

**ANALISIS FRAKTUR MATERIAL GYPSUM BERBENTUK
CAKRAM PADA TAKIK U AKIBAT BEBAN DINAMIS**

SKRIPSI

**OLEH:
RYAN SUHARDA
208130004**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

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 15/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)15/4/26

HALAMAN JUDUL

ANALISIS FRAKTUR MATERIAL GYPSUM BERBENTUK CAKRAM PADA TAKIK U AKIBAT BEBAN DINAMIS

SKRIPSI

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

OLEH:

RYAN SUHARDA
208130004

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025

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 15/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)15/4/26

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Fraktur Material Gypsum Berbentuk Cakram Pada Takik U Akibat Beban Dinamis
Nama Mahasiswa : Ryan Suharda
NIM : 208130004
Fakultas : Teknik Mesin

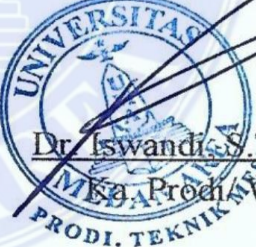
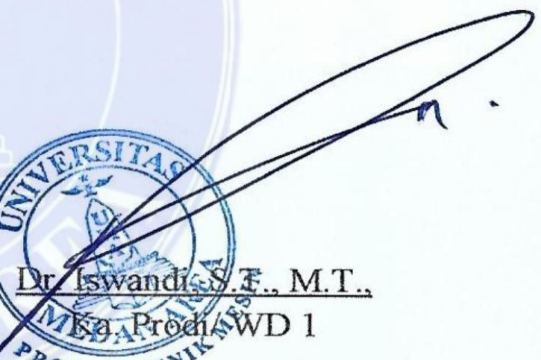
Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, ST., M.Eng.
Pembimbing



Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T.,
Dekan



Dr. Iswandi, S.E., M.T.,
Ks. Prodi. WD 1

Tanggal Lulus : Selasa, 5 Agustus 2025

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 sorma, 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, 23 Mei 2025



Ryan

Ryan Suharda
208130004

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

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

Nama : Ryan Suharda
NPM : 208130004
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Fraktur Material Gypsum Berbentuk Cakram Pada Takik U Akibat Beban Dinamis”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 23 Mei 2025

Yang menyatakan



(Ryan Suharda)

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah (1) membuat spesimen uji impak batang material gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis. (2) menguji spesimen uji impak batang material gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis. (3) analisis entitas fraktur material gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Setelah pembuatan spesimen kemudian dilakukan uji statis dan uji dinamis. Alat uji yang digunakan yaitu mesin hopkinson, cetakan cakram, sekrap gypsum, timbangan digital, baskom plastik dan bahan baku yang digunakan gypsum, serta air. Hasil penelitian ini ialah spesimen yang telah dikerjakan ialah takik dengan kedalaman 10 mm, takik dengan kedalaman 15 mm dan takik dengan kedalaman 20 mm. Hasil nilai tegangan (σ) takik dengan kedalaman 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 10.45 MPa, takik dengan kedalaman 15 mm sebesar 3.91 MPa, takik dengan kedalaman 20 mm sebesar 3.32 MPa serta nilai tegangan (σ) takik dengan kedalaman 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 0.4 MPa, takik dengan kedalaman 15 mm sebesar 0.3 MPa, takik dengan kedalaman 20 mm sebesar 0.2 MPa. Hasil nilai regangan (%) takik dengan kedalaman 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 0.06%, takik dengan kedalaman 15 mm sebesar 0.065%, takik dengan kedalaman 20 mm sebesar 0.058% serta nilai regangan (%) takik dengan kedalaman 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 0.054%, takik dengan kedalaman 15 mm sebesar 0.057%, takik dengan kedalaman 20 mm sebesar 0.06%.

Kata kunci : gypsum; takik U; uji impak; beban dinamis; fraktur.

ABSTRACT

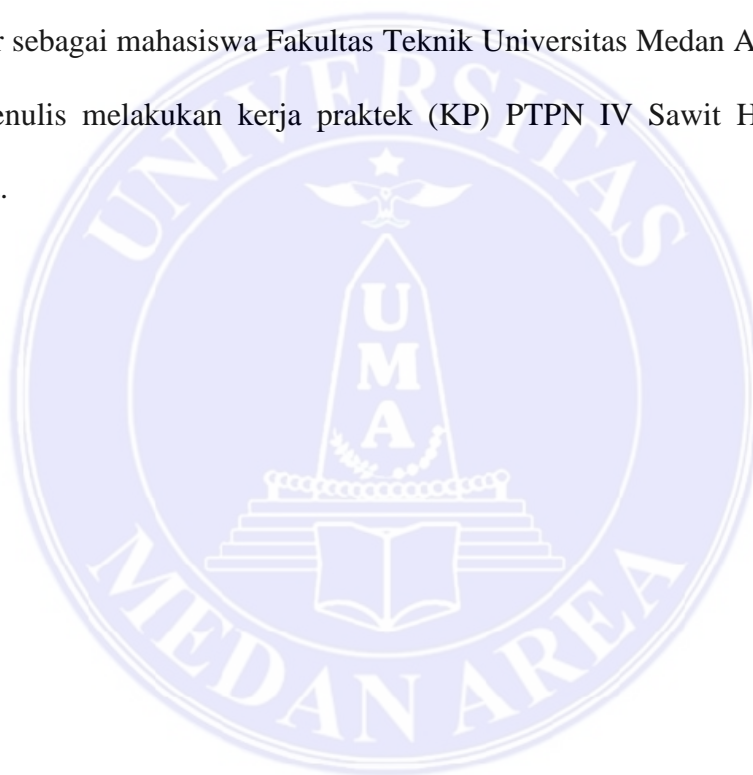
The objectives of this study are (1) to make a disc-shaped gypsum rod impact test specimen on the U notch due to dynamic load. (2) test the impact test specimen of disc-shaped gypsum material rods on the U notch due to dynamic loads. (3) analysis of the fracture entity of disc-shaped gypsum material on the U notch due to dynamic load. The method used in this study is an experimental method. After making the specimen, static tests and dynamic tests were carried out. The test equipment used was a Hopkinson machine, disc mold, gypsum flakes, digital scales, plastic basins and raw materials used gypsum, and water. The result of this study is that the specimens that have been worked on are notches with a depth of 10 mm, notches with a depth of 15 mm and notches with a depth of 20 mm. The result was a voltage value (σ) of a notch with a depth of 10 mm based on a static test of 10.45 MPa, a notch with a depth of 15 mm of 3.91 MPa, a notch with a depth of 20 mm of 3.32 MPa and a voltage value (σ) of a notch with a depth of 10 mm based on a static test of 0.4 MPa, a notch with a depth of 15 mm of 0.3 MPa, a notch with a depth of 20 mm of 0.2 MPa. The result of the strain value (%) of notches with a depth of 10 mm based on a static test of 0.06%, notches with a depth of 15 mm of 0.065%, notches with a depth of 20 mm of 0.058% and strain values (%) of notches with a depth of 10 mm based on static tests of 0.054%, notches with a depth of 15 mm of 0.057%, notches with a depth of 20 mm of 0.06%.

Keyword: gypsum; U notch; impact test; dynamic load; fracture.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Dusun 5 Pasar 2 Desa Pematang Johar, Kecamatan Labuhan Deli, Kabupaten Deli Serdang, pada tanggal 10 juli 2002, dari ayah bernama Hartoyo. dan nama ibu Almarhum Miswati. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara.

Tahun 2020 penulis lulus dari SMK Sinar Husni dan pada tahun 2020 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2020 penulis melakukan kerja praktek (KP) PTPN IV Sawit Hulu Kabupaten Langkat.




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 “Fraktur Material Gypsum” dan dengan judul skripsi “Analisis Fraktur Material Gypsum Berbentuk Cakram Pada Takik U Akibat Beban Dinamis”.

Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Dr. Eng. Rachmad Arief Siregar, ST., M.Eng. selaku pembimbing 1 yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim dan teman-teman seangkatan 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/tesis ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi/tesis ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Ryan Suharda)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/ SKRIPSI/ TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
RIWAYAT HIDUP.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Material	6
2.2 Gypsum	13
2.3 Uji Impak.....	16
2.4 Beban Dinamis	23
2.5 Jenis- jenis Patahan Material	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Bahan dan Alat	29
3.3 Metode Penelitian.....	35
3.4 Populasi dan Sampel	37
3.5 Prosedur Kerja.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Hasil.....	42
4.2 Pembahasan	48
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Simpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi kimia dari gypsum	15
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	29
Tabel 3.2. Spesifikasi Tepung Gypsum	30
Tabel 3.3. Populasi dan Sampel Spesimen.....	38
Tabel 4.1. Hasil Uji Statis	53
Tabel 4.2. Hasil Uji Dinamis.....	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi Material	6
Gambar 2.2. Bentuk Logam	8
Gambar 2.3. Besi Beton (Logam Ferro).....	10
Gambar 2.4. Tembaga (Logam non Ferro)	11
Gambar 2.5. Serat alam (Bahan Alam)	12
Gambar 2.6. Serat E- Glass (Bahan Tiruan)	13
Gambar 2.7. Papan Gypsum	14
Gambar 2.8. Ilustrasi Skematik Pengujian Impak Charpy	17
Gambar 2.9. Metode Uji Impak Izod	19
Gambar 2.10. Konsep Metode Alat Uji Impak Jatuh Bebas	21
Gambar 2.11. Split-Hopkinson Pressure Bar	23
Gambar 2.12. Patah Ulet	27
Gambar 2.13. Patah Getas	28
Gambar 2.14. Patah Lelah	28
Gambar 3.1. Bubuk Gypsum.....	30
Gambar 3.2. Air dalam wadah	31
Gambar 3.3. Mesin Hopkinson	32
Gambar 3.4. Uji Statis	32
Gambar 3.5. Cetakan Cakram	33
Gambar 3.6. Sekrap Gypsum	34
Gambar 3.7. Timbangan Digital	35
Gambar 3.8. Wadah/ Baskom Plastik	35
Gambar 3.9. Diagram Alir Pembuatan Spesimen	38
Gambar 3.10. Dimensi Spesimen	40
Gambar 3.11. Diagram Alir Pengujian	40
Gambar 3.12. Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 4.1. Takik U dengan Ukuran 10 mm	45
Gambar 4.2. Takik U dengan Ukuran 15 mm	46
Gambar 4.3. Takik U dengan Ukuran 20 mm	47
Gambar 4.4. Spesimen Setelah Pengujian	48
Gambar 4.5. Grafik tegangan uji tekan statis	52
Gambar 4.6. Grafik regangan uji tekan statis	52
Gambar 4.7. Grafik modulus elastisitas uji tekan statis	53
Gambar 4.8. Grafik K1C uji tekan statis	54
Gambar 4.9. Grafik tegangan uji mesin hopkinson	58
Gambar 4.10. Grafik regangan uji mesin hopkinson	59
Gambar 4.11. Grafik K1C uji dinamis	60

DAFTAR NOTASI

σ_{max}	= Tegangan (MPa)
F_{max}	= Beban/ Gaya (N)
A	= Luas Penampang (m ²)
ϵ	= Regangan (%)
ΔL	= Pertambahan panjang (mm)
L_0	= Panjang mula- mula (mm)
E	= Modulus elastisitas (MPa)
σ	= Tegangan (MPa)
ϵ	= Regangan (%)
K_{Ic}	= <i>Fracture toughness</i> (Mpa/m)
γ	= Faktor geometri, tergantung bentuk takik
σ	= Tegangan pada material (Mpa)
α	= Panjang takik efektif (m)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fraktur adalah istilah yang mengacu pada hilangnya sebagian atau seluruh struktural korteks tulang, dengan derajat cedera pada jaringan lunak di sekitarnya, yang umumnya disebabkan oleh trauma atau kekuatan fisik (Zaky Ramdhani et al., 2024). Sedangkan Fraktur material menciptakan dua permukaan tempat ikatan molekul terputus. Ukurannya ditentukan oleh nilai tegangan kritis, saat material hancur. Material merupakan sesuatu yang disusun atau dibuat oleh bahan baku yang diolah dan dapat diperoleh dari pembelian lokal, impor, atau pengolahan yang dilakukan sendiri (Rizqy et al., 2021). Material merupakan sesuatu yang disusun atau dibuat oleh bahan baku. Material adalah bahan baku yang diproduksi perusahaan industri dan dapat diperoleh dari pembelian lokal, impor atau pengolahan yang dilakukan sendiri (Watanabe et al., 2014).

Limbah gypsum merupakan sisa hasil dari industri pembuatan profil gypsum yang digunakan sebagai hiasan bangunan. Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya (Maryati & Apriyanti, 2016). Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Dalam ilmu kimia gypsum disebut sebagai Kalsium Sulfat Hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Septi, Yusufno et al., 2023). Gypsum mengandung material yang termasuk kedalam mineral sulfat (SO_4) yang berada di bumi dan nilainya sangat menguntungkan, sehingga banyak ketersediaannya dan mudah didapat.

Cakram arti ataupun istilah yang memiliki makna yang sama dengan cakram. Arti lainnya dari cakram adalah piringan hitam. Cakram merupakan benda berbentuk piringan yang memiliki bingkai yang terbuat dari sabuk besi. Cakram biasanya terbuat dari plastik, kayu, fiberglass, serat karbon atau logam dengan pinggiran pada pembatasnya dan inti logam. Dasar teori pengujian impak merupakan pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut (Pet & Putra, 2017). Uji impak di gunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba –tiba (beban impak). Menurut *American Society for Testing and Material (ASTM) E23*, spesimen logam uji impak memiliki dimensi panjang, kedalaman dan takik standar. Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut (Majanasatra, 2013).

Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan – lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Ukuran standar yang digunakan untuk bentuk batang adalah luas penampang 10 x 10 mm dan panjang 75 mm, takik V dengan sudut 45^o dan kedalaman takik 2 mm. Takik (Fan et al., 2023). (*Notch*) yang umumnya digunakan pada uji impak dapat berupa takik-V, takik-U atau takik Lubang kunci (Key-hole), tetapi tipe takik pada metode izod hanya berlaku untuk model takik V. Beban dinamis adalah beban yang intensitasnya berubah ubah berdasarkan fungsi waktu, sehingga dapat dikatakan besarnya beban merupakan fungsi waktu (Febry Bayu Aji, 2023). Secara sederhana dinamis dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur.

Beban dinamis biasanya ditimbulkan oleh gaya gempa, angin yang tidak tetap, ledakan, mesin torak atau kejut (*impact*) akibat beban bergerak (Zain et al., 2024). Beban dinamis dapat berupa variasi besarannya (*magnitude*), arahnya (*direction*) atau posisinya (*point of application*) berubah terhadap waktu. Analisis jika dalam bahasa Indonesia diartikan sebagai penyelidikan terhadap suatu peristiwa (karangan, perbuatan dan lain sebagainya) untuk mengetahui sebenarnya (sebab-musabahnya, duduk perkaranya dan sebagainya) (Yadi, 2018). Analisis adalah aktivitas yang memuat sejumlah kegiatan seperti mengurai, membedakan, memilah sesuatu untuk digolongkan dan dikelompokkan kembali menurut kriteria tertentu kemudian dicari kaitannya dan ditafsir maknanya (Darmawati, 2023).

Analisis dapat juga diartikan sebagai usaha dalam mengamati sesuatu secara mendetail dengan cara menguraikan komponen-komponen pembentuknya atau menyusun komponen tersebut untuk dikaji lebih lanjut. Penelitian ini mendasarkan dari penelitian sebelumnya yakni penelitian (H.N. Jambak et al., 2023) dalam pembuatan spesimen berdasarkan ASTM 264 bahan Teflon, McBlue, PU, dan penelitian (Saktiawan et al., 2023) dengan pembuatan spesimen logam tembaga dan kuningan berdasarkan standart ASTM E23. Berdasarkan latar belakang diatas maka skripsi ini membahas tentang analisis fraktur material gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah sangat luas pencakupannya dan perlu untuk dirumuskan apa saja yang akan dibahas. Berdasarkan uraian dari latar belakang, perumusan masalah dalam penelitian ini ialah:

- a. Bagaimana metode pengujian fraktur material Gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis?
- b. Bagaimana mendapatkan nilai beban dinamis pada pengujian fraktur material Gypsum berbentuk cakram pada takik U?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Membuat spesimen uji impak batang material Gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.
- b. Menguji spesimen uji impak batang material Gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.
- c. Analisis entitas fraktur material Gypsum berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.

1.4 Hipotesis Penelitian

Material Gypsum berbentuk cakram dengan takik U yang diuji menggunakan mesin Hopkinson akan menunjukkan karakteristik fraktur di bawah beban dinamis. Material Gypsum akan menunjukkan ketahanan yang lebih rendah terhadap fraktur, dengan retakan yang lebih cepat berkembang dari takik U.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini berkenaan memberikan manfaat ilmiah dan manfaat praktis. Yakni:

1.5.1 Manfaat Ilmiah

- a. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca tentang uji impak terhadap material gipsium berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.
- b. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai bagaimana material gipsium bereaksi terhadap beban dinamis dapat membantu dalam pengembangan material yang lebih kuat dan tahan lama.
- c. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap ilmu material dan mekanika fraktur. Hasil dan temuan penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam pendidikan tinggi, membantu siswa dan peneliti lain memahami fenomena kompleks yang terkait dengan fraktur material gipsium.

1.5.2 Manfaat Praktis

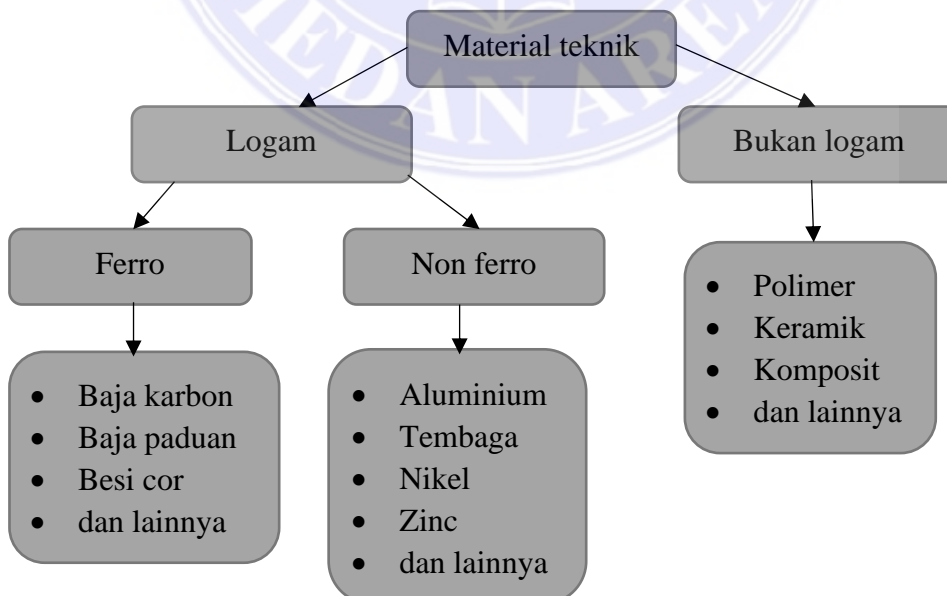
- a. Penelitian ini dapat digunakan untuk mengembangkan komponen yang lebih handal dan efisien, seperti sensor, komponen mesin, dan pelindung termal. Dengan memahami mekanisme fraktur, industri dapat memproduksi komponen yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem, meningkatkan keselamatan dan umur pakai produk.
- b. Hasil Penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang bagaimana proses manufaktur, seperti sintering, mempengaruhi sifat mekanik material gipsium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material

Material merupakan sesuatu yang disusun atau dibuat oleh bahan baku yang diolah dan dapat diperoleh dari pembelian lokal, impor, atau pengolahan yang dilakukan sendiri (Rizqy et al., 2021). Material dijadikan dari beberapa bahan sebagai suatu produk atau barang jadi yang lebih bermanfaat dan memiliki sifat mekanik yang berbeda. Material adalah sesuatu yang disusun atau dibuat oleh bahan baku yang diproduksi perusahaan industri dan dapat diperoleh dari pembelian lokal, impor atau pengolahan yang dilakukan sendiri (Watanabe et al., 2014). Material salah satu bahan dasar dalam suatu pembuatan bahan baru atau bahan jadi yang dapat dipasarkan dan digunakan dalam masyarakat. Material dapat digolongkan dalam dua kelompok yaitu material logam dan material bukan logam. Berikut klasifikasi material dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi Material

Material teknik merupakan material yang memiliki sifat atau ciri khas yang dapat dimanfaatkan oleh para ahli teknik dalam memperlancar melaksanakan tugas dan rekayasa keteknikan, pada garis besarnya material dibagi menjadi bahan logam seperti logam besi (*ferrous*) dan logam non besi (*non ferrous*), dan bahan non logam seperti plastic, keramik, komposit dan lain- lain (Watanabe et al., 2014). Teknik material merupakan hubungan antara struktur, sifat pemrosesan, dan kinerja material, serta mengeksploitasi hubungan tersebut sehingga dapat menghasilkan Suatu produk yang memiliki sifat yang sesuai dengan desain. Struktur material meliputi benda-benda buatan manusia, seperti bangunan dan mesin; dan benda-benda alami, seperti organisme biologis, mineral, dan bahan kimia. Struktur dari sebuah material umumnya berhubungan dengan susunan dari komponen-komponen dalam suatu material.

Struktur suatu material dalam skala atom terdiri atas atom, elektron, atau molekul. Struktur ini sering disebut sebagai struktur nano (*nano structures*). Struktur jika skala yang lebih besar, struktur material terdiri atas gabungan kelompok - kelompok atom, umumnya disebut sebagai struktur mikroskopik (*microscopic structures*), yang berarti dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Terakhir, struktur mikroskopik akan bergabung menjadi sesuatu yang dapat dilihat oleh mata telanjang, yang disebut sebagai struktur makroskopik (*macroscopic structures*). Jarak antar partikel yang renggang dan bentuknya dapat berubah-ubah menyesuaikan tempat atau wadahnya. Contoh material teknik berwujud Cair dan adapun material teknik berwujud gas memiliki jarak antar partikel yang sangat

renggang sehingga dapat bergerak sangat bebas (Sulis Dri Handono dan, 2020).

Adapun pembagian material sebagai berikut.

2.1.1 Material Logam

Logam didefinisikan sebagai unsur kimia yang mempunyai sifat- sifat yakni liat, kuat, keras, penghantar listrik dan penghantar panas, mengkilap dan pada umumnya mempunyai titik cair yang tinggi (Samlawi, 2016). Tahapan utama dalam proses pembuatan logam mencakup ekstraksi, peleburan, pemurnian, dan pembentukan logam. Bahan logam mencakup berbagai jenis elemen dan paduan yang memiliki sifat mekanik, fisik dan kimia mereka sendiri (Assidik & Gusniar, 2021). Bahan logam terdiri dari satu atau lebih elemen logam (seperti besi, aluminium, tembaga, titanium, emas, dan nikel), dan sering juga elemen non-logam (misalnya, karbon, nitrogen, dan oksigen) dalam jumlah yang relatif kecil. Adapun contoh gambar logam terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk Logam

Berkaitan dengan karakteristik mekanik, logam relatif kaku dan kuat, namun ulet (yaitu, mampu deformasi dalam jumlah besar tanpa fraktur), dan tahan terhadap fraktur, yang bertanggung jawab atas mereka digunakan secara luas dalam aplikasi *structural* (Laksono, 2018). Tahap- tahap dalam pembuatan logam memegang peranan penting dalam menghasilkan logam berkualitas tinggi yang dapat digunakan dalam aplikasi industri, konstruksi, otomotif, hingga elektronik. Logam pada awalnya dibuat dari bijih logam yang diperoleh dengan cara menambang baik yang berupa bijih logam murni. Logam yang digunakan sebagai bahan teknik secara umum terbagi menjadi 2 yaitu logam berbasis dasar Fe (*Ferro*) atau besi dan Logam yang tidak berbasis dasar *Ferro* (*non-Ferro*).

1. Logam *Ferro*

Logam *ferro* atau logam besi adalah logam yang mengandung unsur besi (Fe). Besi merupakan logam yang penting dalam bidang teknik, tetapi besi murni terlalu lunak dan rapuh sebagai bahan kerja, konstruksi atau pesawat (Samlawi, 2016). Logam *ferro* (Fe) merupakan material yang memiliki sifat mekanik yang baik dan fisik yang sangat kuat sehingga sering digunakan pada konstruksi bangunan, tapi memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami korosi (Hermawan et al., 2023). Logam *ferro* (Fe) memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami korosi. Dapat diketahui bahwa dengan terjadinya korosi bisa menimbulkan kerugian yang besar dari berbagai sektor yakni pada sektor ekonomi, keamanan dan konservasi. Adapun contoh logam *ferro* seperti baja, baja paduan dan besi cor. Gambar 2.3. salah satu contoh logam *ferro* yang sudah menjadi produk.



Gambar 2.3. Besi Beton (Logam *Ferro*)

2. Logam *Non Ferro*

Logam *non ferro* atau logam bukan besi adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Logam *non ferro* murni kebanyakan tidak digunakan begitu saja tanpa dipadukan dengan logam lain, karena biasanya sifat-sifatnya belum memenuhi syarat yang diinginkan (Samlawi, 2016). Logam *non ferro* atau logam bukan besi adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Adapun contoh logam *non ferro* seperti aluminium, emas, tembaga, titanium, emas dan nikel. Logam *non ferro* murni kebanyakan tidak digunakan begitu saja tanpa dipadukan dengan logam lain, karena biasanya sifat-sifatnya belum memenuhi syarat yang diinginkan (Sinaga et al., 2022). Kecuali logam *non ferro* murni, platina, emas dan perak tidak dipadukan karena sudah memiliki sifat yang baik, misalnya ketahanan kimia dan daya hantar listrik yang baik serta cukup kuat, sehingga dapat digunakan dalam keadaan murni. Logam Non-Ferro adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat tertentu, yakni elastis (karet), cair (bahan pelumas, dan juga tidak dapat menghantarkan arus listrik (bahan isolasi), peka terhadap api (bahan bakar, tidak

dapat terbakar (Asbes) dan juga mudah pecah (keramik). Gambar 2.4, menunjukkan contoh logam *non ferro* yang sudah menjadi produk.



Gambar 2.4. Tembaga (Logam *non Ferro*)

2.1.2 Material Bukan Logam

Bahan bukan logam (*non logam*) ternyata selalu dibutuhkan, baik dalam teknik bangunan dan mesin, bangunan umum, teknik proses, maupun keperluan lainnya (Samlawi, 2016). Bukan logam selain digunakan sebagai bahan pengganti logam untuk beberapa keperluan juga sangat dibutuhkan sebagai bahan utama sesuai dengan kemampuan yang dimiliki dan sifat-sifatnya yang khas untuk berbagai keperluan. Non logam didefinisikan sebagai kelompok unsur kimia yang bersifat elektronegatif, yaitu lebih mudah menarik elektron valensi dari atom lain dari pada melepaskannya (Leon, 2017). Bahan bukan logam dibagi menjadi dua jenis yakni bahan alam dan bahan tiruan sebagai berikut.

1. Bahan Alam

Bahan alam merupakan bahan baku prorduk yang diperoleh dan digunakan secara langsung dari bahan alam, oleh karena itu produk akhir yang menggunakan

bahan baku ini akan memiliki sifat yang sama dengan bahan asalnya, yang termasuk dalam kelompok ini antara lain oksigen, nitrogen, senyawa karbon, senyawa fosforus, kayu, batu, karet, keramik, kulit, dan lain lain (Samlawi, 2016). Bahan alam adalah bahan-bahan yang berasal dari alam yang dapat diolah menjadi barang-barang yang bermanfaat bagi penggunaannya (Patimah & Mahnur, 2019). Bahan alam merupakan bahan atau material yang ada di alam sekitar. Bahan alam terdapat di alam dan ditemukan di tanah atau bagian dari hewan atau tumbuhan. Bahan alam merupakan bahan yang tak terbatas dan mudah ditemukan hampir di lingkungan sekitar (Fauziah, 2013). Adapun contoh bahan alam yang sering kita jumpai di sekitar lingkungan terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5.Serat alam (Bahan Alam)

2. Bahan Tiruan

Bahan- bahan tiruan (*syntetic materials*) biasanya diperoleh dari senyawa kimia dengan komposisi berbagai unsur akan diperoleh suatu sifat tertentu secara spesifik atau sifat yang menyerupai sifat bahan alam. Bahan ini dikenal sebagai bahan plastik (*Plastics Materrals*) (Samlawi, 2016). Bahan sintetis adalah zat

buatan yang dibuat dari senyawa kimia, yang sering digunakan sebagai pengganti bahan alami seperti kayu, katun, dan kulit. Serat sintetis atau *synthetic fibres* adalah serat yang dibuat oleh manusia melalui sintesis kimia, berbeda dengan serat alami yang secara langsung berasal dari organisme hidup, seperti tanaman (seperti kapas) atau bulu dari hewan. Adapun contoh bahan tiruan terlihat pada Gambar 2.6.

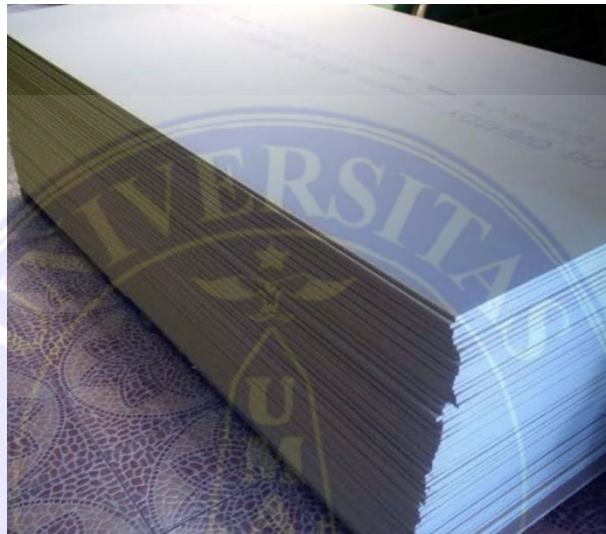


Gambar 2..6. Serat *E- Glass* (Bahan Tiruan)

2.2 Gypsum

Gypsum merupakan salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya yang merupakan salah satu dari mineral non - logam yang terdiri dari ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Muljani et al., 2023). Pembuatan gipsum dapat berasal dari berbagai sumber, di antaranya dari hasil reaksi CaCl_2 dan H_2SO_4 ; dari batuan rock, dan batuan gamping yang direaksikan dengan H_2SO_4 . Gypsum mengandung material yang termasuk kedalam mineral sulfat (SO_4) yang berada di bumi dan nilainya sangat menguntungkan, sehingga banyak ketersediaannya dan mudah didapat (Rizqy et al., 2021). Salah satu contoh produk gipsum yang sudah jadi ialah papan gipsum, papan gipsum adalah papan yang terbuat dari serbuk gipsum dengan serat/fiber dan campuran lainnya yang digunakan untuk plafon,

dinding dan bahan konstruksi lainnya (Pratama et al., 2019). Papan gipsium adalah produk jadi yang terbuat dari proses lanjutan material gipsium. Papan gipsium memiliki harga yang murah, ringan dan termasuk yang mudah dalam pemasangannya. Adapun bentuk gypsum yang sudah menjadi produk terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Papan Gypsum

Gypsum sebagai perekat mineral mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan dengan perekat organik karena tidak menimbulkan pencemaran udara, murah, tahan api, tahan deteriorasi oleh faktor biologis dan tahan terhadap zat kimia. Selain itu, gypsum juga dapat diperoleh dari proses pembuatan *bleaching earth* yang menghasilkan produk samping berupa limbah padat berupa $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Gypsum adalah suatu bahan mineral yang berasal dari alam, pada umumnya merupakan suatu massa padat dan berwarna putih (Daniswara et al., 2024). Gypsum pada umumnya paling sering digunakan dalam pencetakan seperti model studi atau model kerja adalah menggunakan gypsum tipe III dikarenakan memiliki kekuatan dalam ketahanan fraktur dan abrasi yang tinggi. Gypsum tipe III

(Dental Stone) memiliki kekuatan tekan yang rendah dan waktu pengerasan yang cukup lama, dalam mengatasi hal tersebut dapat diberikan seperti bahan yang bersifat zat adiktif lain berupa kalium sulfat. Gypsum juga merupakan bahan yang sangat mudah didapatkan di alam. Komposisi kimia dari gypsum dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi kimia dari gypsum

No	Bahan	Kandungan (%)
1	Kalsium (Ca)	23,28
2	Hidrogen (H)	2,34
3	Kalsium Oksida (CaO)	32,57
4	Air (H ₂ O)	20,93
5	Sulfur (S)	18,62

Gypsum sintetis juga dapat mengandung zat-zat dari bahan baku (bijih, asam) awal, silika dan komponen lainnya. Gypsum sintetis membutuhkan pengangkatan atau netralisasi kotoran. Dalam banyak proses pembuatan, sintetis gypsum dipisahkan dalam bentuk lumpur air dari partikel berbutir halus. Mereka punya untuk dikeringkan dan di briket untuk transportasi, yang membutuhkan energi tambahan. Berdasarkan proses terbentuknya gypsum dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. Gypsum alam, yaitu merupakan mineral hidrous sulfat yang mengandung dua molekul air dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dimana jenis batuanannya adalah satinspar, alabaster, gypsite dan selenit, dengan warna bervariasi mulai dari putih, kekuning - kuning sampai abu - abu.
- b. Gypsum sintetis yaitu gypsum yang diperoleh dengan memproses air laut dan air kawah yang banyak mengandung sulfat dengan menambahkan unsur kalsium dan sumber lainnya.

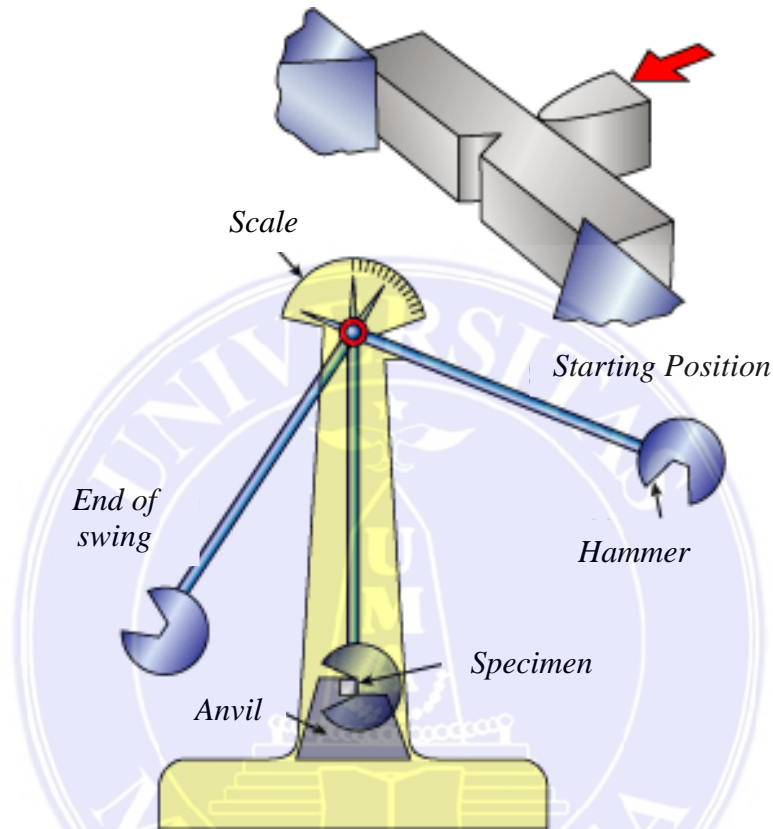
2.3 Uji Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut (dinamis) (Pakpahan et al., 2023). Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut (Majanasastra, 2013). Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan – lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan material (Handoyo, 2013). Oleh karena itu uji impak banyak dipakai dalam bidang menguji sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material tersebut. Beberapa uji impak dengan strip uji knurled dengan desain berbeda telah dilakukan untuk menentukan kerapuhan logam.

2.3.1 Uji Impak *Charpy*

Pengujian impak *Charpy* (juga dikenal sebagai tes *Charpy v-notch*) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. (Handoyo, 2013). Metode ini banyak digunakan pada industri dengan keselamatan yang kritis, karena mudah untuk dipersiapkan dan dilakukan. Pada pengujian metode *Charpy*, beban diayun dari ketinggian tertentu untuk memukul benda uji, yang kemudian diukur energi yang diserap oleh perpatahannya. Batang uji *charpy* kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi

takik oleh pendulum berat berayun (kecepatan pembebanan ± 5 m/s) (Kumar et al., 2018). Kemudian hasil pengujian dapat diperoleh dengan cepat dan murah. Secara skematik alat uji impak *charpy* terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Ilustrasi Skematik Pengujian Impak *Charpy*

Energi impak yang dihasilkan diperoleh berdasarkan perbedaan besarnya sudut $\Delta\alpha$ yang dibentuk pada saat sebelum dan sesudah pengimpakan. Energi sebelum pengimpakan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$W_1 = m \times L (1 - \cos \Delta\alpha) \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

W = energi impak (J)

m = massa bandul (kg)

L = panjang lengan bandul (m)

$\Delta\alpha$ = perbedaan sudut ayunan bandul sebelum dan sesudah pengimpakan

Keunggulan uji impact metode charpy antara lain:

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

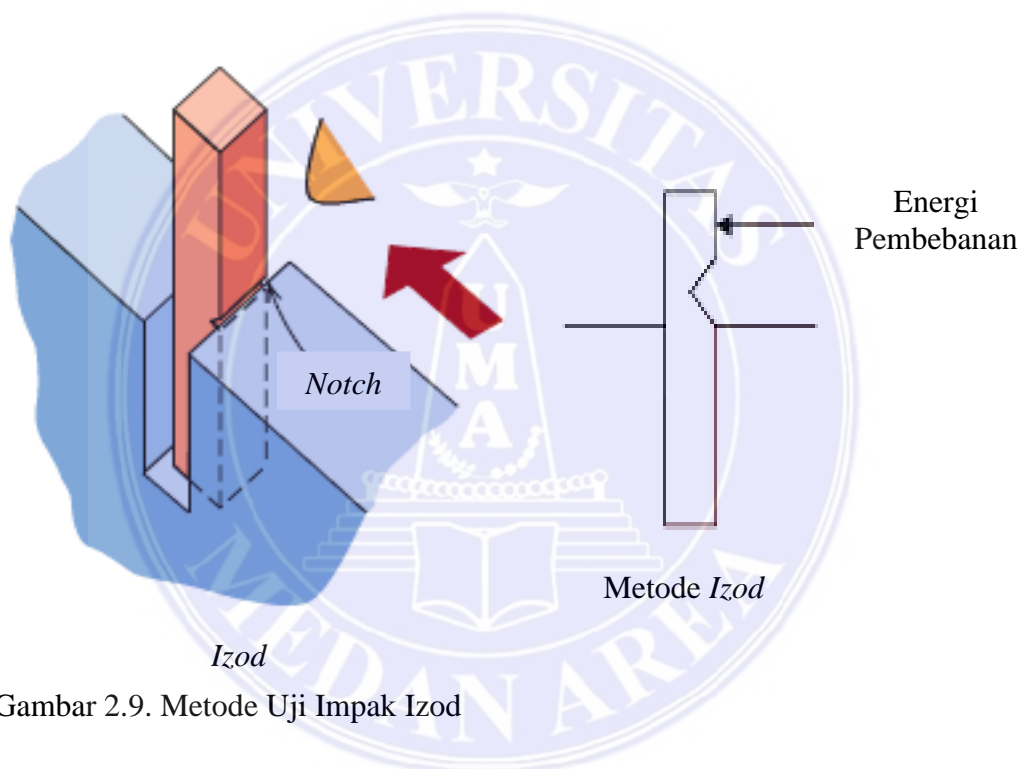
Sementara kelemahan metode charpy antara lain:

1. Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.
2. Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak di cekam.
3. Pengujian hanya dapat dilakukan pada specimen yang kecil.
4. Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena level tegangan yang diberikan tidak rata.

2.3.2 Uji Impact *Izod*

Uji impact Izod merupakan salah satu metode pengujian impact menggunakan teknik kantilever, impact Izod memungkinkan untuk digunakan baik bahan logam maupun non-logam (Porawati, 2018). Aspek panjang lengan pendulum, beban pendulum dan jenis material mengimplikasikan pengaruh tertentu pada hasil pengujian impact. Dalam uji impact Izod memungkinkan specimen yang di uji tidak hanya logam saja tetapi dapat berupa bahan plastik atau bahan lainnya.

Pada pengujian Izod yaitu pencekam spesimen berdiri tegak. Sehingga untuk luasan penampangnya lebih sedikit dari pad metoda charpy (Harijono & Purwanto, 2017). Uji impak Izod merupakan metode pengujian benturan yang dilakukan dengan meletakkan spesimen uji pada tumpuan dan memukulnya dengan palu ayun. Hasil pengujian biasanya merupakan rata-rata dari 10 spesimen. Semakin tinggi angka yang dihasilkan, semakin kuat materialnya. Gambar 2.9, menunjukkan metode uji impak izod.



Gambar 2.9. Metode Uji Impak Izod

Uji impak Izod memiliki beberapa kelebihan yaitu:

1. menguji ketahanan benturan bahan plastik, komponen otomotif, bahan kemasan.
2. Menentukan perbandingan senyawa cetakan yang berbeda.
3. Pemantauan toleransi dalam lingkup pemeriksaan barang masuk.

4. Tumbukan terjadi tepat pada takikan, dan spesimen tidak mudah bergeser karena salah satu ujungnya di jepit.
5. Memungkinkan penggunaan spesimen yang lebih besar.

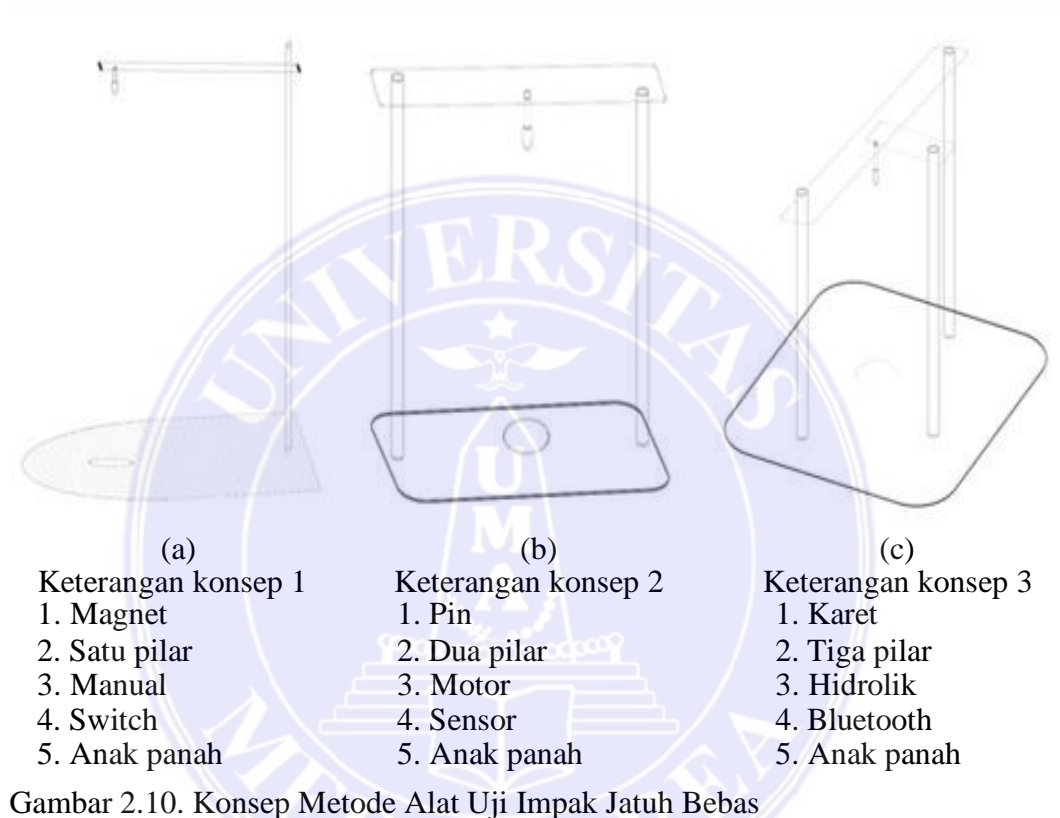
Kekurangan dari uji impak izod yaitu:

1. Pengeluaran untuk pengujian lebih besar
2. Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang maksimal.
3. Hasil patahan kurang maksimal.
4. Waktu pengujian cukup lama, karena prosedur pengerjaan yang banyak.\

2.3.3 Uji Impak Anak Panah Jatuh Bebas

Metode uji impak jatuh bebas ialah menggunakan sebuah benda yang dijatuhkan bebas dari ketinggian tertentu ke atas spesimen atau sampel material yang ingin diuji (Pakpahan et al., 2023). Setiap metode pengujian impak memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga pemilihan metode yang tepat akan sangat bergantung pada karakteristik material yang akan diuji. Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian (h) tertentu tanpa kecepatan awal ($v_0 = 0$), jadi gerak benda hanya dipengaruhi oleh gravitasi bumi. Uji impak jatuh bebas adalah teknik pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut, dengan simulasi kondisi operasi (Mahyunis et al., 2022). Uji ini menggunakan alat uji impak jatuh bebas dan pengukur energi dari gaya impak benda jatuh bebas. Prinsip pengujian impak jatuh bebas adalah menghitung energi

yang diberikan beban dan energi yang diserap oleh spesimen. Material dapat bertahan dari energi tekan jika energi tekan tidak melebihi energi material itu sendiri. Adapun Gambar 2.10, menunjukkan contoh metode alat uji impact anak panah jatuh bebas.

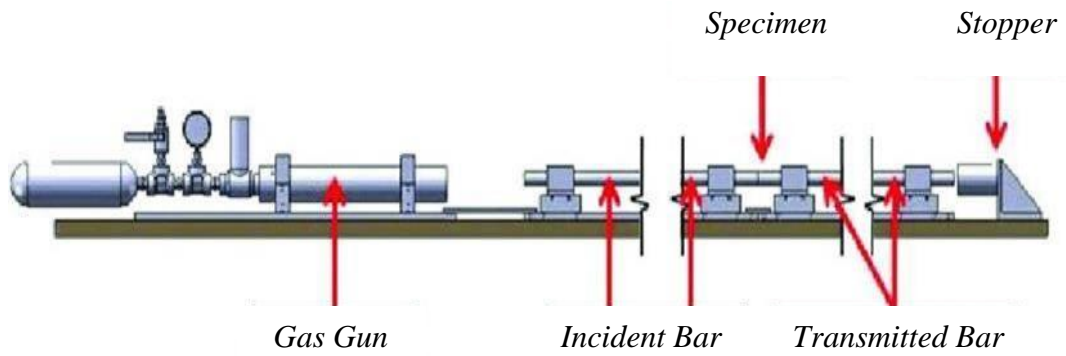


Uji impact anak panah jatuh bebas yaitu untuk mengukur kemampuan material dan menahan dampak tingkat tinggi resistansi yang dapat diperoleh dengan menghitung jumlah energi yang menyebabkan kegagalan uji spesimen dan untuk menguji ketahanan benturan impact anak panah jatuh bebas sesuai dengan standar internasional (Pakpahan et al., 2023). Uji impact jatuh bebas adalah tes untuk mengukur kemampuan bahan dalam menerima beban tumbuk. Kelebihan uji impact ini dapat mengetahui keuletan atau kegetasan suatu bahan dan kekurangan uji

impak ini ialah kegagalan benda uji pada pengujian impact dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti notch atau takik, temperatur, dan strainrate. Prinsip pengujian impact adalah menghitung energi yang diberikan beban dan energi yang diserap oleh spesimen. Material dapat bertahan dari energi tekan jika energi tekan tidak melebihi energi material.

2.3.4 *Split Hopkinson Pressure Bar*

Split hopkinson pressure bar pertama kali diperkenalkan oleh Bertram Hopkinson 1914. Hopkinson menggunakan prinsip tersebut untuk mengukur tekanan yang dikembangkan di sebuah bar saat ledakan terjadi di salah satu ujungnya, sebuah bar ditanggihkan dengan satu ujung yang melekat pada mekanisme peledakan dan ujung satunya dalam kontak magnetik dengan potongan waktu. Ketika ledakan terjadi di satu sisi, sebuah denyut nadi bergerak melalui batang yang tersuspensi dan berdampak pada potongan waktu. Pada ujung bebas dari antarmuka potongan-batang waktu, potongan waktu memisahkan dari bar dan terbang ke dalam mekanisme perangkat momentum. Energi yang dicatat oleh perangkat momentum sesuai dengan energi dua kali panjang gelombang pulsa tekanan pada potongan waktu. Selanjutnya, prinsip Hopkinson digunakan oleh Robertson pada tahun 1921 dan oleh Landon dan Quinney pada tahun 1923. Teknik ini kemudian dimodifikasi pada tahun 1948 oleh Davies yang menggunakan kondensor untuk mengukur perpindahan di bar tekanan. Gambar 2.11, menunjukkan metode *split hopkinson pressure bar*.



Gambar 2.11. *Split-Hopkinson Pressure Bar*

Pada tahun 1949, Kolsky memodifikasi pengaturan lebih lanjut dengan menambahkan bar tekanan kedua dan meletakkan spesimen di antara kedua batang. Dia menggunakan mikrofon kondensator silindris untuk mengukur amplitudo pulsa tekanan yang dihasilkan dengan menembaki detonator di ujung bebas dari batang kejadian. Pada tahun 1963 J L Chiddister, dkk. memperkenalkan teknik untuk tes kompresi suhu tinggi. Pada saat yang akan datang, tes batang Hopkinson diperluas untuk melakukan pengujian torsi. Split-Hopkinson Pressure Bar (SHPB) adalah alat konvensional untuk menguji respon tegangan-regangan dinamis bahan. Yang terdiri dari proyektil, bar input, output bar dan perangkat buffering. Selama pengujian, proyektil serangan.

2.4 Beban Dinamis

Pembebanan dinamis sendiri dapat terjadi pada material ketika terdapat benturan atau tumbukan yang menghasilkan gaya impuls (Pakpahan et al., 2023). Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat Deformasi pada struktur

akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat. Beban dinamis dapat diartikan “bervariasi” terhadap waktu dalam konteks gaya yang berkerja (eksitasi) pada struktur. Beban dinamis berbeda dengan beban statis. Beban statis adalah beban yang tetap konstan, sedangkan beban dinamis adalah beban yang bergerak dan menerima gaya tambahan selama pergerakan. Beban dinamis dapat diklasifikasikan menjadi beban periodik dan non-periodik. Beban periodik adalah beban yang berulang pada interval waktu yang sama. Biasanya beban menciptakan tegangan dan *fracture toughness*, untuk mengetahui seberapa kuat material dalam menahan beban atau gaya yang terjadi.

a. Tegangan

Tegangan atau stress adalah gaya yang bekerja pada suatu benda dan menyebabkan benda tersebut berubah bentuk. Tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan (stress) didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan oleh benda untuk kembali ke bentuk semula atau gaya (F) yang diberikan pada benda dibagi dengan luas penampang (A) tempat gaya tersebut bekerja. Nilai tegangan dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$\sigma_{\max} = F_{\max} / A \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

σ_{\max} = Tegangan (MPa)

F_{\max} = Beban/ Gaya (N)

A = Luas Penampang (m²)

b. Regangan

Regangan adalah ukuran perubahan relatif dari suatu benda yang mengalami tegangan atau gaya. Secara sederhana, regangan (ϵ) adalah rasio antara pertambahan panjang benda (ΔL) dengan panjang mula-mula benda (L_0). Nilai regangan dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- ϵ = Regangan (%)
- ΔL = Pertambahan panjang (mm)
- L_0 = Panjang mula- mula (mm)

c. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu. Peristiwa ini disebut juga deformasi elastis. Pada daerah elastis hubungan tegangan dan regangan bersifat berbanding lurus (proporsional), dapat terlihat pada persamaan 2.4.

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan

- E = Modulus elastisitas (MPa)
- σ = Tegangan (MPa)
- ϵ = Regangan (%)

d. *Fracture Thoghness*

Ketangguhan patah adalah kemampuan material untuk menahan penyebaran cacat di bawah tekanan. Ketangguhan patah dapat diukur dengan melakukan pengujian *fracture toughness* (K_{1c}). Pengujian *fracture toughness* (K_{1c}) bertujuan untuk mengetahui ketangguhan terhadap retak pada specimen. Nilai *fracture toughness* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$K_{1c} = Y \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi\alpha} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- K_{1c} = *Fracture toughness* (Mpa/m)
- Y = Faktor geometri, tergantung bentuk takik
- σ = Tegangan pada material (Mpa)
- α = Panjang takik efektif (m)

2.5 Jenis- jenis Patahan Material

Patahan material merupakan fenomena ketika suatu bahan atau material mengalami kerusakan atau retakan akibat tegangan atau tekanan yang melebihi batas kekuatan material tersebut. Perpatahan impact digolongkan menjadi 3 jenis, sebagai berikut.

1. Patah Ulet

Patah ulet merupakan patah yang diakibatkan oleh beban statis yang diberikan pada material, jika beban dihilangkan maka penjaralan retak akan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya

deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (fibrous), dan berwarna kelabu. Biasanya patah ulet terjadi pada material berstruktur bainit yang merupakan baja dengan kandungan karbon rendah. Gambar 2.12, menunjukkan ilustrasi patah ulet pada spesimen.

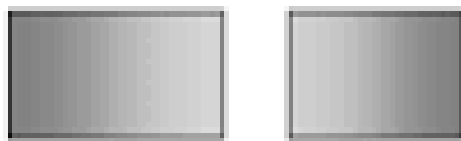


Gambar 2.12. Patah Ulet

Ciri- ciri patah ulet:

- a. Ada reduksi luas penampang patahan, akibat tegangan uniaksial
 - b. Tempo terjadinya patah lebih lama.
 - c. Pertumbuhan retak lambat, tergantung pada beban
 - d. Permukaan patahannya terdapat garis-garis benang serabut (fibrosa), berserat, menyerap cahaya,ampilannya buram
2. Patah Getas

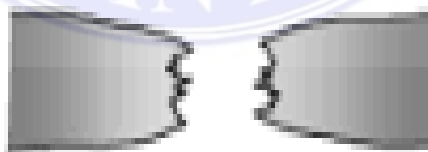
Patah getas merupakan fenomena patah pada material yang diawali terjadinya retakan secara cepat dibandingkan patah ulet tanpa deformasi plastis terlebih dahulu dan dalam waktu yang singkat. Dalam kehidupan nyata, peristiwa patah getas dinilai lebih berbahaya daripada patah ulet, karena terjadi tanpa disadari begitu saja. Biasanya patah getas terjadi pada material berstruktur martensit, atau material yang memiliki komposisi karbon yang sangat tinggi sehingga sangat kuat namun rapuh. Gambar 3.13, menunjukkan ilustrasi patah getas pada spesimen.



Gambar 2.13. Patah Getas

3. Patah Lelah

Patah lelah (*fatigue*) merupakan salah satu penyebab utama kegagalan bahan / material konstruksi. Kelelahan material adalah proses perubahan dinamis (tegangan-regangan) sehingga terjadi retak (*crack*) ataupun patah. Mekanisme patah lelah diawali timbulnya inti retak akibat pergerakan dislokasi siklik, dilanjutkan dengan pertumbuhan menjadi micro crack, kemudian tumbuh menjadi macro crack, selanjutnya berkembang (propagasi) hingga terjadi patah lelah. Umur lelah dapat ditingkatkan dengan cara normalizing / pengarbonan ulang, selanjutnya terhadap specimen ini dilakukan normalizing ulang & dilanjutkan material yang tidak dinormalizing awal sehingga tidak diperoleh perbedaan yang signifikan. Gambar 2.14, menunjukkan ilustrasi patah Lelah pada specimen.



Gambar 2.14. Patah Lelah

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Medan Area. Penelitian ini dilakukan mulai dari tanggal dikeluarkan surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing dengan detail jadwal tugasakhir seperti terlihat pada tabel 3.1. sebagai berikut.

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	Tahun 2025						
	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	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

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam proses penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan dalam proses penelitian.

3.2.1 Bahan

Adapun bahan- bahan yang dipergunakan dalam proses penelitian ini sebagai berikut.

1. Gypsum

Gypsum adalah bahan yang digunakan dalam penelitian ini dan gypsum merupakan bahan konstruksi yang terbuat dari mineral alami serta digunakan untuk berbagai keperluan konstruksi seperti pembuatan plafon, partisi, dan dinding. Adapun spesifikasi tepung gypsum yang digunakan terlihat pada Table 3.2. dan Gambar 3.5, menunjukkan tepung gypsum yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.2. Spesifikasi Tepung Gypsum

No	Data teknis	Spesifikasi Aplus Gypsum
1	Komposisi	Batu gypsum yang dihaluskan
2	Waktu kerja	10 – 12 Menit
3	Waktu kering	12 – 15 Menit
4	Rasio campuran berat	Berat air : bubuk = 65 : 100
5	Kemasan	1 Sak : 18 kg



Gambar 3.1. Bubuk Gypsum

2. Air

Air adalah suatu zat yang terdiri dari unsur-unsur kimia hidrogen dan oksigen dan ada dalam bentuk gas, cair, dan padat. Air merupakan salah satu senyawa yang paling banyak dan esensial. Cairan hambar dan tidak berbau pada suhu kamar, memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat lainnya. Air banyak dibutuhkan

dalam kehidupan sehari-hari, seperti untuk minum, keperluan rumah tangga bahkan pada konstruksi. Air dalam penelitian ini digunakan untuk campuran tepung gypsum agar tepung gypsum dapat menyatu dan mengeras ketika sudah mengering. Adapun contoh air terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Air dalam wadah

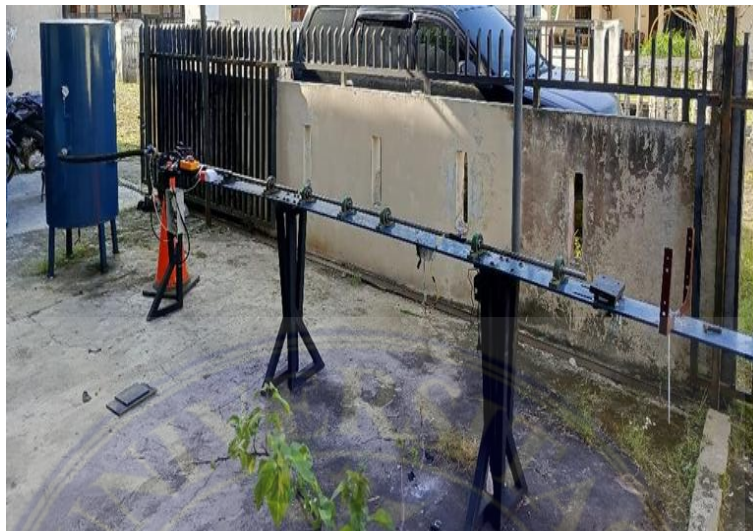
3.2.2 Alat

Adapun alat-alat yang dipergunakan dalam proses penelitian ini sebagai berikut.

1. Mesin Hopkinson/ Alat Uji Dinamis

Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) adalah alat yang digunakan untuk mengukur sifat material pada kecepatan regangan tinggi, mesin ini bekerja dengan prinsip gelombang tegangan yang merambat melalui batang panjang saat material uji terkena benturan. Mesin Hopkinson adalah dua mesin DC yang dikopel secara mekanis dan elektrik secara paralel. Salah satu mesin berfungsi sebagai motor dan yang lainnya sebagai generator. Mesin Hopkinson digunakan dalam uji Hopkinson, yang juga dikenal sebagai uji regeneratif, uji back to back, dan uji heat run. Uji

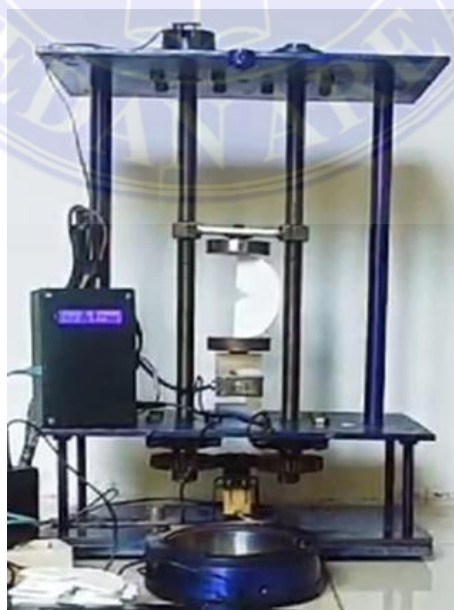
Hopkinson digunakan untuk menguji beban motor traksi, seperti lokomotif. Pada penelitian ini mesin Hopkinson dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Mesin Hopkinson

2. Alat Uji Statis

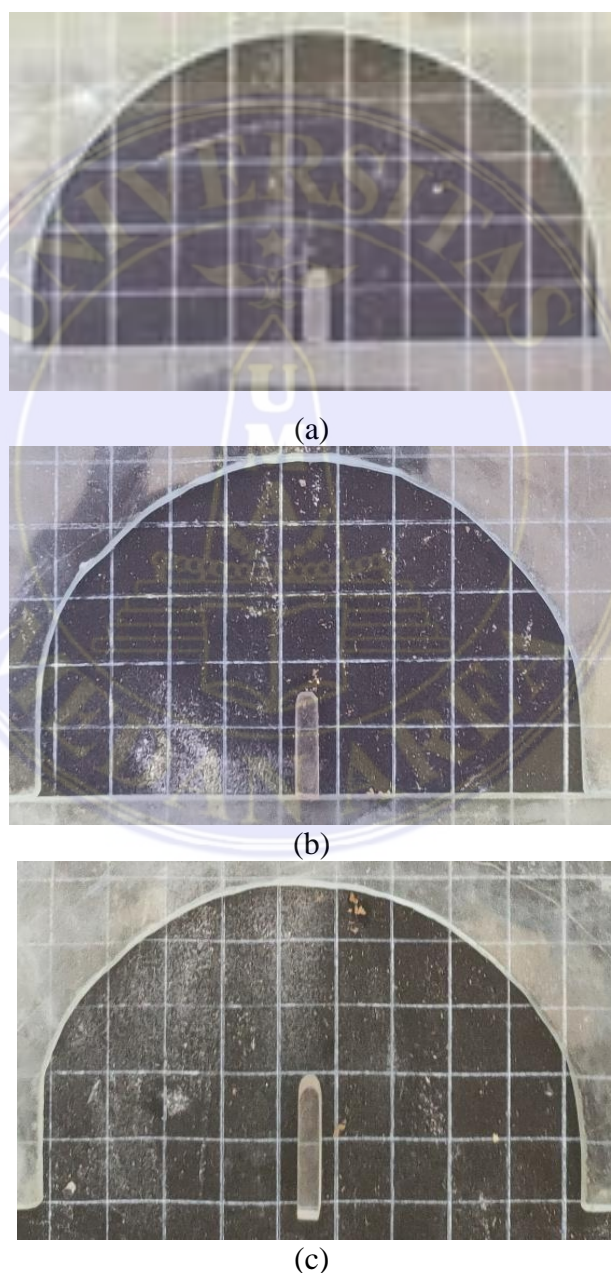
Mesin yang digunakan pada pengujian ini memiliki kapasitas load cell 100 kilogram, dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Uji Statis

3. Cetakan Cakram

Cetakan atau alat yang digunakan dalam pembentukan material gypsum untuk membuat spesimen berbentuk cakram atau piringan. Cetakan cakram ini terbuat dari kaca dengan ukurang 36 cm x 36 cm dengan ketebalan 3 mm. Adapun cetakan cakram terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Cetakan Cakram (a) takik 10mm, (b) takik 15mm, dan (c) takik 20mm

4. Sekrap Gypsum

Sekrap gypsum adalah alat yang biasa digunakan tukang gypsum dalam mengaduk tepung gypsum dan juga digunakan untuk dempul celah- celah pada bagian gypsum. Dalam penelitian ini sekrap gypsum digunakan untuk mengaduk bubuk gypsum dan air pada baskom agar campuran bias merata. Adapaun pada Gambar 3.6, menunjukkan contoh sekrap gypsum yang sering dipakai tukang.



Gambar 3.6. Sekrap Gypsum

5. Timbangan Digital

Timbangan digital menggunakan sensor elektronik untuk mengukur berat atau massa dan menampilkan hasilnya secara digital. Timbangan digital dipergunakan untuk mengukur massa bahan- bahan yang dipergunakan selama penelitian ini berlangsung yaitu untuk mengukur massa bahan bubuk gypsum dan air. Jenis timbangan digital yang digunakan ialah SF-400 dengan kapasitas maksimum 10 kg dan presisi 1 g. Bentuk timbangan digital diperlihatkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Timbangan Digital

6. Baskom Plastik

Baskom plastik adalah wadah berbentuk cekung yang terbuat dari bahan plastik, biasanya digunakan untuk berbagai keperluan sehari-hari. Pada penelitian ini baskom plastik wadah berbentuk cekung dan digunakan sebagai media untuk melakukan pencampuran bahan-bahan seperti tepung gypsum dan air. Adapun Gambar 3.8, menunjukkan contoh wadah/ baskom plastik.



Gambar 3.8. Wadah/ Baskom Plastik

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah pendekatan dalam penelitian yang digunakan untuk menguji hipotesis melalui pengamatan langsung dan pengendalian variabel.

Metode ini bertujuan untuk menentukan hubungan sebab akibat dengan cara mengatur dan mengatur kondisi tertentu agar hasilnya dapat diprediksi dengan akurasi tinggi. jenis material dan bentuk material yang akan diuji adalah sebagai berikut :

1. Jenis material yang akan diuji adalah gypsum.
2. Jumlah keseluruhan bahan yang akan diuji sebanyak 12 spesimen.
3. Masing masing spesimen berbentuk cakram yang memiliki diameter 24 cm, dan ketebalan 3 mm juga terdapat bentuk takikan U.
4. 4 (empat) spesimen dengan komposisi bahan 1:0,5 (300 gr bahan gypsum dan 150 gr air).
5. 4 (empat) spesimen dengan komposisi bahan 1:1 (300 gr bahan gypsum dan 150 gr air).
6. 4 (empat) spesimen dengan komposisi bahan 1:2 (300 gr bahan gypsum dan air 600 gr).

3.3.1 Sistematika Pengujian

Pengujian eksperimental merupakan suatu metode ilmiah yang digunakan untuk menguji hipotesis, memverifikasi teori atau memahami fenomena tertentu melalui serangkaian percobaan yang terkendai. Adapun sistematika pada studi eksperimental analisis fraktur material gypsum berbentuk cakram pada takik “U” akibat beban dinamis adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur untuk mencari sumber sumber penelitian yang berkaitan dengan judul studi eksperimental analisis fraktur material gypsum berbentuk cakram

pada takik “U” akibat beban dinamis seperti jurnal nasional, jurnal internasional dan buku yang berkaitan.

2. Observasi lapangan yang dilakukan yaitu dalam dunia industri terdapat beberapa bahan gypsum yang digunakan terhadap suatu alat atau benda.
3. Dengan memahami dan menganalisis fraktur material gypsum di bawah kondisi dinamis, dapat mengembangkan material yang lebih baik dan lebih aman, serta meningkatkan desain dan kinerja komponen yang menggunakannya. Maka berangkat dari hal tersebut saya memilih judul studi eksperimental analisis fraktur material gypsum berbentuk cakram pada takik “U” akibat beban dinamis untuk menjadi tugas akhir saya.
4. Melakukan perhitungan terhadap material gypsum yang dibuat dengan spesifikasi tertentu lalu dilakukan uji impak dengan mesin Split Hopkinson Pressure Bar.
5. Menganalisa hasil yang didapatkan dan membandingkan hasil dari masing masing material gypsum yang diuji menggunakan mesin Split Hopkinson Pressure Bar untuk mengetahui kekuatan bahan gypsum.
6. Menarik kesimpulan dari hasil pengujian.

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini populasi yang digunakan adalah jenis gypsum. Jumlah populasi sebanyak 12 populasi. Jenis takik sedalam 10 mm yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 4 populasi, takik sedalam 15 sebanyak 4 populasi dan takik 20 mm sebanyak sebanyak 4 populasi. Populasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Populasi dan Sampel Spesimen

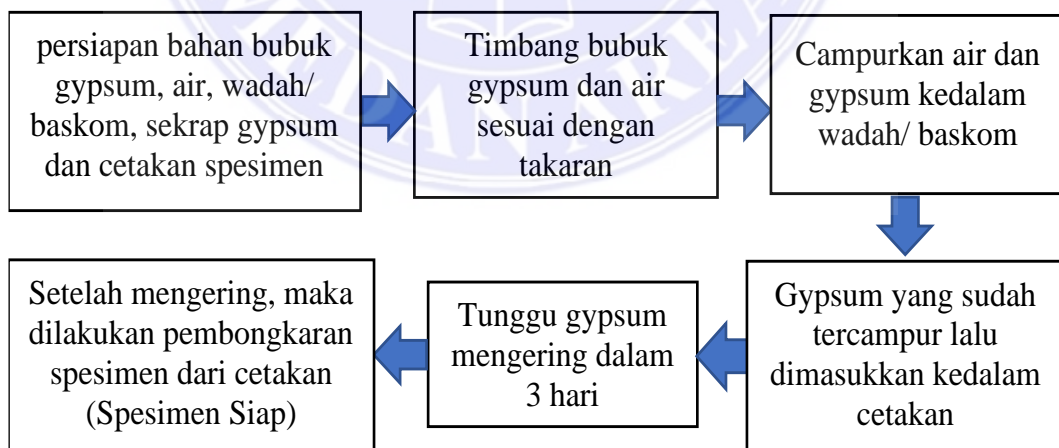
No	Jenis Populasi	Lebar Takik (mm)	Kedalam Takik (mm)	Tebal Spesimen (mm)	Panjang Spesimen (mm)	Populasi
1	Gypsum (T1)	2	10	3	91,65	4
2	Gypsum (T2)	2	15	3	91,65	4
3	Gypsum (T3)	2	20	3	91,65	4
Jumlah						12

3.5 Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja dalam penelitian ini ialah pembuatan spesimen gypsum dengan ukuran takik 10 mm, 15 mm dan 20 mm serta diagram alir penelitian.

3.5.1 Pembuatan Spesimen

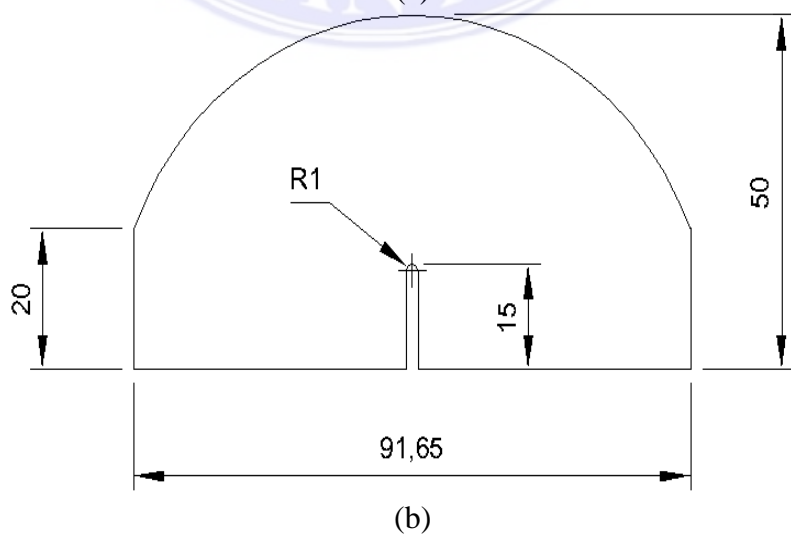
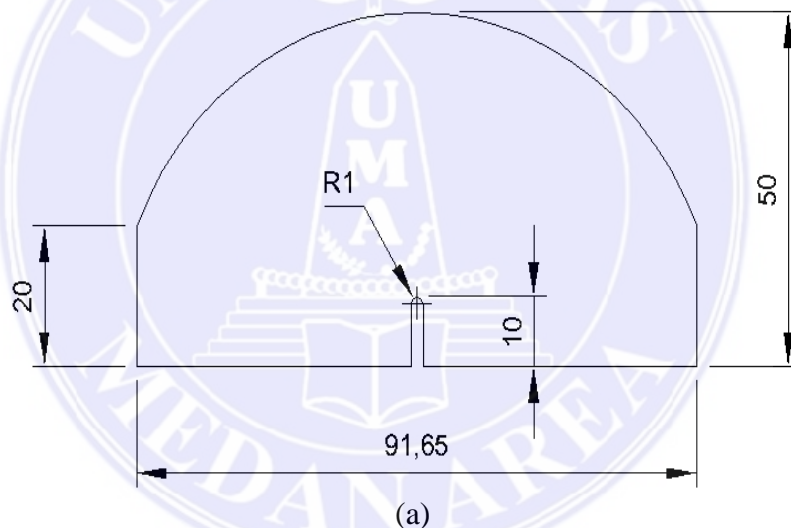
Pembuatan spesimen uji takik U dengan menggunakan material bubuk gypsum, mengikuti ukuran pada Gambar 3.6 sebanyak 3 variasi spesimen dan 12 populasi spesimen. Gambar 3.9, merupakan diagram alir pembuatan spesimen sebagai berikut.

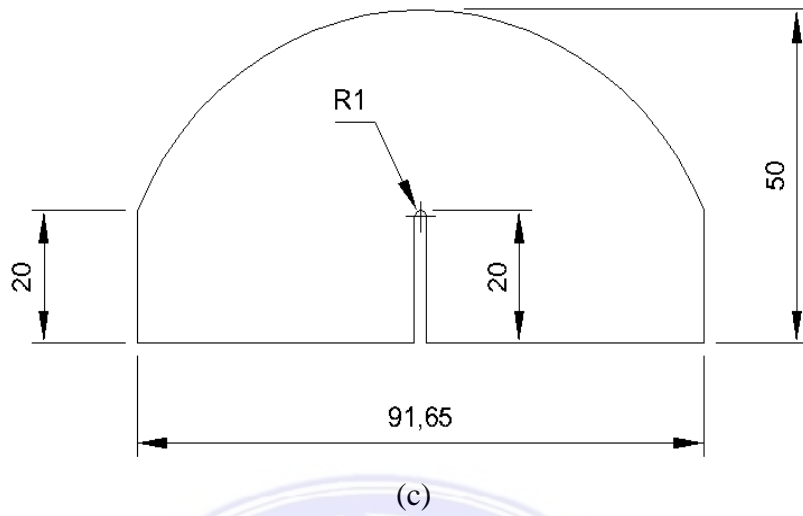


Gambar 3.9. Diagram Alir Pembuatan Spesimen

Adapun langkah- langkah dalam pembuatan spesimen gypsum dengan bentuk takik U dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Persiapan bahan dan alat seperti tepung gypsum, air, baskom, sekrap gypsum dan cetakan cakram.
2. Timbang massa gypsum sebesar 75 gr dan massa air sebesar 25 gr.
3. Campurkan air dan gypsum kedalam wadah seperti baskom.
4. Setelah tercampur masukkan adukan gypsum ke dalam cetakan dengan ukuran yang terlihat pada Gambar 3.10.
5. Tunggu gypsum mengering maksimal selama 3 hari dibawah terik matahari.
6. Setelah gypsum mengering, maka dilakukan pembongkaran dari cetakan, dan spesimen yang telah dibongkar dari cetakan siap untuk dilakukan pengujian.

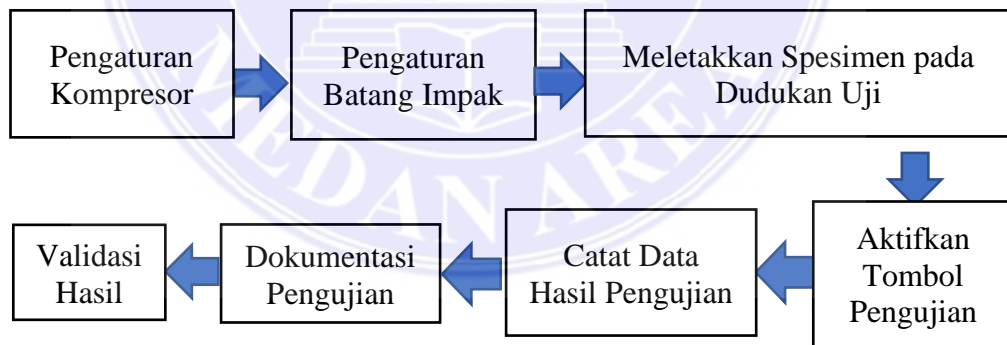




Gambar 3.10. Dimensi Spesimen (a) Takik 10 mm, (b) 15 mm, dan (c) 20 mm

3.5.2 Prosedur Pengujian

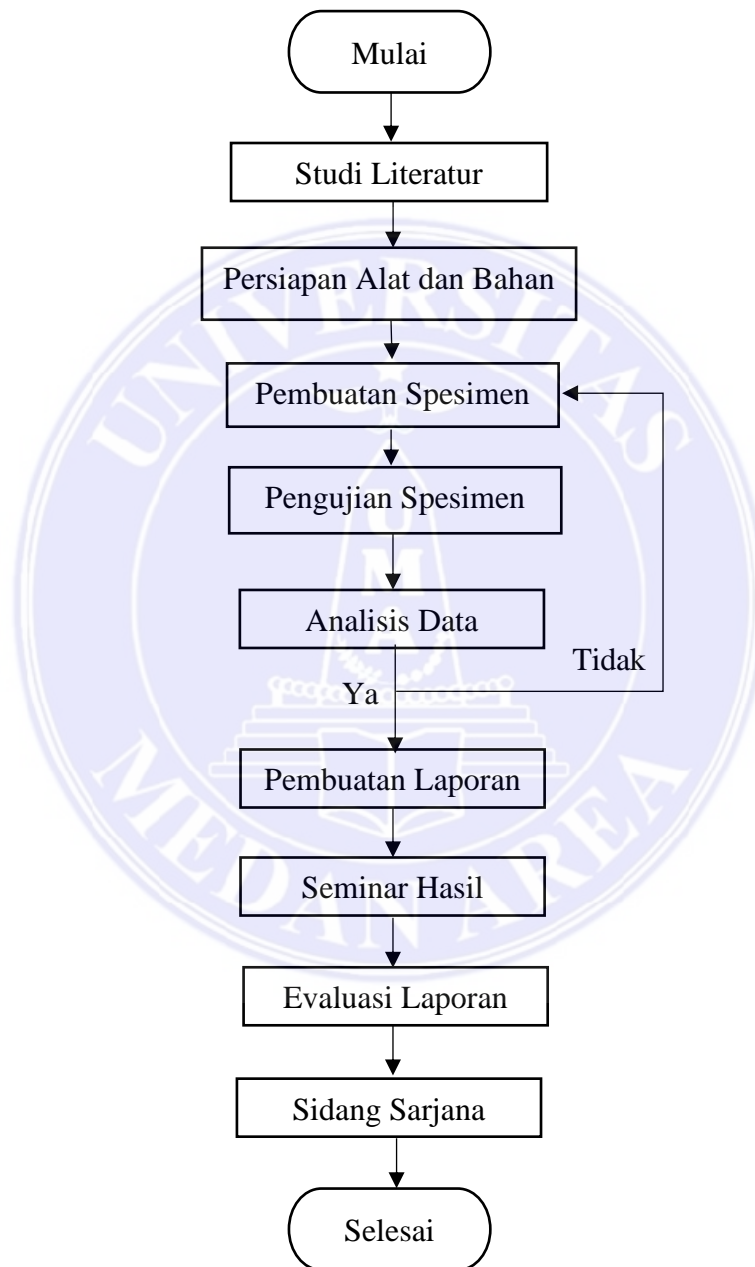
Dalam proses pengujian spesimen dengan tujuan untuk menganalisis fraktur yang terjadi, dimulai dari mempersiapkan spesimen yang akan diuji sampai memvalidasi hasil dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Diagram Alir Pengujian

3.5.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.12, merupakan proses penelitian dari mulai persiapan bahan uji sampai dengan hasil akhir pengujian.



Gambar 3.12. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Setelah mendapatkan hasil dan pembahasan diatas maka penulis simpulkan sebagai berikut:

1. Spesimen yang telah dikerjakan ialah takik dengan kedalaman 10 mm, takik dengan kedalaman 15 mm dan takik dengan kedalaman 20 mm.
2. Hasil nilai tegangan (σ) takik dengan kedalam 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 10.45 MPa, takik dengan kedalam 15 mm sebesar 3.91 MPa, takik dengan kedalam 20 mm sebesar 3.32 MPa serta nilai tegangan (σ) takik dengan kedalam 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 0.4 MPa, takik dengan kedalam 15 mm sebesar 0.3 MPa, takik dengan kedalam 20 mm sebesar 0.2 MPa.
3. Hasil nilai regangan (%) takik dengan kedalam 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 0.06%, takik dengan kedalam 15 mm sebesar 0.065%, takik dengan kedalam 20 mm sebesar 0.058% serta nilai regangan (%) takik dengan kedalam 10 mm berdasarkan uji statis sebesar 0.054%, takik dengan kedalam 15 mm sebesar 0.057%, takik dengan kedalam 20 mm sebesar 0.06%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan dalam penelitian ini dan demi kesempurnaan, maka peneliti sarankan:

1. Untuk penelitian lebih lanjut disarankan menggunakan variasi selain gypsum.
2. Untuk penelitian lebih lanjut disarankan menggunakan pengujian yang berbeda.



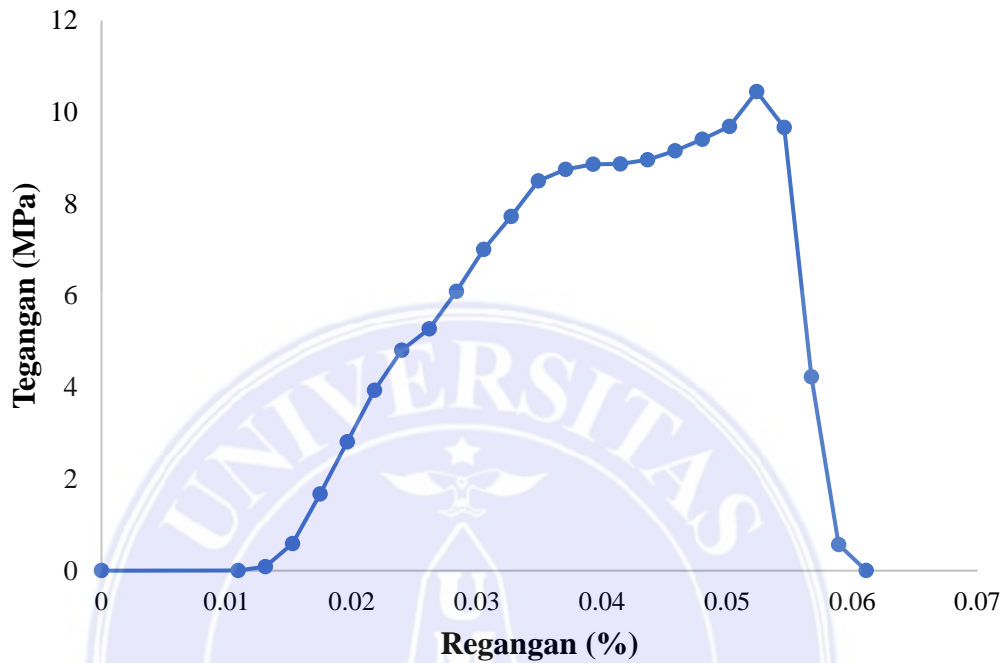
DAFTAR PUSTAKA

- Assidik, A. F., & Gusniar, I. N. (2021). Analisa Pengaruh Pengelasan terhadap Sifat Mekanis Material High Strength Low-Alloy. *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(3), 63–68.
- Daniswara, B., Benyamin, B., & Sugiarto, F. A. (2024). Differences In Dimensional Stability of Type III Gypsum (Dental Stone) Usimg Potassium Sulfate and Without Adding Potassium Sulfate. *Jurnal Medali*, 6(1), 59.
- Darmawati. (2023). Analisis Manajemen Pembelajaran Pendidikan Pancasila Dalam Meningkatkan Pemahaman Nilai-Nilai Pancasila Pada Mahasiswa Semester I Prodi Pendidikan Jasmani Unimerz Tahun 2022. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(10), 3937–3946.
- Fan, J., Saragi, H. T., Qadry, A., Putra, E., Boangmanalu, D., Bahri, A., & Artikel, R. (2023). Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Impak Material Baja ST37 dengan Metode Charpy dan Izod. 6(2), 65–69.
- Fauziah, N. (2013). Penggunaan Media Bahan Alam Untuk Meningkatkan Kreativitas Anak. *Jiv*, 8(1), 23–30. <https://doi.org/10.21009/jiv.0801.4>
- Febry Bayu Aji, N. (2023). Analisis Pengaruh Beban Dinamis Kendaraan Menggunakan Metode Numeris Cyclic 1D Dengan Peletakan Accelerometer Di Atas Perkerasan Jalan. *Repository.Uir.Ac.Id*.
- H.N. Jambak, B., Arief Siregar, R., & Rahmansyah Siahaan, Y. (2023). Analisis Pengaruh Suhu Pada Bahan Plastik Terhadap Kekuatan Impact. *JITMI*.
- Handoyo, Y. (2013). *Perancang Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*. 1(1), 17–25.
- Harijono, & Purwanto, H. (2017). Analisis Keakuratan hasil Uji Impact dengan Metode Izod dan Charpy. *Seminar Nasional Hasil Penelitian*, 130–135.
- Hermawan, R., Ghazali Al Fharezi, M., Hidayat, T., Auliya Kurdiati, L., Priti, & Hertias Ningrum, L. (2023). Peran Metode Coating Limbah Radiator Coolant dan Cat Minyak Sebagai Uji Laju Korosi Terhadap Logam Ferro (Fe) Berbasis Quenching Treatment. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 11(2), 276–285.
- Kumar, D., Siregar, A., Ramdan, D., & Zulfikar. (2018). Perancangan Alat Uji Impak Charpy Sederhana Untuk Material Logam Baja St 30. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 1(1), 1.
- Laksono, A. D. (2018). *Pengenalan Teknologi Material*. October 2018, 22–31.
- Leon, A. (2017). *Material Non Logam*.
- Mahyunis, Nurdiana, Farah Dina, S., & Wito Pirmansyah, A. (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.
- Majanasastra, R. B. S. (2013). Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2), 61–66.
- Maryati, & Apriyanti, Y. (2016). Analisis Perbandingan Penggunaan Limbah Gypsum Dengan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah. *Fropil*, 4(1), 49–64.
- Muljani, S., Syifa Muttaqin, A., & Pranoto, G. (2023). *Pembuatan Papan Gypsum Dari Limbah Padat Gypsum Board From Solid Waste Bleaching Earth*. 66–71.

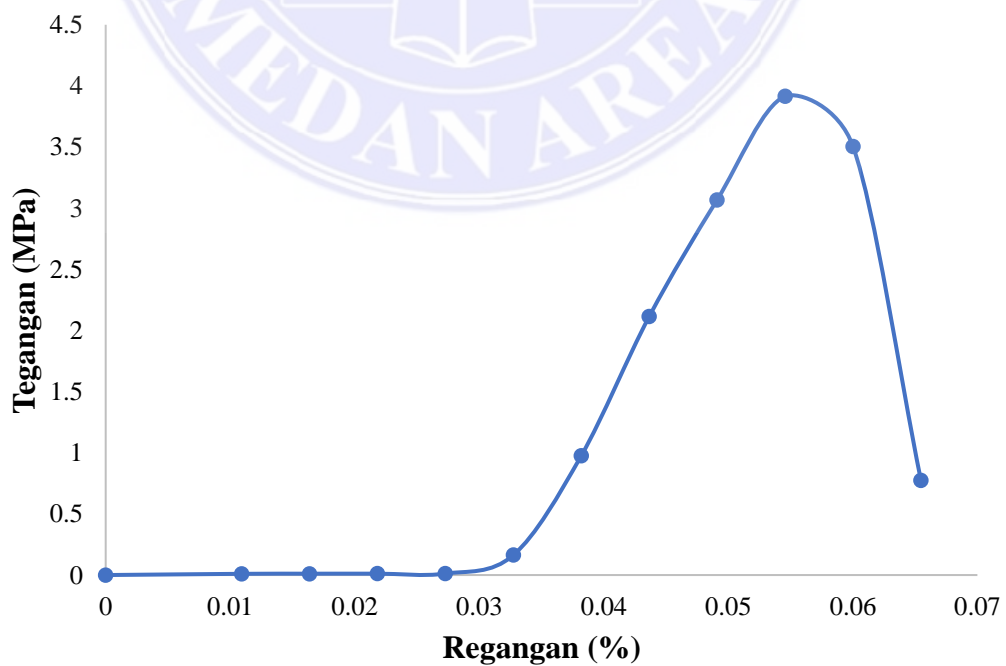
- Pakpahan, G., Siahaan, M. Y., & Siregar, R. A. (2023). Perancangan Alat Uji Impak Anak Panah Jatuh Bebas untuk Menguji Lembaran Plastik dengan Kapasitas 120 gr. *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, 7(1), 95–103.
- Patimah, S., & Mahnur, F. (2019). *Penggunaan Media Bahan Alam Untuk Meningkatkan Keterampilan Motorik Halus Pada Kelompok B di TK PGRI Cidahu*. 220.
- Pet, P. P., & Putra, W. T. (2017). *Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis*. 2(1), 51–56.
- Porawati, H. (2018). Analisis Alat Uji Impak Metode Izod pada Bengkel Politeknik Jambi. *Jurnal Inovator*, 1(1), 1–5.
- Pratama, R., Dirhamsyah, M., & Nurhaida, . (2019). Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Gypsum Dari Limbah Kayu Akasia (*Acacia Mangium Willd*) Berdasarkan Kadar Gypsum Dan Ukuran Serbuk Kayu. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(1), 305–315.
- Rizqy, M. I. N., Ariadhy, R. Z., Alpinas, G., Ryzki, J., & Wideasanti, I. (2021). Analisa Kebutuhan Material Pembesian pada Struktur Shear Wall. *Jurnal IKRA-ITH TEKNOLOGI*, 5(2), 1–5.
- Saktiawan, A., Arief Siregar, R., & Rahmansyah Siahaan, Y. (2023). Analisis Pengaruh Proses Penempaan Pada Bahan Logam Terhadap Kekuatan Impact. *JITMI*.
- Samlawi, A. K. (2016). Material Teknik. *Martensitic SS*, 48. Modul Kuliah Material Teknik.pdf
- Septi, Yusufno, M., Zainuri, & Soehardi, F. (2023). Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Penambahan Limbah Gypsum Ditinjau Dari Nilai Kuat Geser. *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, 11(1), 55–60.
- Sinaga, R. C. M., Aswan, D., & Ritonga, A. (2022). Bahan Logam Ferrodengan Sistem Perlakuan Panaspada Mobil Colt Diesel. *Semnastek- Iusu*, 978–623, 72–73.
- Sulis Dri Handono dan, B. (2020). *Pengujian Material*. CV. LADUNY ALIFATAMA.
- Watanabe, Y., Abe, H., & Oka, Y. (2014). Materials. *Supercritical-Pressure Light Water Cooled Reactors*, 9784431550, 321–345. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55025-9_4
- Yadi. (2018). Analisa Usability Pada Website Traveloka. *Jurnal Ilmiah Betrik*, 9(03), 172–180.
- Zain, A. M., Widodo, E., & ... (2024). Analisa Dinamis Pada Portal Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Sesuai Sni 1726: 2019 Wilayah Kota Palu. *Jurnal Surya Teknika ...*, 1(1), 27–38.
- Zaky Ramdhani, M., Aditya Nugraha, B., & Rahayu, U. (2024). Manajemen Pasca Bedah Pada Kasus Open Fraktur Segmental Cruris : Case Report. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 2(4), 1275--1289. Hubungan Motivasi Ibu Dukungan Keluarga Dan Peran Bidan Terhadap Kunjungan Nifas Di Puskesmas Maripari Kabupaten Garut Tahun 2023.

LAMPIRAN

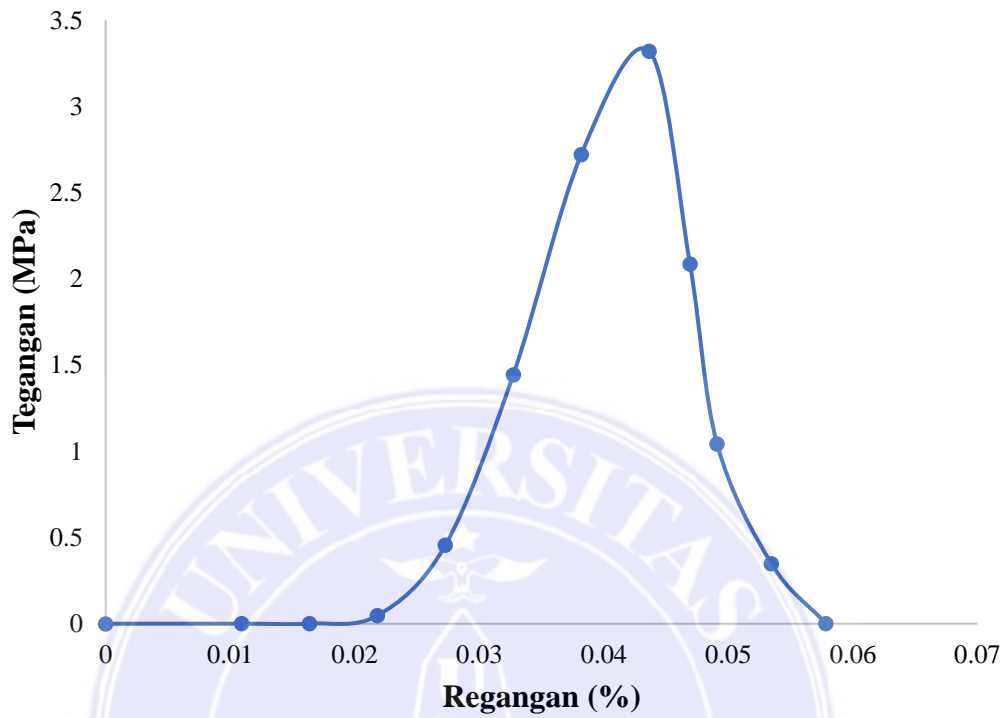
1. Grafik tegangan dan regangan spesimen takik 10 mm



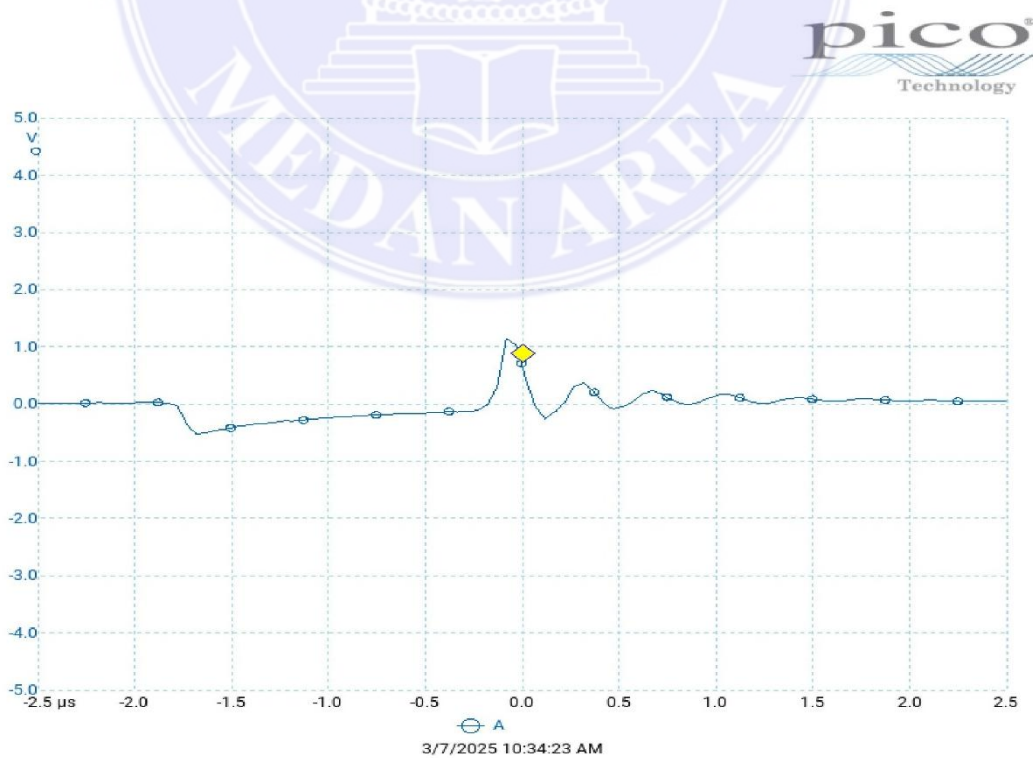
2. Grafik tegangan dan regangan spesimen takik 15 mm



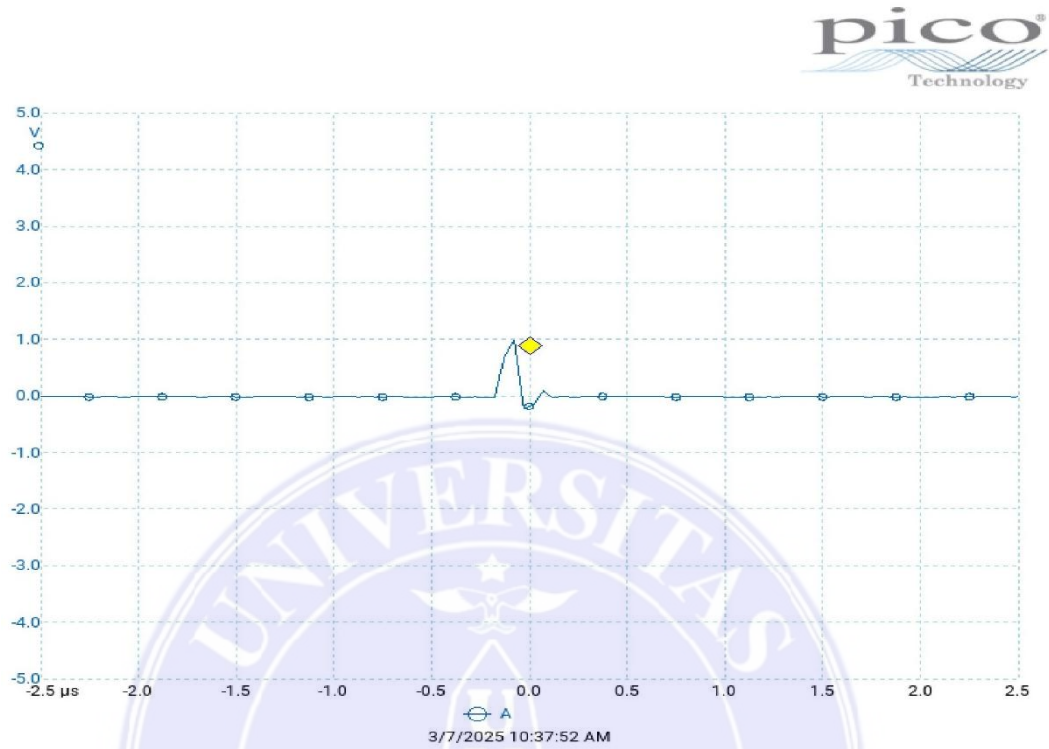
3. Grafik tegangan dan regangan spesimen takik 20 mm



4. Grafik Pico 2 Bar



5. Grafik Pico 3 Bar



6. Grafik Pico 4 Bar

