

ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM

SKRIPSI

OLEH:

**IRGI FAHREZI
218130028**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/4/26

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 (repository.uma.ac.id)14/4/26

ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM

SKRIPSI

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

OLEH:

**IRGI FAHREZI
218130028**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025ALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI**

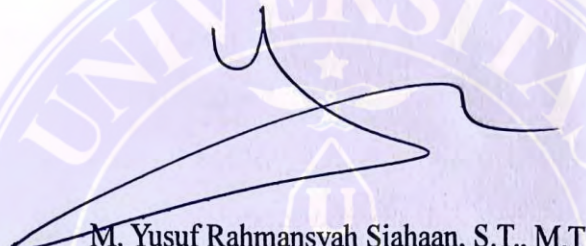
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Kekuatan Lentur Hasil Pencetakan 3D Printer
Dengan Bahan Logam
Nama Mahasiswa : Irgi Fahrezi
NIM : 21.813.0028
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



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



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



Dr. Isyandi, S.T., M.T
Ka. Prodi/ WD I

Tanggal Lulus: 2 Oktober 2025

HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, 24 Oktober 2025



Irgi Fahrezi

218130028

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 : Irgi Fahrezi
NPM : 218130028
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 Kekuatan Lentur Hasil Pencetakan 3D Printer dengan Bahan Logam.

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Medan
Pada tanggal 24 Oktober 2025
Yang menyatakan



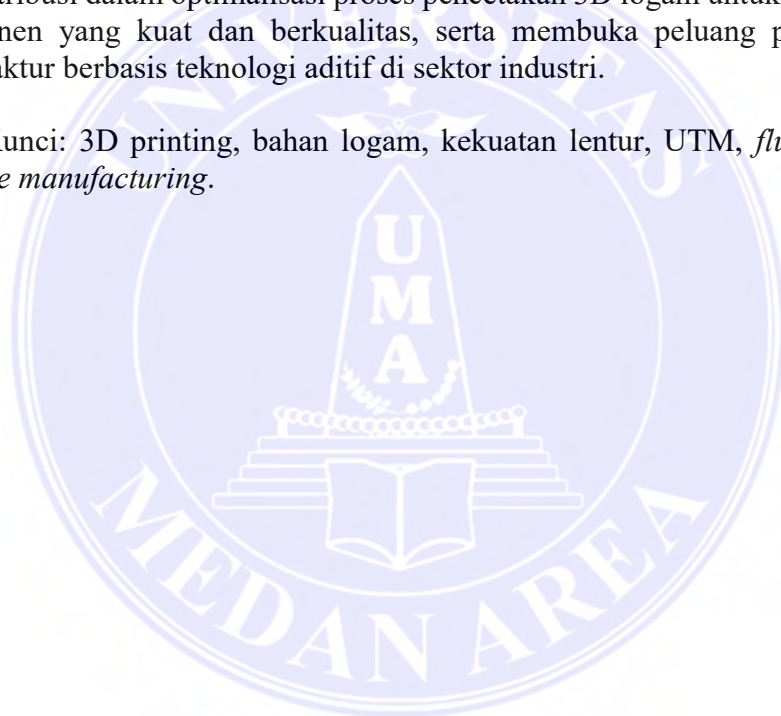
(Irgi Fahrezi)

218130028

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan lentur dari spesimen logam hasil pencetakan 3D menggunakan metode *wire-based additive manufacturing*. Proses pencetakan dilakukan dengan memanfaatkan kawat flux cored wire tipe E71T-GS berdiameter 0,8 mm yang dilas lapis demi lapis menggunakan mesin las MIG. Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM E290 dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) pada spesimen yang memiliki variasi arus pengelasan sebesar 70A, 80A, dan 90A. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar arus pengelasan, semakin tinggi kekuatan lentur yang dihasilkan. Spesimen dengan arus 90A menghasilkan tegangan lentur tertinggi sebesar 1.701 MPa dengan gaya patah mencapai 5101 N. Hasil ini menunjukkan bahwa kontrol parameter proses sangat mempengaruhi kualitas struktur antar lapisan logam dan performa mekanik produk akhir. Penelitian ini berkontribusi dalam optimalisasi proses pencetakan 3D logam untuk menghasilkan komponen yang kuat dan berkualitas, serta membuka peluang pengembangan manufaktur berbasis teknologi aditif di sektor industri.

Kata Kunci: 3D printing, bahan logam, kekuatan lentur, UTM, *flux cored wire*, *additive manufacturing*.



ABSTRACT

This study aims to analyze the flexural strength of metal specimens produced through 3D printing using a wire-based additive manufacturing method. The printing process utilizes flux-cored wire type E71T-GS with a diameter of 0.8 mm, welded layer by layer using a MIG welding machine. Testing was conducted in accordance with ASTM E290 standards using a Universal Testing Machine (UTM) on specimens with varying welding currents of 70A, 80A, and 90A. The results show that higher welding currents lead to increased flexural strength. The specimen with a 90A current achieved the highest flexural stress of 1.701 MPa and a maximum load of 5101 N. These findings indicate that process parameter control significantly affects the interlayer bonding quality and the mechanical performance of the final product. This research contributes to the optimization of metal 3D printing processes to produce stronger and higher-quality components, offering promising potential for the development of additive manufacturing in industrial applications.

Keywords: 3D printing, metal material, flexural strength, UTM, flux-cored wire, additive manufacturing.



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama IRGI FAHREZI berumur 22 tahun, dilahirkan di Torgamba pada Tanggal 8 Oktober 2002. Penulis beragama Islam, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Nurainan dan Ibu Nitra Indrayani. Pendidikan formal dimulai dari SD Swasta Hassanudin Medan tahun 2009-2015, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 19 Medan tahun 2015-2018, sekolah menengah atas di SMK Swasta Teladan Medan tahun 2018-2021, selanjutnya pada tahun 2021 penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi S1 Teknik Mesin di Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. KAI Balai Yasa Pulubrayan yang beralamat di Jl. Ps. Pulo Brayan Bengkel, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatra Utara dan tamat di Universitas Medan Area tahun 2025.

KATA PENGANTAR

puji dan syukur penulis panjatkan kepada tuhan yang maha esa yang telah memberikan berkat dan kasihnya yang besar kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini tepat pada waktunya dengan sebaik-baiknya yang berjudul **“ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM”**.

Adapun proposal skripsi ini bermaksud untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis juga menyadari bahwa dalam penulisan ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan dalam penyusunan penulisan ataupun isi dari pada skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat dapat membangun setiap pembaca agar dapat lebih baik lagi. Penulis juga tidak lupa untuk menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.

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 Mesin Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Iswandi ST., MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak M. Yusuf Siahaan, ST., MT Sebagai Dosen Pembimbing yang banyak membantu penulis dalam memberikan arahan dan saran serta ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini.

5. Teristimewa penulis mengucapkan Kepada Kedua Orang Tua dan keluarga tercinta yang selalu mendukung dalam Doa, Materi, dan Nasehat yang dapat membangun semangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh rekan-rekan mahasiswa teristimewa satu angkatan saya Stambuk 21, yang telah senantiasa memberikan dukungan dan motivasi, Semoga kita semua menjaadi orang sukses.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini masih banyak kesalahan sehingga masih jauh dari kata sempurna. Karena terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan dan kritik yang dapat membangun dari pihak pembaca diharapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan proposal skripsi ini kedepannya. Semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk membangun ilmu pengetahuan pada khususnya Teknik Mesin.

Penulis,



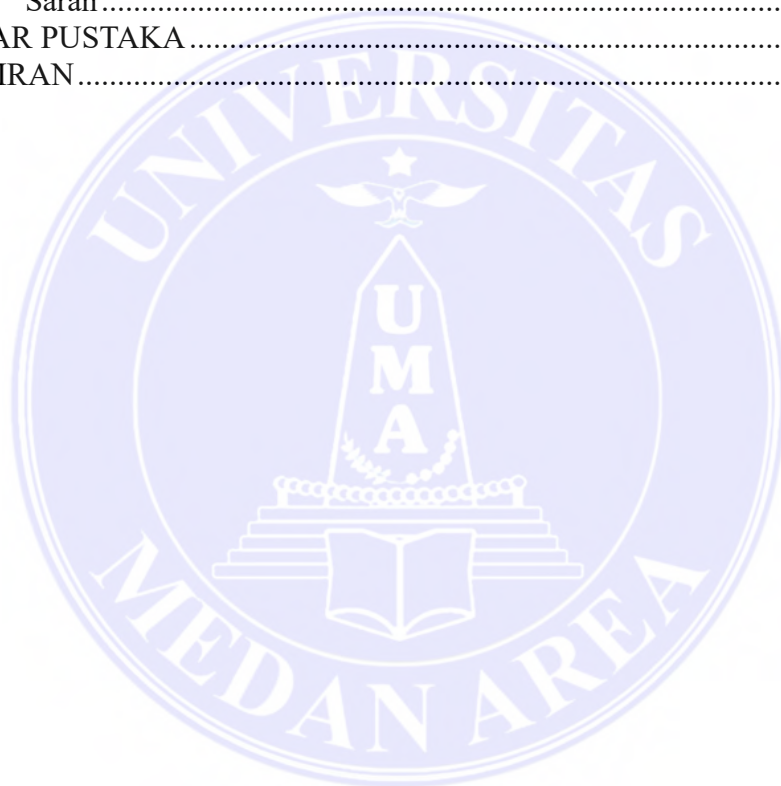
IRGI FAHREZI

NPM: 218130028

DAFTAR ISI

ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 3D Printer	5
2.1.1 Jenis-Jenis 3D printer	6
2.1.2 Komponen 3D Printer	10
2.2 Material Logam	11
2.3.1 Logam non ferro.....	14
2.3.2 Selective Laser Melting (SLM).....	18
2.3.3 <i>Directed Energy Deposition (DED)</i>	19
2.3 Uji lentur.....	20
2.3.1 Pengujian Dua Titik (<i>Three-Point Bending</i>)	21
2.3.2 Pengujian Empat Titik (<i>Four-Point Bending</i>).....	22
2.4 Pengelasan	24
2.4.1 Las <i>Tungsten Inert Gas Welding (TIG)</i>	25
2.4.2 Las MIG (<i>Metal Inert Gas</i>)	27
2.4.3 Las GTAW.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Waktu Dan Tempat	29
3.1.1 Waktu	29
3.1.2 Tempat.....	29
3.2 Bahan Dan Alat	30
3.2.1 Bahan.....	30
3.2.2 Alat.....	30
3.3 METODE PENELITIAN	32
3.4 Populasi dan Sampel	34

3.5	Prosedur kerja.....	34
3.5.1	Proses pembuatan specimen.....	35
3.5.2	Prosedur pengujian.....	36
3.5.3	Diagram Alir.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1	Hasil.....	38
4.1.1	Hasil Pembuatan Spesimen.....	38
4.1.2	Hasil Pengujian Spesimen.....	40
4.2	Pembahasan	46
4.2.1	Pembahasan pencetakan 3d printer	46
4.2.2	Pembahasan pengujian hasil 3d printer.....	46
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Simpulan.....	47
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin 3D printer.	5
Gambar 2.2. Mesin 3D Printer Model Cartesian.....	7
Gambar 2.3. Mesin 3D Printer Model Delta.	8
Gambar 2.4. Mesin 3D Printer Model Polar.	9
Gambar 2.5. Mesin 3D Printer Model SCARA.	9
Gambar 2.6. Komponen 3D Printing.	11
Gambar 2.7. besi cor.	13
Gambar 2.8. baja tahan karat (Stainless Steel).....	13
Gambar 2.9. Aluminium.	15
Gambar 2.10. Tembaga.	16
Gambar 2.11. Timah.	17
Gambar 2.12. Nikel.	18
Gambar 2.13. Cara kerja 3D printing.	20
Gambar 2.14. Mesin uji lentur.	21
Gambar 2.15. skema pengujian 2 titik.	21
Gambar 2.16. skema pengujian 4 titik.	22
Gambar 2.17. skema pengujian bending.	23
Gambar 2. 18. Las Tungsten Inert Gas Welding (TIG).	26
Gambar 2. 19. Skematik Mesin Las MIG.	27
Gambar 2. 20. Pengelasan GTAW.	28
Gambar 3.1. Wire Las Mic.....	29
Gambar 3.2. Mesin 3d printer.	30
Gambar 3.3. Las MIG.	31
Gambar 3.4. Universal Testing Machine (UTM).....	31
Gambar 3.5. Dimensi Spesimen Uji Lentur.	32
Gambar 3.6. Diagram Alir Prosedur Pembuatan Spesimen.	34
Gambar 3.7. Diagram Alir Proses Pengujian lentur.....	35
Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian.	36
Gambar 4.1. Spesimen hasil pengelasan 3d printer.	38
Gambar 4.2. Proses pembubutan spesimen.....	39
Gambar 4.3. Spesimen Sebelum Di Uji.	39
Gambar 4.4. Grafik Gaya beban (F).....	41
Gambar 4.5. hasil pengujian specimen.	41
Gambar 4.6. Grafik hasil tegangan lentur	42
Gambar 4.7. Grafik hasil suhu	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian.	26
Tabel 3.2. data pengelasan pada specimen.	33
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Lentur Tekanan gaya (F)	40
Tabel 4.2. Hasil Tegangan lentur	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesimen sedang di uji	51
Lampiran 2. Proses Pembuatan Spesimen	51
Lampiran 3. Spesimen Setelah di Uji	52
Lampiran 4. Gambar Solidwork Spesimen	52
Lampiran 5. Hasil Pengujian Spesimen	53



DAFTAR NOTASI

σ = Tegangan Lentur (MPa)

F = Beban (KN)

L = Panjang Spesimen (mm)

b = Lebar Spesimen (mm)

h = Tebal Spesimen (mm)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi cetak 3D (Additive Manufacturing, AM) semakin berkembang dan menjadi inovasi signifikan dalam berbagai industri, termasuk manufaktur, otomotif, dirgantara, dan medis. Salah satu perkembangan penting dalam AM adalah penggunaan logam sebagai bahan cetak, yang membuka peluang besar dalam menciptakan komponen dengan geometri kompleks, namun tetap kuat dan ringan. Penggunaan logam dalam 3D printing memungkinkan pembuatan suku cadang dan komponen dengan sifat mekanis yang unggul dibandingkan bahan polimer atau plastik. Kekuatan lentur adalah salah satu sifat mekanik penting yang harus dianalisis dalam komponen yang diproduksi menggunakan teknologi cetak 3D berbasis logam. Kekuatan lentur mengacu pada kemampuan material menahan gaya atau momen yang bekerja secara transversal (tegak lurus) terhadap sumbu utama material. Pengujian ini sangat relevan, terutama pada komponen yang mengalami beban dinamis atau siklik selama penggunaannya, seperti suku cadang di sektor otomotif atau struktur pesawat terbang. (Adam et al., 2022)

Dengan berkembangnya penelitian dan aplikasi 3D printing berbahan logam, pengujian kekuatan lentur menjadi langkah krusial dalam memastikan bahwa komponen yang dihasilkan memiliki kualitas dan performa yang sesuai dengan standar industri. Perkembangan teknologi 3D printing di industri manufaktur semakin diminati dan mengalami kemajuan pesat seiring meningkatnya permintaan pasar. Manufaktur sendiri merupakan proses mengolah atau mengubah

bahan mentah menjadi produk yang siap digunakan dengan bantuan mesin serta keterampilan manusia sebagai pengendali. Salah satu metode yang digunakan adalah *rapid prototyping*, yakni teknik untuk membuat model skala (prototipe) dari suatu komponen (part) atau rakitan (assembly). Proses ini sering disebut juga *additive manufacturing*, di mana teknologi 3D printing membentuk lapisan material secara bertahap dan terkontrol oleh komputer hingga menghasilkan objek dengan struktur tiga dimensi (3D). (Riza et al., 2020)

Teknologi pencetakan tiga dimensi (3D) telah merevolusi, khususnya dalam pembuatan restorasi sementara. Tinjauan sistematis dan meta-analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi secara menyeluruh kekuatan lentur restorasi sementara yang diproduksi menggunakan pencetakan 3D sambil mempertimbangkan dampak dari berbagai bahan resin. Dalam proses 3D printing, salah satu material utama yang digunakan adalah filamen, yang berperan sebagai bahan pembentuk objek. Beberapa jenis filamen yang umum dipakai meliputi *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *nylon*, *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), serta *polycarbonate* (PC). (Athallah et al., 2022)

Pembuatan prototipe menggunakan printer 3D dimulai dengan membuat desain terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak desain seperti SolidWorks, AutoCAD, 3ds Max, dan sejenisnya. Desain yang dihasilkan kemudian dikonversi ke format yang dapat dibaca oleh perangkat lunak printer 3D, yaitu file berformat STL (*StereoLithography*). Produk yang dihasilkan dari proses pencetakan 3D dengan bahan ABS memiliki kekuatan yang cukup baik, namun nilai pasti kekuatannya belum diketahui. Oleh karena itu, diperlukan pengujian material untuk memastikan sifat dan kekuatannya, sehingga dapat ditentukan kelayakannya untuk

digunakan pada konstruksi tertentu. Beban yang diberikan, seperti gaya, torsi, maupun kombinasi keduanya, berkaitan dengan karakteristik material. Untuk mengetahui sifat mekanisnya, dilakukan pengujian mekanik yang umumnya bersifat *destructive test*.(Nurfaedah et al., 2021) Metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) merupakan salah satu teknik 3D printing di mana objek dibentuk secara bertahap melalui penumpukan lapisan-lapisan sesuai dengan orientasi pencetakan yang telah ditentukan, hingga menghasilkan bentuk yang diinginkan. Proses ini mempercepat pengembangan teknologi karena dimulai dari pembuatan desain CAD, konversi ke format STL, lalu diterjemahkan menjadi kode yang dibaca oleh mesin pencetak. Dengan demikian, printer 3D dapat menghasilkan objek secara otomatis tanpa memerlukan proses tambahan. Pencetakan yang cepat dan otomatis ini menghemat tenaga serta biaya produksi. Perkembangan teknologi 3D printer juga semakin pesat berkat kemudahan dalam memperoleh bahan-bahan yang digunakan dalam proses pencetakan.(Riza et al., 2020)

1.2 Perumusan masalah

Dalam penelitian tentang analisis kekuatan lentur hasil cetakan 3D printer dengan bahan logam, Perumusan masalah ini membantu mengarahkan penelitian dalam mengevaluasi di bidang industri. Bagaimana cara menganalisis kekuatan spesimen pencetakan 3d printer dengan bahan logam hasil pengujian lentur statis.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Pembuatan spesimen uji lentur hasil pencetakan 3d printer dengan bahan logam.

2. Pengujian spesimen uji lentur hasil pencetakan 3d printer dengan bahan logam.
3. Analisis kekuatan spesimen pencetakan 3d printer dengan bahan logam hasil pengujian lentur statis.

1.4 Hipotesis Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini kekuatan uji lentur hasil 3D printer dengan bahan logam akan mencetak spesimen uji dengan berbagai parameter (misalnya, orientasi lapisan horizontal, diagonal, vertikal; variasi suhu, dan kecepatan). Lalu uji kekuatan lentur menggunakan alat seperti *universal testing machine (UTM)*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari pelaksanaan penelitian ini akan memberikan manfaat yang berarti, seperti berikut:

1. Dapat membantu mengembangkan material logam yang lebih kuat dan tahan lama dalam optimasi proses pencetakan 3D Printer dan pemahaman kekuatan lentur material logam, proses pencetakan 3D dapat dioptimalkan untuk menghasilkan produk yang lebih baik.
2. Optimasi proses pencetakan untuk meningkatkan kualitas produk dan membantu mengembangkkn teknologi manufaktur yang lebih maju dan efisiensi dalam produksi komponen yang kompleks dan berperforma tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 3D Printer

3D Printing merupakan proses pembuatan objek padat tiga dimensi dari desain digital menjadi bentuk nyata yang tidak hanya dapat dilihat, tetapi juga dapat disentuh dan memiliki volume. Proses ini menggunakan metode aditif, yaitu membentuk objek dengan menumpuk lapisan bahan secara berurutan. Teknologi ini juga dikenal dengan istilah *additive manufacturing* atau manufaktur tambahan. Pada tahun 1986, Charles W. Hull memperoleh hak paten untuk teknologi *stereolithography*. 3D printing, yang juga disebut *additive layer manufacturing*, memungkinkan pembuatan berbagai bentuk objek tiga dimensi dari model digital. Aplikasinya mencakup pencetakan, pemodelan, pembuatan purwarupa, alat peraga pendidikan, model perhiasan, peralatan medis, desain produk, mainan anak, hingga berbagai kebutuhan lain yang memerlukan bentuk tiga dimensi. Karena kemampuannya yang luas, teknologi ini menjadi salah satu tren penting di bidang teknologi informasi dan komunikasi saat ini.



Gambar 2.1. Mesin 3D printer.

Teknologi 3D Printing adalah metode untuk memproduksi objek tiga dimensi yang mampu mencetak model dengan waktu relatif singkat. Meskipun efisien, teknologi ini memiliki keterbatasan, seperti kekuatan produk yang cenderung rendah dan ukuran cetakan yang terbatas. Proses pencetakannya memerlukan bahan berbentuk filamen, salah satunya polycarbonate (PC), yaitu polimer termoplastik yang dapat dibentuk dengan panas. Polycarbonate memiliki sejumlah keunggulan, antara lain ketahanan termal yang lebih baik dibandingkan jenis plastik lainnya, tahan benturan, serta memiliki tingkat kejernihan tinggi. Umumnya, polycarbonate dijual dalam bentuk lembaran, termasuk varian dua lapis dengan rongga di antaranya yang berfungsi sebagai saluran udara untuk mengurangi panas saat digunakan. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin lama semakin mutakhir. Pencetakan 3D, atau dikenal juga dengan istilah manufaktur aditif, adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital melalui penambahan material lapis demi lapis. pencetakan 3D dapat digunakan untuk memproduksi objek dengan geometris kompleks yang sulit atau tidak mungkin dibuat dengan metode manufaktur konvensional seperti pengecoran dan pemotongan. Teknologi ini telah diterapkan di berbagai sektor, termasuk manufaktur, kedokteran, arsitektur, dan lainnya, memungkinkan inovasi yang lebih cepat dan produksi yang lebih efisien.(Setyawan & Ngadiyono, 2022)

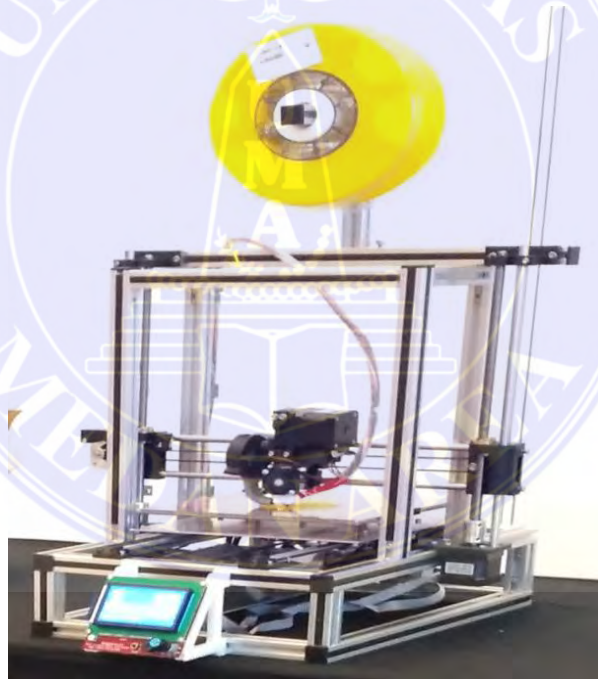
2.1.1 Jenis-Jenis 3D printer

Jenis 3D printing FDM Teknologi FDM (Fused Deposition Modeling) dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis sistem koordinat dan mekanisme geraknya.

Jenis-Jenis 3D Printer FDM Berdasarkan Sistem Koordinat

1. Cartesian 3D Printer:

Model ini adalah tipe yang paling banyak dijumpai di pasaran sehingga kerap disebut sebagai *classic printer*. Disebut model Cartesian karena cara kerjanya mengikuti tiga dimensi pada sistem koordinat, yakni sumbu X dan Y untuk pergerakan ke kiri–kanan, serta sumbu Z untuk pergerakan ke atas–bawah. Umumnya, printer 3D jenis ini memiliki meja kerja berbentuk persegi atau persegi panjang. Menggunakan sistem koordinat kartesian (X, Y, Z) untuk mengontrol gerakan nozzle dan bed cetak. Nozzle bergerak pada sumbu X dan Y, sementara bed bergerak pada sumbu Z. Jenis ini umum digunakan karena kesederhanaan dan kemudahan kalibrasinya.

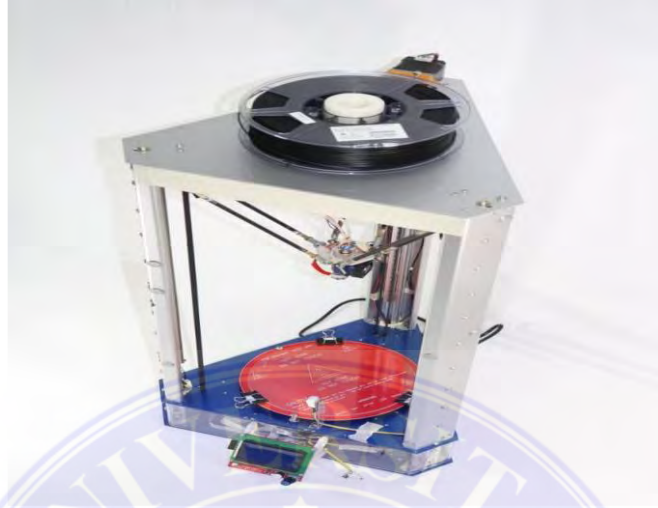


Gambar 2.2. Mesin 3D Printer Model Cartesian.

2. Delta 3D Printer

Menggunakan tiga lengan yang terhubung ke nozzle, memungkinkan gerakan cepat dan halus. Delta printer memiliki struktur tinggi dan alas melingkar, cocok untuk mencetak objek tinggi dengan presisi. Karakteristik 3D Printer model Delta

adalah kepala *printer/nozzle* (disebut *hotend*) ditopang dan digerakkan oleh tiga lengan dengan konfigurasi bentuk segitiga.



Gambar 2.3. Mesin 3D Printer Model Delta.

3. Polar 3D Printer

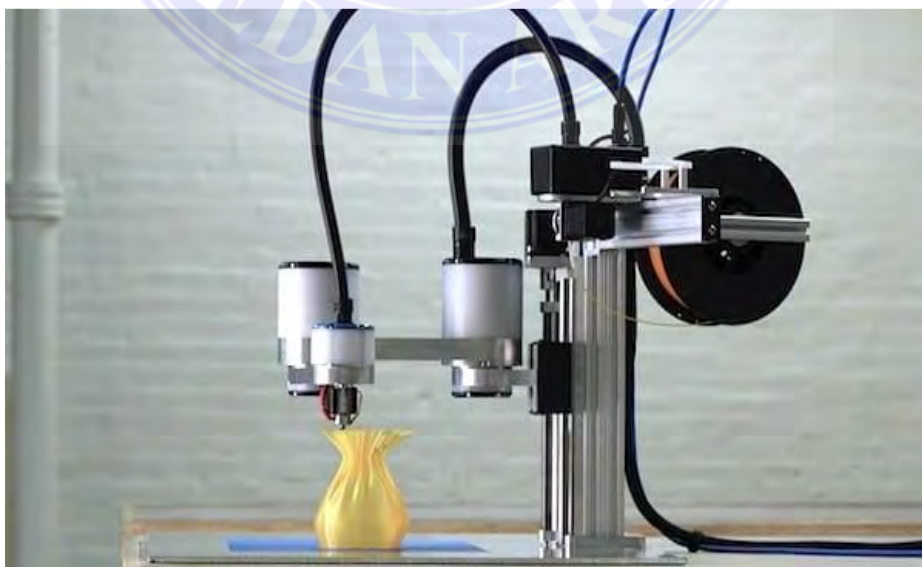
Model 3D Printer ini pada dasarnya mirip dengan tipe Cartesian, namun memiliki perbedaan utama pada penggunaan sistem koordinat polar. Pada tipe ini, meja kerja atau *printbed* dapat berputar. Keunggulan 3D Printer model Polar adalah hanya memerlukan dua motor stepper. Selain itu, desainnya memungkinkan pencetakan objek dengan volume lebih besar dalam ruang yang relatif kecil, tanpa memerlukan rangka kerja yang bergerak pada sumbu X, Y, dan Z. Printer 3D Polar menawarkan pendekatan unik terhadap pencetakan 3D dengan berbagai keunggulan potensial dalam hal ukuran, mekanika, dan gaya pencetakan. Meskipun printer ini mungkin memiliki beberapa tantangan untuk diatasi, printer ini merupakan area inovasi yang menarik dalam bidang pencetakan 3D.



Gambar 2.4. Mesin 3D Printer Model Polar.

4. SCARA (*Selective Compliance Articulated Robot Arm*)

Menggunakan lengan robotik untuk gerakan horizontal dengan dua derajat kebebasan. SCARA menawarkan kecepatan cetak tinggi dan presisi, sering digunakan dalam aplikasi industri untuk objek dengan geometri kompleks. SCARA merupakan kependekan dari Lengan Robot Perakitan Kepatuhan Selektif. 3D Printer Model SCARA memang ber-bentuk seperti lengan robot artikulasi. (Rusianto et al., 2019)



Gambar 2.5. Mesin 3D Printer Model SCARA.

2.1.2 Komponen 3D Printer

Komponen utama dari printer 3D terdiri dari beberapa bagian yang bekerja sama untuk menciptakan objek tiga dimensi. bagian-bagian ini termasuk sistem pengendali, mekanisme penggerak, ekstruder, bed cetak, dan sistem pendingin. Sistem pengendali merupakan otak dari printer 3D, biasanya terdiri dari mikroprosesor dan perangkat lunak yang mengatur seluruh proses pencetakan. Mekanisme penggerak, yang terdiri dari motor stepper dan rel, memungkinkan pergerakan kepala cetak dan bed cetak pada sumbu X, Y, dan Z, sehingga memungkinkan pembentukan objek secara presisi. Ekstruder adalah 10 komponen yang mencairkan dan mengeluarkan material cetak, seperti plastik atau logam, dalam bentuk lapisan tipis.

Selain itu, bed cetak berfungsi sebagai platform tempat objek dicetak. Bed ini dapat dipanaskan untuk membantu menjaga adhesi lapisan pertama material dengan permukaan, sehingga mencegah deformasi selama proses pencetakan. Sistem pendingin juga merupakan komponen penting, terutama untuk mendinginkan material yang baru saja diekstrusi agar cepat mengeras dan mempertahankan bentuknya. Beberapa printer 3D juga dilengkapi dengan sistem sensor untuk mendeteksi kekurangan material atau masalah lainnya selama proses pencetakan. Keseluruhan sistem ini harus berfungsi secara sinergis untuk menghasilkan objek yang akurat dan berkualitas tinggi. sehingga mencegah deformasi (Pratama et al., 2022)



Gambar 2.6. Komponen 3D Printing.

2.2 Material Logam

Logam merupakan salah satu material teknik yang paling banyak digunakan di berbagai bidang. Dalam dunia teknik, logam menjadi material utama yang mendominasi pemanfaatan dibandingkan bahan teknik lainnya, terutama dalam proses pembuatan produk. Di bidang pendidikan, penting untuk memahami unsur-unsur yang terkandung di dalam logam. Seperti diketahui, logam memiliki banyak jenis yang dapat digolongkan berdasarkan sifat fisik maupun komposisi dasarnya. Dengan penggolongan tersebut, pemilihan jenis logam yang sesuai untuk suatu kebutuhan menjadi lebih mudah.

Secara umum, logam memiliki sifat kuat, liat, keras, mampu menghantarkan panas dan listrik, serta memiliki titik leleh tinggi. Logam non-ferro dibedakan menjadi logam non-ferro berat dan logam non-ferro ringan. Secara mekanis, sifat logam non-ferro cenderung kurang baik, namun dapat ditingkatkan dengan proses paduan. Sebagian besar logam non-ferro memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi

berkat lapisan oksida yang kuat, meskipun beberapa jenis memiliki sifat yang berbeda.

Logam memiliki kemampuan menghantarkan listrik dan panas dengan baik. Logam ferro merupakan paduan yang tersusun dari campuran besi dan karbon. Untuk memperoleh logam paduan dengan sifat yang berbeda dari besi maupun karbon murni, biasanya ditambahkan berbagai jenis logam lain. Sementara itu, logam non-ferro hadir dalam beragam jenis, di mana masing-masing memiliki sifat serta karakteristik yang unik dan berbeda satu sama lain. (Ramli, N; Mohd Sobani, 2013)

2.2.1 Logam ferro

Logam ferro merupakan paduan yang terbentuk dari campuran besi dan karbon. Untuk memperoleh paduan dengan sifat yang berbeda dari keduanya, biasanya ditambahkan berbagai jenis logam lain ke dalam campurannya.

1. Besi Cor (*Cast Iron*)

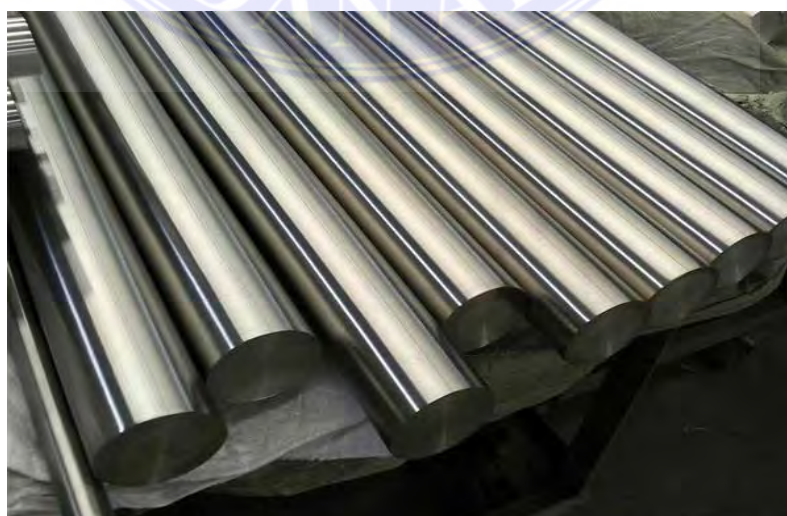
Besi cor merupakan paduan yang mengandung besi dengan karbon sebesar 2 hingga 4 persen, serta unsur tambahan seperti silikon dan fosfor. Besi dikenal sebagai logam ferro yang paling umum, memiliki kekuatan serta ketahanan yang baik, namun bersifat getas dan mudah mengalami korosi.



Gambar 2.7. Besi cor.

2. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan karat merupakan jenis baja yang mengandung setidaknya 10,5% krom, di mana kandungan krom tersebut memberikan kemampuan tahan korosi yang sangat baik. Memang, mencampur bahan-bahan logam baja menghasilkan solusi yang disesuaikan untuk berbagai aplikasi. dengan kekerasannya yang unggul, digunakan dalam perkakas dan komponen mesin, sementara baja karbon sedang menghasilkan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan.



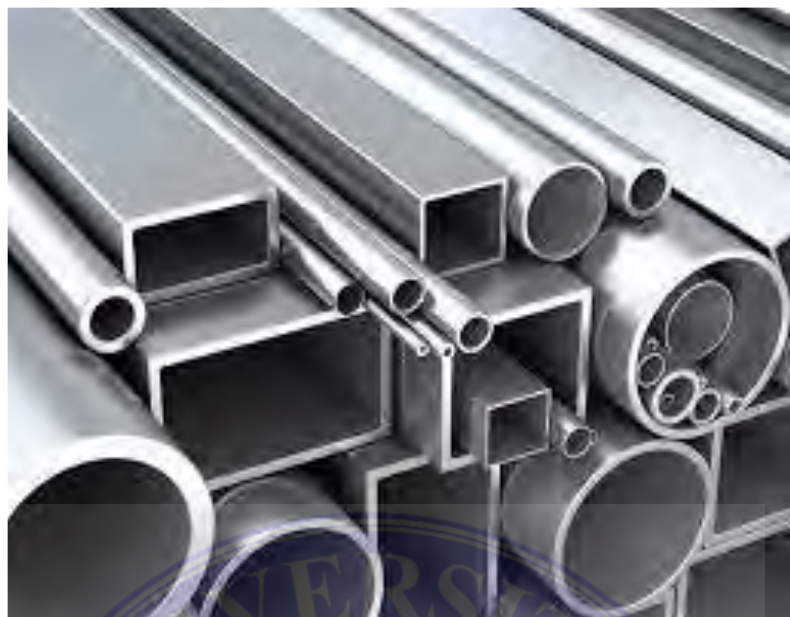
Gambar 2.8. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*).

2.3.1 Logam non ferro

Logam non-ferro hadir dalam berbagai jenis, masing-masing dengan sifat dan karakteristik spesifik yang membedakannya satu sama lain. Jenis logam ini tidak mengandung besi sebagai komponen utama, sehingga memiliki perbedaan sifat dibandingkan logam ferro. Karena perbedaan tersebut, logam non-ferro dimanfaatkan untuk beragam aplikasi. Beberapa contoh umum logam non-ferro antara lain aluminium, tembaga, timah, nikel, dan seng. Serta logam mulia seperti emas dan perak. Masing-masing logam non-ferro memiliki keunikan tersendiri, misalnya tembaga dengan kemampuan hantar listrik dan panas yang baik, aluminium yang ringan dan tahan korosi, serta emas dan perak yang bernilai tinggi dengan konduktivitas listrik yang sangat unggul. (Abdul Syukur, 2018)

1. Aluminium

Aluminium adalah logam ringan yang tahan korosi serta memiliki konduktivitas listrik dan panas yang baik. Logam ini banyak dimanfaatkan di industri penerbangan, otomotif, dan konstruksi. Dengan lambang kimia Al dan nomor atom 13, aluminium merupakan logam paling melimpah di bumi. Selain ringan dan kuat, aluminium juga mudah dibentuk menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat, atau diekstrusi menjadi berbagai bentuk penampang. Ketahanannya terhadap korosi membuatnya banyak digunakan, antara lain pada kabel bertegangan tinggi, bingkai jendela, dan badan pesawat terbang.



Gambar 2.9. Aluminium.

2. Tembaga

Tembaga dikenal sebagai logam dengan konduktivitas listrik dan panas yang sangat tinggi, sekaligus tahan korosi. Sifatnya yang ulet dan mudah ditempa membuatnya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti kabel dan peralatan listrik. Selain memiliki kemampuan hantar panas dan listrik yang baik, tembaga juga bersifat antimikroba. Logam ini, beserta beberapa senyawanya, tidak larut dalam air dingin maupun panas, tetapi dapat larut dalam asam seperti asam sulfat panas dan larutan basa NH_4N . Sekitar 30% penggunaan tembaga dimanfaatkan untuk pembuatan kabel listrik, karena sifatnya yang fleksibel namun tetap mampu menghantarkan arus dengan efisien. Dibandingkan perak, tembaga lebih aman digunakan pada tegangan tinggi karena tidak mudah terbakar. Dalam industri otomotif, tembaga dimanfaatkan pada kabel, radiator, dan sistem rem, sementara di sektor industri, logam ini digunakan pada berbagai jenis mesin.



Gambar 2.10. Tembaga.

3. Timah

Timah banyak digunakan sebagai pelapis logam, bahan pembuatan cendera mata, solder, dan berbagai keperluan lainnya. Jenis timah abu-abu memiliki sedikit kegunaan. Timah dapat diproses hingga menjadi sangat licin dan dimanfaatkan untuk melapisi logam lain guna mencegah korosi serta reaksi kimia. Lapisan tipis timah pada baja sering digunakan untuk memperpanjang masa simpan makanan.

Paduan logam yang mengandung timah berperan penting dalam pembuatan solder lunak, logam babbitt, perunggu, logam bel, dan logam putih. Campuran seperti perunggu fosfor juga mengandung timah. Dalam industri, timah banyak dimanfaatkan untuk pembuatan kaleng makanan, perlengkapan elektronik, serta pembuatan pipa.



Gambar 2.11. Timah.

1. Nikel

Nikel dikenal memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi dan sering dimanfaatkan dalam pembuatan baja tahan karat. Sebagian besar penggunaan nikel adalah sebagai logam paduan (*alloy*) untuk baja tahan karat, yang banyak diaplikasikan pada peralatan rumah tangga seperti panci, wajan, sendok, dan sejenisnya. Selain itu, nikel juga digunakan pada kendaraan bermotor, transportasi minyak dan gas, peralatan medis, industri farmasi, serta sektor makanan dan minuman. Sebagai salah satu dari lima logam yang paling banyak ditemukan di kerak bumi, nikel juga memiliki sifat konduktivitas listrik dan panas yang cukup baik.



Gambar 2.12. Nikel.

3D printing logam menciptakan objek secara bertahap, lapis demi lapis, menggunakan serbuk logam atau kawat logam yang dilelehkan. Ada beberapa metode utama:

2.3.2 Selective Laser Melting (SLM)

Peleburan laser selektif (SLM) adalah salah satu teknologi manufaktur aditif yang paling banyak digunakan untuk membuat komponen logam. Dalam proses SLM, laser berenergi tinggi melelehkan serbuk logam lapis demi lapis sesuai dengan file model yang diiris. Dibandingkan dengan proses konvensional (CP) seperti pengecoran dan penempaan, SLM sangat cocok untuk fabrikasi komponen dengan tingkat kompleksitas geometris dan fungsional yang tinggi. Namun, variasi struktur mikro sangat besar karena perpindahan panas kompleks SLM, yang secara langsung mempengaruhi sifat-sifat bagian. Oleh karena itu, hubungan parameter proses – struktur mikro – properti menjadi topik hangat dalam komunitas penelitian.

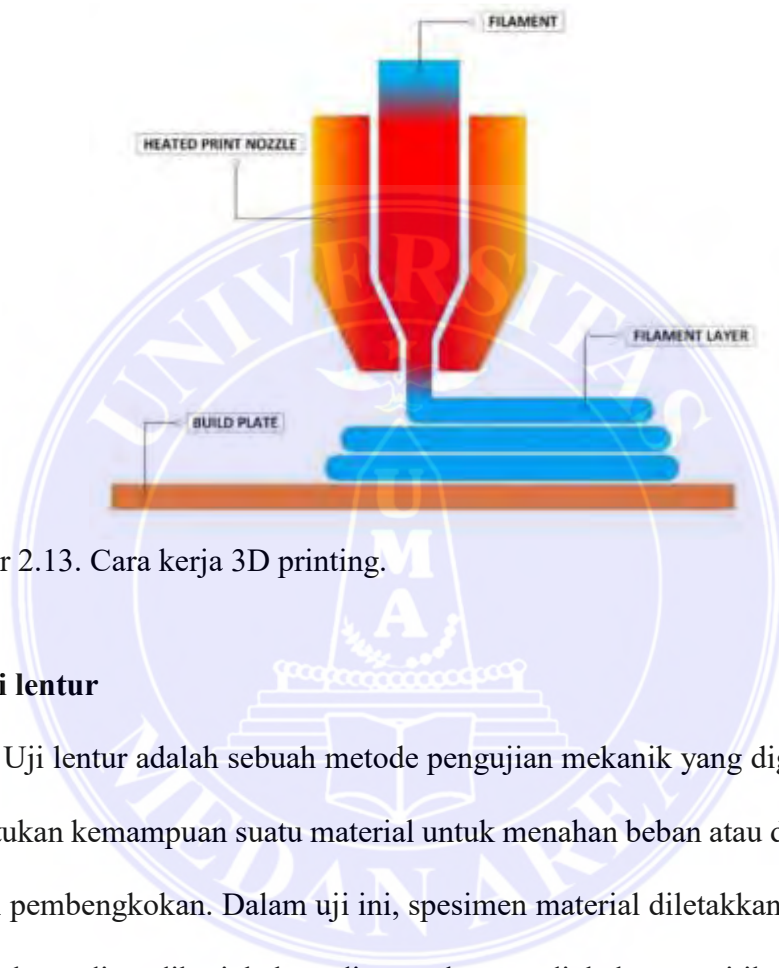
2.3.3 *Directed Energy Deposition (DED)*

Menggunakan nozzle untuk menambahkan serbuk atau kawat logam langsung ke area yang dipanaskan oleh laser atau plasma adalah salah satu teknologi utama dalam *additive manufacturing* (cetak 3D), yang memungkinkan penciptaan komponen logam dengan menggunakan energi terarah untuk melelehkan material, seperti serbuk atau kawat logam, langsung ke permukaan cetak. DED adalah teknologi revolusioner dalam 3D printing logam yang menawarkan kemampuan unik untuk memperbaiki, mencetak ulang, atau membuat komponen besar dengan efisiensi tinggi. Meskipun memiliki keterbatasan dalam presisi, keunggulannya dalam fleksibilitas dan skalabilitas menjadikannya alat yang penting dalam berbagai industri.

Pencetakan 3D, atau dikenal juga dengan istilah manufaktur aditif, adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital melalui penambahan material lapis demi lapis. pencetakan 3D dapat digunakan untuk memproduksi objek dengan geometris kompleks yang sulit atau tidak mungkin dibuat dengan metode manufaktur konvensional seperti pengecoran dan pemotongan. Teknologi ini telah diterapkan di berbagai sektor, termasuk manufaktur, kedokteran, arsitektur, dan lainnya, memungkinkan inovasi yang lebih cepat dan produksi yang lebih efisien.

Prinsip kerja pencetakan 3D melibatkan beberapa tahapan utama, yaitu desain digital, pemilihan material, dan proses manufaktur itu sendiri. Pertama, model 3D dibuat menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD). Setelah itu, model tersebut dikonversi menjadi format yang dapat dipahami oleh printer 3D, biasanya berupa file STL (*Standard Tessellation Language*).

Material yang akan digunakan, seperti plastik, logam, atau resin, dipilih berdasarkan kebutuhan aplikasi. Selama proses pencetakan, printer 3D mengikuti instruksi dari file digital untuk mengekstrusi atau memadatkan material lapis demi lapis hingga objek selesai.



Gambar 2.13. Cara kerja 3D printing.

2.3 Uji lentur

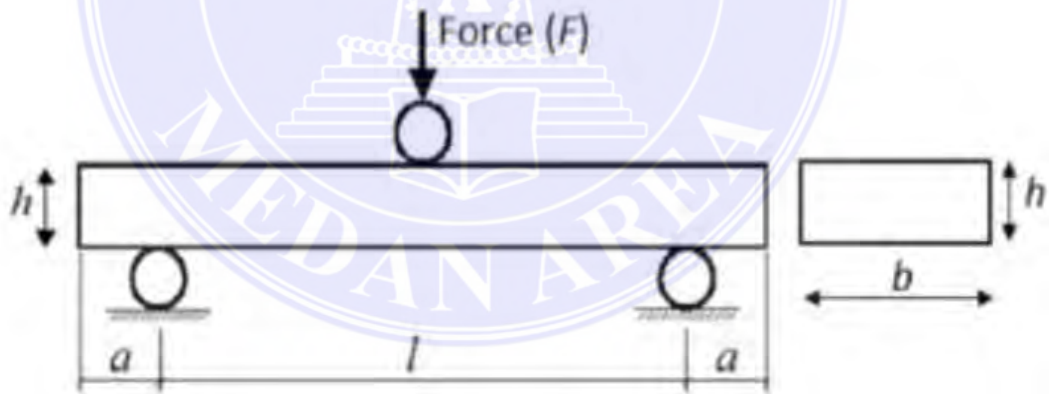
Uji lentur adalah sebuah metode pengujian mekanik yang digunakan untuk menentukan kemampuan suatu material untuk menahan beban atau deformasi pada kondisi pembengkokan. Dalam uji ini, spesimen material diletakkan pada dua titik tumpu, kemudian diberi beban di tengah atau di beberapa titik lainnya untuk menghasilkan gaya lentur. Uji lentur ini penting untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural strength*) dan modulus elastisitas lentur (*flexural modulus*) dari material. Pengujian ini biasanya diterapkan pada bahan yang cenderung rapuh, seperti plastik, keramik, komposit, dan logam tertentu. Hasilnya membantu menentukan apakah material tersebut cukup kuat dan elastis untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang teknik atau konstruksi. (Ihya et al., 2022)



Gambar 2.14. Mesin uji lentur.

2.3.1 Pengujian Dua Titik (*Three-Point Bending*)

Metode ini termasuk salah satu teknik yang paling sering digunakan dalam pengujian bending. Pada pengujian ini, beban diberikan di bagian tengah sampel, sementara kedua ujungnya ditopang oleh dua titik penyangga. Jenis pengujian ini umumnya sesuai untuk material yang bersifat rapuh dan keras. (Riza et al., 2020)

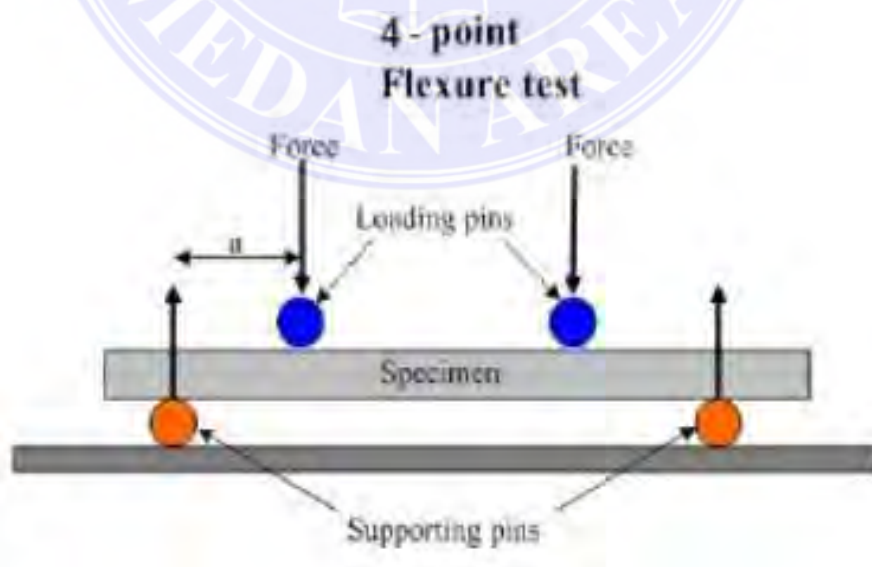


Gambar 2.15. skema pengujian 2 titik.

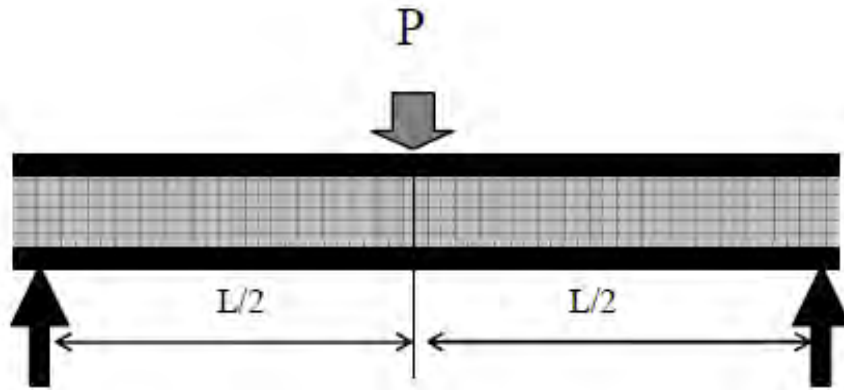
2.3.2 Pengujian Empat Titik (*Four-Point Bending*)

Metode pengujian ini cukup umum digunakan baik dalam penelitian maupun industri. Prosesnya dilakukan dengan meletakkan material di atas dua titik penopang pada bagian ujung, lalu memberikan beban pada dua titik di tengah. Teknik ini menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan lebih sesuai untuk material yang bersifat lentur.

Uji bending atau uji lentur merupakan metode pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanis suatu material. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tekan secara bertahap pada benda uji untuk mengukur kekuatan lengkung dan keuletannya. Beban diberikan menggunakan *mandrel* atau pendorong yang menekan bagian tengah material, sehingga membuat benda uji menekuk di antara dua penyangga dengan jarak tertentu. Selama proses ini, benda uji mengalami deformasi akibat dua gaya berlawanan yang bekerja secara bersamaan, menghasilkan tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah. (Rahmandhika et al., 2024)



Gambar 2.16. skema pengujian 4 titik.



Gambar 2.17. Skema pengujian Bending.

Perhitungan yang digunakan untuk mencari kekuatan bending adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{3 F.L}{2 b.h^2} = \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan bending (MPa)

F = Beban (N)

L = Jarak span (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

Pengujian bending umumnya menghasilkan data berupa beban maksimum, defleksi (perpindahan relatif pada ujung spesimen yang ditekuk), serta tegangan lentur. Data tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menghitung kekakuan lentur dan kekakuan lentur spesifik. Kekuatan bending, juga dikenal sebagai kekuatan lentur, adalah kemampuan suatu material untuk menahan gaya lentur tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan. Perhitungan kekuatan bending penting dalam desain struktur dan pemilihan material untuk memastikan bahwa komponen dapat menahan beban yang diharapkan tanpa mengalami kegagalan.

2.4 Pengelasan

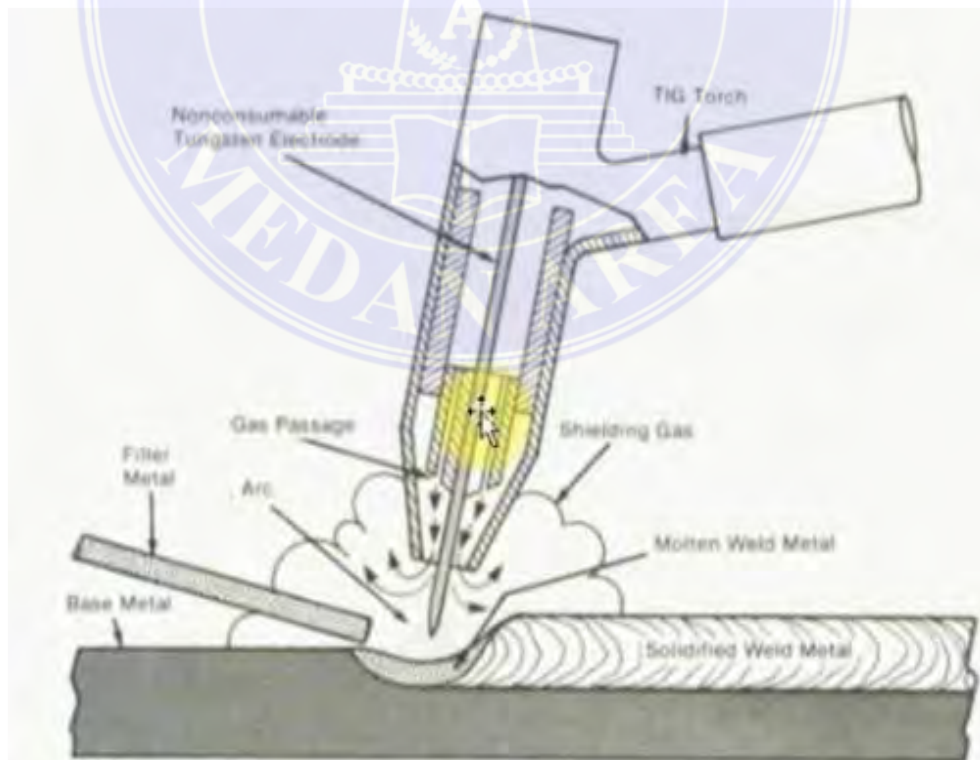
Saat ini, teknologi di bidang konstruksi berkembang pesat, khususnya dalam perancangan dan desain produk. Salah satu jenis konstruksi yang banyak dijumpai adalah konstruksi baja. Dalam penerapannya, konstruksi baja hampir selalu memerlukan proses penyambungan logam atau pengelasan. Pengelasan memiliki peran penting dalam rekayasa maupun perbaikan logam, dan menjadi bagian tak terpisahkan dari perkembangan konstruksi logam modern. Secara teknis, konstruksi las membutuhkan keterampilan tinggi dari seorang pengelas agar menghasilkan sambungan dengan kualitas optimal. Penggunaan teknik pengelasan memiliki cakupan luas, mulai dari industri perkapalan, pembangunan jembatan, pembuatan pipa pesat, atap rumah, rel kereta, sarana transportasi, bejana tekan, rangka baja, hingga berbagai bidang lainnya.

Pengelasan (*welding*) adalah metode penyambungan logam dengan melelehkan sebagian logam induk dan logam pengisi, dengan atau tanpa tambahan logam lain, hingga terbentuk satu kesatuan logam. Las SMAW merupakan proses pengelasan yang memanfaatkan energi listrik sebagai sumber panas dan menggunakan elektroda sebagai bahan tambah. Metode SMAW banyak dipilih karena prosesnya relatif mudah, ekonomis, dan mampu menghasilkan sambungan dengan sifat mekanis serta fisis yang baik, disertai biaya investasi yang rendah. Meski demikian, kualitas sambungan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti keterampilan juru las, jenis elektroda, besarnya arus listrik, serta kecepatan pengelasan..(Made & Muku, 2009)

2.4.1 Las *Tungsten Inert Gas Welding* (TIG)

Las TIG merupakan metode pengelasan dengan memanfaatkan Gas *Inert* yang berfungsi sebagai atmosfer pelindung untuk melindungi logam yang sedang dilas dari oksidasi atau kontaminasi atmosfer. Penggunaan Las TIG lebih sering pada industri pesawat terbang, pembuatan perhiasan, dan konstruksi peralatan kimia. Pada logam-logam tipis dengan ketelitian tinggi. Gas *inert* yang mengalir melalui alat pengelasan melindungi elektroda dan logam dari atmosfer sekitar yang dapat menyebabkan kontaminasi. Las *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan salah satu metode pengelasan yang menggunakan busur listrik untuk menyatukan logam. Nama lain dari Las TIG adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau Las Argon. Las TIG melibatkan penggunaan elektroda non-nyatu, biasanya terbuat dari wolfram, yang memancarkan panas tinggi ketika terkena arus listrik. Gas inert menggunakan argon atau helium. Meskipun las TIG memerlukan keterampilan dan pengalaman operator yang lebih tinggi, hasil akhirnya sering kali menghasilkan sambungan las yang unggul dalam hal kualitas dan keakuratan. Proses ini terus menjadi pilihan utama dalam industri yang membutuhkan presisi tinggi dan kualitas las yang konsisten. Pada proses TIG digunakan sumber arus konstan dengan dua mode operasi, yaitu elektroda bermuatan positif dan elektroda bermuatan negatif. Presisi Tinggi: Salah satu keunggulan utama las TIG adalah kemampuannya untuk memberikan hasil yang sangat presisi. Ini membuatnya ideal untuk pengelasan logam-tipis yang memerlukan tingkat keakuratan yang tinggi.

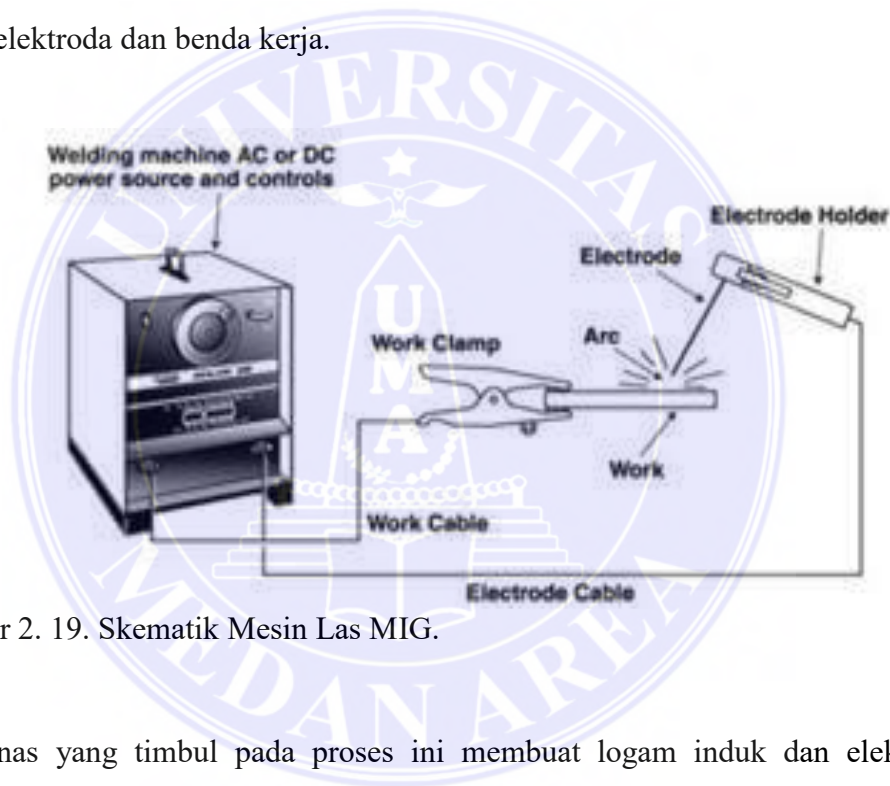
Kualitas dan Kebersihan Las Penggunaan gas pelindung dalam proses ini membantu menjaga kebersihan dan kualitas las. Dengan menghindari kontaminasi dari udara sekitar, las TIG menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama. Kemampuan Pengelasan Banyak Jenis Logam Las TIG Proses ini dapat digunakan untuk mengelas berbagai jenis logam, seperti baja, aluminium, *stainless steel*, nikel, hingga logam mulia, sehingga menjadi pilihan yang serbaguna di dunia industri. Las TIG mampu menghasilkan sambungan yang halus tanpa meninggalkan butiran las yang besar. Pengelasan TIG dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Elektroda tungsten pada proses ini berfungsi semata-mata sebagai pembentuk busur listrik dengan benda kerja. Pengelasan TIG merupakan proses pengelasan yang berharga yang menawarkan presisi tinggi, fleksibilitas, dan kemampuan untuk menghasilkan las berkualitas sangat tinggi.



Gambar 2. 18. Las Tungsten Inert Gas Welding (TIG).

2.4.2 Las MIG (*Metal Inert Gas*)

MIG merupakan metode pengelasan di mana gas dialirkan ke area las untuk melindungi busur, elektroda, dan logam induk yang mencair dari pengaruh udara luar. Gas pelindung yang digunakan bersifat tidak reaktif, baik terhadap udara maupun logam cair. Elektroda berperan sekaligus sebagai logam pengisi yang diberi umpan secara terus-menerus dengan kecepatan konstan sepanjang jalur las. Pada pengelasan MIG, panas dihasilkan oleh aliran arus listrik yang melewati celah antara elektroda dan benda kerja.

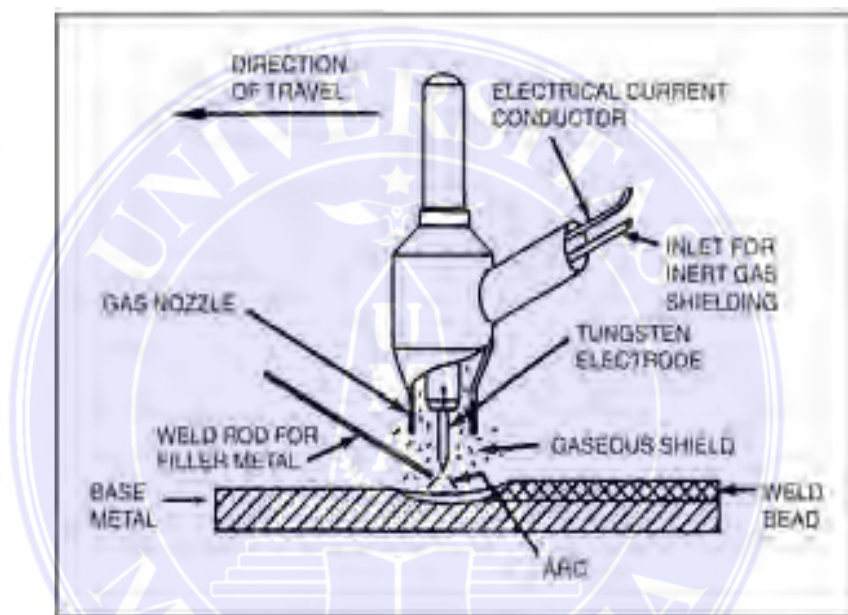


Gambar 2. 19. Skematik Mesin Las MIG.

Panas yang timbul pada proses ini membuat logam induk dan elektroda meleleh, lalu membeku bersamaan membentuk sambungan. Busur yang dihasilkan berbentuk runcing, sehingga menghasilkan butiran logam cair yang halus dengan perpindahan yang sangat cepat. Pada pengelasan MIG, gas pelindung yang digunakan biasanya berupa argon, helium, atau kombinasi keduanya.

2.4.3 Las GTAW

GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) adalah proses penyambungan logam dengan memanaskannya hingga mencair menggunakan busur listrik yang terbentuk antara elektroda tungsten dan logam kerja. Elektroda dalam proses ini berfungsi sebagai media pembentuk busur listrik, sehingga digolongkan sebagai elektroda tidak terumpan (*non-consumable*). Metode ini dapat digunakan pada hampir semua jenis logam dan menghasilkan kualitas sambungan yang sangat baik.



Gambar 2. 20. Pengelasan GTAW.

Pada proses GTAW, *filler metal* dari luar digunakan untuk mengisi celah pada sambungan. Busur listrik akan mencairkan *filler metal* bersama logam induk di area antara elektroda dan logam induk. Dalam pengelasan GTAW, *filler metal* sering disebut *filler rod* atau batang pengisi. Pengelasan GTAW berlangsung ketika busur listrik terbentuk akibat perpindahan ion saat ujung elektroda menyentuh benda kerja tersebut melelehkan benda. Panas tersebut mencairkan benda kerja dan *filler metal* (jika menggunakan bahan tambahan). Obor las kemudian digerakkan. (Shieddieque et al., 2021)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

3.1.1 Waktu

Adapun waktu penelitian yang dilaksanakan sejak tanggal di keluarkannya surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing. Berikut tabel 3.1

Waktu pelaksanaan penelitian.

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktivitas	tahun 2024					Tahun 2025							
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	jun	Jul	Ags	Sep	Okt
Pengajuan judul	■												
Penulisan proposal		■	■	■	■								
Seminar proposal					■	■							
Proses penelitian					■	■	■						
Pengolahan data							■	■	■				
Penyelesaian laporan									■	■			
Seminar hasil											■		
Evaluasi dan persiapan												■	
Sidang sarjana													■

3.1.2 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Medan Area, sebagai bagian dari penyelesaian tugas akhir.

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan

1. Wire Las Mic

Kawat ini memiliki inti berongga yang berisi material fluks, atau tanpa gas pelindung eksternal dengan tipe self-shielded flux cored wire ketebalan E71T-GS 0.8mm dengan titik lelehnya berkisar antara 1425°C hingga 1470°C hasil pengelasan dari elektroda tersebut kemudian spesimen akan di uji Lentur Gambar 3.2 berikut ini.

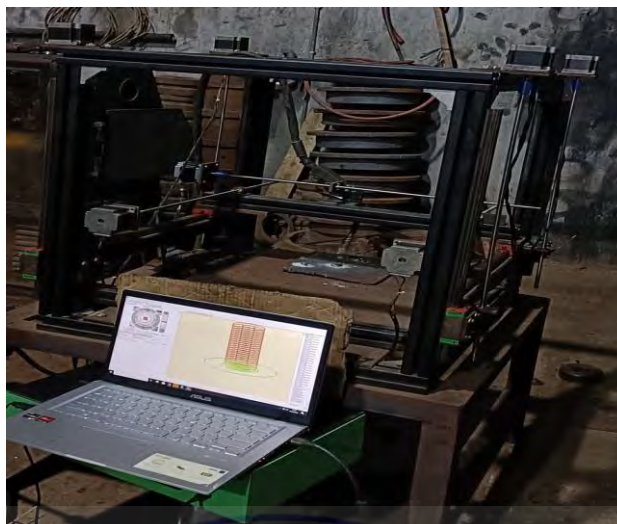


Gambar 3.1. Wire Las Mic.

3.2.2 Alat

1. 3D Printer

3D printer merupakan perangkat yang digunakan untuk membuat objek tiga dimensi dari desain digital, dengan proses pencetakan dilakukan secara bertahap melalui penambahan material lapis demi lapis hingga terbentuk bentuk yang diinginkan.



Gambar 3.2. Mesin 3d printer.

2. Las MIG

Las MIG (*Metal Inert Gas*) atau lebih dikenal sebagai las MIG adalah salah satu teknik pengelasan menggunakan gas pelindung dan kawat elektroda kontinu sebagai bahan pengisi.



Gambar 3.3. Las MIG.

3. *Universal testing machine* (UTM).

Mesin uji lentur adalah alat yang digunakan untuk menguji ketahanan dan sifat elastisitas suatu material saat diberikan beban lentur atau tekukan. Mesin ini dapat menilai seberapa jauh material dapat dibengkokkan sebelum mencapai titik patah atau deformasi permanen.



Gambar 3.4. *Universal Testing Machine (UTM).*

3.3 METODE PENELITIAN

Dalam penelitian Analisis kekuatan lentur hasil Pencetakan 3D printer dengan bahan logam. Metode penelitian ini menjelaskan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

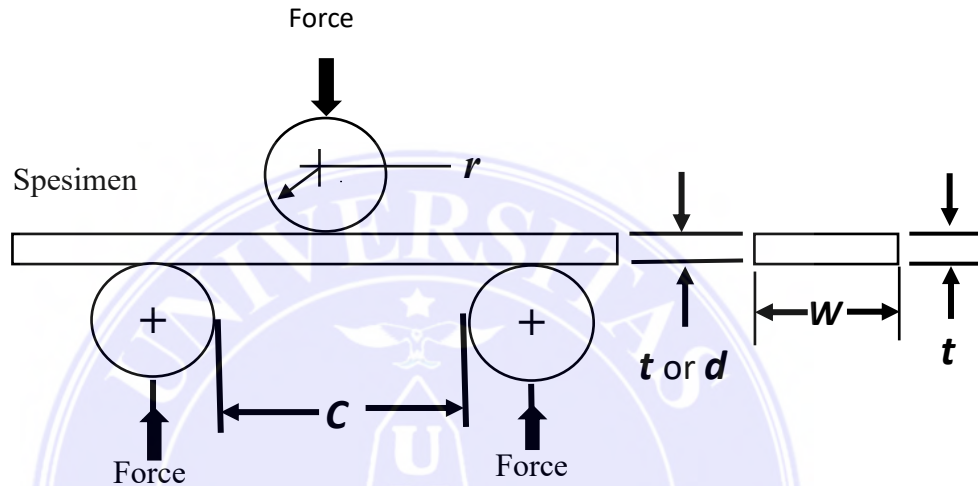
Mencari referensi terkait teori, metode, standar uji, dan penelitian sebelumnya yang relevan. Tujuannya adalah untuk memahami latar belakang masalah dan menentukan gap penelitian.

2. Persiapan Alat dan Bahan

Identifikasi dan persiapan alat serta bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Memastikan semua alat telah dikalibrasi dan bahan sesuai spesifikasi penelitian.

3. Pembuatan Spesimen

Buat spesimen sesuai dengan standar yang berlaku ASTM E290. Dokumentasikan proses pembuatan spesimen untuk menjamin kesesuaian dengan desain awal.



Gambar 3.5. Dimensi Spesimen Uji Lentur.

4. Pengujian Spesimen (Uji Lentur)

Melakukan pengujian sesuai prosedur yang telah ditentukan, termasuk parameter pengujian seperti kecepatan pembebanan, ukuran spesimen, dan lingkungan uji. Catat hasil pengujian dengan rinci.

5. Validasi Hasil Pengujian

Membandingkan hasil pengujian dengan teori, penelitian terdahulu, atau data referensi. Melakukan uji statistik atau pengulangan pengujian untuk memastikan konsistensi hasil.

6. Analisis Data

Olah data menggunakan metode statistik atau teknik analisis yang sesuai. identifikasi pola atau hubungan dari hasil yang diperoleh.

3.4 Populasi dan Sampel

Populasi dan sampel mencakup semua hasil pencetakan 3D menggunakan bahan logam yang dapat digunakan untuk pengujian kekuatan lentur. Sampel dalam penelitian ini adalah sejumlah spesimen hasil pencetakan 3D berbahan logam yang akan diuji kekuatan lenturnya. Populasi dan sampel ini menjelaskan dalam table ini.

Tabel 3.2. data pengelasan pada specimen.

No	Material	Amper (A)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Jumlah
1	Bahan logam	70	25	200	6	3
2	Bahan logam	80	25	200	6	3
3	Bahan logam	90	25	200	6	3

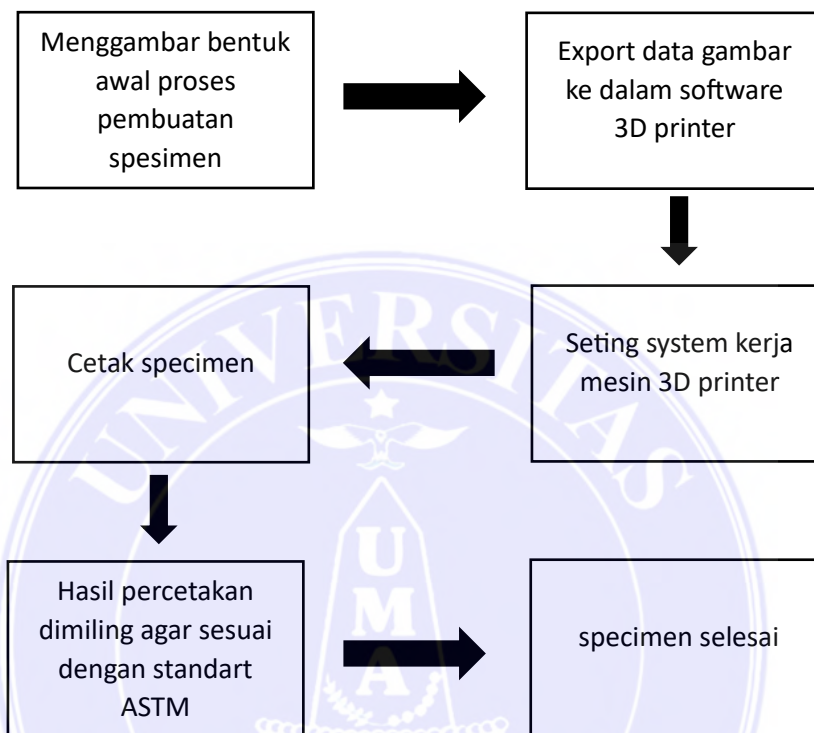
Table ini adalah hasil pengelasan pada specimen dengan memiliki ampere dan tebal yang berbeda.

3.5 Prosedur kerja

Pada prosedur pembuatan spesimen ini dilakukan dengan beberapa tahap salah satunya tahap persiapan bahan dengan melakukan tekukan bebas atau tekukan berarah serni hingga sudut 180°, untuk bahan logam dengan material baja sesuai dengan standar ASTM E290.

3.5.1 Proses pembuatan specimen

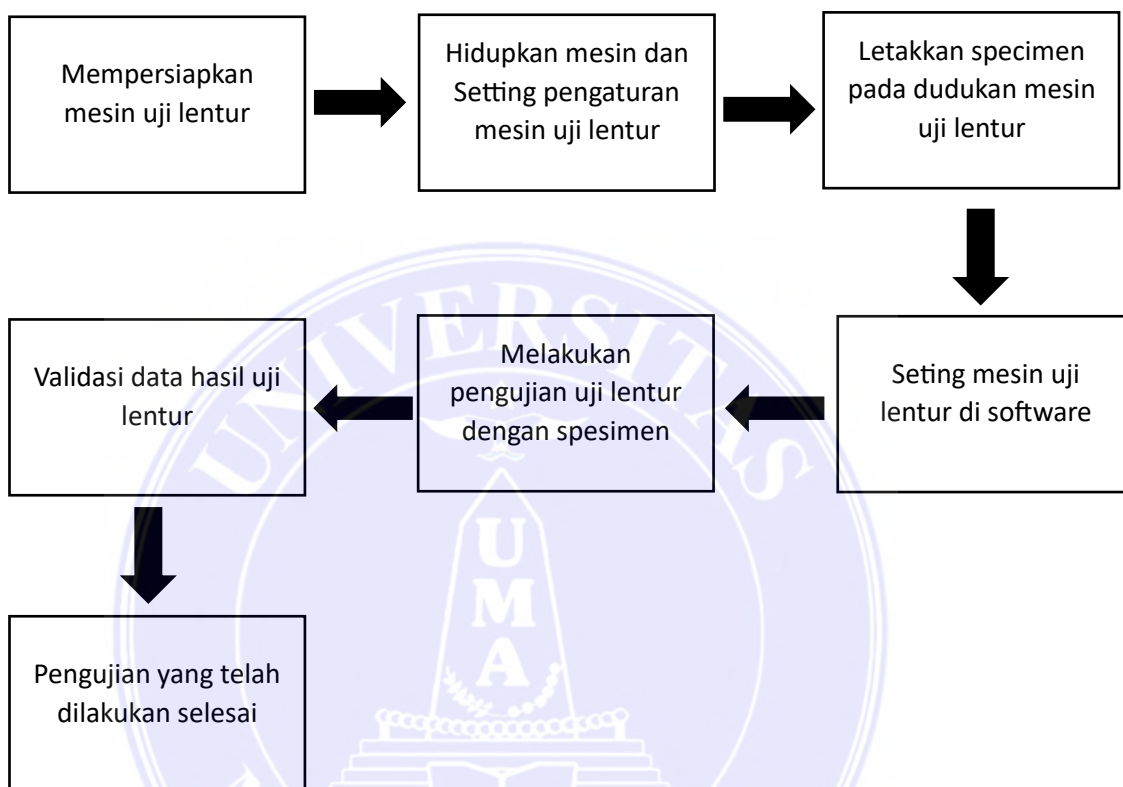
Pada proses pengujian lentur pada bahan logam dengan material logam meliputi beberapa tahapan yang dapat kita lihat pada diagram 3.9 berikut ini.



Gambar 3.6. Diagram Alir Prosedur Pembuatan Spesimen.

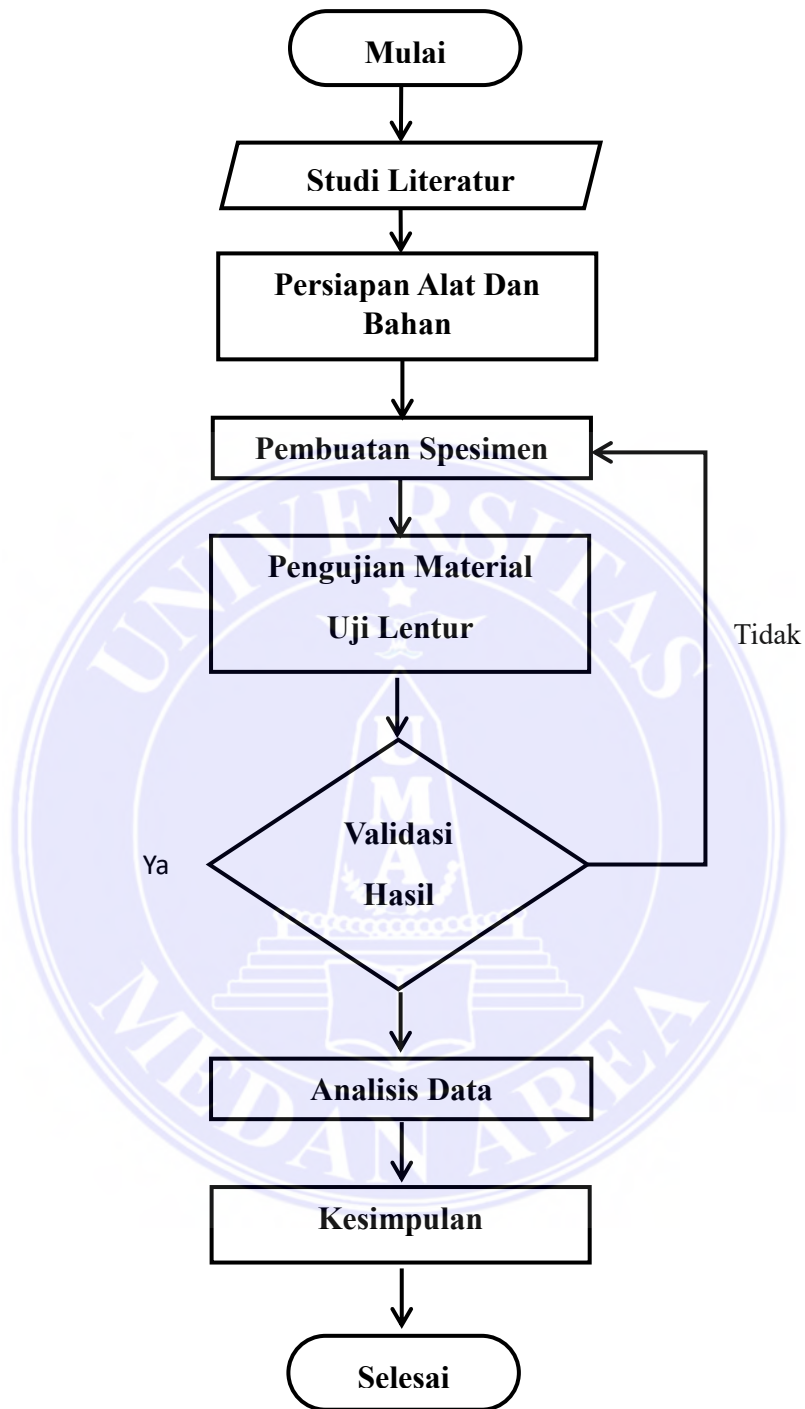
3.5.2 Prosedur pengujian

Pada proses pengujian lentur pada bahan logam dengan material baja meliputi beberapa tahapan yang dapat kita lihat pada diagram.



Gambar 3.7. Diagram Alir Proses Pengujian lentur.

3.5.3 Diagram Alir



Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

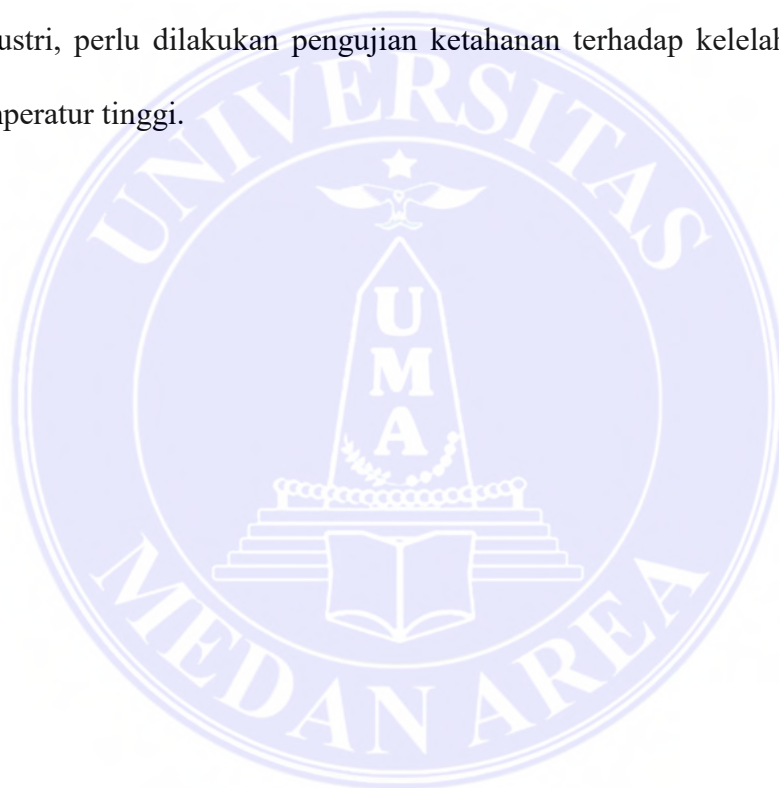
Setelah mendapatkan hasil penitilian penulis simpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pencetakan yang berhasil menunjukkan bahwa Spesimen uji lentur dapat dicetak dengan dimensi sesuai standar ASTM E290 atau standar, Kualitas cetakan sangat dipengaruhi oleh parameter pencetakan Spesimen memiliki kekuatan lentur yang kompetitif, Adanya porositas atau cacat akibat proses pencetakan aditif bisa mempengaruhi hasil uji lentur, sehingga kontrol kualitas sangat penting.
2. hasil pengujian lentur terhadap spesimen logam yang dicetak menggunakan teknologi 3D printing, dapat disimpulkan bahwa Spesimen hasil pencetakan 3D logam menunjukkan kemampuan menahan beban lentur, namun nilai kekuatan lenturnya bervariasi tergantung pada parameter Adanya cacat internal atau retakan akibat proses pencetakan dapat menjadi titik lemah yang menyebabkan penurunan performa mekanik saat pengujian lentur.
3. kekuatan spesimen dapat disimpulkan menentukan nilai tegangan lentur meningkat dari 833 Mpa ke 1710 Mpa seiring peningkatan arus dari A70 ke A90 Hal ini menunjukkan bahwa tingkat penetrasi dan kekuatan sambungan antar lapisan logam semakin baik dengan meningkatnya arus pengelasan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan penelitian ini, serta untuk penyempurnaan ke depan, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Lakukan optimasi lebih lanjut terhadap parameter pencetakan seperti kecepatan, suhu, dan strategi jalur cetak untuk meningkatkan kualitas ikatan antar lapisan dan menekan cacat internal.
2. Untuk menjamin keandalan penggunaan hasil cetakan 3D logam dalam aplikasi industri, perlu dilakukan pengujian ketahanan terhadap kelelahankorosi, dan temperatur tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

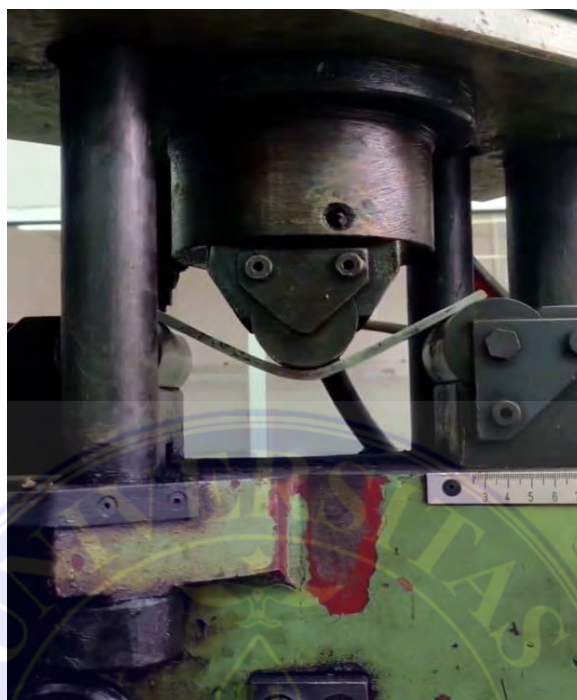
- Abdul Syukur, K. M. Y. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tumbuhan Mangrove. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(1), 69–79. <https://doi.org/10.29303/jbt.v18i1.731>
- Adam, M. T., Prasetya, S., Nursanto, D., & Suhandi, A. (2022). Rancang Bangun Sistem Mekanik 3D Printer Mortar 1x1x1 m. *Jurnal Mekanik Terapan*, 3(1), 34–43. <https://doi.org/10.32722/jmt.v3i1.4547>
- Athallah, M. D. A., Sugiyanto, S., & ... (2022). Pengaruh Temperatur Nozzle 3D Print Terhadap Flexural Strength Biokomposit Berbahan Pla, Pcl, Dan Hidroksiapatit Dari *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 249–254.
- Ihya, M., Adi, M., Ismail, R., Setiyana, B., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2022). Pengaruh Variasi Jenis Resin Dan Waktu Curing Pada Hasil Cetakan 3D Printing Terhadap Nilai Material Properties. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 139–144.
- Made, D., & Muku, K. (2009). Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG). *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*, 3(1), 11–17.
- Nurfaedah, D., Rifelino, R., Purwantono, P., & Prasetya, F. (2021). Optimalisasi Kekuatan Bending Hasil 3D Printing Menggunakan Metode Response Surface Pada Filamen Pla (Poly Lactic Acid). *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 3(3), 58–66. <https://doi.org/10.24036/vomek.v3i3.217>
- Pratama, A. H., Jurusan Teknik, Industri, F. T., & Indonesia, U. I. (2022). *Pengaruh Ketebalan Dan Jenis 3D Printed Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandwich*.
- Rahmandhika, A., Defantyan, E. D., & Lutfi, V. T. (2024). J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin. *J-Proteksion*, 4(13), 1–6. <https://doi.org/10.32528/jp.v8i2.1540>
- Ramli, N; Mohd Sobani, S. S. . (2013). Jurnal Teknologi. *Jurnal Teknologi*, 2, 19–25. <https://doi.org/10.35134/jitekin.v13i1.98>
- Riza, E. I., Budiyanoro, C., & Nugroho, A. W. (2020). Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Berbahan Petg Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2), 66–75. <https://doi.org/10.23917/mesin.v21i2.10856>
- Rusianto, T., Huda, S., Hary Wibowo, dan, Kalisahak No, J., & Balapan Yogyakarta, K. (2019). a Riview: Jenis Dan Pencetakan 3D (3D Printing) Untuk Pembuatan Prototipe. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 14–21.
- Setyawan, B. A., & Ngadiyono, Y. (2022). Analisis Pengaruh Tingkat Kelembaban Filamen PLA Terhadap Nilai Kekuatan Mekanik Hasil Cetak 3D Printing.

Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin, 7(1), 1–11.
<https://doi.org/10.21831/dinamika.v7i1.48259>

Shieddieque, A. D., Abdulah, A., & Rajab, D. A. (2021). Mechanical Strength Analysis a304 Used Metal Filler E308 on Gtaw With Variations Parameters. *Metal Indonesia*, 43(1), 17–26.



LAMPIRAN



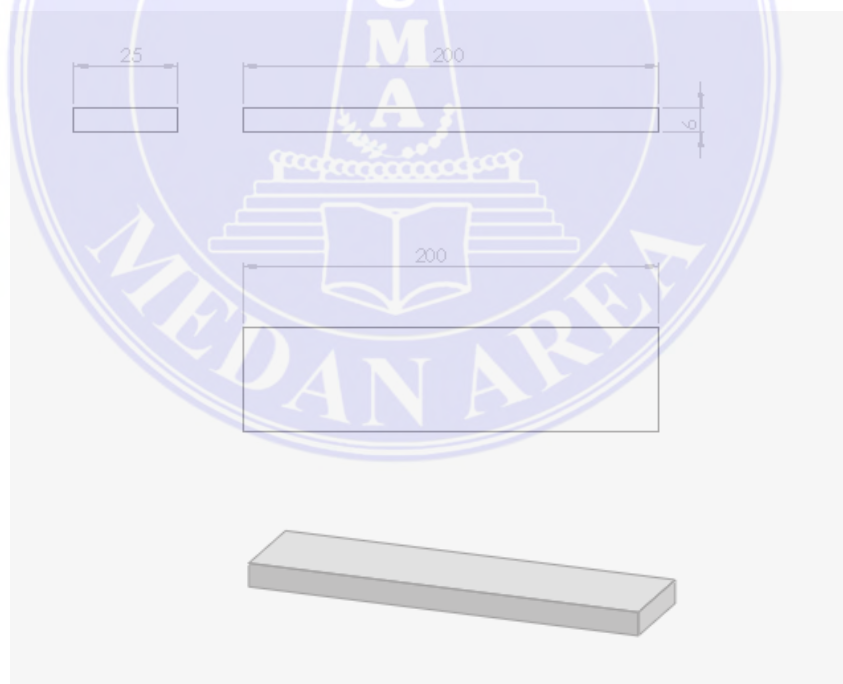
Lampiran 1. Spesimen sedang di uji



Lampiran 2. Proses Pembuatan Spesimen



Lampiran 3. Spesimen Setelah di Uji

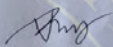


Lampiran 4. Gambar Solidwork Spesimen

DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR BAHAN CARBON STEEL

Nama : IRGI FAHREZI
NIM : 218130028
Judul : ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM

No	Amper	Material	Tebal (mm)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	F (kg)
1	70	Bahan logam	6	200	25	254
2	70					285
3	70					300
4	80	Bahan Logam	6	200	25	355
5	80					400
6	80					455
7	90	Bahan logam	6	200	25	460
8	90					495
9	90					520

Medan, Agustus 2025
Ass. Lab. Pengujian bahan

M. Fatih abdillah

Lampiran 5. Hasil Pengujian Spesimen