC cenderung lebih keras dan lebih kuat dari fasa a, namun memiliki sifat yang getas (mudah hancur).



Gambar 2.3. Diagram Fasa Cu-Zn

Kuningan dengan fasa campuran a/b, kandungan Zn digunakan untuk memperkirakan sifat-sifat mekanik bahan, mengingat kandungan Zn sangat menentukan presentasi fasa-fasa yang terdapat di dalamnya, dimana pada kandungan sampai 39% ternyata struktur masih terdiri dari a seluruhnya sedangkan setelah 46,5% struktur terdiri dari b seluruhnya. Kuningan pada dasarnya adalah paduan tembaga dengan seng sebagai paduan utama. Biasanya kandungan seng yang terkandung mencapai 40% (Chijiwa dan Surdia 1982).

### 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. 2023). Proses forging dapat meningkatkan kekuatan impak material logam. Peningkatan kekuatan impak 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

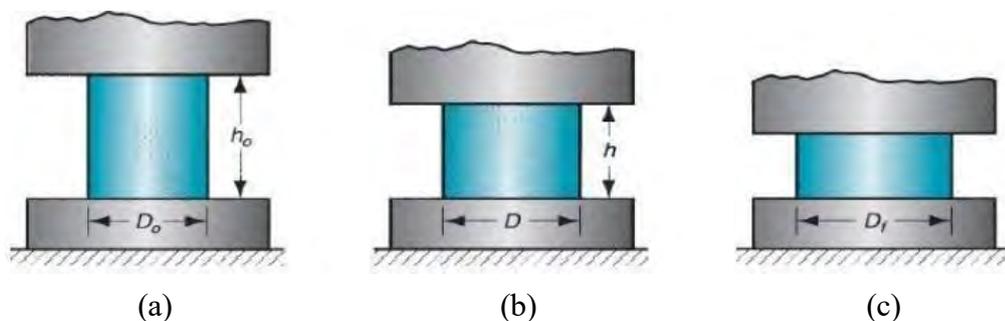
pada jenis pembentukan benda kerja dan jenis alat tempa yang digunakan. Berikut ini merupakan klasifikasi dan jenis penempaan.

### 2.3.1. Penempaan Berdasarkan Jenis Pembentukan Benda Kerja

#### 1. *Open Die Forging*

*Open Die Forging* adalah penempaan cetakan terbuka, dimana 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* ialah kompresi *Billet* antara dua cetakan datar. Proses ini juga dikenal sebagai *Upsetting* atau *Upset Forging*. Pada proses *Open Die Forging* tinggi benda kerja akan berkurang karena tekanan yang diberikan sehingga diameter benda kerja menjadi bertambah.

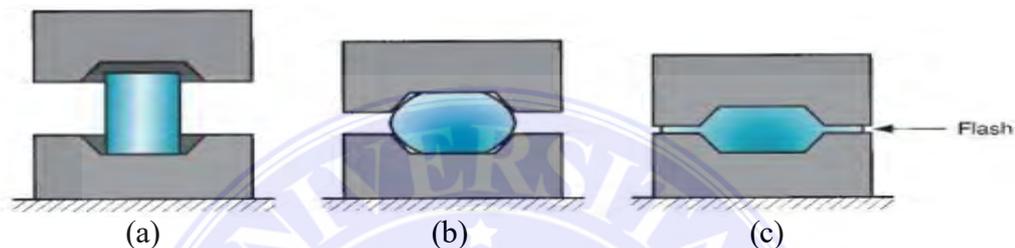
Dalam kondisi ideal, dimana tidak ada gesekan antara *Billet* dan permukaan cetakan, maka akan terjadi deformasi homogen. Dalam hal ini, diameter bertambah secara seragam sepanjang ketinggiannya. Dalam operasi penempaan yang sebenarnya (aktual), deformasi tidak akan terjadi secara homogen karena adanya gesekan pada antarmuka *Die-Billet*. Gesekan ini berlawanan dengan pergerakan *Billet* di permukaan cetakan *Billet*. Selain itu temperatur juga akan mempengaruhi fenomena tersebut. Ilustrasi *Open Die Forging* (penempaan cetakan terbuka) dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Ilustrasi *Open Die Forging*, a. Fullering, b. Edging, c. Cogging.

## 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.



Gambar 2.5. Ilustrasi Closed Die Forging, a. Kotak awal benda kerja, b. Terjadi penekanan c. Tahap akhir.

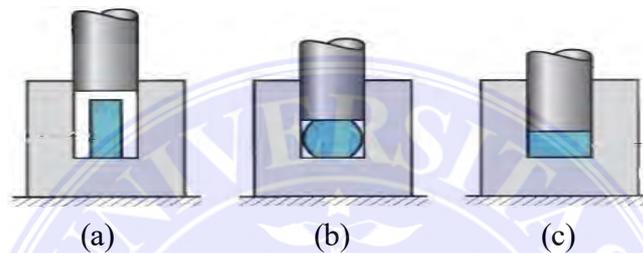
Pada proses *Closed Die Forging* dibutuhkan tekanan yang lebih besar daripada *Open Die Forging* karena adanya hambatan aliran logam oleh bentuk cetakan. Selain itu dibutuhkan juga akurasi geometri yang tinggi antara kedua cetakan agar tidak terjadi kebocoran logam saat dikompresi. Proses *Closed Die 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 2.5.

## 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 2.6.



Gambar 2.6. Flashless Forging, a. Sebelum terjadi kontak, b. Tekanan pada benda kerja, c. Akhir penempaan.

### 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 presisi produk.

#### 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.

### 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*.

### 4. Penempaan Tekan / Penempaan Pres

Penempaan tekan / penempaan pres 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 / pres 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.

### 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 Kekuatan Impak

Uji impak adalah metode pengujian yang berguna untuk mengukur ketangguhan bahan logam dan komposit. Pengujian ini melibatkan pemberian beban tumbuk pada sampel bahan dan mengukur energi yang diperlukan untuk mematahkannya. Standar ASTM E 23 digunakan sebagai acuan untuk pengujian ini. Terdapat dua metode pengujian yang umum digunakan, yaitu metode *Charpy* dan *Izod* (Harijono dan Purwanto 2017).

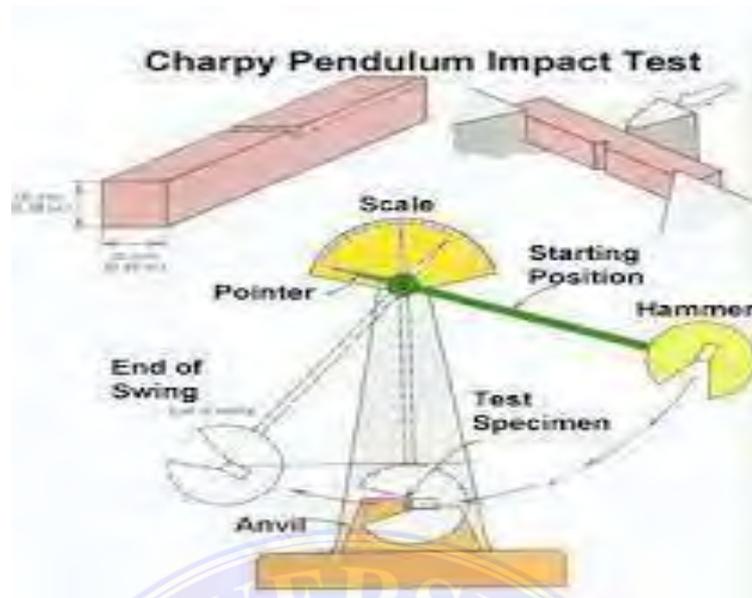
Hasil uji impak tidak dapat dibaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil dari pengujian impak tersebut, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya. Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan pepatahan rapuh pada logam serta bahan lainnya. Metode yang menjadi standar untuk menguji impak ini ada 2, yaitu uji impak *Charpy* dan *Izod*. Metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *Izod* lebih sering digunakan disebagian besar dataran Eropa (Handoyo 2013).

### 1. Uji Impak *Charpy*

Uji impak *Charpy* adalah standa pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Metode ini banyak dipakai untuk industri dengan keselamatan yang kritis, karena mudah untuk dipersiapkan dan dilakukan. Kemudian hasil pengujian dapat diperoleh dengan cepat dan murah (Handoyo, 2013).

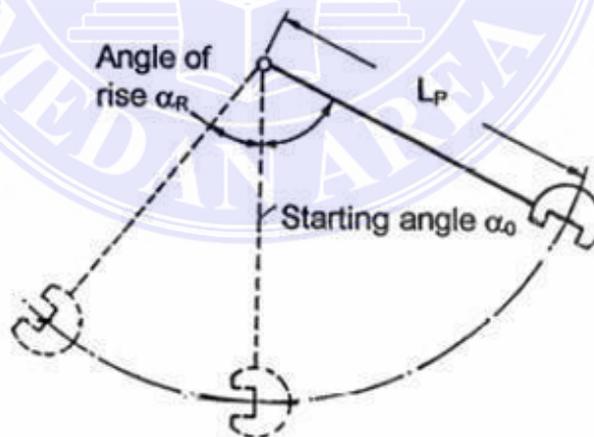
Kelebihan dari metode *Charpy* adalah: Hasil pengujian lebih akurat, harga alat lebih murah, pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan, waktu pengujian lebih singkat dan menghasilkan tegangan seragam disepanjang penampang. Namun metode *Charpy* memiliki kelemahan yaitu: Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal, spesimen dapat bergeser dari tumpuan karena tidak dicekam dan pengujian hanya dilakukan pada spesimen kecil.

Uji impak *Charpy* dapat diterapkan pada berbagai jenis material, seperti logam, keramik, polimer komposit dan lainnya. 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 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak

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 2.8 berikut.



Gambar 2.8. 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, dkk 2017).

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

Dimana:

- W = Energi Impak (*Joule*)
- $m_p$  = Massa Pendulum (Kg)
- g = Gravitasi Bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- $L_p$  = Panjang lengan pendulum (m)
- $\alpha_r$  = Sudut pendulum setelah mematahkan spesimen (°)
- $\alpha_0$  = Sudut pemukulan awal (°)

Energi potensial yang memiliki pendulum dari posisi awal sebelum memukul benda uji sampai posisi akhir setelah memukul benda uji disebut sebagai energi impak. Taktik bertujuan agar spesimen benda uji bisa patah karena takik adalah posisi paling lemah sebagai awal patahan. Rumus harga impak dinyatakan sebagai berikut :

$$a_{2N} = \frac{W_c}{b.h} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

- $a_{cN}$  = Kekuatan impak (J/mm<sup>2</sup>)
- $W_c$  = Energi (*Joule*)
- b.h = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

## 2. Uji Izod

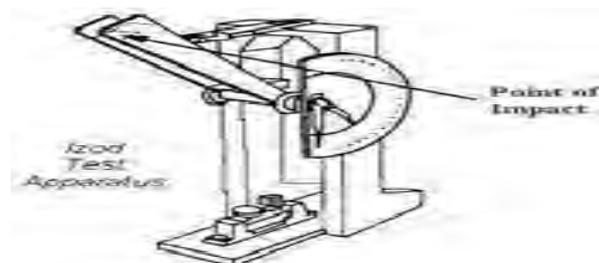
Impak *Izod* adalah sebuah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur ketangguhan atau kekuatan suatu bahan terhadap pukulan atau

benturan. Metode ini dinamakan sesuai dengan nama George *Izod*, seorang insinyur Inggris yang mengembangkan metode tersebut pada tahun 1903.

Uji *Izod* mirip dengan uji *Charpy*, tetapi perbedaannya terletak pada bentuk palu yang digunakan. Pada uji *Izod*, sampel ditempatkan secara horizontal dan palu memiliki bentuk pendek yang melekat pada ujungnya. Sampel kemudian dipukul pada bagian ujung yang tidak diperkuat, dan energi yang diserap oleh material diukur (Porawati2018).

Berikut ini adalah beberapa kelebihan dan kekurangan dari pengujian *Izod*: Metode *Izod* memiliki kelebihan sebagai berikut: Tumbukan pada takikan dan spesimen tepat karena salah satu ujungnya dicekam, sehingga tidak mudah bergeser dan dapat menggunakan spesimen berukuran lebih besar. Metode *Izod* memiliki kekurangan sebagai berikut: Biaya pengujian lebih tinggi, pembebanan hanya dilakukan pada satu ujungnya yang menghasilkan hasil yang kurang optimal, kualitas perpatahan yang kurang baik, proses pengujian memakan waktu yang cukup lama karena melibatkan prosedur yang kompleks.

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 relevan. Ilustrasi alat uji impact metode *Izod* ditampilkan pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.9. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak *Izod*

### 3. Uji Impak jatuh Bebas

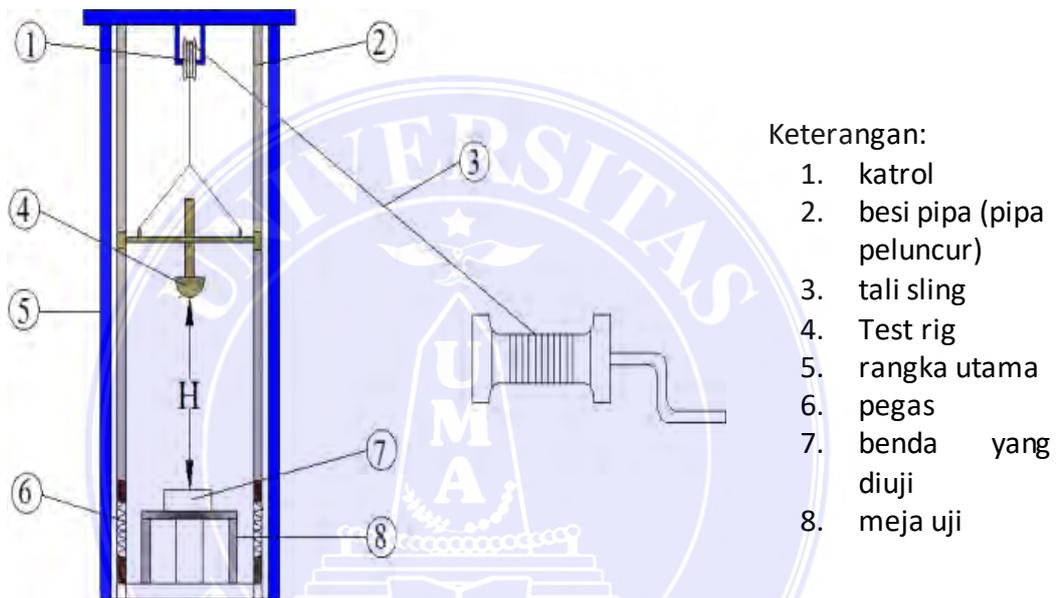
Pengujian impak jatuh bebas dapat didefinisikan sebagai kondisi di mana suatu benda jatuh secara bebas tanpa penambahan kecepatan selama proses jatuh. Jika benda tersebut jatuh ke bumi dari ketinggian yang relatif kecil dibandingkan dengan jari-jari bumi, maka benda akan mengalami penambahan kecepatan ke arah bawah dengan nilai yang sama setiap detik. Sebaliknya, jika benda ditembakkan ke atas, kecepatannya akan berkurang dengan nilai yang sama setiap detik, dan perlambatannya ke atas akan seragam (Ali 2015).

Alat uji *Impact* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur keuletan bahan atau kegetasan bahan terhadap bahan tiba-tiba. Secara umum penggunaan alat uji impak jatuh bebas di dunia industri memiliki beberapa pengujian helm sebelum helm tersebut diproduksi (Mahyunis dkk.2022)

Uji impak jatuh bebas mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari uji ini adalah: Mudah dilakukan dan tidak memerlukan peralatan yang rumit, mampu mensimulasikan kondisi beban impak yang terjadi pada aplikasi nyata, seperti pada kendaraan atau struktur; dan dapat menguji berbagai jenis material, baik logam maupun non logam. Ada pun kelemahan uji impak jatuh bebas adalah: Memiliki variasi yang besar karena dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti ketinggian jauh, massa beban, bentuk spesimen, dan kondisi lingkungan, dan tidak dapat memberikan informasi tentang mekanisme patahan atau deformasi yang terjadi pada material.

Uji impak jatuh bebas dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh pembebanan impak terhadap energi yang diserap, harga impak, momentum, implus dan ketangguhan pada material.

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.



Gambar 2.10. Uji impak jatuh bebas

#### 4. Uji Impak *Air Gun Compressor*

Uji impak *Air Gun Compressor* adalah metode pengujian dinamis untuk menentukan kekuatan dan keretakan bahan akibat beban impak 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 impak (*Striker*), batang penerus (impak *Bar*) dan batang uji (Spesimen). Uji impak ini dilakukan dengan memberikan beban impak pada salah satu ujung batang impak, 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 (Haiyum 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.



Gambar 2.11. Uji impak *Air Gun Compressor*

## 2.5 Jenis Patahan

Patahan pada material terjadi ketika material tidak mampu menahan beban atau gaya yang diberikan padanya, sehingga mengalami keretakan atau pecah. Patahan dapat terjadi baik pada material logam maupun non-logam, dan seringkali disebabkan oleh kelebihan beban atau stress yang melebihi batas kekuatan material tersebut. Patahan pada material dapat memiliki dampak yang serius terhadap kekuatan, keamanan, dan keandalan suatu struktur atau produk. Oleh karena itu, pemahaman tentang sifat patahan material dan pengujian yang tepat

sangat penting dalam proses desain, produksi, dan penggunaan material. Menurut (Jalil, dkk 2017) ada 3 bentuk patahan pada uji impak jenis, yaitu:

1. Patahan Getas.

Patahan pada benda yang getas, seperti besi tuang, dapat dianalisis dengan ciri-ciri sebagai berikut: permukaannya rata dan mengkilap, potongan dapat dipasang kembali, keretakan tidak disertai dengan deformasi yang signifikan, dan memiliki nilai pukulan takik yang rendah.



Gambar 2.12. Patahan Getas

2. Patahan Liat.

Patahan yang terjadi pada benda yang lunak, seperti baja lunak dan aluminium, dapat dianalisis dengan ciri-ciri sebagai berikut: permukaannya tidak rata, buram, dan berserat, pasangan potongan tidak bisa dipasang kembali, terdapat deformasi pada keretakan, dan memiliki nilai pukulan takik yang tinggi.



Gambar 2.13. Patahan liat

### 3. Patahan Campuran.

Patahan pada bahan yang memiliki kekuatan yang cukup namun juga ulet, seperti pada baja temper, memiliki ciri-ciri sebagai berikut: merupakan kombinasi antara patahan getas dan patahan liat, permukaannya terlihat kusam dan sedikit berserat, potongan masih dapat dipasang kembali, dan terdapat deformasi pada retakan.



Gambar 2.14. Patahan Campuran

## BAB III

### METODE 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 penelitian diawali 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 – Tahun 2024							
	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Jul	Sep	Nov
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. Alumunium

Alumunium adalah salah satu jenis material yang banyak ditemui dan didapat disekitar kita seperti kaleng minuman, komponen mobil, pesawat, kereta api dan perabot rumah tangga. Industri biasanya menggunakan bahan Alumunium sebagai bahan utama maupun bahan tambah untuk setiap produknya. Bahan Alumunium dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1. Bahan Alumunium

#### 2. Bahan Kuningan

Kuningan ialah logam yang merupakan campuran dari alumunium dan seng. Kuningan lebih kuat dan lebih keras dari pada alumunium, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Bahan kuningan dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2. Bahan Kuningan

### 3.2.2. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Alat uji impak metode *Charpy*

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui kekuatan dari spesimen yang akan di uji dengan alat impak *Charpy*. Alat uji impak metode *Charpy* dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3. Alat uji impak metode *charpy*

#### 2. Tungku

Tungku digunakan dalam penelitian ini untuk memanaskan spesimen yang akan diuji. Tungku dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4. Tungku

### 3. Landasan Besi

Landasan besi digunakan sebagai alat penempaan untuk menahan spesimen yang akan dipukul dengan palu. Landasan besi dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5. 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 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6. Palu

### 5. Thermogun

*Thermogun* digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur suhu spesimen.

*Thermogun* dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7. Thermogun

## 6. Lem Perekat

Lem perekat digunakan untuk merekatkan spesimen alumunium dengan spesimen kuningan. Lem dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini.

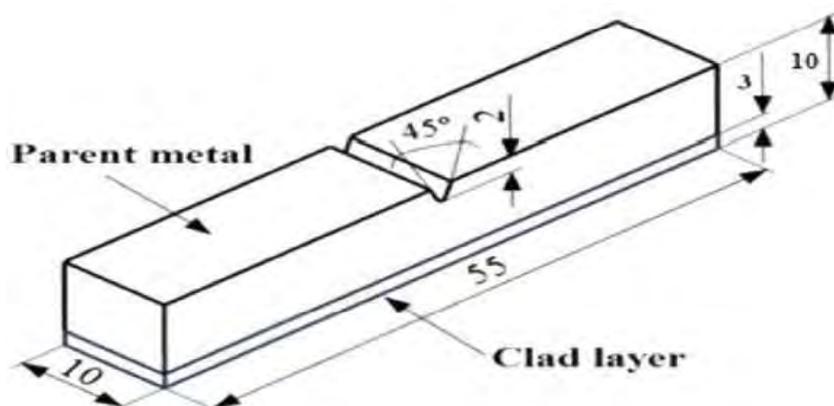


Gambar 3.8. Lem Perekat

### 3.3 Metode Penelitian

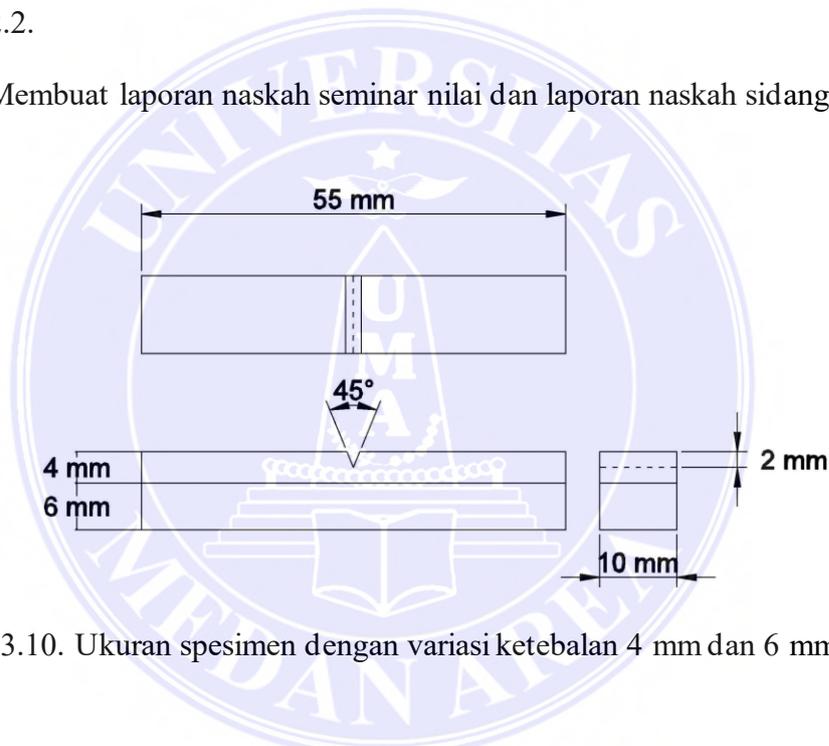
Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam menjalani penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

1. Meninjau secara cermat literatur yang berasal dari jurnal maupun buku.
2. Melakukan survei ketersediaan peralatan uji impak *Charpy* di Kota Medan.
3. Membeli spesimen atau bahan uji berupa bahan Alumunium dan kuningan di Kota Medan.
4. Membuat spesimen uji material sesuai standar ASTM E23 menggunakan bahan alumunium dan kuningan dengan variasi penempaan.

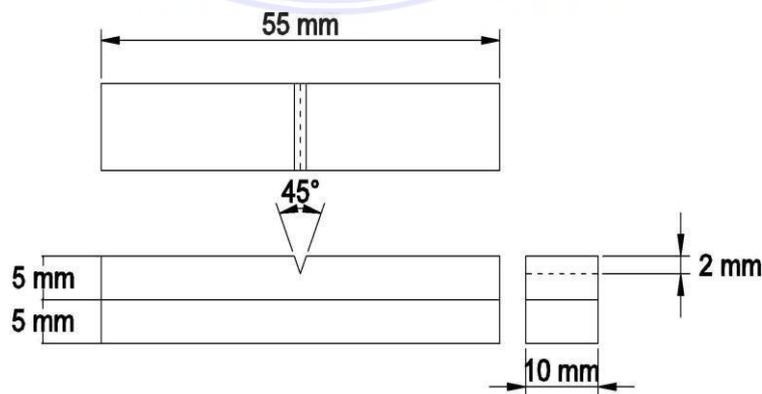


Gambar 3.9. Ukuran Standart Spesimen ASTM E23

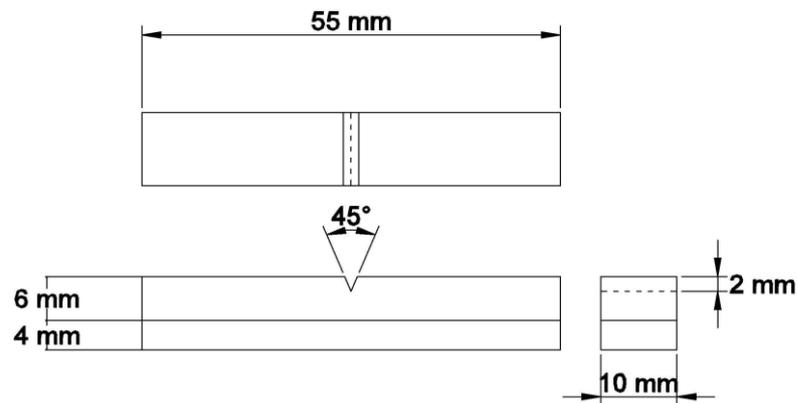
5. Melakukan pengujian pada spesimen material dengan adanya pengaruh suhu yang diberikan sebelum pengujian alat uji impak *Charpy* di Laboratorium Metalurgi Universitas Medan Area.
6. Mencatat serta menganalisis hasil dari pengujian pada alat uji impak metode *Charpy* yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi Universitas Medan Area.
7. Melakukan analisis data hasil pengujian menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2.
8. Membuat laporan naskah seminar nilai dan laporan naskah sidang sarjana.



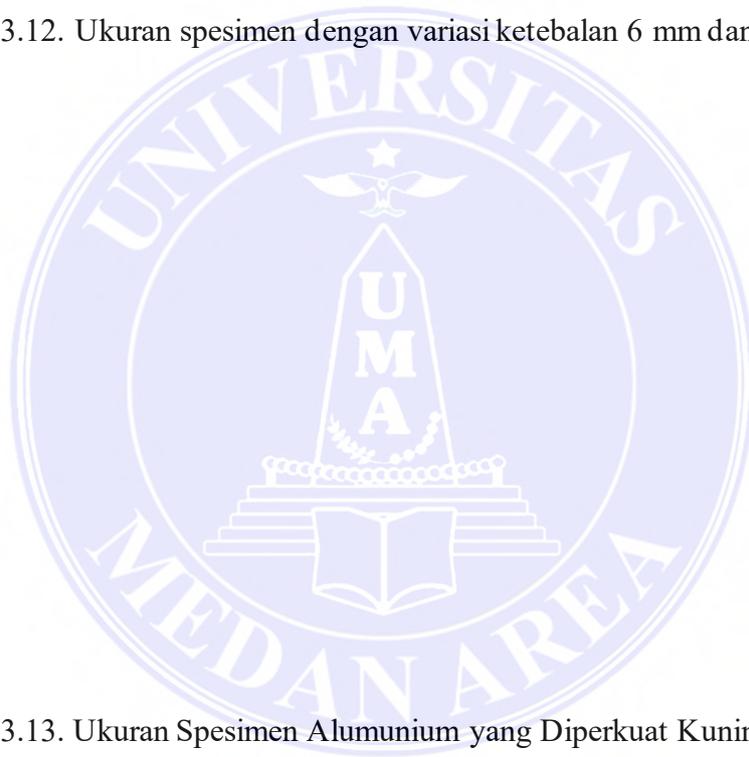
Gambar 3.10. Ukuran spesimen dengan variasi ketebalan 4 mm dan 6 mm



Gambar 3.11. Ukuran spesimen dengan variasi ketebalan 5 mm dan 5 mm



Gambar 3.12. Ukuran spesimen dengan variasi ketebalan 6 mm dan 4 mm



Gambar 3.13. Ukuran Spesimen Alumunium yang Diperkuat Kuningan

Gambar 3.10 hingga 3.12 merupakan ukuran spesimen dari berbagai sudut pandang, gambar 3.13 merupakan alumunium yang diperkuat kuningan.

### 3.4 Populasi dan Sampel

Pada penelitian ini untuk populasi dan sampel menggunakan bahan Alumunium yang diperkuat bahan kuningan.

Tabel 3.2. Data Populasi dan Sampel

No	Bahan Material	l	b	t
		mm	mm	mm
1	Alumunium	55	10	4
	Kuningan	55	10	6
2	Alumunium	55	10	5
	Kuningan	55	10	5
3	Alumunium	55	10	6
	Kuningan	55	10	4

### 3.5 Prosedur Kerja

#### 3.4.1. Prosedur Pembuatan Spesimen

##### 1. Pembuatan Spesimen Alumunium

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 Alumunium yang dikemudian dipotong dan ditempa sampai ukuran spesimen Alumunium menjadi Panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tebal 10 mm kemudian diberi takik (*notch*) dengan bentuk V dengan kedalaman 2 mm, yang ditunjukkan pada gambar 3.14 sampai dengan gambar 3.19.



Gambar 3.14. Diagram alir pembuatan spesimen Alumunium

Sebelum dilakukan proses penempaan, bahan alumunium harus dihitung terlebih dahulu ukuran awalnya. Ukuran awal bahan alumunium yaitu panjang 80 mm, lebar 12 mm, dan tebal 12 mm. Proses pengukuran bahan alumunium sebelum ditempa dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. Pengukuran bahan alumunium sebelum ditempa

Setelah bahan alumunium sudah diukur, kemudian dimasukkan kedalam tungku untuk memanaskan bahan alumunium agar lebih mudah (lunak) saat proses pemukulan dilakukan. pemanasan bahan alumunium didalam tungku dpat dilihat pada gambar 3.16.

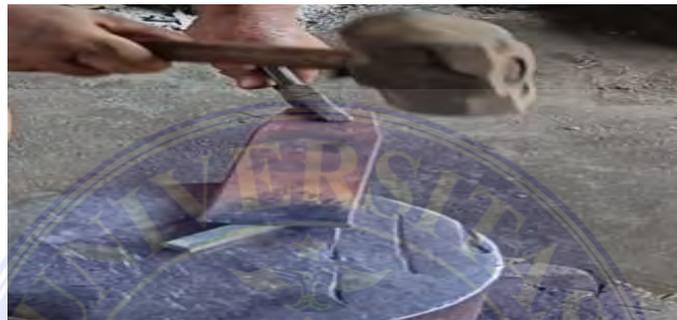


Gambar 3.16. Proses pemanasan bahan alumunium ditungku

Setelah bahan alumunium dipanaskan didalam tungku, harus dilakukan pengukuran suhu pada bahan alumunium terlebih dahulu. Suhu alumunium harus mencapai 380°C sebelum dilakukan proses pemukulan. Pengukuran suhu dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. Pengukuran suhu sebelum alumunium dipukul



Gambar 3.18. Proses pemukulan bahan alumunium

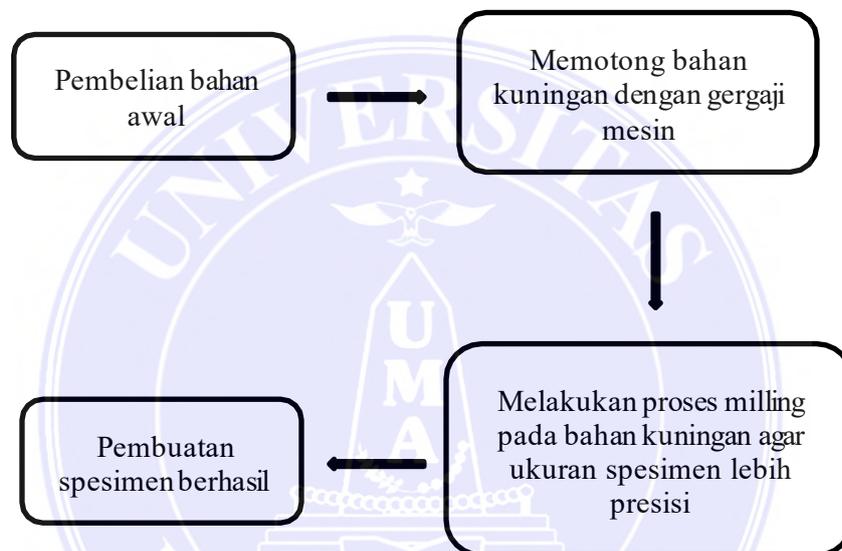
Proses pemukulan bahan alumunium dilakukan supaya terjadi pengurangan dari ketebalan alumunium dan struktur bahan alumunium menjadi lebih padat seperti yang dilihat pada gambar 3.18. Dalam proses pemukulan alumunium, alumunium dipukul dengan palu sebanyak kurang lebih 17 kali pukulan hingga alumunium mencapai ketebalan yang diinginkan. Setelah pemukulan bahan alumunium selesai dilakukan, bahan alumunium diukur kembali untuk melihat perubahan ukuran dari sebelum ditempa dan sesudah ditempa. Pengukuran bahan alumunium setelah ditempa dapat dilihat pada gambar 3.19.



Gambar 3.19. Pengukuran bahan alumunium setelah ditempa

## 2. Pembuatan Spesimen Kuningan

Pembuatan spesimen dilakukan dengan beberapa tahapan, dimana pembelian material awal Panjang 250 mm, lebar 80 mm, tebal 4 mm, 5 mm dan 6 mm untuk bahan kuningan dipotong sampai ukuran spesimen menjadi Panjang 55 mm, lebar 10 mm, dan tebal 5 mm setiap spesimen. Proses pembauatn spesimen kuningan dapat dilihat pada gambar 3.20 hingga gambar 3.22.



Gambar 3.20. Diagram alir pembuatan spesimen kuningan



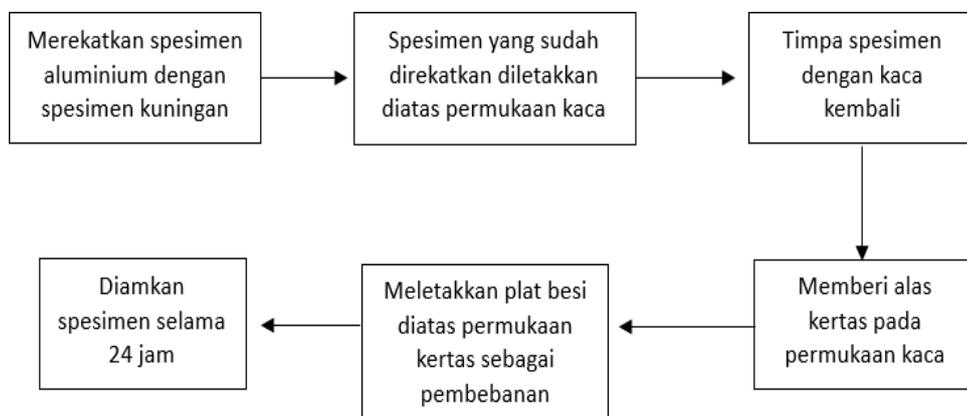
Gambar 3.21. Bahan kuningan yang belum dipotong



Gambar 3.22. Bahan Kuningan yang sudah dilakukan proses pemotongan dan milling

### 3. Penggabungan spesimen

Penggabungan (*Joint*) spesimen Aluminium dengan spesimen Kuningan 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 Aluminium dan Kuningan. 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 3.23 hingga 3.26.



Gambar 3.23. Diagram alir penggabungan spesimen



Gambar 3.24. Tampak atas spesimen yang sudah digabung tetapi belum diberi beban plat



Gambar 3.25. Tampak atas spesimen yang sudah diberi beban plat besi dengan berat 5 kg

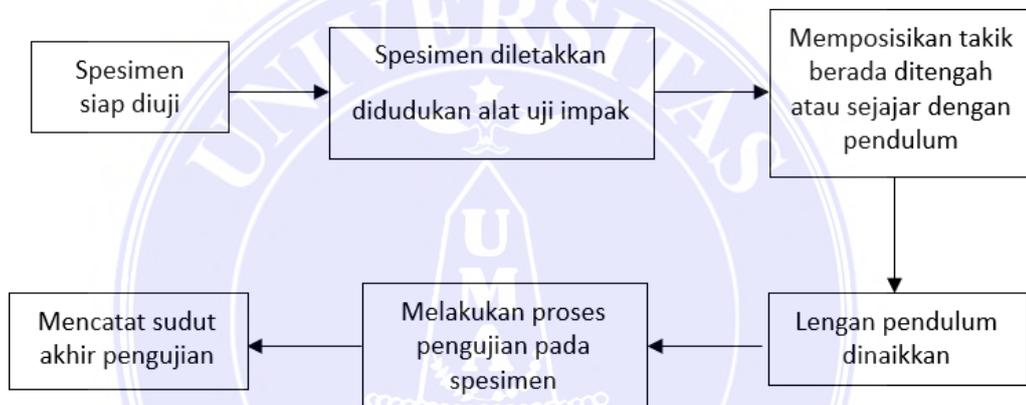


Gambar 3.26. Tampak samping spesimen yang diberi beban plat besi dengan berat 5 kg

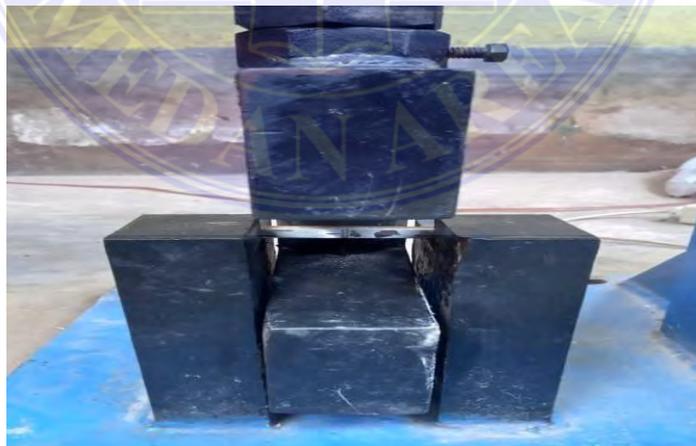
Proses penggabungan spesimen ini dilakukan selama 24 jam untuk mendapatkan daya rekat yang maksimal antar spesimen aluminium dengan spesimen kuningan.

### 3.4.2. 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 3.27 hingga gambar 3.31 setelah mendapatkan hasil sudut akhir maka perhitungan atau analisis untuk setiap variasi penguat dapat dilakukan.

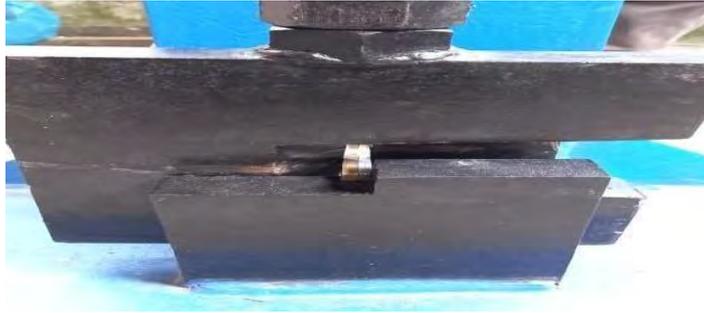


Gambar 3.27. Diagram alir proses pengujian



Gambar 3.28. Posisi spesimen yang akan diuji

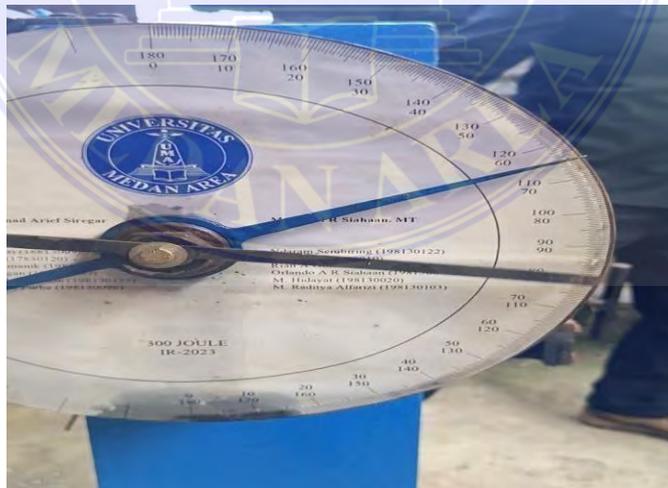
Posisi takik (*notch*) saat melakukan pengujian harus membelakangi pendulum. Posisi ini berlaku untuk semua spesimen yang akan diuji.



Gambar 3.29. Tampak samping spesimen yang akan diuji



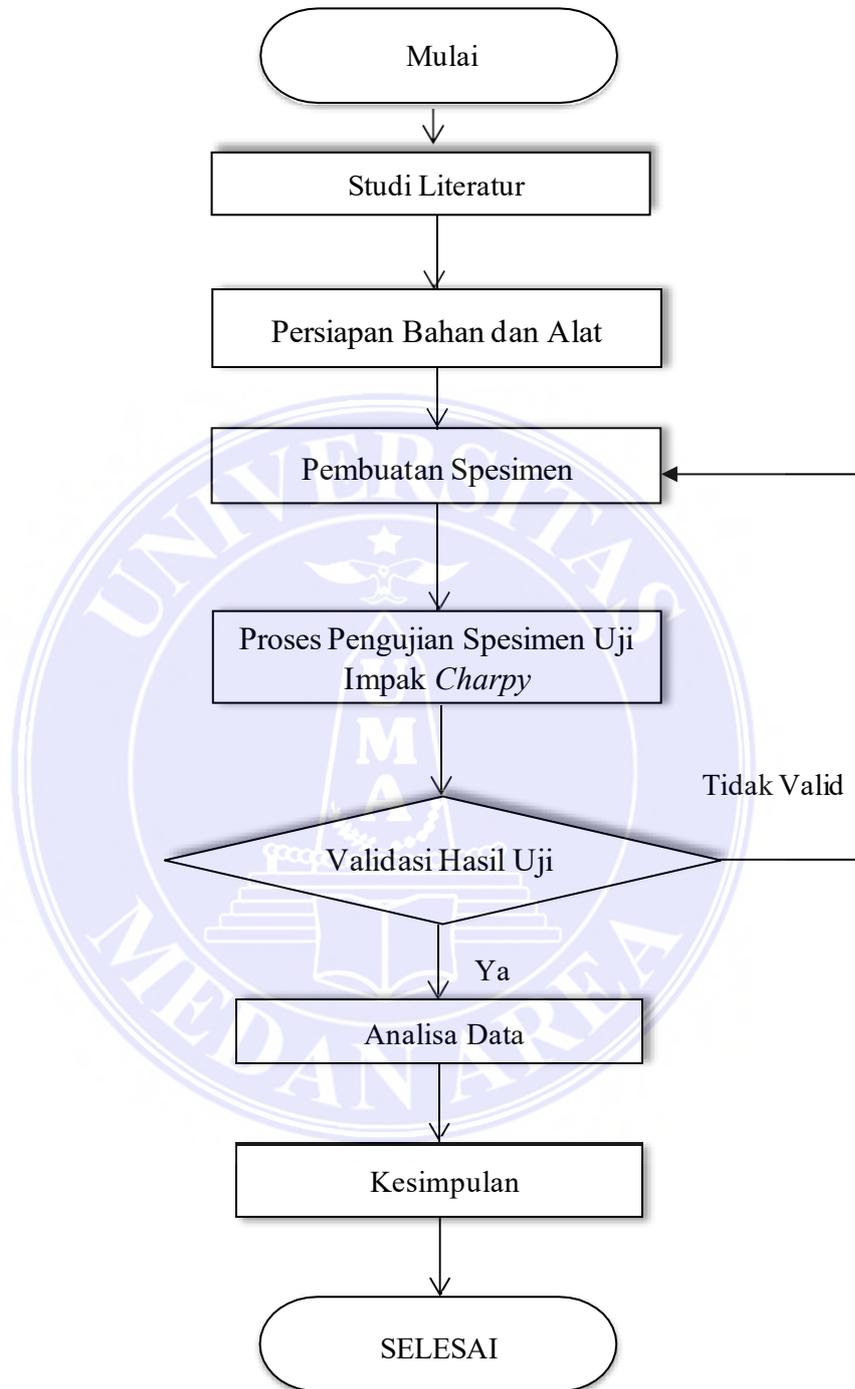
Gambar 3.30. Lengan pendulum dinaikkan hingga mencapai sudut  $147^{\circ}$



Gambar 3.31. Posisi sudut akhir setelah pengujian spesimen

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

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.32. 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 impak *charpy* memiliki ukuran panjang 55 mm, lebar 10 mm, tebal 10 mm, *notch* dengan sudut  $45^\circ$ , kedalaman *notch* 2 mm, dan radius pusat 0,2mm sesuai dengan dimensi ASTM-E23 yang diperkuat dengan kuningan dan telah berhasil untuk dibuat dengan jumlah spesimen sebanyak 9 pcs.
2. Hasil pengujian pada spesimen alumunium yang diperkuat dengan kuningan menunjukkan bahwa variasi ke-1 memiliki hasil yang lebih baik dalam menahan impak (benturan) daripada variasi ke-2 dan ke-3. Hal ini dapat dilihat dari sudut akhir terendah sebesar  $90^\circ$  yang didapat pada spesimen alumunium yang diperkuat kuningan pada variasi ke-1, sementara sudut akhir tertinggi sebesar  $109^\circ$  ditemukan pada variasi ke-3. Kesimpulannya, semakin kecil nilai sudut akhir, maka spesimen tersebut lebih kuat dalam menahan impak.
3. Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil rata-rata energi impak pada alumunium yang diperkuat kuningan memiliki nilai 127,91 *joule*, 115,24 *joule* dan 92,27 *joule*. Demikian pula hasil rata-rata kekuatan impak pada alumunium yang diperkuat kuningan memiliki nilai 1,60 J/mm<sup>2</sup>, 1,44 J/mm<sup>2</sup> dan 1,15 J/mm<sup>2</sup>.

## 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

- Ali, Syurkarni. 2015. "Pengaruh Beban Impak Jatuh Bebas Pada Produk Inovasi Parking Bumper Dari Bahan Polymeric Foam Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)." *Jurnal Mekanova* 1(1).
- Chijiwa, Kenji, dan Tata Surdia. 1982. *Teknik pengecoran logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- "Designation: E23 – 16b Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1." [www.astm.org](http://www.astm.org),.
- Haiyum, Muhd. 2010. "Identifikasi Kekuatan dan Keretakan Komposit Gypsum Terhadap Beban Impak Kecepatan Tinggi." *Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe*: 876–84.
- Handoyo, Yopi. 2013. *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*.
- Harijono, dan Hengki Purwanto. 2017. "Seminar Nasional Hasil Penelitian." : 978–602.
- Jalil, Saifuddin A., Zulkifli, dan Tri Rahayu. 2017. "Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan."
- Jaya, Sigma Indra. 2019. "Pengaruh Lama Proses Pelapisan Hard Chrome Pada Pelat Kuningan Terhadap Ketebalan, Kekerasan, dan foto Mikro Lapisan."
- Mahyunis, Nurdiana, Sari Farah Dina, dan Ahmad Wito Pirmansyah. 2022. "Desain dan Pembuatan Alat Uji Impak Jatuh Bebas model Drop Weight Test Design and manufacture of Free Fall Impact Test Equipment with

- Drop Weight Test model.” *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1(1): 41–50.
- Mizhar, Susri, Suherman, dan Rahmad Fauzi. 2016. 0 Teknik Mesin ITM Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (AL-SI) Dengan Metode *Lost Foam Casting*. Medan.
- 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. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme>.
- Porawati, Hilda. 2018. 1 Jurnal Inovator *Analisis Alat Uji Impak Metode Izod pada Bengkel Politeknik Jambi*. [www.ojs.politeknikjambi.ac.id/index/inovator](http://www.ojs.politeknikjambi.ac.id/index/inovator).
- Purwanti, Alvia Dwi, dan Dwi Heru Sutjahjo. 2015. “Pengukuran Laju Korosi Kuningan C26800 Pada Pelampung Karburator Dengan Media Premium Dan Pertamina Menggunakan Metode ASTM D-130.” *Jurnal Teknik Mesin* 1: 36–42.
- 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.
- Siahaan, M. Yusuf Rahmansyah, Rakhmad Arief Siregar, Faisal Amri Tanjung, dan Agung Saktiawan. 2023. “Analisis Karakteristik Bahan Aluminium Akibat Pengaruh Proses Penempaan Terhadap Kekuatan Impak.” *Jurnal*

*Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi* 6(1).

<https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/13709>.

Syarief, Akhmad. 2008. 9 *Analisa Kekerasan Pisau Potong (Parang) Pada Proses Penempaan (Forging)*.

