

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

SKRIPSI

OLEH:

JHOSEPH FERNANDO WARUWU

208130048



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 9/4/26

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 (repositori.uma.ac.id)9/4/26

HALAMAN JUDUL

ANALISIS FRAKTUR MATERIAL KERAMIK 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 :
JHOSEPH FERNANDO WARUWU
208130048

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


UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Analisis Fraktur Material Keramik Berbentuk Cakram Pada Takik U Akibat Beban Dinamis
Nama Mahasiswa : Jhoseph Fernando
Waruwu NIM : 208130048
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


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


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


Dr. Iswandi S.T., M.T
Prodi. Teknis/ WD I

Tanggal Lulus : 9 Juli 2025

HALAMAN PENYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulisan saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain yang sudah saya tuliskan narasumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etikah penulis 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, 9 Juni 2025


METERAI TEMPEL
DAGB2ANX01E7B1250
Jhoseph Fernando Waruwu



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 : Jhoseph Fernando Waruwu
NPM : 208130048
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/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 Keramik 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, mengalihmedia/formatkan mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 9 Juni 2025
Yang menyatakan



Jhoseph Fernando Waruwu

ABSTRAK

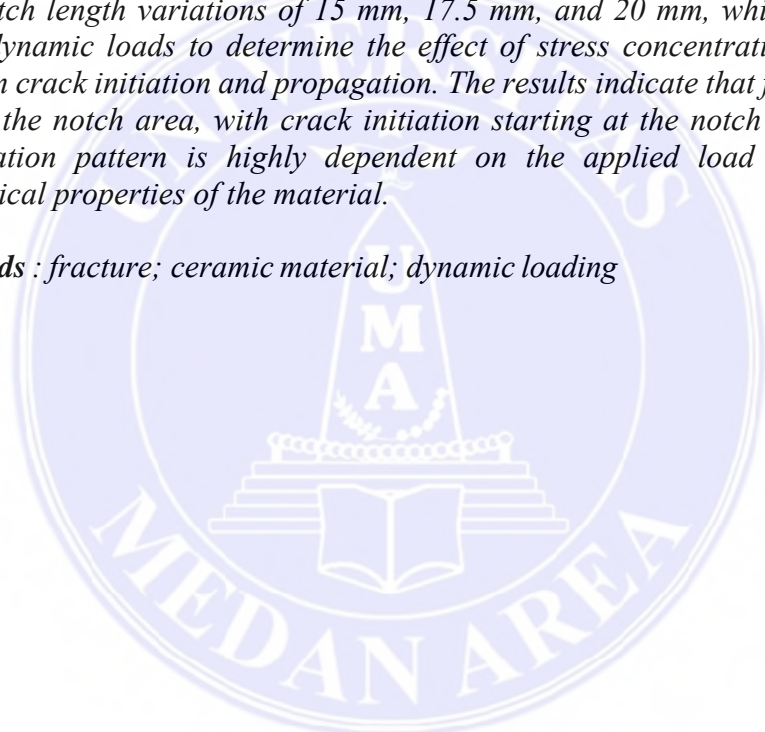
Perkembangan industri manufaktur dan material pada komponen mesin, alat pemotong, dan pelapis tahan aus yang sering mengalami tegangan tinggi memerlukan pemahaman tentang mekanisme fraktur material keramik untuk membantu pengembangan material baru dengan ketahanan lebih baik terhadap beban dinamis. Tujuan penelitian ini membuat spesimen berbentuk cakram dengan material keramik untuk pengujian terhadap beban dinamis. Serta menganalisis fraktur yang terjadi pada material akibat beban dinamis. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimental dan setiap tindakan yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis fraktur yang terjadi pada spesimen. Pengujian dilakukan untuk mengamati pola retak, mekanisme propagasi retak, serta karakteristik kegagalan material. Spesimen berbentuk cakram dengan material keramik yang memiliki takik U ditengahnya dengan variasi panjang takik 15 mm, 17,5 mm, dan 20 mm yang diuji dengan beban dinamis untuk menentukan pengaruh tegangan di sekitar konsentrasi takik terhadap inisiasi dan propagasi retak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraktur terjadi pada daerah sekitar takik dengan pola retak yang dimulai dari ujung takik dan pola retak sangat bergantung pada tingkat beban dan sifat mekanik material.

Kata kunci : fraktur, material keramik, beban dinamis

ABSTRACT

The development of the manufacturing and material industries, particularly in machine components, cutting tools, and wear-resistant coatings that are often subjected to high stress, requires an understanding of the fracture mechanisms of ceramic materials to aid in the development of new materials with better resistance to dynamic loads. This study aims to fabricate disc-shaped ceramic specimens for dynamic load testing and analyze the fractures that occur in the material due to dynamic loading. The method used is an experimental approach, where each step is conducted to examine the fracture behavior in the specimens. The testing was performed to observe crack patterns, crack propagation mechanisms, and material failure characteristics. The ceramic disc specimens have a U-notch in the center with notch length variations of 15 mm, 17.5 mm, and 20 mm, which were tested under dynamic loads to determine the effect of stress concentration around the notch on crack initiation and propagation. The results indicate that fractures occur around the notch area, with crack initiation starting at the notch tip. The crack propagation pattern is highly dependent on the applied load level and the mechanical properties of the material.

Keywords : *fracture; ceramic material; dynamic loading*



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan, pada 12 Juni 2001 dari pasangan Bapak Yusman Waruwu dan Ibu Berliana Simangunsong. Penulis merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Jalan Karya VII Prasejahtera I No 59 Medan.

Pada tahun 2007 penulis memulai pendidikan di TK Victory School Medan, selanjutnya pada tahun 2007 penulis melanjutkan pendidikan di SD Negeri 066045, kemudian pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Swasta Eka Prasetya, pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikannya di SMK Swasta Eka Prasetya, kemudian pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Selama berada dibangku kuliah, penulis aktif melakukan kegiatan perkuliahan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk penelitian kedepannya.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah menyertai selama proses penulisan skripsi ini, tanpa bimbingan, kekuatan, dan kasih setia-Nya, saya tidak akan mampu menyelesaikan semua tantangan yang ada. Terima kasih Tuhan Yesus Kristus, atas hikmat dan pertolongan-Mu yang selalu tepat waktu. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi bagi setiap mahasiswa Universitas Medan Area untuk menyelesaikan pendidikan dengan mendapatkan gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dalam Penulisan skripsi ini banyak kendala yang penulis alami, namun berkat bantuan moral dan material dari berbagai pihak, maka proposal ini dapat diselesaikan, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr.Eng. Supriatno, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Iswandi, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir.Tino Hermanto, ST., M.Sc., IPP. selaku Kabid. Pembelajaran & Sistem Informasi Akademik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
5. Bapak Muhammad Yusuf Rahmansyah Siahaan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen program studi Teknik Mesin dan pegawai Fakultas Teknik di Universitas Medan Area.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Yusman Waruwu dan Ibu Berliana Simangunsong yang selalu memberi dukungan, berupa moral dan materi serta doa yang tak pernah putus kepada penulis dalam melakukan penulisan skripsi ini.
8. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 20 kelas malam yang senantiasa membantu dan mendukung penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
9. Terima kasih buat Dian Yemima Panjaitan selaku "backingan" selama perkuliahan sejak 2020 dan juga sebagai "konsultan" penulisan skripsi ini.

Penulis berusaha untuk memberikan yang terbaik, tetapi penulis menyadari sebagai seorang manusia tentunya tidak luput dari segala kesalahan. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis meminta maaf jika dalam skripsi ini masih terdapat berbagai kesalahan dan kekurangan. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

Medan, 9 Juni 2025



Jhoseph F. Waruwu

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	1
1.4. Hipotesis Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Material.....	6
2.2. Uji Impak	51
2.3. Analisis Fraktur Material	61
2.4. Jenis-jenis patahan	62
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	64
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	64
3.2. Alat dan Bahan	65
3.2. Metode Penelitian	68
3.3. Populasi dan Sampel	70
3.4. Prosedur Kerja	71
BAB IV HASIL DAN PENELITIAN	74
4.1 Pembuatan Spesimen Material Keramik.....	74
4.2 Hasil Pengujian Spesimen Dengan Alat Uji Tekan Statis	76
4.3 Hasil Pengujian Spesimen Dengan Mesin Hopkinson.....	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
Daftar Pustaka	91

DAFTAR TABEL

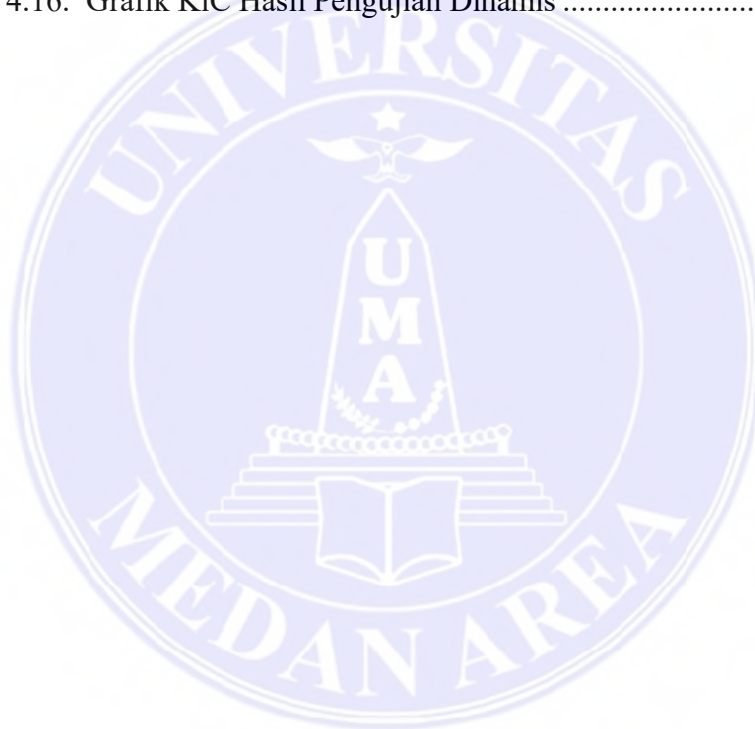
Tabel 3.1. Jadwal waktu dan kegiatan saat melakukan penelitian.....	64
Tabel 3.2. Variasi spesimen yang akan diuji	70
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Dinamis	86
Tabel 4.2. Hasil Analisis.....	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi Material	5
Gambar 2.2. Logam	8
Gambar 2.3. Aluminium	10
Gambar 2.4. Tembaga	12
Gambar 2.5. Kuningan	13
Gambar 2.6. Perunggu	14
Gambar 2.7. Titanium	16
Gambar 2.8. Timah	17
Gambar 2.9. Seng	18
Gambar 2. 10. Diagram Fe (Fe- C diagram fase besi-karbon)	19
Gambar 2.11. Besi	20
Gambar 2.12. Baja	22
Gambar 2.13. Baja Karbon Rendah	24
Gambar 2.14. Poros	25
Gambar 2.15. Baja Karbon Tinggi	26
Gambar 2.16. Baja paduan	27
Gambar 2.17. Besi tuang	28
Gambar 2.18. Karet Alam	37
Gambar 2.20. Karet Vulkanisir	37
Gambar 2.21. Sulfur	37
Gambar 2. 22. Polietena	38
Gambar 2.23. Styrofoam	38
Gambar 2.24. Disk Rem Mobil	44
Gambar 2. 25. Kaca Amorf BIPV Panel Tenaga Surya	46
Gambar 2.26. Pembebanan metode izod & metode charpy	51
Gambar 2.27. Ilustrasi skematis pengujian impak	52
Gambar 2. 28. Ilustrasi gerakan pendulun	52
Gambar 2.29. Alat uji impak jatuh bebas	55
Gambar 2. 30. Alat Uji Impak Anak Panah	57
Gambar 2. 31. Mesin Hopkinson	58
Gambar 2. 32. Sketsa Vertikal SHPB	60
Gambar 2.33. Perpatahan Ulet	63
Gambar 2.34. Perpatahan Getas	63
Gambar 3.1. Mesin Uji Statis	65
Gambar 3.2. Mesin Hopkinson	65
Gambar 3.3. Cetakan	66
Gambar 3.4. Mixer	66
Gambar 3.5. Wadah plastik	67
Gambar 3.6. Timbangan	67
Gambar 3.7. Bubuk Keramik DIY	68
Gambar 3.8. Gambar Teknik Spesimen	71
Gambar 3.9. Diagram Alir Pembuatan Spesimen	72
Gambar 3.10. Diagram alir pengujian	72
Gambar 4.1. Spesimen yang siap diuji	75

Gambar 4.2. Spesimen Setelah Diuji Statis	76
Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengujian Spesimen Dengan Takik U 15 mm.....	76
Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengujian Spesimen Dengan Takik U 17,5 mm.....	77
Gambar 4.5. Grafik Hasil Pengujian Spesimen Dengan Panjang Takik 20 mm....	77
Gambar 4.6. Grafik Regangan Hasil Pengujian Statis	78
Gambar 4.7. Grafik Tegangan Hasil Pengujian Statis	80
Gambar 4.8. Grafik Modulus Elastisitas Hasil Pengujian Statis	81
Gambar 4.9. Grafik KiC Hasil Pengujian Statis	82
Gambar 4.10. Spesimen Setelah Diuji Dinamis	84
Gambar 4.11. Grafik Voltase 3 Bar	85
Gambar 4.12. Grafik Voltase 4 Bar.....	85
Gambar 4.13. Grafik Voltase 5 Ba.....	86
Gambar 4.14. Grafik Tegangan Hasil Pengujian Dinamis	88
Gambar 4.15. Grafik Regangan Hasil Pengujian Dinamis	89
Gambar 4.16. Grafik KiC Hasil Pengujian Dinamis	89



DAFTAR NOTASI

Notasi		Satuan
σ	= Tegangan	()
A	= Luas penampang	(mm ²)
F	= Gaya (beban)	(Kgf)
ε	= Regangan	
l_0	= Panjang awal	(mm)
l_i	= Panjang akhir	(mm)
ΔL	= Pertambahan panjang	(mm)
E	= Modulus elastisitas	(Mpa)
t	= Waktu	(μ s)
A_s	= Luas penampang spesimen	(mm ²)
l_o	= Panjang awal spesimen	(mm)
e_0	= Output voltage baterai	(v)
E	= Baterai	(v)
K_s	= Gage factor pada strain gauge	
ε_0	= Regangan	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Keramik merupakan material yang memiliki karakteristik unik, seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap panas, dan ketahanan terhadap korosi (Szabó & Czigány, 2002). Namun, sifat getas dari material keramik membuatnya rentan terhadap fraktur, terutama di bawah kondisi beban dinamis. Penggunaan keramik dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari komponen elektronik hingga peralatan medis dan komponen struktural, menuntut pemahaman yang mendalam tentang bagaimana material ini berperilaku di bawah berbagai kondisi beban.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis fraktur material adalah dengan menggunakan spesimen berbentuk cakram yang diberi takik berbentuk U. Takik ini berfungsi untuk menciptakan konsentrasi tegangan yang terkendali, yang memudahkan studi tentang inisiasi dan perambatan retakan. Namun, studi ini menjadi lebih kompleks ketika melibatkan beban dinamis, yaitu beban yang berubah secara cepat atau berulang-ulang dalam waktu singkat. Beban dinamis sering ditemukan dalam aplikasi nyata, seperti impak atau getaran mekanik.

Mesin Hopkinson, atau lebih dikenal sebagai Split-Hopkinson Pressure Bar (SHPB), adalah alat yang sangat efektif untuk mempelajari perilaku material di bawah beban dinamis. Mesin ini dapat menghasilkan gelombang stres berkecepatan tinggi yang diterapkan pada spesimen, memungkinkan analisis rinci tentang bagaimana material merespons beban mendadak. Penggunaan SHPB dalam

menguji fraktur material keramik berbentuk cakram dengan takik U menawarkan wawasan penting tentang ketahanan material terhadap fraktur dinamis, yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur ilmiah.

Bentuk takik U dipilih karena bentuk ini sering digunakan untuk merepresentasikan cacat geometris atau konsentrasi tegangan yang nyata pada komponen teknik. Dalam penelitian ini, beban dinamis diaplikasikan melalui metode eksperimental, seperti uji Hopkinson bar atau metode serupa, guna mengetahui bagaimana retakan awal muncul, berkembang, dan menyebabkan kegagalan total pada struktur material.

Melalui pemantauan menggunakan strain gauge dan pencatatan data dengan osiloskop digital seperti PicoScope, diperoleh respons dinamis material terhadap tegangan dan regangan yang terjadi selama proses pembebanan. Selanjutnya, analisis visual terhadap pola fraktur dilakukan untuk memahami orientasi dan propagasi retak, terutama di sekitar ujung takik yang menjadi titik konsentrasi tegangan tertinggi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Fraktur pada material keramik umumnya memiliki sifat getas, dan kehadiran takik seperti takik U berpotensi menjadi lokasi awal retakan. Penting untuk memahami pola fraktur yang dihasilkan serta bagaimana takik U mempengaruhi konsentrasi tegangan yang memicu terjadinya fraktur di bawah beban dinamis.
2. Beban dinamis yang berubah-ubah dapat mempengaruhi laju propagasi retak serta memicu inisiasi retak pada tingkat tegangan yang berbeda

dibandingkan dengan beban statis. Hal ini membutuhkan analisis lebih lanjut untuk menentukan apakah beban dinamis meningkatkan kecepatan propagasi retak atau memperpendek umur material.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat spesimen uji impak batang material keramik berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.
2. Menguji spesimen uji impak batang material keramik berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.
3. Analisis fraktur material keramik berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis.

1.4 Hipotesis Penelitian

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

1.5 Manfaat Penelitian

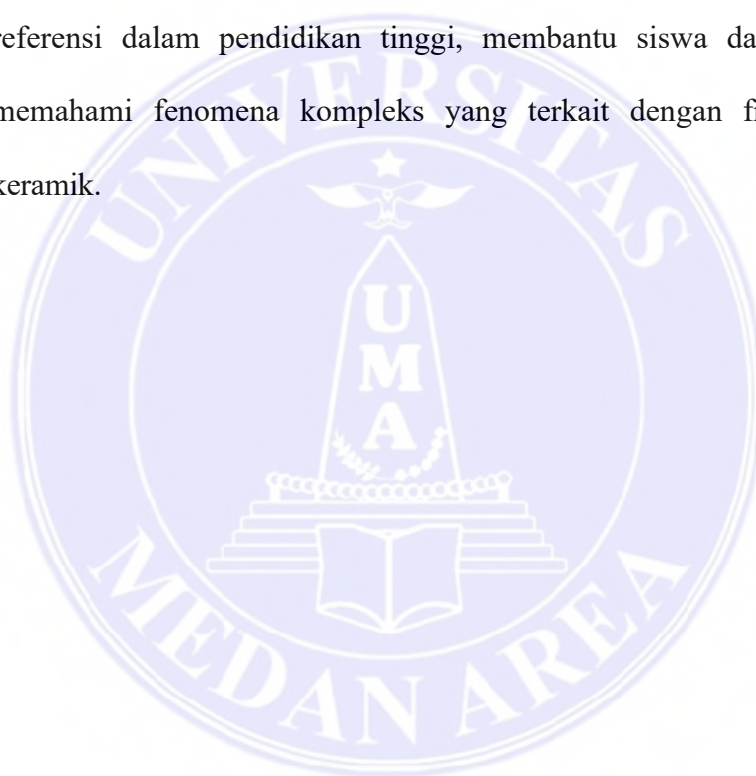
Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini berkenaan memberikan manfaat ilmiah dan manfaat praktis, yakni:

1.5.1. Manfaat Ilmiah

- a. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca tentang uji impak terhadap material keramik berbentuk cakram

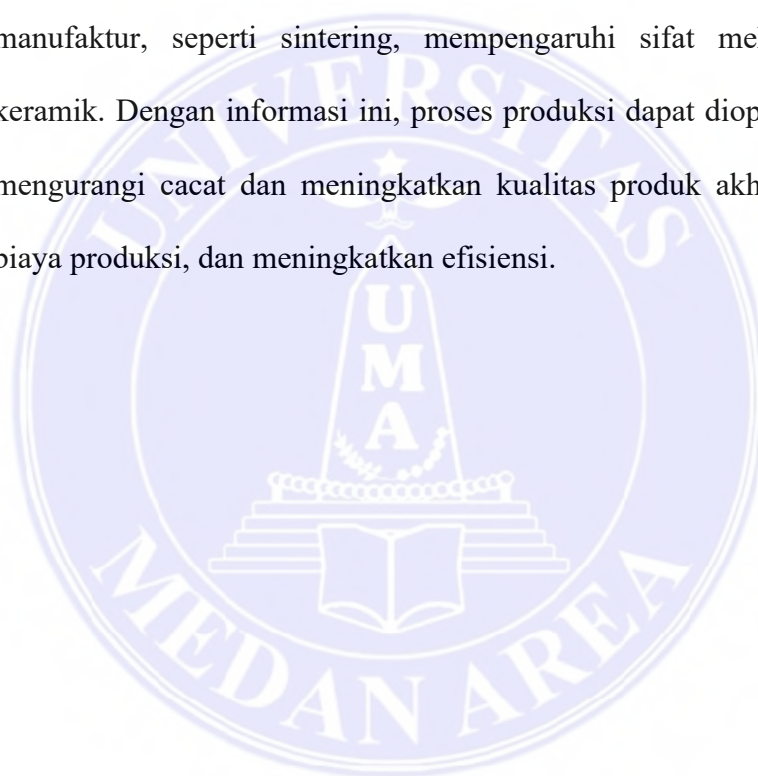
pada takik U akibat beban dinamis.

- b. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai bagaimana material keramik 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 keramik.



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 keramik. Dengan informasi ini, proses produksi dapat dioptimalkan untuk mengurangi cacat dan meningkatkan kualitas produk akhir, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan efisiensi.

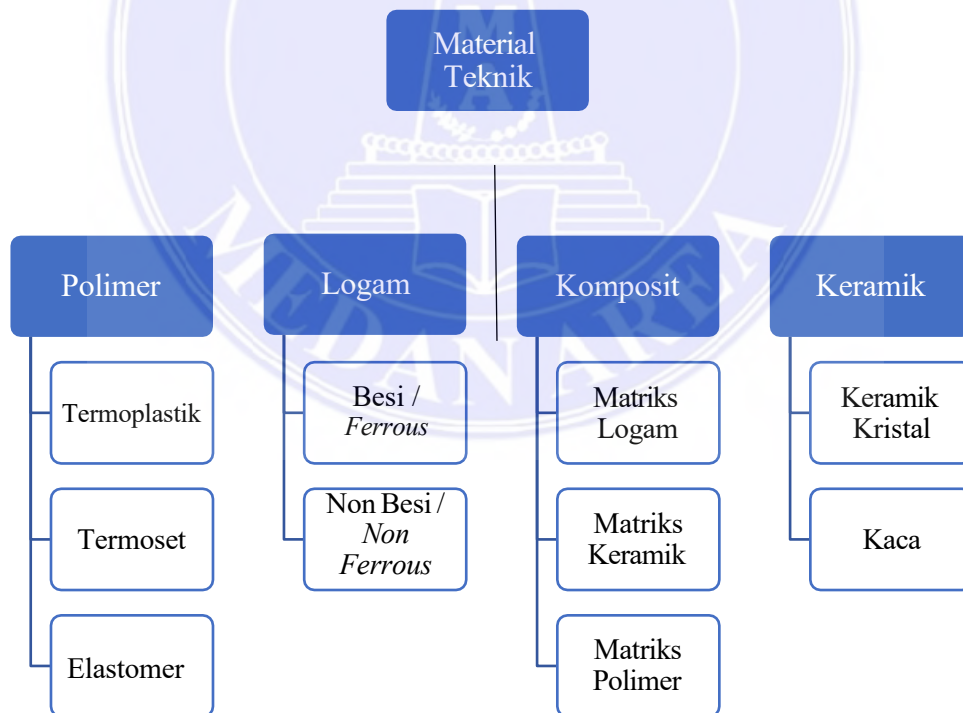


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material

Dengan memahami klasifikasi bahan, para insinyur, arsitek, dan desainer dapat memilih bahan yang tepat untuk suatu aplikasi tertentu, memastikan efisiensi dan efektivitas dalam penggunaannya (Sari, 2018). Dalam dunia industri dan manufaktur, pemahaman tentang klasifikasi bahan sangat penting karena setiap jenis bahan memiliki karakteristik yang berbeda, yang mempengaruhi cara penggunaannya dan aplikasi teknologi yang sesuai. Secara umum, material dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian utama, dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi Material

Alam menyediakan berbagai jenis material dan sumber potensi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi keinginan dan kebutuhan hidup manusia. Jauh sebelum revolusi industri manusia telah menyadari bahwa pemanfaatan material mampu mengubah peradaban manusia, oleh sebab itu, peranan material menjadi sangat penting dan terus berkembang mengikuti perkembangan peradaban, ilmu pengetahuan dan teknologi. Dengan demikian, berbagai sumber daya alam dapat diolah dan dieksplorasi secara besar-besaran. Selain itu, teknologi informasi juga memiliki pengaruh yang besar terhadap perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang menjadikan persaingan ekonomi menjadi sangat ketat, sedangkan ketersediaan sumber daya alam material menjadi sangat terbatas, tentu hal ini menuntut inovasi dan efisiensi pemanfaatan material alam (Sari, 2018).

Material—material teknik adalah material yang dapat digunakan langsung maupun melalui proses perlakuan dan menjadi material baku sebuah produk yang bermanfaat. Keragaman kebutuhan manusia akan sebuah produk dengan kualitas maupun kuantitas yang baik membutuhkan pula keragaman dari material-material teknik sebagai material bakunya. Walaupun, semua material diperoleh dari alam tetapi untuk memudahkan dalam pemilihannya, maka material teknik ini digolongkan berdasarkan pemakaiannya sebagai produk jadi maupun sebagai material baku. Material—material ini dapat dipakai secara langsung dan dipilih disesuaikan dengan sifat dan karakteristik dari material tersebut, material ini yang kita sebut sebagai material alam, namun ada juga material yang diolah terlebih dahulu agar memiliki sifat dan karakteristik secara spesifik atau menyerupai sifat dan karakteristik material—material alam tertentu sehingga memenuhi syarat kebutuhan sifat dan disesuaikan dengan sifat—sifat yang ada pada material tersebut

(Rahmad, 2019). Material yang digunakan dalam industri membuat berbagai produk dan struktur yang memerlukan kekuatan, ketahanan, dan performa optimal. Perkembangan material teknik harus mampu juga berkontribusi dalam membuat desain yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi.

2.2.1 Logam

Logam telah menjadi salah satu material terpenting dalam perkembangan peradaban manusia. Sejak zaman perunggu hingga era industri modern, logam telah memainkan peran kunci dalam berbagai sektor seperti konstruksi, otomotif, elektronik, dan manufaktur. Karakteristik yang unik, seperti kekuatan mekanis, kemampuan menghantarkan listrik dan panas, serta kemampuannya untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk kompleks, membuat logam sangat bernilai dalam aplikasi industri dan teknologi (Rahmad, 2019).

Secara umum, logam adalah elemen atau campuran yang memiliki sifat-sifat fisik dan kimia tertentu. Mereka memiliki kilap alami, menghantarkan listrik dan panas dengan baik, serta mampu mengalami deformasi plastis (kemampuan untuk ditempa dan dibentuk tanpa mengalami keretakan). Logam umumnya padat pada suhu kamar, kecuali merkuri yang berbentuk cair. Mereka sering digunakan dalam pembuatan berbagai komponen mekanis, struktur bangunan, kabel listrik, hingga peralatan rumah tangga.

Logam adalah material yang biasanya padat pada suhu kamar dan memiliki sifat fisik yang khas seperti kilau, kekerasan dan kemampuan untuk menghantarkan listrik serta panas dengan baik (Sari, 2018). Logam-logam yang sering dijumpai dalam bidang teknik adalah besi, tembaga, dan aluminium. Oleh karena bahan-bahan tersebut relatif banyak digunakan, bahan-bahan tersebut akan dibahas lebih

banyak dibandingkan bahan-bahan yang lainnya. Proses pembuatan logam dari bijih logam adalah rangkaian langkah yang kompleks dan memerlukan teknologi tinggi untuk mengubah bahan mentah alami menjadi logam murni yang siap digunakan dalam berbagai industri. Logam pada awalnya dibuat dari bijih logam, dimana bijih logam dapat diperoleh dengan cara menambang baik yang berupa bijih logam murni maupun yang bercampur dengan materi lain, dapat kita lihat seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Logam

Logam berdasarkan keberadaan besi dan karbon yang dalam paduan mereka dibedakan menjadi dua kategori, yaitu :

1. Logam *Non Ferro*

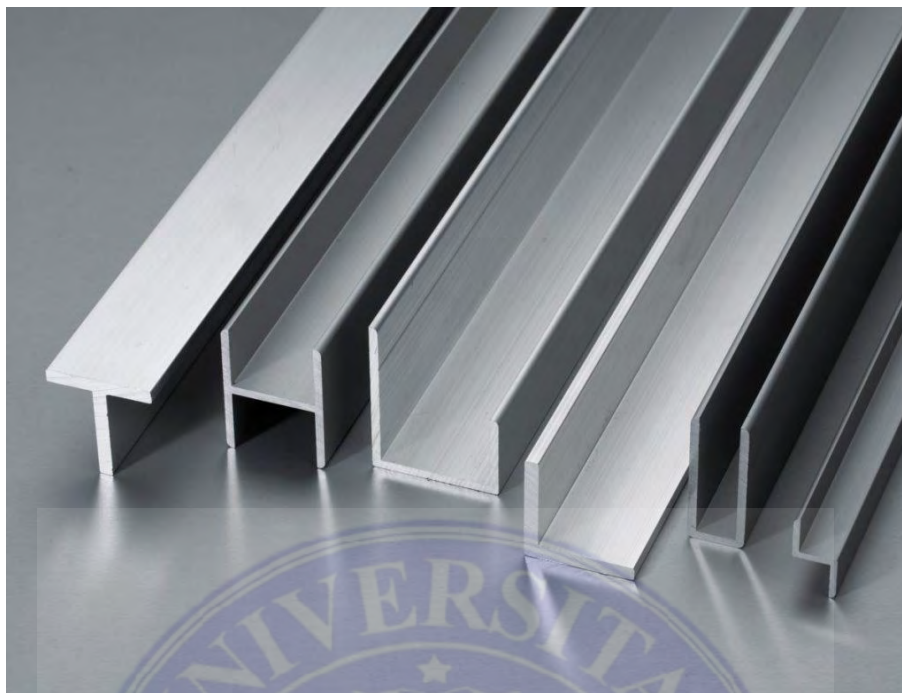
Logam non ferro merupakan logam yang tidak mengandung besi (Fe) dan karbon (C) dalam susunan unsur-unsur dasarnya. Karakteristik utama dari logam non ferrous adalah ketahanannya terhadap korosi, konduktivitas listrik yang baik

dan kepadatan rendah. Jenis-jenis logam non ferro yang umum adalah aluminium (AL), magnesium (Mg), tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni), timah hitam (Pb), timah putih (Sn) dan logam-logam mulia. Karena sifat-sifat ini, logam non-ferrous sering digunakan dalam berbagai aplikasi teknis dan industry, dapat dilihat sebagai berikut :

a. Aluminium:

Aluminium adalah salah satu logam yang paling melimpah di kerak bumi, menyusun sekitar 8% dari total massa kerak bumi. Namun, meskipun keberadaannya sangat melimpah, aluminium tidak ditemukan dalam bentuk murni di alam. Logam ini ditemukan dalam bentuk senyawa di dalam bijih seperti bauksit, yang merupakan sumber utama produksi aluminium. Proses pengolahan aluminium dari bijih bauksit hingga menjadi logam murni melibatkan beberapa tahapan penting, termasuk pemurnian bauksit menjadi alumina melalui proses Bayer, dan peleburan alumina menjadi aluminium melalui proses *Hall-Hérout*.

Aluminium terkenal dengan sifat-sifat fisik dan kimianya yang unik, yang membuatnya sangat serbaguna dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Salah satu sifat paling menonjol dari aluminium adalah ringannya—logam ini memiliki massa jenis hanya sepertiga dari baja atau tembaga, sehingga sangat ideal digunakan dalam industri yang membutuhkan material ringan namun kuat, seperti industri penerbangan dan otomotif (Rahmawati & Nuraliyah, 2024). Selain itu, aluminium juga tahan terhadap korosi. Saat aluminium bereaksi dengan oksigen di udara, ia membentuk lapisan tipis oksida yang melindunginya dari kerusakan lebih lanjut, menjadikan logam ini ideal untuk digunakan dalam lingkungan yang lembap atau korosif, dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Aluminium

Keunggulan lain dari aluminium adalah konduktivitas listrik dan panas yang baik. Walaupun tidak sebaik tembaga, aluminium banyak digunakan dalam kabel listrik dan aplikasi termal, terutama karena harganya yang lebih murah dan bobotnya yang lebih ringan. Dalam aplikasi kelistrikan, aluminium digunakan dalam kabel transmisi jarak jauh, di mana bobot yang lebih ringan dapat mengurangi biaya pemasangan dan pemeliharaan. Sifat ini juga membuat aluminium banyak digunakan dalam berbagai produk elektronik dan peralatan dapur.

Salah satu logam non-ferrous yang paling umum digunakan, aluminium terkenal karena ringan dan tahan karat. Ini menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi seperti pesawat terbang, kendaraan bermotor, dan kemasan makanan. Aluminium juga mudah dibentuk dan dapat didaur ulang tanpa kehilangan kualitas. Proses daur ulang aluminium membutuhkan energi hanya sekitar 5% dari

energi yang dibutuhkan untuk memproduksi aluminium baru dari bijih bauksit. Karena itu, aluminium dianggap sebagai material yang sangat ramah lingkungan dan ekonomis untuk digunakan berulang kali tanpa kehilangan sifat-sifat utamanya.

b. Tembaga

Tembaga adalah logam non-ferrous yang memiliki konduktivitas listrik dan panas yang sangat baik, menjadikannya bahan utama dalam kabel listrik dan sistem pemanas (Astuti, 2013). Tembaga juga digunakan dalam pembuatan pipa dan peralatan industri berkat ketahanannya terhadap korosi. Logam ini ditemukan dalam bentuk murni di alam dan pertama kali digunakan oleh manusia purba untuk membuat alat, senjata, serta perhiasan. Seiring dengan perkembangan teknologi, tembaga semakin penting dalam berbagai sektor, terutama karena sifat-sifat fisiknya yang unik. Sebagai salah satu logam dengan konduktivitas listrik dan panas terbaik, tembaga menjadi material yang sangat dibutuhkan dalam industri kelistrikan dan elektronik, serta berbagai aplikasi teknologi modern lainnya.

Salah satu keunggulan utama tembaga adalah konduktivitas listriknya yang sangat tinggi, hanya dikalahkan oleh perak. Karena sifat ini, tembaga digunakan secara luas dalam pembuatan kabel listrik, motor, generator, dan perangkat elektronik lainnya. Di bidang kelistrikan, kabel tembaga sangat diandalkan karena mampu menghantarkan listrik dengan efisien, sehingga mengurangi energi yang hilang dalam bentuk panas. Tembaga juga memiliki sifat mekanis yang baik, seperti ketahanan terhadap korosi dan fleksibilitas, yang memungkinkan kabel dan komponen tembaga bertahan lama dalam berbagai kondisi lingkungan, dapat dilihat pada gambar 2.4.

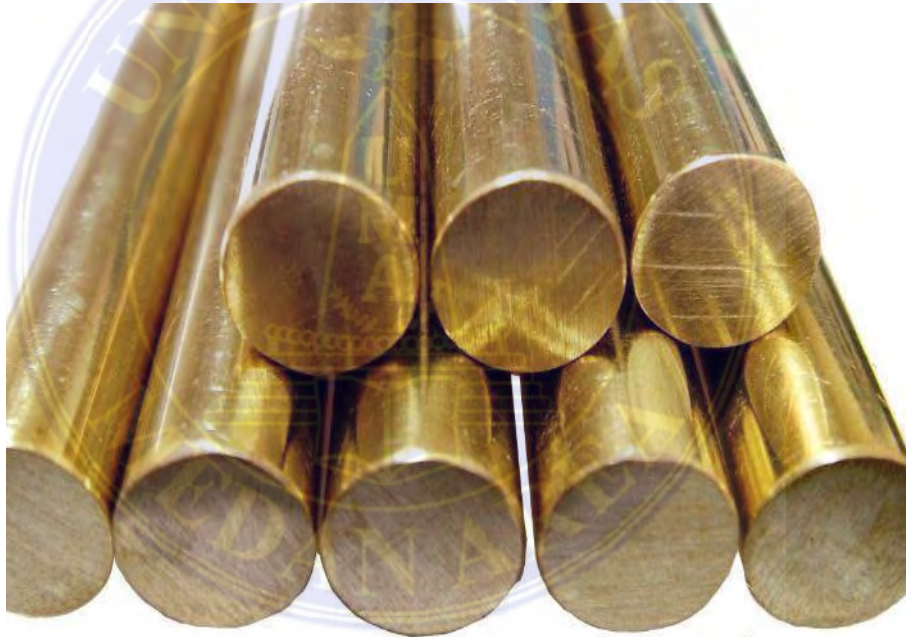


Gambar 2.4. Tembaga

c. Kuningan

Kuningan adalah paduan tembaga dan seng yang memiliki kekuatan mekanik yang baik dan ketahanan terhadap korosi. Kuningan sering digunakan dalam pembuatan komponen mesin, kunci, dan alat musik. Warna kuning keemasan yang khas juga menjadikannya populer dalam dekorasi dan perhiasan. Dalam dunia arsitektur dan dekorasi, kuningan sering dipilih karena warna keemasan yang hangat dan cemerlang, yang dapat memberikan nuansa mewah dan elegan pada berbagai produk, mulai dari peralatan rumah tangga, hiasan, hingga karya seni. Permukaannya yang halus dan mudah dipoles membuatnya cocok untuk pembuatan barang-barang hiasan, seperti patung, pegangan pintu, dan ornamen.

Selain keindahannya, kuningan juga memiliki sifat yang sangat praktis. Kuningan tahan terhadap korosi, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat yang sering terpapar oleh kelembapan atau elemen-elemen keras, seperti pipa, katup, dan fitting (Setiawan, 2013). Sifat antibakterinya juga membuat kuningan populer dalam pembuatan gagang pintu dan perlengkapan sanitasi, karena logam ini mampu mengurangi pertumbuhan bakteri di permukaannya. Singkatnya, kuningan bukan hanya dihargai karena keindahan estetikanya, tetapi juga karena daya tahannya dan aplikasinya yang luas dalam kehidupan sehari-hari, dari produk-produk dekoratif hingga penggunaan industry, dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Kuningan

d. Perunggu

Logam perunggu merupakan paduan antara tembaga dengan timah yang lebih dikenal dengan paduan Cu-Sn. Perunggu merupakan paduan berbahan dasar tembaga yang telah lama digunakan untuk berbagai macam keperluan. Paduan

tembaga dengan timah, perunggu memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi dan aus. Ini sering digunakan dalam pembuatan patung, perhiasan, dan berbagai komponen mesin yang memerlukan kekuatan dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang keras (Grafika & Yogyakarta, 2017).

Paduan ini lebih keras daripada tembaga murni, tetapi tetap cukup lunak untuk dibentuk dengan berbagai metode, seperti pengecoran dan penempaan. Dalam dunia seni dan patung, perunggu sangat diminati karena kemampuannya untuk menghasilkan detail yang halus saat dituangkan ke dalam cetakan. Patung-patung perunggu, seperti yang sering terlihat pada peninggalan Romawi dan Yunani, tetap bertahan dalam kondisi baik hingga ratusan bahkan ribuan tahun karena ketahanan logam ini terhadap perubahan cuaca dan waktu, dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Perunggu

Kekuatan dan daya tahan perunggu memungkinkan manusia kuno untuk menciptakan berbagai peralatan rumah tangga, senjata, dan perlengkapan yang lebih baik, yang pada gilirannya mempercepat perkembangan peradaban. Perunggu

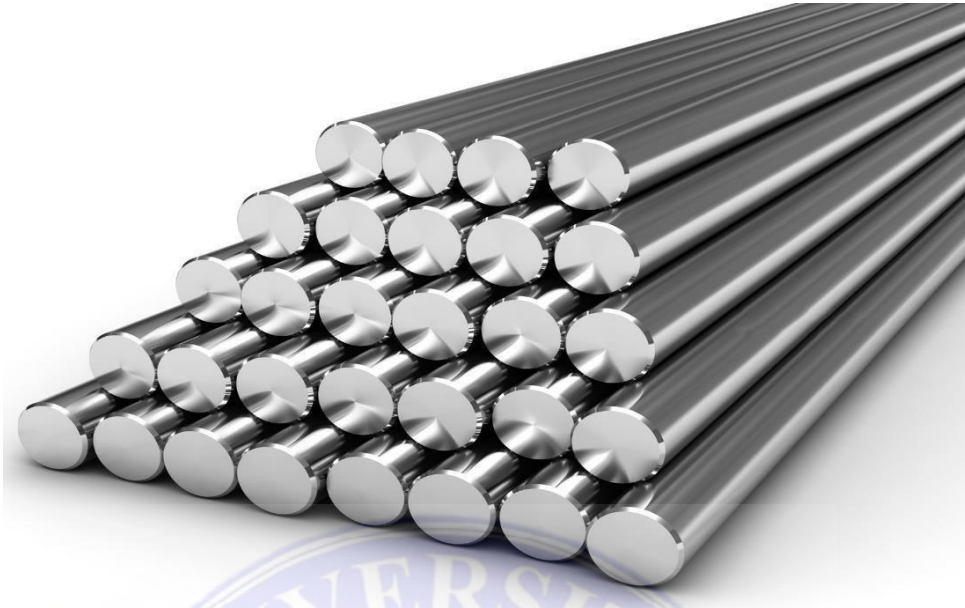
juga digunakan dalam bidang perkapalan, karena tahan terhadap air laut yang korosif, menjadikannya pilihan yang ideal untuk pembuatan baling-baling kapal dan komponen-komponen lain yang bersentuhan langsung dengan air asin.

e. Titanium

Titanium adalah logam yang terkenal karena kekuatannya yang luar biasa, ringan, serta tahan terhadap korosi, membuatnya menjadi salah satu material yang paling bernilai di berbagai industri modern (Sari, 2018). Ditemukan pada akhir abad ke-18, tetapi baru pada abad ke-20, titanium mulai digunakan secara luas berkat perkembangan teknologi yang memungkinkan proses ekstraksi dan pemurnian logam ini dari bijihnya.

Salah satu karakteristik yang paling menonjol dari titanium adalah rasio kekuatan terhadap beratnya yang sangat tinggi. Titanium lebih kuat daripada baja, tetapi beratnya hanya setengahnya, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan material yang kuat namun ringan. Karakteristik ini menjadikan titanium favorit dalam industri kedirgantaraan, di mana pesawat terbang, helikopter, dan bahkan pesawat ruang angkasa membutuhkan material yang mampu menahan tekanan ekstrem namun tetap ringan untuk efisiensi bahan bakar dan kinerja optimal.

Titanium juga memiliki sifat tahan terhadap korosi yang luar biasa. Tidak seperti baja yang mudah berkarat bila terkena air atau udara lembap, titanium memiliki lapisan oksida pelindung yang secara alami terbentuk di permukaannya, sehingga melindungi logam ini dari kerusakan akibat kontak dengan berbagai elemen, termasuk air laut dan bahan kimia yang keras, dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Titanium

f. Timah

Timah adalah logam post-transisi keperakan, dapat ditempa, tidak mudah teroksidasi sehingga tahan karat, dan juga sering ditemukan dalam logam paduan dan digunakan untuk melapisi logam lain untuk mencegah karat. Timah merupakan unsur kimia dalam tabel periodic yang memiliki simbol Sn dan nomor atom 50 serta massa atom 118,71. Secara garis besar, pengolahan bijih timah menjadi logam timah terdiri dari operasi konsentrasi/mineral *dressing*, dan ekstraksi yaitu peleburan atau smelting dan pemurnian atau *refining* (Hogantara Sowiyyk & Bayuseno, 2016).

Salah satu sifat utama timah yang menarik perhatian para peneliti adalah kemampuannya untuk mengurangi gesekan dalam mekanisme mesin. Timah sering dijadikan bahan utama dalam pembuatan bantalan karena mampu menghasilkan koefisien gesekan yang rendah. Hal ini meningkatkan efisiensi mesin serta mengurangi keausan komponen, sehingga memperpanjang umur mesin. Peneliti

mengkaji peran timah dalam teknologi soldering. Solder berbasis timah memiliki sifat peleburan yang baik, sehingga memudahkan proses penyambungan komponen elektronik maupun mekanik. Selain itu, timah ditemukan memiliki ketahanan korosi yang luar biasa, terutama ketika digunakan sebagai lapisan pelindung pada logam lain seperti baja. Lapisan timah membantu mencegah oksidasi dan degradasi material di lingkungan yang agresif, sehingga sangat cocok untuk digunakan dalam komponen mesin yang sering terkena air atau bahan kimia. Secara keseluruhan, penggunaan timah dalam teknik mesin telah memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi, ketahanan, dan kinerja komponen mesin. Penelitian-penelitian terbaru terus mengembangkan aplikasi timah dalam berbagai inovasi teknik mesin, menjadikannya salah satu bahan yang tetap relevan dan penting di masa mendatang, dapat dilihat pada gambar 2.8.

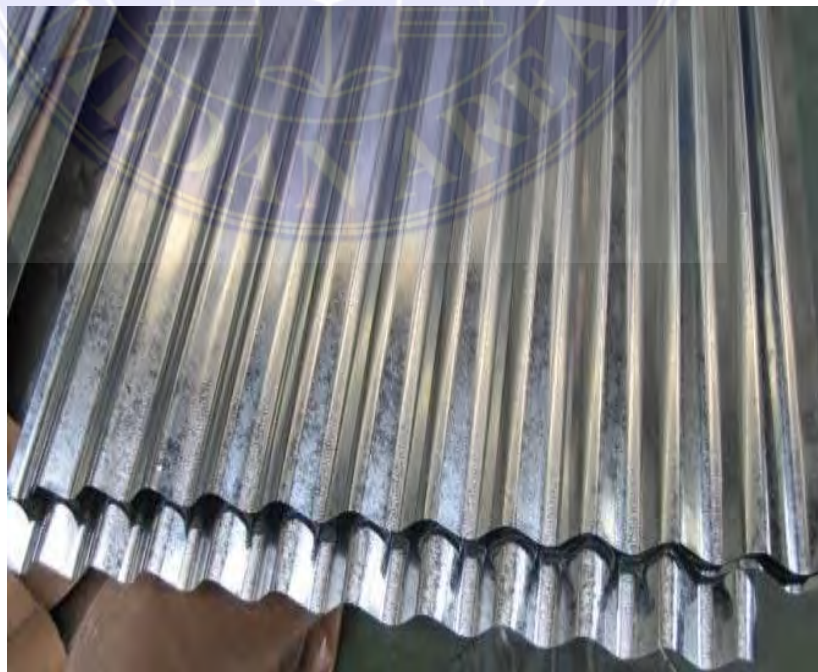


Gambar 2.8. Timah

g. Seng

Seng sering digunakan sebagai lapisan pelindung pada baja dan besi untuk mencegah korosi. Selain itu, seng juga digunakan dalam pembuatan paduan seperti kuningan dan dalam berbagai aplikasi industri. Salah satu penggunaan paling umum dari seng adalah dalam proses galvanisasi. Galvanisasi adalah metode di mana lapisan seng diaplikasikan pada permukaan besi atau baja untuk melindunginya dari karat.

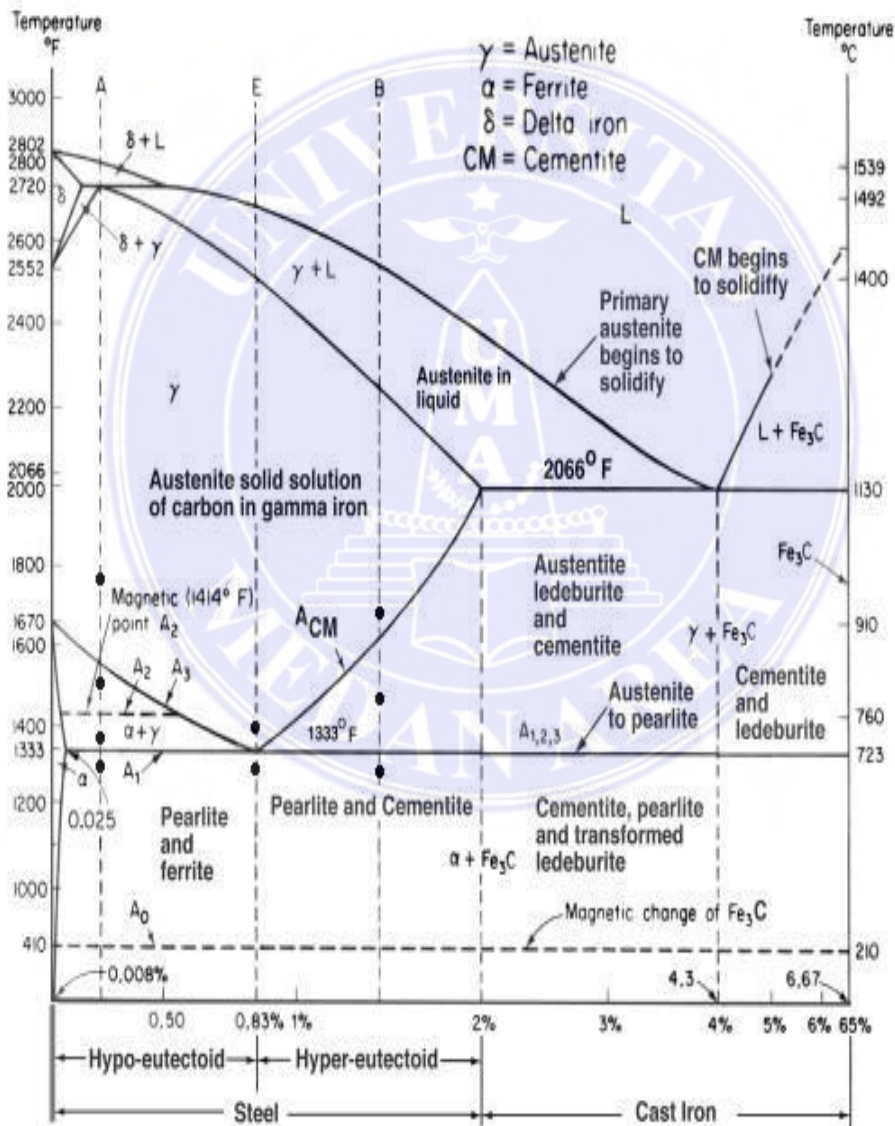
Seng bertindak sebagai penghalang antara logam inti dan elemen eksternal, seperti air dan udara, yang dapat menyebabkan korosi. Misalnya, seng banyak digunakan dalam pelapisan atap, pipa, dan pagar logam, serta jembatan dan struktur lain yang memerlukan daya tahan terhadap elemen eksternal. Secara keseluruhan, seng adalah logam yang multifungsi dengan aplikasi yang sangat luas, mulai dari pelindung logam lain dalam proses galvanisasi, bahan penting dalam pembuatan paduan dan baterai, dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Seng

2. Logam Ferro

Logam ferro merupakan logam yang mengandung besi (Fe) dan karbon (C) sebagai unsur dasarnya. Selain itu terdapat unsur-unsur lain seperti mangan (Mn), phosphor (P), sulfur (S) dan silisium (Si). Untuk informasi panduan penting dalam pembuatan, perancangan, dan modifikasi sifat baja dan besi dapat kita lihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10. Diagram Fe (Sumber: Sari, N.H. 2018)

Logam ferrous sering dipadukan dengan elemen lain untuk meningkatkan sifat-sifatnya (Sari, N. H), dapat dilihat sebagai berikut :

a. Besi (*Iron*)

Besi memiliki sifat yang sangat bermanfaat dalam berbagai industri. Salah satu keunggulannya adalah kekuatan tekan yang sangat tinggi, yang memungkinkan logam ini menahan beban berat tanpa mengalami deformasi. Selain itu, besi juga memiliki sifat magnetik, yang membuatnya sangat berguna dalam aplikasi teknologi, seperti motor listrik, generator, dan transformator.

Sebagai logam dasar dalam kategori ferrous, besi digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Besi murni, meskipun tidak sering digunakan secara langsung karena kekerasannya yang rendah, merupakan bahan baku penting dalam pembuatan baja. Dalam bentuknya yang murni, besi lebih rentan terhadap korosi, sehingga sering digunakan dalam bentuk paduan. Besi adalah salah satu logam paling melimpah di bumi dan memiliki peran yang sangat penting dalam sejarah peradaban manusia, dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Besi

Logam ini telah digunakan selama ribuan tahun dan menjadi fondasi bagi banyak kemajuan teknologi, mulai dari alat-alat dasar di zaman kuno hingga pembangunan infrastruktur modern. Besi ditemukan dalam berbagai bentuk dan senyawa di alam, tetapi yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah besi yang telah diolah dan dipadukan dengan elemen lain untuk meningkatkan kekuatannya, seperti dalam baja. Besi murni relatif lunak, namun ketika dipadukan dengan karbon dalam jumlah kecil, ia membentuk baja, yang jauh lebih kuat dan tahan lama. Inilah mengapa besi dan baja menjadi material utama dalam konstruksi bangunan, jembatan, jalan raya, dan berbagai infrastruktur lainnya. Baja dapat disesuaikan sifatnya dengan menambahkan berbagai elemen lain, seperti krom, nikel, dan mangan, untuk menghasilkan berbagai jenis baja dengan sifat yang berbeda-beda, seperti baja tahan karat yang banyak digunakan dalam peralatan dapur dan perangkat medis.

Namun, meskipun besi memiliki banyak kelebihan, logam ini juga rentan terhadap korosi, terutama dalam bentuk karat yang terjadi ketika besi terpapar air dan oksigen. Proses ini disebut oksidasi, di mana besi bereaksi dengan oksigen di udara dan membentuk besi oksida, atau karat. Korosi ini dapat melemahkan struktur besi, sehingga diperlukan perlindungan tambahan, seperti pengecatan atau galvanisasi (pelapisan dengan seng) untuk memperpanjang umur pakainya. Dari alat-alat dasar hingga struktur modern yang megah, besi telah menunjukkan kemampuannya untuk beradaptasi dan berinovasi, menjadikannya bahan yang mungkin tak tergantikan dalam aspek tertentu di kehidupan kita.

b. Baja (*Steel*)

Baja adalah paduan utama yang mengandung besi dan karbon, dengan rasio karbon yang bervariasi untuk mencapai berbagai sifat mekanik. Baja tahan karat, yang ditambahkan kromium dan nikel, digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap korosi, seperti dalam peralatan dapur dan komponen industri. Industri konstruksi adalah salah satu pengguna terbesar baja, di mana material ini digunakan dalam pembuatan kerangka bangunan, jembatan, terowongan, dan infrastruktur besar lainnya.

Salah satu alasan baja begitu penting dalam konstruksi adalah karena kekuatannya yang sangat tinggi terhadap beban tekan maupun tarik. Baja mampu menopang struktur besar tanpa mengalami deformasi, menjadikannya ideal untuk bangunan pencakar langit dan struktur besar yang harus tahan terhadap angin, gempa bumi, dan beban lainnya, dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Baja

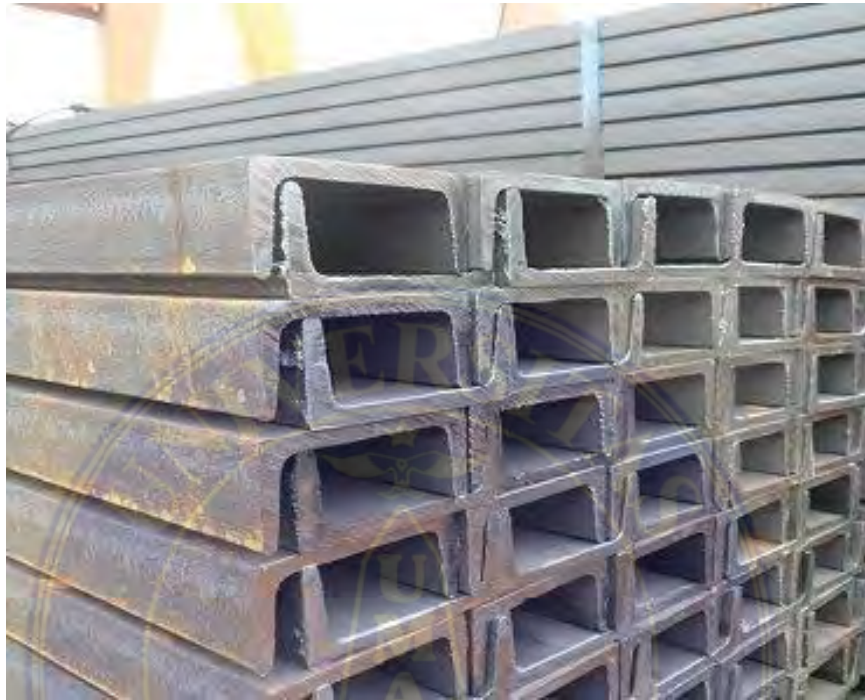
Industri manufaktur dan alat berat juga sangat bergantung pada baja. Alat-alat berat, seperti mesin pertambangan, peralatan konstruksi, dan alat pengolahan, sering dibuat dari baja karena sifatnya yang tahan terhadap keausan dan tekanan tinggi. Baja memiliki daya tahan yang luar biasa terhadap benturan dan gesekan, sehingga mampu bertahan dalam kondisi operasional yang keras tanpa kehilangan kekuatannya. Berdasarkan kadar karbonnya, baja terbagi menjadi 3 kategori utama, dapat dilihat sebagai berikut :

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah, atau sering disebut baja ringan, adalah jenis baja yang memiliki kandungan karbon yang rendah, sekitar 0,05 % hingga 0,15 %. Dengan kandungan karbon yang lebih sedikit dibandingkan baja karbon sedang atau tinggi, baja karbon rendah memiliki karakteristik unik yang membuatnya sangat populer di berbagai industri. Sifat utamanya adalah kelenturan yang baik, kemudahan untuk dibentuk, dilas, dan diproses, serta biayanya yang relatif murah. Karena sifat-sifat inilah, baja karbon rendah menjadi material yang sangat serbaguna dan banyak digunakan dalam industri konstruksi, otomotif, manufaktur, dan berbagai aplikasi lainnya.

Salah satu keunggulan utama baja karbon rendah adalah kemampuan bentuknya yang sangat baik. Baja ini mudah untuk dibentuk dan ditekuk tanpa risiko retak atau patah, membuatnya ideal untuk digunakan dalam pembuatan berbagai komponen struktural. Dalam industri konstruksi, baja karbon rendah banyak digunakan dalam pembuatan rangka bangunan, plat baja, batang baja, dan panel dinding. Baja ini memberikan keseimbangan yang baik antara kekuatan dan

kelenturan, sehingga cocok untuk struktur yang tidak memerlukan kekuatan yang sangat tinggi tetapi membutuhkan ketahanan terhadap deformasi, seperti gedung perkantoran, rumah tinggal, dan jembatan ringan, dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Baja Karbon Rendah

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang adalah jenis baja yang mengandung sekitar 0,30 % hingga 0,60 % karbon, yang menempatkannya di antara baja karbon rendah dan baja karbon tinggi. Dengan komposisi karbon yang moderat, baja ini menawarkan keseimbangan antara kekuatan, keuletan, dan kemampuan untuk dilas, menjadikannya salah satu material yang paling banyak digunakan dalam berbagai sektor industri. Baja karbon sedang merupakan material yang sangat penting dalam dunia teknik mesin karena kombinasi antara kekuatan, kekerasan, dan kemampuan pengerasan yang sangat baik.

Aplikasi utamanya mencakup komponen otomotif, mesin, dan struktur bangunan yang memerlukan kekuatan tinggi serta ketahanan terhadap keausan.. Baja karbon sedang dikenal karena kombinasi optimal antara kekuatan tarik dan kelenturan, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan daya tahan dan fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan baja karbon tinggi..



Gambar 2.14. Poros

Salah satu kelebihan baja karbon sedang dibandingkan baja karbon tinggi adalah kemampuannya untuk dilas dengan lebih mudah. Meskipun baja karbon sedang lebih kuat daripada baja karbon rendah, kandungan karbonnya yang tidak terlalu tinggi membuatnya tetap bisa dilas tanpa risiko retak yang besar.

Dengan aplikasi yang luas di sektor konstruksi, otomotif, manufaktur, dan energi, baja ini terus menjadi pilihan utama dalam berbagai proyek yang memerlukan material yang kuat namun tetap mudah diproses. Fleksibilitas dalam penggunaannya, ditambah dengan kemampuan untuk mengalami perlakuan panas dan didaur ulang, menjadikan baja karbon sedang sebagai material yang sangat

bernilai dalam mendukung perkembangan teknologi dan infrastruktur di seluruh dunia.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah jenis baja yang memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah atau sedang, yaitu sekitar 0,30 % hingga 1,70 %. Kandungan karbon yang tinggi ini memberikan baja karakteristik khusus, seperti kekerasan dan kekuatan tarik yang sangat baik. Namun, baja karbon tinggi juga memiliki beberapa kekurangan, terutama dalam hal kelenturan dan kemampuan untuk dilas, sehingga lebih rapuh dibandingkan dengan baja yang memiliki kandungan karbon lebih rendah.

Sifat utama baja karbon tinggi adalah kekerasannya yang luar biasa. Semakin tinggi kandungan karbon, semakin keras baja tersebut. Kekerasan ini membuat baja karbon tinggi sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus dan kekuatan yang tinggi, seperti alat-alat pemotong, perkakas tangan, dan komponen mesin. Contoh umum dari produk yang menggunakan baja karbon tinggi termasuk pisau, gergaji, palu, serta pegas yang harus mampu menahan deformasi berulang.



Gambar 2.15. Baja Karbon Tinggi

c. Baja Paduan

Baja paduan adalah jenis baja yang mengandung elemen paduan tambahan selain karbon dan besi, seperti kromium, nikel, molibdenum, vanadium, mangan, atau silikon. Penambahan elemen-elemen ini secara signifikan mengubah sifat mekanis dan fisik baja, menjadikannya lebih kuat, tahan korosi, tahan aus, serta lebih mampu menahan suhu tinggi atau tekanan ekstrem.

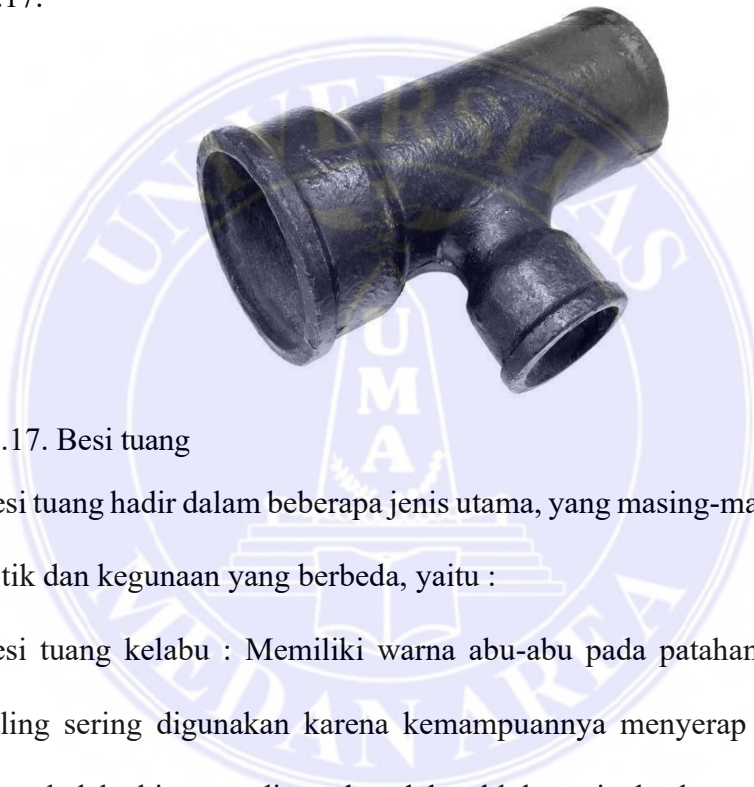
Dalam industri penerbangan, baja paduan memainkan peran penting dalam pembuatan komponen pesawat yang memerlukan kekuatan luar biasa namun tetap ringan. Baja paduan dengan kandungan nikel dan kromium sering digunakan untuk membuat bagian struktural pesawat, seperti kerangka, sayap, dan komponen mesin jet. Namun, meskipun baja paduan menawarkan keunggulan luar biasa dalam hal kinerja dan daya tahan, biaya produksinya cenderung lebih tinggi dibandingkan baja karbon biasa. Proses pembuatan baja paduan memerlukan penambahan elemen-elemen khusus dan sering kali melibatkan proses perlakuan panas yang rumit



Gambar 2.16. Baja paduan

d. Besi Tuang (*Cast Iron*)

Proses pembuatan besi tuang melibatkan peleburan bijih besi dengan karbon hingga menjadi cair, yang kemudian dituangkan ke dalam cetakan untuk dibentuk menjadi berbagai macam produk. Besi tuang adalah bentuk besi yang dipadu dengan karbon dalam konsentrasi tinggi. Ini digunakan dalam pembuatan benda-benda berat seperti mesin, pipa, dan komponen kendaraan, dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Besi tuang

Besi tuang hadir dalam beberapa jenis utama, yang masing-masing memiliki karakteristik dan kegunaan yang berbeda, yaitu :

1. Besi tuang kelabu : Memiliki warna abu-abu pada patahannya, jenis ini paling sering digunakan karena kemampuannya menyerap getaran. Besi tuang kelabu biasanya ditemukan dalam blok mesin dan komponen struktur.
2. Besi tuang nodular (ductile iron) : Mengandung grafit dalam bentuk bulat, besi ini lebih kuat dan ulet, menjadikannya pilihan untuk produk yang membutuhkan fleksibilitas dan kekuatan, seperti pipa dan komponen otomotif.

3. Besi tuang putih : Berkarakteristik keras dan tahan aus, besi ini digunakan di industri yang membutuhkan ketahanan terhadap abrasi tinggi, seperti di industri pertambangan.

Dengan kemajuan teknologi pengecoran, kualitas dan presisi produk yang dihasilkan dari besi tuang terus meningkat, membuatnya mampu bersaing dengan bahan-bahan lain seperti baja. Meskipun begitu, besi tuang juga memiliki kelemahan, seperti kerentanannya terhadap patah getas jika terkena tekanan tarik yang tinggi. Inilah mengapa besi tuang lebih sering digunakan untuk aplikasi yang menekankan kekuatan tekan dibandingkan kekuatan tarik.

2.2.2 Komposit

Komposit merupakan bahan yang terbuat dari beberapa elemen penyusun yang tetap terpisah (heterogen) dan berbeda level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal untuk menghasilkan material komposit yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda dari bahan pembentuknya. Bahan penyusun komposit memiliki sifat yang berbeda beda dan ketika digabungkan terbentuklah sifat sifat baru sesuai dengan kebutuhan tertentu (Nurhidayat et al., 2022).

Komposit dalam dunia industri merupakan campuran antara polimer. Bahan materialnya terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan penguat seperti serat, partikel, serpihan atau bentuk yang lain. Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material lalu dirancang untuk menghasilkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya kekuatan yang dapat diatur, lebih ringan, kekuatan dan ketahanan dapat diatur, tahan korosi dan keausan (Dwipayana & Widi, 2020).

Secara umum proses pembuatan melalui dicampurkannya homogen agar kita dapat merencanakan kekuatan material komposit yang kita butuhkan dengan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit juga merupakan suatu struktur yang tersusun atas beberapa bahan pembentuk tunggal yang digabungkan menjadi struktur baru dengan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan masing-masing bahan pembentuknya (Kekuatan et al., 2021).

A. Penguat (*Reinforcement*)

Reinforcement (penguat) merupakan salah satu bagian utama dari komposit yang memiliki peran untuk menahan beban yang diterima dari material komposit sehingga kekuatan komposit tersebut sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Penguat komposit biasanya berupa serat atau partikel, yang memiliki peran penting dalam pembentukan material komposit. Berikut beberapa penguat komposit yang biasanya berupa serat atau partikel, yaitu :

1. Serat Karbon

Serat karbon adalah salah satu jenis penguat yang paling populer dalam material komposit. Dikenal karena kekuatan tarik yang sangat tinggi dan berat yang ringan, serat karbon digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan dan ketahanan yang luar biasa, seperti dalam industri penerbangan, otomotif, dan olahraga. Material ini menggabungkan kekuatan tinggi dan berat rendah, menjadikannya ideal untuk komponen struktural dan performa tinggi.

2. Serat Kaca (*Fiberglass*)

Serat kaca adalah penguat komposit yang terbuat dari serat kaca yang dipintal menjadi benang. Ini adalah salah satu jenis penguat komposit yang paling

banyak digunakan karena biaya yang lebih rendah dan sifatnya yang baik dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap korosi. Fiberglass sering digunakan dalam aplikasi seperti perahu, panel insulasi, dan struktur bangunan.

3. Partikel Penguat

Selain serat, partikel penguat seperti alumina, silicon carbide, dan boron carbide juga digunakan dalam material komposit. Partikel ini biasanya digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser dan ketahanan terhadap abrasi. Komposit dengan partikel penguat sering digunakan dalam industri otomotif dan alat potong.

4. Kombinasi Penguat

Dalam beberapa aplikasi, kombinasi dari berbagai jenis penguat digunakan untuk mendapatkan manfaat maksimal. Misalnya, komposit dengan serat karbon dan partikel penguat dapat menawarkan kombinasi kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap keausan, membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan performa ekstrim.

Secara keseluruhan, penguat komposit merupakan elemen kunci dalam pembuatan material komposit yang kuat, ringan, dan tahan lama. Dengan memilih jenis penguat yang tepat dan menggabungkannya dengan matriks yang sesuai, desainer dan insinyur dapat menciptakan material yang memenuhi berbagai kebutuhan teknis dan performa.

A. Matriks

Matriks merupakan bagian dalam struktur komposit yang berasal dari bahan polimer atau logam. Matriks dalam susunan komposit memiliki tugas melindungi dan mengikat serat agar berfungsi dengan baik. Matriks juga berfungsi untuk melapisi serat, dan pada umumnya bahan yang terdapat pada matriks yakni

dari bahan yang lunak dan liat. Kombinasi dari matriks dan serat menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi. Matriks memiliki beberapa jenis, dapat dilihat sebagai berikut :

1. Matriks Logam

Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composites/MMC*) adalah salah satu material yang berkembang pesat di dunia teknik mesin karena sifat mekanisnya yang unggul. MMC terdiri dari logam sebagai fase matriks yang diperkuat dengan bahan penguat, seperti serat atau partikel keramik, untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Kombinasi ini memungkinkan MMC memiliki kekuatan, kekakuan, ketahanan terhadap korosi, dan ketahanan panas yang lebih baik daripada logam murni. MMC banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik tinggi, seperti di industri otomotif, dirgantara, dan alat berat, karena mampu menahan kondisi ekstrem dan beban mekanis yang besar.

Komposit matriks logam menggabungkan sifat unggul dari logam dan bahan penguat. Matriks logam, seperti aluminium, magnesium, dan titanium, berfungsi sebagai media pengikat yang mentransfer beban antar partikel atau serat penguat. Dalam MMC, penguat berupa partikel keramik (seperti SiC, Al₂O₃) atau serat (seperti serat karbon atau serat keramik) ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, serta kemampuan menahan suhu tinggi. MMC menawarkan berbagai keunggulan, termasuk rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan aus, dan kemampuan untuk bekerja pada suhu tinggi tanpa kehilangan sifat mekanisnya. Ini membuat MMC sangat diminati dalam aplikasi di mana kondisi operasi ekstrem dan penghematan energi menjadi faktor kunci.

Namun, MMC juga menghadapi tantangan, terutama dalam hal biaya produksi yang relatif tinggi dibandingkan dengan logam konvensional. Proses manufaktur MMC sering kali lebih kompleks dan memerlukan teknologi canggih untuk memastikan distribusi seragam penguat dalam matriks logam. Selain itu, pengembangan metode daur ulang MMC juga menjadi fokus penelitian, mengingat komposit ini sulit didaur ulang dibandingkan dengan logam murni.

Komposit matriks logam merupakan material yang menjanjikan dalam dunia teknik mesin, dengan kemampuan untuk memenuhi tuntutan aplikasi yang memerlukan performa tinggi dan daya tahan dalam kondisi ekstrem. Meskipun masih menghadapi beberapa tantangan dalam produksi dan keberlanjutan, inovasi teknologi terus mendorong pengembangan MMC sebagai material unggul dalam berbagai industri.

2. Matriks Keramik

Komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composites/CMC*) merupakan material yang semakin banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik mesin karena memiliki sifat mekanis yang unggul, khususnya dalam hal ketahanan terhadap suhu tinggi, keausan, dan korosi. Dibandingkan dengan komposit berbasis logam atau polimer, CMC menonjol karena kemampuannya mempertahankan kekuatan pada suhu yang ekstrem dan di lingkungan yang agresif. Komposit ini biasanya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan termal tinggi, seperti di industri kedirgantaraan, otomotif, energi, dan pembangkit listrik, di mana logam atau polimer konvensional akan mengalami degradasi.

Namun, keramik pada dasarnya adalah bahan yang getas (brittle), yang menjadi salah satu kelemahan utamanya. Dalam komposit matriks keramik, serat penguat ditambahkan untuk meningkatkan ketangguhan (toughness) dan mengurangi risiko retak. Serat penguat yang umum digunakan termasuk serat silikon karbida (SiC) atau serat karbon yang dapat menyebarkan energi yang disebabkan oleh beban mekanis, sehingga mencegah atau menunda perambatan retakan.

CMC telah menemukan berbagai aplikasi dalam bidang teknik mesin, terutama dalam industri kedirgantaraan. Komponen-komponen mesin turbin, seperti bilah turbin dan pelapis ruang pembakaran, kini banyak menggunakan CMC karena kemampuan material ini untuk bertahan dalam suhu ekstrem sambil mengurangi bobot dan meningkatkan efisiensi bahan bakar.

Komposit matriks keramik adalah salah satu material canggih yang memiliki potensi besar dalam aplikasi teknik mesin, terutama di bidang yang membutuhkan ketahanan pada suhu tinggi, keausan, dan korosi. Sifat-sifat uniknya menjadikan CMC sebagai kandidat kuat untuk menggantikan material konvensional dalam aplikasi yang ekstrim. Namun, tantangan dalam proses manufaktur dan sifat getasnya masih menjadi fokus penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan performa dan menekan biaya produksi.

3. Matriks Polimer

Komposit matriks polimer (*Polymer Matrix Composites/PMC*) adalah salah satu jenis komposit yang paling sering digunakan dalam berbagai aplikasi teknik mesin. Material ini terdiri dari polimer sebagai fase matriks yang berfungsi mengikat bahan penguat, seperti serat kaca, serat karbon, atau partikel keramik.

PMC diminati karena kombinasi sifat mekanis yang baik, seperti kekuatan tinggi, ringan, ketahanan korosi, dan kemampuan untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk kompleks. Aplikasi PMC meluas ke industri otomotif, dirgantara, konstruksi, dan olahraga, di mana pengurangan berat dan peningkatan efisiensi adalah prioritas utama.

Komposit matriks polimer banyak digunakan dalam berbagai industri karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan korosi, dan fleksibilitas desain. Di industry otomotif, penggunaan PMC untuk komponen seperti bodi kendaraan, bumper, dan interior mobil memungkinkan pengurangan bobot yang signifikan, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang.

Matriks polimer adalah material yang sangat penting dalam dunia teknik mesin modern. Dengan kombinasi sifat mekanis yang unggul, fleksibilitas desain, dan kemudahan fabrikasi, PMC menawarkan banyak keunggulan dibandingkan material konvensional seperti logam. Namun, masih terdapat tantangan yang perlu diatasi, seperti keterbatasan sifat termal dan tantangan dalam daur ulang. Oleh karena itu, penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan polimer yang lebih ramah lingkungan dan memperluas aplikasi PMC dalam berbagai industri.

2.2.3 Polimer

Perkembangan ilmu pengetahuan umat manusia mengakibatkan lahirnya teknologi-teknologi yang baru. Pemikiran yang terus berkembang seiring dengan berkembangnya zaman memberikan dampak yang begitu positif bagi kemudahan umat manusia dalam kehidupan. Salah satunya yang tidak dapat dipungkiri dari

perkembangan teknologi baru ialah material-material baru yang ikut menunjang perkembangan teknologi tersebut.(A Zainal Abidin et al., 2012).

Manusia pada zaman purba pertama kali memanfaatkan material berupa batu, contoh produk peninggalan dari zaman itu yakni berbagai perkakas yang membantu mereka berburu dan berbagai ragam monumen yang terbuat dari batu. Pada abad pertengahan atau yang bisa disebut zaman logam, manusia sudah bisa membuat peralatan rumah tangga dan perkakas dari logam. Contoh peninggalan pada zaman ini yaitu alat-alat perang seperti pedang, tameng, helm perang, dan baju zirah. Setelah itu, manusia modern mulai beralih dari logam dan mulai mengembangkan material baru yakni plastik. Sepeti pada zaman sekarang, penggunaan plastik sudah begitu luas dan aplikasinya terus menerus meningkat secara eksponensial

Berkembangnya industri polimer turut menentukan perkembangan ekonomi suatu negara. Semakin besar penggunaan polimer, menunjukkan semakin pesat perkembangan ekonomi suatu negara. Polimer juga diklasifikasikan menjadi beberapa bagian. Berikut klasifikasi polimer berdasarkan sumbernya yaitu :

3. Polimer Alam

Polimer alam adalah polimer atau senyawa yang dihasilkan melalui proses metabolisme makhluk hidup. Contohnya seperti karet alam, pati, selulosa, protein, dan amilum dalam beras. Sayangnya sifat-sifat polimer alam yang satu ini kurang menguntungkan, seperti contoh pada karet alam yang biasanya cepat rusak dan tidak elastis. Hal tersebut disebabkan karena karet alam tidak tahan terhadap minyak bensin atau minyak tanah serta tak tahan lama diudara yang terbuka.

Contoh lainnya pada sutra dan wol yang merupakan senyawa protein bahan makanan bakteri, sehingga bahan tersebut cepat rusak.



Gambar 2.18. Karet Alam



Gambar 2.19. Ban Mobil

4. Polimer Semi Sintetik

Polimer Semi Sintetik adalah polimer yang diperoleh dari hasil gabungan atau modifikasi polimer alam dan bahan kimia. Contohnya yaitu karet vulkanisir yakni karet alam yang dimodifikasi dengan sulfur melalui proses vulkanisasi untuk meningkatkan elastisitas dan daya tahannya terhadap panas dan tekanan.



Gambar 2.21. Sulfur



Gambar 2.20. Karet Vulkanisir

2. Polimer Sintesis

Polimer Sintetis adalah polimer yang dibuat melalui polimerisasi dari monomer-monomer polimer. Polimer sintesis sesungguhnya yang pertama kali digunakan dalam skala komersial adalah *dammar Fenol formaldehida*. Dikembangkan pada tahun 1900-an oleh ilmuwan kimia yang sama yaitu Leo Baekeland dan dikenal secara komersial sebagai bakelit. Sampai dekade 1920-an, bakelit merupakan salah satu jenis produk konsumsi yang dipakai luas. Penemuan Leo Baekeland meraih visibilitas yang paling mewah, yakni dimunculkan di kulit muka majalah *time*. Contohnya seperti *polietena*, *polipropilena*, *poly vinyl chloride (PVC)*, dan *nylon* (Anggarini Fetty 2013).



Gambar 2. 22. Polietena



Gambar 2.23. Styrofoam

A. Termoplastik

Termoplastik adalah salah satu kategori utama polimer yang memiliki karakteristik unik dan fungsionalitas luas berkat sifat termalnya. Polimer ini dikenal karena kemampuannya untuk meleleh ketika dipanaskan dan mengeras kembali saat didinginkan, tanpa mengalami perubahan kimia pada strukturnya. Proses ini, yang bisa diulang berulang kali, memberikan termoplastik fleksibilitas dan kemudahan dalam berbagai aplikasi industri.

Termoplastik memiliki kemampuan untuk dipanaskan hingga mencapai keadaan cair, memungkinkan material ini untuk dibentuk dalam berbagai bentuk menggunakan metode pemrosesan seperti injeksi, ekstrusi, dan blow molding. Setelah pemrosesan, material ini mendingin dan mengeras, mempertahankan bentuk barunya. Ketika dipanaskan lagi, termoplastik dapat meleleh kembali, memungkinkan pemrosesan ulang dan perbaikan produk jika diperlukan.

Kemampuan ini tidak hanya memungkinkan pembuatan produk dengan desain kompleks, tetapi juga mendukung daur ulang material. Termoplastik yang sudah digunakan dapat diproses ulang menjadi produk baru, berkontribusi pada upaya pengurangan limbah dan peningkatan keberlanjutan lingkungan. Terdapat beberapa jenis termoplastik yang digunakan dalam aplikasi yang berbeda, antara lain :

1. Polietilena (PE), tahan terhadap kelembapan dan kimia, digunakan dalam kantong plastik dan kemasan.
2. Polipropilena (PP), memiliki kekuatan tarik yang baik dan tahan terhadap suhu tinggi, digunakan dalam wadah makanan dan bagian otomotif.
3. Polivinil Klorida (PVC), tahan terhadap bahan kimia dan air, digunakan

dalam pipa dan jendela plastik.

4. Polistirena (PS), ringan dan mudah dibentuk, sering digunakan dalam kemasan makanan dan isolasi.

Termoplastik merupakan salah satu jenis polimer yang menonjol karena memiliki kemampuan untuk meleleh dan mengeras kembali tanpa perubahan kimia, yang memberikan keunggulan dalam pemrosesan dan daur ulang. Kelebihan yang dimiliki oleh termoplastik ini membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi, dari kemasan plastik hingga komponen otomotif dan elektronik. Fleksibilitas dalam desain dan kemudahan dalam proses pembuatan menjadikan termoplastik sebagai pilihan utama dalam banyak industri, karna mampu memfasilitasi pembuatan produk yang efisien dan berkelanjutan.

B. Termoset

Termoset adalah sejenis bahan polimer yang memiliki karakteristik unik dalam proses pembentukannya. Berbeda dengan termoplastik, termoset tidak dapat dilelehkan kembali setelah proses pemanasan awal. Proses pembuatan termoset melibatkan reaksi kimia yang terjadi selama pemanasan, di mana polimerisasi mengubah bahan menjadi jaringan yang keras dan stabil secara permanen.

Setelah termoset didinginkan dan mengeras, bahan ini menjadi sangat kuat dan tahan terhadap suhu tinggi, bahan kimia, serta deformasi. Sifat-sifat ini membuat termoset ideal untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti komponen otomotif, peralatan elektronik, dan bahan bangunan. Contoh umum dari termoset adalah epoxy, phenolic, dan melamine. Meskipun proses pembuatan termoset lebih rumit dan memerlukan suhu tinggi, keunggulan dari segi kekuatan dan ketahanan membuatnya sangat berharga dalam industri material.

C. Elastomer

Elastomer adalah jenis bahan polimer yang dikenal karena kemampuannya untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi. Bahan ini memiliki elastisitas tinggi, yang berarti dapat diregangkan atau *dip compress* secara signifikan tanpa mengalami kerusakan permanen. Elastomer merupakan hasil dari polimerisasi yang menghasilkan struktur rantai yang fleksibel, memungkinkan material ini untuk mengalami perubahan bentuk yang besar dan kembali ke bentuk asli dengan cepat. Karakteristik elastomer membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi, seperti dalam pembuatan seal, gasket, ban, dan komponen yang memerlukan fleksibilitas dan ketahanan terhadap perubahan suhu.

Beberapa jenis elastomer yang umum digunakan termasuk karet alami (natural rubber), karet sintetis seperti butadiena-styrene (SBR), dan silikon. Keunggulan elastomer terletak pada kemampuannya untuk menyerap dan mengurangi getaran, serta daya tahannya terhadap stres mekanis dan lingkungan. Ini menjadikannya bahan pilihan yang sangat baik untuk aplikasi di berbagai industri, dari otomotif hingga teknologi medis. Berikut beberapa jenis elastomer, yaitu :

1. Karet Alam (Natural Rubber), diperoleh dari getah pohon karet. Memiliki ketahanan tinggi terhadap aus dan fleksibilitas yang baik, sering digunakan dalam ban kendaraan dan produk karet lainnya.
2. Karet Sintetis, dibuat melalui polimerisasi bahan kimia. Contoh utamanya *Butadiena-Styrene (SBR)*, *Nitrile Rubber (NBR)*.
3. Karet Silikon, memiliki ketahanan tinggi terhadap suhu ekstrem dan oksidasi, digunakan dalam aplikasi medis dan elektronik.

4. Elastomer Termoplastik, kombinasi antara sifat elastomer dan termoplastik.

TPE dapat diproses seperti termoplastik tetapi memiliki sifat elastis seperti elastomer. Contoh termasuk *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) dan *Thermoplastic Polyurethane* (TPU).

2.2.4 Keramik

Keramik berasal dari bahasa Yunani “*keramikos*” yaitu suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran. Clay (tanah liat) merupakan bahan dasar pembuatan keramik, bahan tersebut memiliki kegunaan yang sangat menguntungkan bagi masyarakat karena selain bahannya yang mudah didapat, hasil olahannya juga sangat banyak dan ramah lingkungan. Sekitar 70% sampai 80% dari kulit bumi adalah batuan yang merupakan sumber clay (Ariwahjoedi, 2003).

Keramik memiliki kelebihan yaitu lebih stabil dalam lingkungan termal dan kimia daripada elemennya. Bahan baku keramik yang umum digunakan adalah *feldspar*, *ball clay*, *kwarsa*, kaolin dan air (Sidabutar, 2017). Keramik memiliki sifat yang ditentukan oleh struktur Kristal, komposisi kimia, dan mineral bawaannya. Oleh sebab itu, sifat keramik juga tergantung pada lingkungan geologi dimana bahan didapatkan. Keramik mempunyai sifat rapuh, keras, dan kaku dan secara umum mempunyai kekuatan tekan lebih baik dibanding kekuatan tariknya (Akbar & Prastawa, 2019).

Keramik merupakan material yang sering digunakan untuk berbagai aplikasi teknik karena sifat-sifatnya yang unik, seperti kekerasan tinggi, ketahanan terhadap panas, dan ketahanan terhadap korosi. Akan tetapi, sifat keramik yang rapuh

membuatnya sangat rentan terhadap fraktur, terutama ketika terkena beban dinamis. Studi tentang fraktur pada material keramik menjadi sangat penting untuk memahami mekanisme kegagalan yang mungkin terjadi, seperti cakram dengan takik berbentuk U (Internasional et al., 2015).

Merujuk pada berbagai jenis bahan yang dihasilkan dari pengembangan atau modifikasi material keramik dasar. Keramik adalah material non-logam, anorganik yang dibentuk melalui proses pemanasan pada suhu tinggi. Keramik melibatkan berbagai bahan yang dan dengan variasi tertentu dalam struktur atau sifat-sifatnya untuk mengoptimalkan kinerja dalam aplikasi tertentu. Klasifikasi bahan keramik dapat dibedakan menjadi 2, yaitu keramik kristal dan keramik amorf (kaca).

A. Keramik Kristalin

Keramik kristalin telah lama menjadi material yang sangat penting dalam bidang teknik mesin, terutama dalam aplikasi yang memerlukan sifat mekanis dan termal yang luar biasa. Keramik kristalin memiliki struktur atom yang teratur, membentuk pola kristal berulang yang memberikan sifat-sifat unik seperti kekuatan tinggi, kekerasan ekstrem, dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Beberapa keramik kristalin yang paling umum digunakan dalam teknik mesin meliputi alumina (Al_2O_3), zirkonia (ZrO_2), silika (SiO_2), dan berbagai jenis nitrida serta karbida.

Penggunaan keramik kristalin dalam teknik mesin sangat luas, terutama di sektor-sektor yang membutuhkan material dengan ketahanan suhu tinggi dan kekuatan yang stabil pada lingkungan yang keras. Dalam industri otomotif, keramik kristalin digunakan untuk komponen seperti disk rem dan lapisan pelindung mesin, di mana ketahanan terhadap panas dan aus sangat penting (Thirumalai et al, 2008).

Di sektor dirgantara, keramik kristalin, khususnya alumina dan zirkonia, digunakan dalam mesin turbin dan pelindung termal untuk pesawat terbang. (Smith et al, 2011) menunjukkan bahwa komposit berbasis zirkonia telah meningkatkan efisiensi bahan bakar pada mesin jet modern karena sifatnya yang dapat mempertahankan kekuatan struktural pada suhu tinggi sambil mengurangi berat total komponen mesin.

Walaupun keramik kristalin menawarkan banyak keunggulan, ada tantangan dalam penggunaannya di teknik mesin, terutama terkait kerapuhan. Penelitian terbaru terus berusaha meningkatkan ketangguhan keramik melalui pengembangan material komposit dan nano-keramik. (Lee et al, 2020) menunjukkan bahwa dengan memasukkan serat atau partikel penguat ke dalam matriks keramik kristalin, sifat ketangguhannya dapat ditingkatkan tanpa mengorbankan kekuatannya. Keramik kristalin terus menjadi fokus penelitian di bidang teknik mesin, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan material dengan kombinasi sifat mekanik, termal, dan kimia.



Gambar 2.24. Disk Rem Mobil

B. Keramik Amorf (*non-kristalin*)

Keramik amorf, sering kali dikenal sebagai kaca, merupakan kategori unik dari material keramik yang tidak memiliki struktur kristal teratur. Berbeda dengan keramik kristalin yang memiliki pola atom yang teratur, keramik amorf ditandai dengan distribusi atom yang acak. Hal ini memberikan keramik amorf karakteristik fisik dan mekanis yang berbeda, menjadikannya sangat relevan dalam berbagai aplikasi teknik mesin.

Salah satu sifat paling menonjol dari keramik amorf adalah transparansi. (Bunshah, 2005) mencatat bahwa keramik amorf, seperti silika gel dan borosilikat, memiliki kemampuan untuk mentransmisikan cahaya yang tinggi, menjadikannya ideal untuk aplikasi optik. Namun, sifat ini tidak hanya terbatas pada transparansi; keramik amorf juga memiliki kekuatan mekanis yang baik dan tahan terhadap korosi, membuatnya cocok untuk lingkungan yang keras.

Sifat termal keramik amorf sangat menarik. (Yuan et al, 2007) mengemukakan bahwa keramik amorf dapat memiliki koefisien ekspansi termal yang lebih rendah dibandingkan dengan keramik kristalin, yang menjadikannya lebih stabil secara dimensi pada fluktuasi suhu. Kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap keausan menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi teknik mesin, terutama di sektor otomotif dan dirgantara.

Keramik amorf banyak digunakan dalam industri teknik mesin, terutama dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi. Di sektor otomotif, keramik amorf digunakan untuk komponen seperti pelindung panas dan material rem. Menurut (Thompson dan Dorey, 2010), penggunaan

keramik amorf dalam sistem rem cakram telah menunjukkan peningkatan kinerja dalam hal tahan lama dan efisiensi.

Dalam aplikasi dirgantara, keramik amorf digunakan dalam komponen seperti pelapis thermal untuk mesin jet. (Yuan et al, 2009) melaporkan bahwa pelapis berbasis keramik amorf memberikan perlindungan yang sangat baik terhadap panas ekstrem, meningkatkan efisiensi dan umur panjang komponen mesin.

Sementara keramik amorf menawarkan berbagai keunggulan, tantangan terkait dengan sifat kerapuhan tetap ada. Penelitian terbaru berfokus pada pengembangan material komposit berbasis keramik amorf untuk meningkatkan ketahanan dan fleksibilitas. (Wang et al, 2018) menunjukkan bahwa dengan menambahkan serat penguat ke dalam matriks keramik amorf, kekuatan dan ketangguhan material dapat ditingkatkan secara signifikan.



Gambar 2. 25. Kaca Amorf BIPV Panel Tenaga Surya

Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkannya digunakan untuk berbagai aplikasi seperti kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah, tahan korosi, keras, kuat meskipun rapuh. Berikut beberapa jenis penggolongan keramik yaitu :

1. Keramik Kasar

Keramik kasar terbuat dari tanah liat (pasir kuarsa, tanah pekat termasuk abu tertentu) yang dibakar pada suhu 1000-1400 derajat celcius. Bila dibutuhkan glasir, keramik kasar dilapisi dengan campuran feldspar, kuarsa, kaolin, kapurspar, dan dolomit yang diaduk dengan air. Pada proses pembakaran glasir ini terjadinya lapisan seperti kaca tipis. Keramik kasar ini digunakan untuk :

- a) Pipa keramik kasar (seperti pipa saluran air kotor)
- b) Bata klinker (seperti dinding batu merah yang terbuka terhadap udara)
- c) Ubin tanah liat (seperti ubin lantai yang agak alamiah)

2. Keramik halus (pembakaran tunggal)

Keramik halus terbuat dari tanah liat yang sangat halus dicampurkan dengan jerami yang digiling (tembikar merah) atau dengan tambahan kaolin, feldspar, kuarsa atau bubuk magnesium-silika yang dibakar pada suhu 1260-1330 derajat celcius. Keramik halus ini umumnya dilapisi glasir (tembikar), dan keramik halus ini banyak digunakan untuk perlengkapan saniter (wastafel, kloset, urinoir, dan lain-lain). Prose pembuatan keramik halus dimulai dengan mencampurkan bahan seperti tanah pekat halus dan kaolin, tepung koarsa dan feldspar serta air, lalu dicampur hingga menjadi seperti bubur kemudian dituang ke dalam cetakan.(dari

gips atau bahan sintetik) lalu dikeringkan dan terakhir dilapisi glasir (tembikar).

3. Keramik pelapis dinding (*feyence*)

Keramik ini terbuat dari tanah pekat yang sangat halus dan memiliki kandungan kaolin, felspar, kuarsa atau bubuk magnesium silikat sehingga warnanya putih. Setelah dicetak keramik fayence dikeringkan dan dilapisi glasir yang mengandung banyak timah-oksida dan selama tembikar masih basah dilakukan proses pewarnaan lalu dibakar pada suhu 1100 derajat celsius. Keramik fayence digunakan untuk tegel dinding dan barang pecah belah. Proses pembuatan keramik foyence, sebagai berikut :

- a) Pencampuran bahan : tanah pekat halus dan kaolin, tepung kuarsa dan felspar, serta kapur tulis (bubuk magnesium-silika), dan air dicampur hingga menjadi bubur.
- b) Bubur tersebut dicetak dan dikeringkan sebelum pembakaran pertama pada suhu 800-900 derajat celsius.
- c) Lalu bahan fayence dilapisi glasir
- d) Pembakaran kedua dilakukan dalam terowongan bakar pada suhu 1100 derajat celsius.
- e) Pengontrolan kualitas sebelum dipasarkan.

4. Porselen

Porselen terbuat dari 50% kaolin, 25% feldspar dan 25% kuarsa. Setelah dicetak porselen dibakar pada suhu 1200-1300 derajat celsius, ditunggu hingga dingin lalu diberi glasir halus (tembikar putih) dan dibakar untuk kedua kali pada suhu 1380-1450 derajat celsius selama 24 jam sehingga menjadi lapisan berupa kaca tipis. Warna porselen pada umumnya putih dan jika pewarnaan diperlukan

dapat dilakukan dengan menggunakan krom – oksid (hijau) atau kobalt – oksid (biru) sebagai lapisan bawah glasir atau dengan cara memberikan motif.

Material keramik adalah bahan anorganik, non-logam, dan padat yang terbentuk melalui proses pemanasan pada suhu tinggi dan pendinginan secara bertahap. Keramik dikenal karena sifatnya yang keras, rapuh, dan tahan terhadap panas serta korosi. Penggunaannya telah dikenal sejak zaman prasejarah dalam bentuk barang-barang tembikar dan alat rumah tangga, namun kini keramik modern telah berkembang menjadi material canggih yang digunakan dalam berbagai industri dan teknologi tinggi. Adapun sifat sifat keramik dapat kita lihat sebagai berikut :

1. Tahan Panas

Salah satu keunggulan utama material keramik adalah kemampuannya untuk bertahan pada suhu sangat tinggi tanpa mengalami deformasi atau meleleh. Hal ini menjadikannya ideal untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan suhu ekstrem, seperti komponen mesin turbin dan pelapis tungku.

2. Kekerasan

Keramik sangat keras, menjadikannya tahan terhadap goresan dan aus. Namun, kekerasan ini juga disertai dengan kerapuhan, sehingga material keramik dapat mudah retak atau pecah di bawah beban kejut atau tekanan yang berlebihan.

3. Tahan Korosi dan Bahan Kimia

Keramik memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi dan bahan kimia agresif. Ini membuatnya ideal untuk digunakan dalam lingkungan yang memerlukan ketahanan terhadap reaksi kimia, seperti dalam reaktor kimia atau peralatan laboratorium.

2.2 Uji Impak

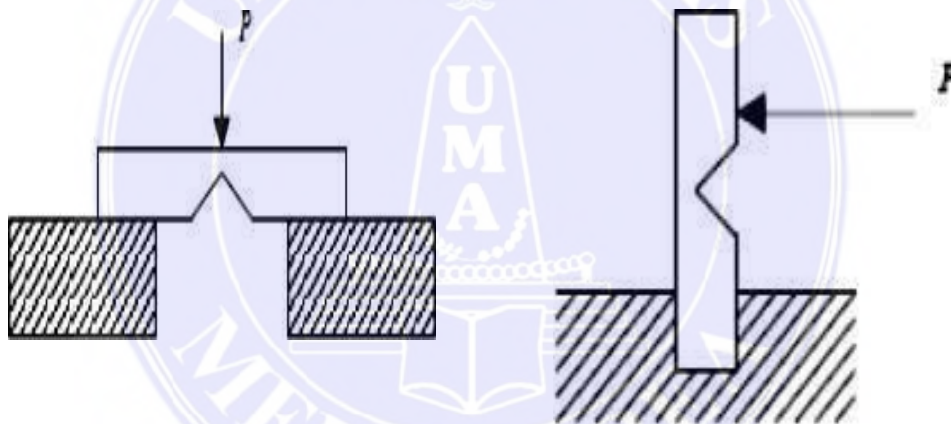
Dalam bidang konstruksi dan elemen mesin, penggunaan logam selalu mengacu pada jenis beban dan kondisi lingkungan. Baik material logam maupun plastik atau bahan lainnya akan mengalami berbagai macam kerusakan bergantung pada tipe dari beban yang mengenainya yaitu berupa tarikan, tekan, bengkakan, gaya putar. Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak tidak dapat dibaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tida dimensi yang terjadi pada batang uji.

Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini , juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya (Yopi Handoyo, 2018). Prinsip kerja alat uji impak adalah memberi pembebanan yang cepat sehingga terjadi penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk beban uji, adanya penerapan energi ini kemudian menyebabkan terjadinya kerusakan material berupa patah atau bengkok. Dengan mengacu pada jenis kerusakan yang terjadi maka kita

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). Batang uji diberi energi untuk melengkung sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi hingga orde 10^3-10^4 s . Batang uji izod, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan Secara skematik dapat kita lihat pada gambar 2.27.

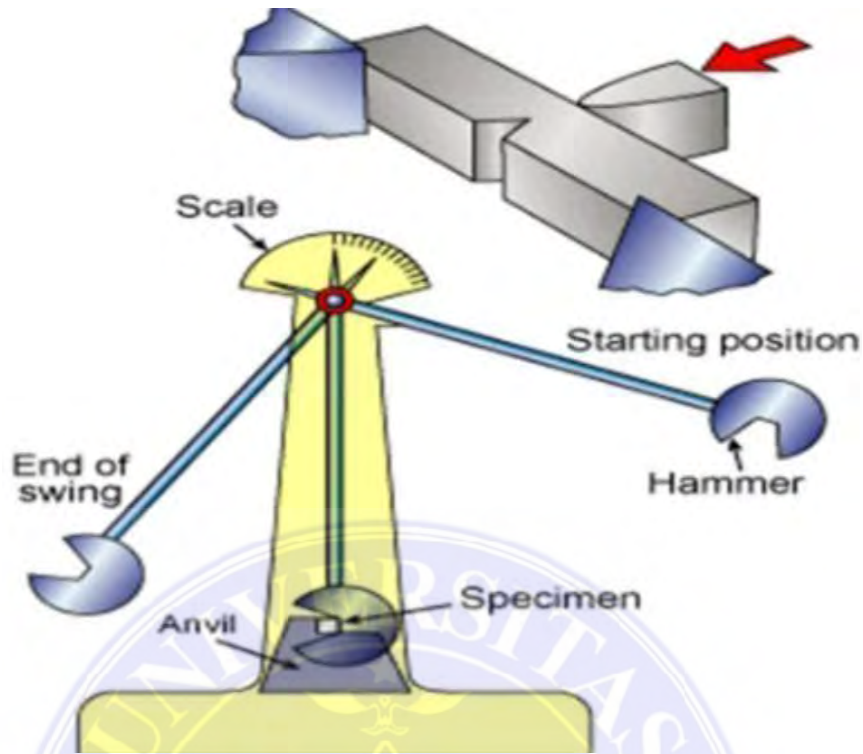
2.2.1 Uji Impak *Charpy*

Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam (Wahyu & Irwan, 2020). Metode yang telah menjadi standar untuk uji impak ini ada 2, yaitu uji impak metode *Charpy* dan metode *Izod* (Area, 2015).



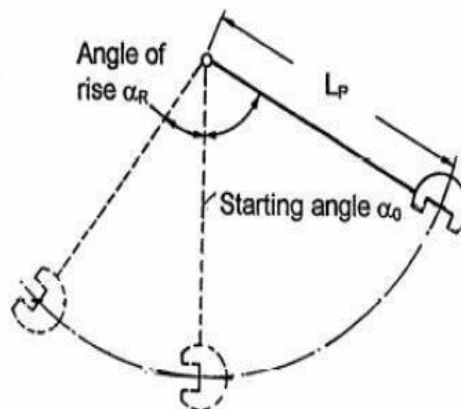
Gambar 2.26. Pembebanan metode izod & metode charpy

Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *izod* lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode *charpy* memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impak pada metode *charpy* dan metode ^o *izod* dengan sudut 45°, kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm. (Dwipayana & Widi, 2020)



Gambar 2.27. Ilustrasi skematis pengujian impact

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 impact *charpy* dapat dilihat pada gambar 2.28.



Gambar 2. 28. Ilustrasi gerakan pendulum

Energi yang diserap dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Material & Energi, 2023)

$$W = m_p \cdot g \cdot L_p (\cos \alpha_r - \cos \alpha_0) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- W = Energi (J)
- M_p = Massa pendulum (Kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- L_p = Panjang Lengan Pendulum (m)

Untuk mengukur kekuatan impak *charpy* maupun *izod*, spesimen berlekuk diposisikan secara terpusat pada penopang dan takik pada permukaan tarikannya. Oleh karena itu tumbukan terjadi pada sisi takik yang berlawanan (sisi takik dalam uji izod). Kekuatan takik *charpy* a_{cN} , dihitung dari energi yang diserap selama tumbukan W_c dalam kaitannya dengan luas penampang awal terkecil dari spesimen di dasar takikan.

2.2.2 Uji Impak *Izod*

Uji Impak adalah pengujian ketangguhan pada specimen berbahan material logam dan komposit. Uji Impak bisa diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan specimen dengan ayunan (Harijono & Purwanto, 2017). Uji impak *izod* merupakan pengujian impak dengan meletakkan posisi specimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takik. Energi impak berasal dari energi potensial pendulum diubah menjadi energi kinetik (gerak). Besarnya energi yang dilepas oleh pendulum dapat diketahui dari ketinggian awal dan akhir kedudukan pendulum, jarak titik ayun dengan titik takik dan berat pendulum. Jika jarak titik ayun dengan titik

takik dan berat pendulum tetap maka energi impact sepenuhnya bergantung pada kedudukan awal dan akhir pendulum.

Uji impact metode *izod* sering digunakan untuk mengukur ketahanan plastik. Spesimen uji agak mirip dengan spesimen pada uji impact *charpy* yang sering digunakan untuk menguji transisi rapuh-ulet pada baja struktural, tetapi dalam uji metode *izod* spesimen berlekuk berdiri dijepit dalam posisi vertikal dan pendulum membentur spesimen yang dijepit diujung.

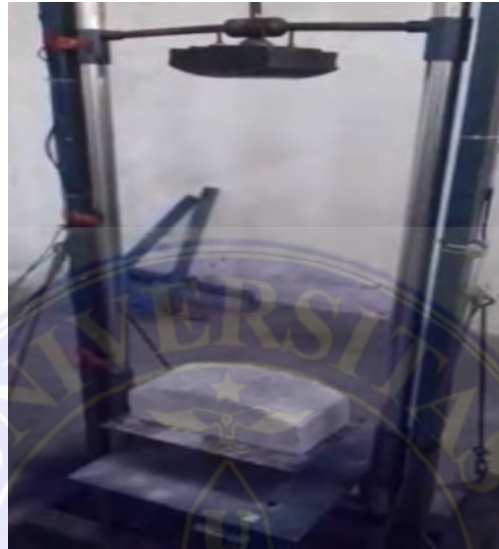
Faktor jenis material lebih dominan dalam mempengaruhi hasil pengujian dibandingkan dengan panjang lengan pendulum dan beban pendulum. Namun dalam merancang alat uji impact yang harus diperhatikan adalah pengaruh berat beban terhadap hasil pengujian, hal ini dikarenakan spesifikasi dimensi dari material (spesimen) dan panjang lengan pendulum telah ditentukan pada menurut standar ASTM.

2.2.3 Uji Impact Jatuh Bebas

Uji impact jatuh bebas adalah salah satu metode pengujian material yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan material terhadap beban dinamis atau tumbukan. Teknik ini penting dalam bidang teknik mesin karena dapat memberikan informasi kritis tentang perilaku material saat mengalami beban impact yang tiba-tiba, yang sering terjadi dalam aplikasi praktis seperti otomotif, penerbangan, dan infrastruktur.

Uji impact jatuh bebas merupakan suatu pengujian untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Alat uji impact jatuh bebas ini memanfaatkan massa benda serta gaya gravitasi. Prosedur yang dilakukan dalam

penelitian yang menggunakan alat uji impact jatuh bebas ini meliputi pengujian dan pengambilan data untuk mengetahui energi yang diserap, harga impact, momentum, *impuls*, dan ketangguhan pada material saat diberi beban kejut. Aat uji impact jatuh bebas dapat dilihat pada gambar 2.29 berikut.



Gambar 2.29. Alat uji impact jatuh (Sumber: Pakpahan, G. 2022)

2.2.4 Uji Impact Anak Panah

Uji impact jatuh bebas merupakan suatu alat uji ketahanan padasuatu benda kerja dengan menjatuhkan benda, sehingga benda kerja tersebut mengalamii benturan.. Benda jatuh tanpa kecepatan awal $V_0 = 0$ semakin kebawah gerak benda semakin cepat, percepatan yang dialami oleh setiiap benda jatuh bebas selalu sama yakni sama dengan percepatan gravitasi bumi yakni besar $g = 9,8 \text{ m/s}$ jika benda jatuh kebumi dari ketinggian tertentu relatif lebih kecil dibandingkan dengan jari jari bumi maka benda mengalami pertambahan kecepatan dengan nilai yang sama setiap detik. Hal ini berarti bahwa percepatan kebawah benda bertambah denga nilai yang sama dan ika sebuah benda tersebut ditambah keatas kecepatannya berkurang dengan nilai yang sama setia detik dengan pertambahan kebawahnya seragam.

Pada alat uji jatuh bebas benda yang menganhtam benda kerja yaitu benda yang berbentuk anak panah bila dijatuhkan tanpa kecepatan awall dari ketinggian dan waktu ditentukan maka percepatan yang dialami oleh benda tersebut adalah sama dengan percepatan gravitasi bumi yang besarnya $g = 9,81\text{m/s}$ gerakjatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vartikal dari ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal ($V_0 = 0$) jadi gerak benda hanya dipengaruhi oleh gravitasi bumi. Pada gerak jatuh bebas waktu jatuh benda bebas hanya dipengaruhi oleh dua faktor saja yaitu ketinggian (h) dan gravitasi bumi(g) jadi berat dari besaran- besaran lain tidak mempengaruhi waktu jatuh (Pakpahan, 2022).



Gambar 2. 30. Alat Uji Impak Anak Panah

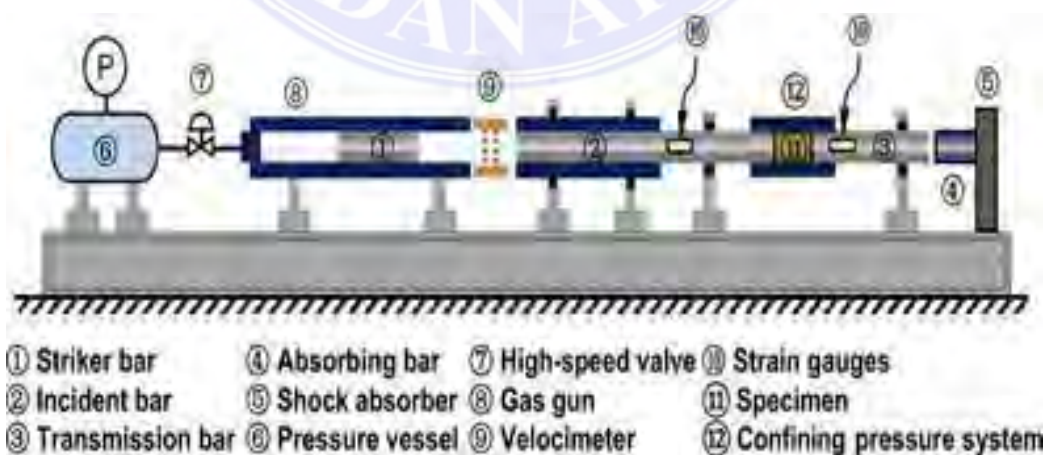
2.2.5 *Split Hopkinson Pressure Bar*

SHPB, atau *Split Hopkinson Pressure Bar* adalah salah satu teknik eksperimental paling canggih dalam dunia ilmu material untuk mengujiirepson material terhadap tekanan dinamis (Gary & ZHAO, 1996). Teknikini dirancang untuk memahami bagaimana suatu material bereaksi ketika dikenai beban atau

tekanan yang sangat tinggi, seperti yang terjadi pada tabrakan kendaraan, ledakan, atau kondisi ekstrem lainnya. Dalam pengujian ini, material akan ditempatkan di antara dua batang logam panjang yang dikenal sebagai "batang penggerak" dan "batang transmisi".

Proses dimulai ketika gelombang tekanan tinggi dihasilkan melalui batang penggerak dan dihantarkan ke material uji. Sebagian gelombang tersebut akan dipantulkan, sementara sebagian lainnya diteruskan ke batang transmisi. Melalui analisis gelombang pantulan dan transmisi ini, para peneliti dapat menghitung tegangan dan regangan yang dialami material dalam hitungan mikrodetik.

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 ditanggguhkan 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.

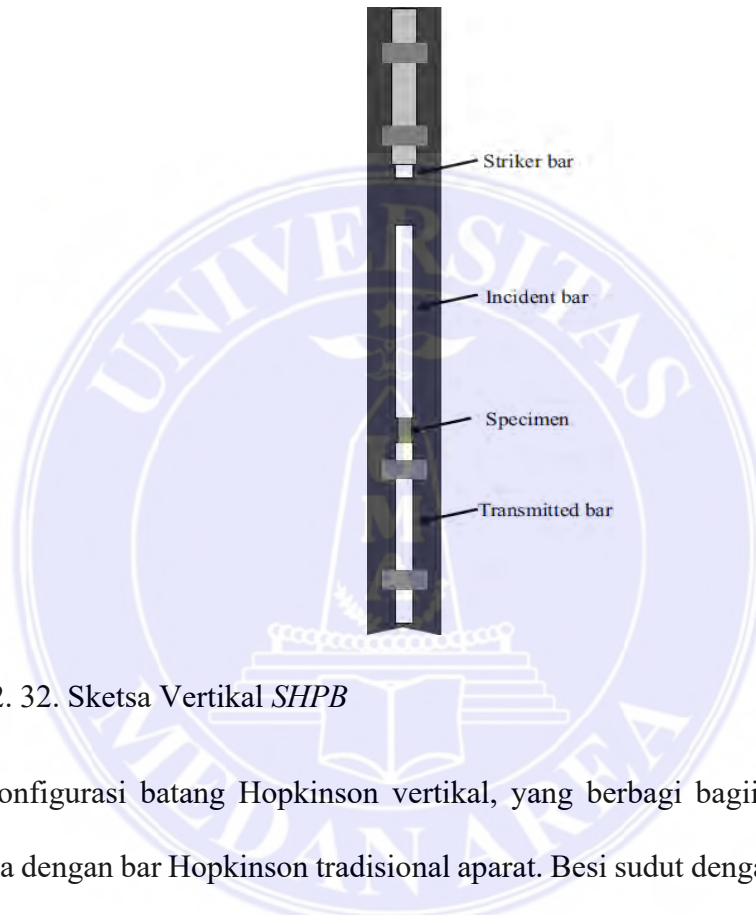


Gambar 2. 31. Mesin SHPB

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 kondensator untuk mengukur perpindahan di bar tekanan. Pada tahun 1949, Kolsky memodifikasi pengaturan lebih lanjut dengan menambahkan bar tekanan kedua dan meletakkan spesimen diantara kedua batang. Selama beberapa dekade, banyak peneliti yang telah mengembangkan *Split Hopkinson Pressure Bar* untuk mengukur sifat mekanik yang dinamis dari banyak bahan yang berbeda. Terutama, teknik ini berguna untuk memeriksa respon dinamis dari bahan padat. Meskipun beberapa peneliti telah menguji berbagai sampel, itu tidak sepenuhnya dipahami bagaimana sampel dimensi. Dengan demikian, penting untuk memahami efek dari sampel relatif terhadap *SHPB* diameter dan rasio L / D sampel pada respon mekanik dinamis, karena dua parameter ini dapat mempengaruhi perilaku elastis bahan (Juprastanta Randy, 2018).

Bar tekanan *Split Hopkinson Pressure Bar* terdiri dari dua batang panjang elastis yang menutupi spesimen di antara keduanya. Biasanya bar striker didorong menuju bar kejadian. Saat terjadi benturan, gelombang tekan elastis dihasilkan, didalam bar kejadian dan ketegangan tergantung waktu di bar tekanan diukur pada titik tengah kejadian bar. Pada tampilan bar / spesimen, gelombang sebagian tercermin dan sebagian ditransmisikan ke dalam contoh. Bagian yang tercermin perjalanan kembali sepanjang bar kejadian sebagai gelombang tarik dan yang sesuai regangan diukur. Strain tekan berhubungan dengan porsi gelombang yang ditransmisikan melalui sampel ke dalam bar output diukur pada titik tengah bar output. Bila spesimen tersebut mengalami deformasi secara seragam, Tingkat

regangan dalam spesimen berbanding lurus dengan amplitudo gelombang pantul. Demikian juga dengan Tegangan dalam sampel berbanding lurus dengan amplitudo gelombang yang ditransmisikan. Kedua sinyal ini bisa jadi diicatat, yang pertama terintegrasi kestrain hasil, dan dikombinasikan untuk memberikan kurva tegangan-regangan dinamis, dapat dilihat pada gambar 2.32.



Gambar 2. 32. Sketsa Vertikal SHPB

Konfigurasi batang Hopkinson vertikal, yang berbagi bagian komponen yang sama dengan bar Hopkinson tradisional aparat. Besi sudut dengan panjang 4,5 m dipasang vertikal kearah lantai dan bilah yang ditransmisikan ke bagian bawah dengan 2 berbentuk cincin. Spesimen itu diletakkan di atas muka dari batang yang ditransmisiikan, dan batang kejadian vertikal berada di bagian atas spesimen tanpa ada kontak dengan besi sudut. sketssa vertikal split hopkinson pressure bar.

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

pada bar input akan menghasilkan stres dinamis dalam alattersebut. Gelombang menyebar melalui bar input, maka deformasi spesimen dan akhirnya dikirim ke output bar. input dan output bar menangkap regangan aksial yang disebabkan oleh gelombang tekanan.

2.3 Analisis Fraktur Material

Analisis fraktur material merupakan salah satu pendekatan penting dalam bidang teknik dan ilmu material yang bertujuan untuk memahami bagaimana dan mengapa suatu material mengalami patah atau kerusakan. Fraktur dapat terjadi akibat beban statis, dinamis, kelelahan, maupun kondisi lingkungan tertentu yang memicu keretakan internal pada struktur material. Studi ini tidak hanya membahas mekanisme patah secara fisik, tetapi juga menelusuri sifat mekanik material seperti kekuatan tarik, ketangguhan retak, serta struktur mikro yang memengaruhi perilaku fraktur.

Fraktur atau kegagalan suatu material adalah salah satu fenomena yang paling penting untuk dianalisis dalam bidang rekayasa material. Beban dinamis seperti benturan, getaran, atau perubahan beban secara cepat—dapat mempercepat kegagalan material melalui fraktur yang disebabkan oleh tegangan yang melebihi batas ketahanan material (Berto et al., 2013). Setiap jenis material, baik logam, non-logam, polimer, maupun keramik, memiliki perilaku yang unik saat mengalami fraktur di bawah pengaruh beban dinamis (Internasional et al., 2015)

Untuk menganalisis fraktur menggunakan mesin *Hopkinson* yang menggunakan gelombang pendek, prinsip yang digunakan adalah perhitungan tegangan dan regangan berdasarkan propagasi gelombang melalui spesimen batang uji (Meyers, 1994). Berikut beberapa rumus kunci yang digunakan :

1. Regangan Dinamis

$$\epsilon_0 = e_0 / (E \cdot K_s) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : e_0 = Output Voltase (Volt)
 E = Voltase USB (5 Volt)
 K_s = Faktor Koreksi (1,2)
 ϵ_0 = Regangan

2. Tegangan Dinamis

$$\sigma = E \cdot \epsilon_0 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : σ = Tegangan (Mpa)
 E = Modulus Elastisitas Batang (Mpa)
 ϵ_0 = Output Tegangan (Volt)

3. Ketangguhan Patah (K_{iC})

$$K_{iC} = \sqrt{2 \cdot \pi} \times \frac{\sigma \cdot \rho^{1-\lambda_1}}{1+\omega_1} \dots \dots \dots (2.5)$$

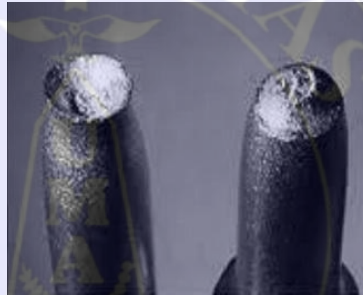
Dimana : K_{iC} = Ketangguhan patah (Mpa)
 σ = Tegangan (Mpa)
 ρ = Panjang Takik (mm)
 λ_1 = Faktor Geometri Takik
 ω_1 = Aspek Rasio

2.4 Jenis-jenis patahan

Patahan material adalah fenomena ketika suatu bahan atau material mengalami kerusakan atau retakan akibat tegangan atau tekanan yang melebihi batas kekuatan material tersebut. Perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Perpatahan ulet (*Ductile Fracture*)

Patah ulet terjadi apabila material logam pada saat akan patah mengalami deformasi plastis yang cukup besar, penampang melintang di daerah patahan biasanya berkurang karena penipisan (*necking*).



Gambar 2.33. Perpatahan Ulet

2. Perpatahan getas, (*Granular Fracture*)

Patah getas memiliki ciri yang berbeda dengan perpatahan ulet, pada saat akan patah tidak mengalami perubahan bentuk plastis atau pengecilan penampang., dapat dilihat pada gambar 2.37.



Gambar 2.34. Perpatahan Getas

3. Perpatahan campuran sesuai dengan nama jenis patahannya, ini merupakan jenis patahan kombinasi antara patahan ulet dan getas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu

Waktu penelitian akan dilaksanakan bersamaan dengan keluarnya surat keputusan tugas akhir dengan jadwal tugas akhir seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal waktu dan kegiatan saat melakukan penelitian

Aktivitas	Tahun 2024				Tahun 2025		
	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	April	Juni
Pengajuan judul							
Penulisan Proposal							
Seminar Proposal							
Proses Penelitian							
Pengolahan data							
Penyelesaian laporan Seminar							
hasil Evaluasi dan persiapan							
Sidang sarjana							

3.1.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan sebagai bagian dari tugas akhir di laboratorium Teknik Mesin Universitas Medan Area, Kampus 1, Jalan Kolam.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Mesin Uji Tekan Statis

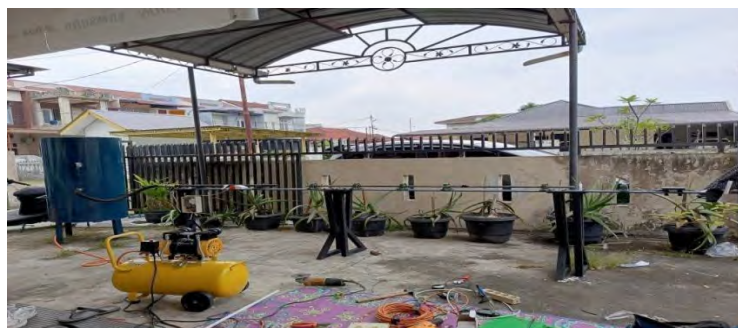
Alat ini berperan penting dalam pengujian sifat mekanik berbagai material untuk menemukan kekuatan tekan, modulus elastisitas, serta perilaku deformasi material saat menerima beban, dapat dilihat seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Mesin Uji Tekan Statis

2. Mesin Hopkinson

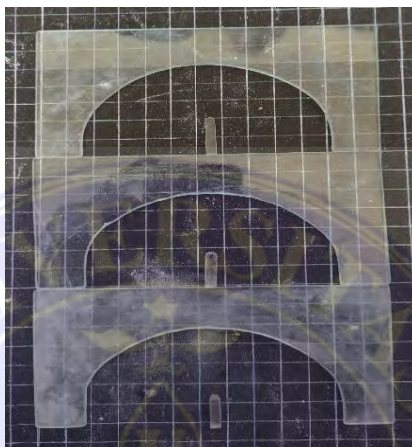
Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) adalah alat yang digunakan untuk mengukur sifat material pada kecepatan regangan tinggi, mesin ini bekerja dengan prinsip gelombang tegangan yang merambat melalui batang panjang saat material uji terkena benturan, dapat dilihat seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Mesin Hopkinson

3. Cetakan

Alat yang digunakan dalam pembentukan material keramik untuk membuat spesimen berbentuk cakram atau piringan. Cetakan cakram ini terbuat dari kaca dengan diameter 91,65 dan tinggi 50 mm dengan ketebalan 3 mm, dapat dilihat seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Cetakan

4. Mixer Dapur

Alat yang digunakan untuk mencampur bahan bahan pembuatan keramik. Jenis mixer yang digunakan adalah jenis mixer genggam (Philips HR-1552 Putih, 220 V, 170 W, 50 Hz) dan jenis mata mixer yang digunakan yaitu paddle, dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Mixer

5. Wadah Plastik

Wadah berbentuk cekung yang terbuat dari bahan plastik, yang digunakan sebagai media untuk melakukan pencampuran bahan-bahan pembuatan keramik, dapat dilihat seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Wadah plastik

6. Timbangan Digital

Menggunakan sensor elektronik untuk menugukur berat atau massa dan menampilkan hasilnya secara digital, alat ini digunakan untuk mengukur komposisi bahan yang akan digunakan untuk membuat keramik, dapat dilihat seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Timbangan

3.2.2 Bahan

Bubuk keramik DIY adalah inovasi material yang memungkinkan individu atau komunitas untuk membuat keramik secara mandiri dengan bahan-bahan yang mudah didapat dan proses yang sederhana. Komposisi keramik terdiri dari Silikon dioksida (50%), Aluminium Oksida (20%), Oksida besi (5%), Kalsium (5%), Kalium (5%), Natrium (5%), Zirkonium (10%).



Gambar 3.7. Bubuk Keramik DIY

3.2. 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 (Sahir, 2021).

3.2.1 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 keramik berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis ada lah sebagai berikut :

1. Studi literatur untuk mencari sumber sumber penelitian yang berkaitan dengan judul studi eksperimental analisis fraktur material keramik 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 keramik yang digunakan terhadap suatu alat atau benda. Dengan memahami dan menganalisis fraktur material keramik 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 keramik berbentuk cakram pada takik U akibat beban dinamis untuk menjadi tugas akhir saya.
3. Melakukan perhitungan terhadap material keramik yang dibuat dengan spesifikasi tertentu lalu dilakukan uji impak dengan mesin *Split Hopkinson Pressure Bar*.
4. Menganalisa hasil yang didapatkan dan membandingkan hasil dari masing masing material keramik yang diuji menggunakan mesin *Split Hopkinson*

Pressure Bar untuk mengetahui kekuatan bahan keramik.

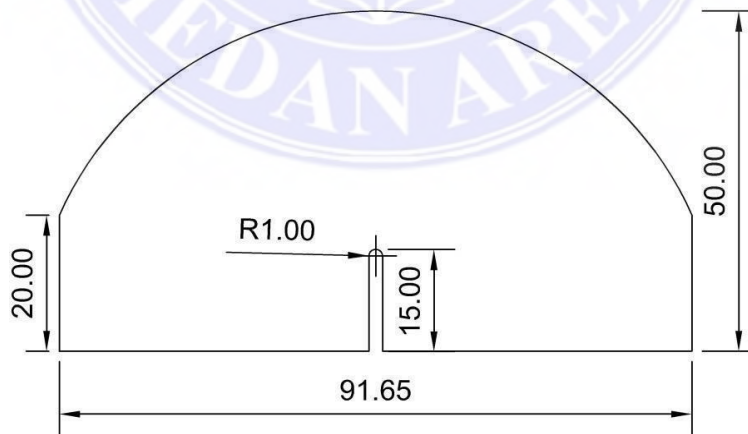
- Menarik kesimpulan dari hasil pengujian.

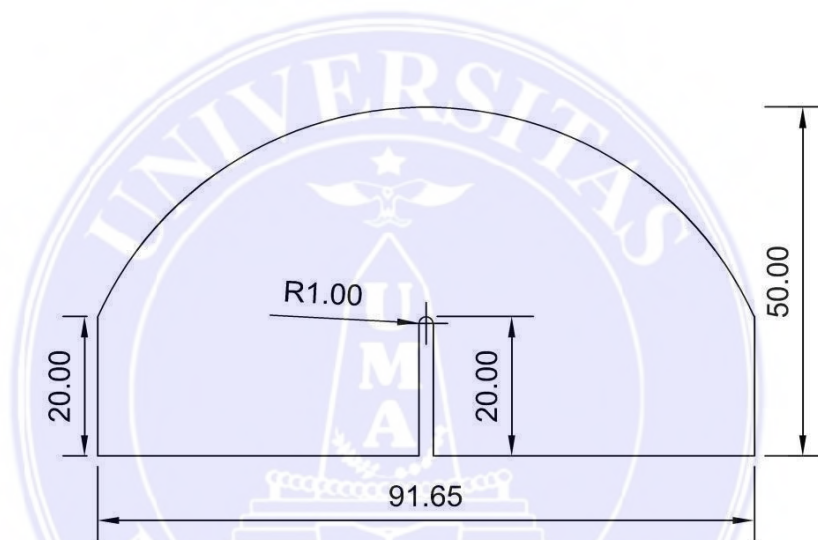
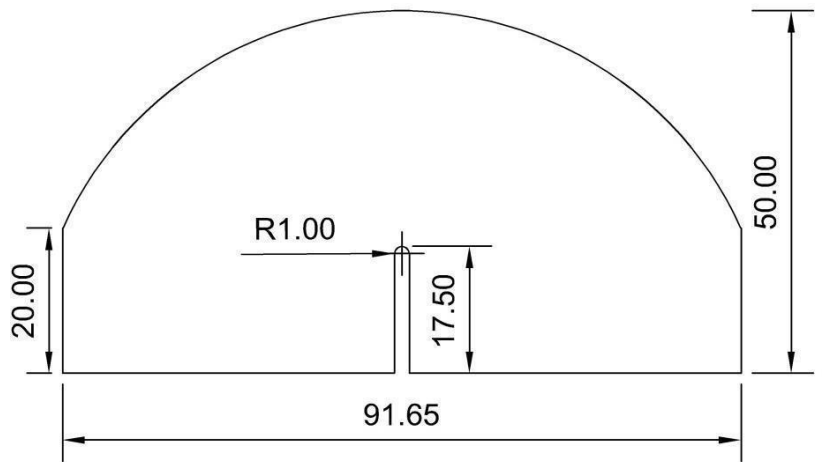
3.3. Populasi dan Sampel

Takik U merupakan bentuk lekukan atau celah yang seing kali diterapkan pada berbagai komponen struktural atau material untuk mempengaruhi distribusi tegangan. Dalam rekayasa material dan mekanika fraktur, takik U digunakan untuk mengkaji bagaimana struktur material bereaksi terhadap beban atau tegangan, terutama dalam kondisi ekstrem.

Tabel 3.2. Variasi spesimen yang akan diuji

No	Tebal (mm)	Lebar Takik (mm)	Diameter Spesimen (mm)	Kedalaman takik (mm)	Jumlah Spesimen
1	3	3	91,65	15	3
2	3	3	91,65	17,5	3
3	3	3	91,65	20	3





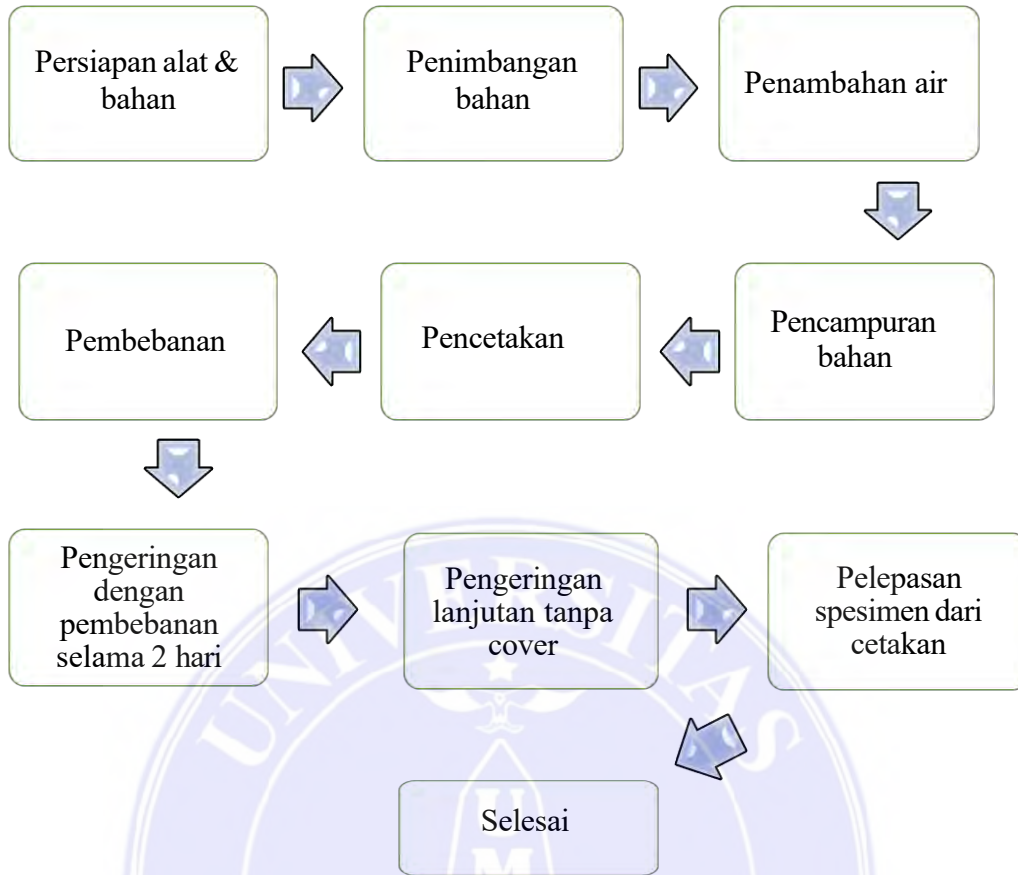
Gambar 3.8. Gambar Teknik Spesimen

3.4. Prosedur Kerja

Prosedur kerja penelitian dimulai dari mempersiapkan bahan-bahan untuk membuat material lalu dibentuk sesuai kebutuhan serta dilakukan pengujian terhadap material tersebut, dapat dilihat sebagai berikut.

3.4.1 Pembuatan Spesimen

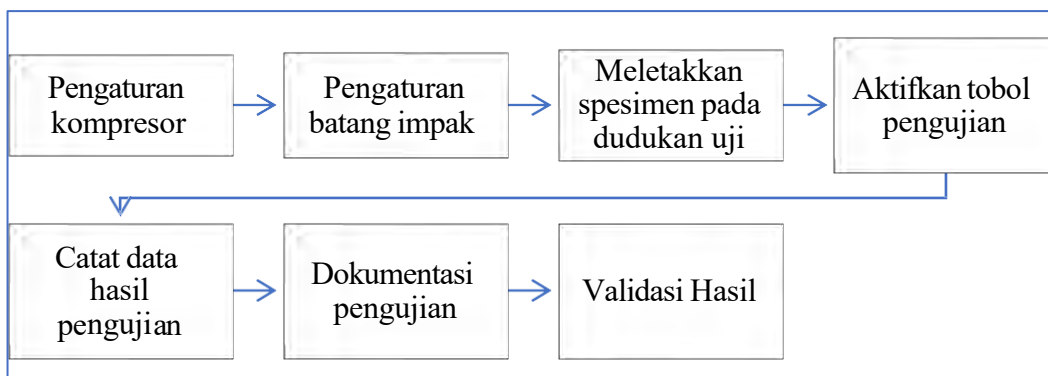
Pembuatan spesimen dilakukan dengan beberapa tahapan, dimulai dari persiapan bahan bahan pembuatan material sampai terbentuk menjadi spesimen sesuai dengan dibutuhkan.



Gambar 3.9. Diagram Alir Pembuatan Spesimen

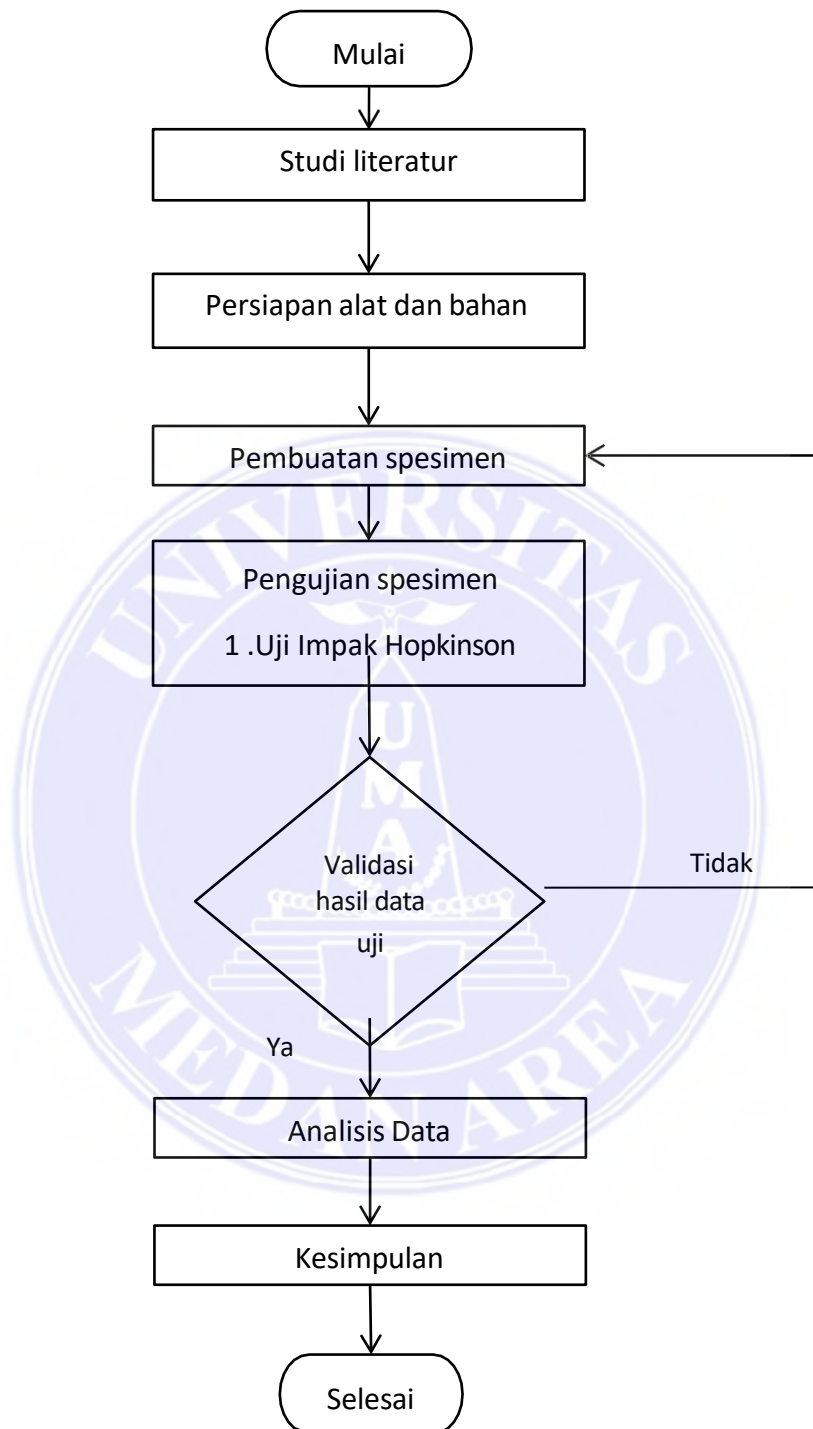
3.4.2 Prosedur Pengujian

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 3.10.



Gambar 3.10. Diagram alir pengujian

3.4.3 Diagram Alir



Gambar 3.10. Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berhasil membuat spesimen sebanyak 3 set (9 pcs)
2. Pengujian berhasil dilakukan menggunakan metode eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan fraktur dimulai dari ujung takik
3. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa semakin panjang takik pada spesimen, maka semakin rendah nilai ketangguhan patah pada spesimen tersebut.

5.2. Saran

1. Melaksanakan pengujian dengan material keramik yang melalui proses sintering untuk mengetahui ketangguhan fraktur.
2. Melaksanakan pengujian dengan jenis material yang lain untuk mengetahui ketangguhan fraktur.
3. Melakukan penelitian mengenai gaya yang diserap oleh spesimen saat pengujian.

Daftar Pustaka

- Akbar, T., & Prastawa, W. (2019). Karakteristik Dan Implementasi Tanah Liat Di Lubuk Alung Sebagai Bahan Baku Pembuatan Keramik Hias. *JADECS (Jurnal of Art, Design, Art Education & Cultural Studies)*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.17977/um037v3i2p67-73>
- Area, U. M. (2015). Menggunakan Alat Uji Impak Skripsi Oleh: Imam Mesakh Purba Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Berto, F. A., Indonesia, P. L. A., B, T. A., Teknik, M., Padova, U., Nicola, S. S., Kelelahan, P., Keunggulan, P., Padat, M., & Mesin, F. T. (2013). *Fraktur getas pada takik V tajam dan tumpul pada grafit isostatik di bawah beban kompresi murni*. 3. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.06.045>
- Dwipayana, I. M. ., & Widi, I. K. . (2020). Analisa Uji Tarik Dan Uji Impak Komposit Penguat Karbon, Campuran Epoxy-Karet Silikon 30%, 40%, 50%, Rami, Kenaf Matrik Epoxy. *Made Agung Dwipayana, 1*.
- Gary, G., & ZHAO, H. (1996). On the use of SHPB technique to determine the dynamic of materials in the range of small strains. *International Journal of Solids and Structures*, 33(23), 3363–3375.
- Grafika, J., & Yogyakarta, N. (2017). *Fluiditas Paduan Perunggu Timah Melalui Investment Casting* . 655–660.
- Harijono, & Purwanto, H. (2017). Analisis Keakuratan hasil Uji Impact dengan Metode Izod dan Charpy. *Seminar Nasional Hasil Penelitian*, 130–135.
- Hogantara Sowiyyk, P., & Bayuseno, A. P. (2016). Pengaruh Penambahan Unsur Timah (Sn) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Pada Material Bearing Berbahan Dasar Aluminium (Al) Hasil Pengecoran HPDC. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 4(3), 290–298.
- Internasional, J., Firoozabadi, M. B., Ayatollahi, T., & Indonesia, B. (2015). *Analisis patah getas pada takik V tumpul akibat kompresi*. 68, 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.ijstr.2015.04.022>
- Juprastanta Randy. (2018). Pengaruh Laju Regangan Pada Bahan Terhadap Kekuatan Tarik Dinamik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Kekuatan, A., Material, M., Berserat, K., Spakbor, P., Motor, S., Manufacture, T., & Fenders, M. (2021). *Agrotekma Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian Analisis Kekuatan Mekanik Material Komposit Berserat Sabut Kelapa yang Berpeluang Diaplikasikan pada Pembuatan Spakbor Sepeda Motor Analysis of Mechanical Strength Coconut Fiber Fibrous Composite Material* . 6(1), 27–33. <https://doi.org/10.31289/agr.v6i1.6212>
- Material, J. R., & Energi, M. (2023). *Baterai – Solar Panel FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU*. 6(1), 48–53.
- Meyers, M. A. (1994). *Dynamic Behavior of Materials*. John Wiley & Sons.
- Nurhidayat, A., Wijoyo, W., & Irnawan, D. (2022). Kajian Fraksi Volume Serat Komposit Tangkai Ilalang Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 2(2 SE-Articles), 20–26. <https://www.jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/43>
- Pakpahan, G. (2022). *Perancangan Alat Uji Impak Anak Panah Jatuh Bebas Untuk Menguji Lembaran Plastik Dengan Kapasitas 120 Gr*. Universitas

Medan Area.

- Pakpahan, G., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., Area, U. M., & Area, U. M. (2022). Uji Impak Jatuh Bebas Untuk Menguji Lembaran Plastik Dengan Kapasitas 120 gr Universitas Medan Area.
- Rahmad, D. (2019). Pemilihan Material dan Proses Pengerjaannya. *Teknik Mesin*, 3 (2), 1–226. <https://jazirahkomputer.blogspot.com/2019/03/makalah-pemilihan-material-dan-proses.html>
- Rahmawati, D. I., & Nuraliyah, A. (2024). Pengaruh ketahanan korosi logam aluminium terhadap variasi pada larutan asam klorida 0,1 M dan 0,5 M. *Dynamics in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 1(1), 15–27. <https://doi.org/10.61511/dynames.v1i1.738>
- Sahir, S. H. (2021). *Metodologi Penelitian*. Penerbit KBM Indonesia.
- Sari, N. H. (2018). *Material Teknik*. CV BUDI UTAMA.
- Setiawan, H. (2013). C. Kekerasan material adalah 35,4 HRB dengan tegangan tarik maksimum (. *Jurnal SIMETRIS*, 3(1), 71–79.
- Sidabutar, T. E. (2017). Pembuatan Dan Karakterisasi Keramik Magnesium Alumina Silika Dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 28. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i1.1203>
- Szabó, J. S., & Czigány, T. (2002). Investigation of static and dynamic fracture toughness of short ceramic fiber reinforced composites. *Journal of Macromolecular Science - Physics*, 41 B(4–6), 1191–1204. <https://doi.org/10.1081/MB-120013091>
- Wahyu, M., & Irwan, A. (2020). *Analisa Uji Impak Baja Carbon Steel 1045 Dengan Memggunakan Metode Charpy*.
- Yopi Handoyo. (2018). Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 1(2), 17–25.