

ANALISIS KEKUATAN TARIK HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM

SKRIPSI

OLEH:

**ARI RAMADHAN
218130064**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 8/4/26

Access From (repository.uma.ac.id)8/4/26

ANALISIS KEKUATAN TARIK HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM

SKRIPSI

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



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

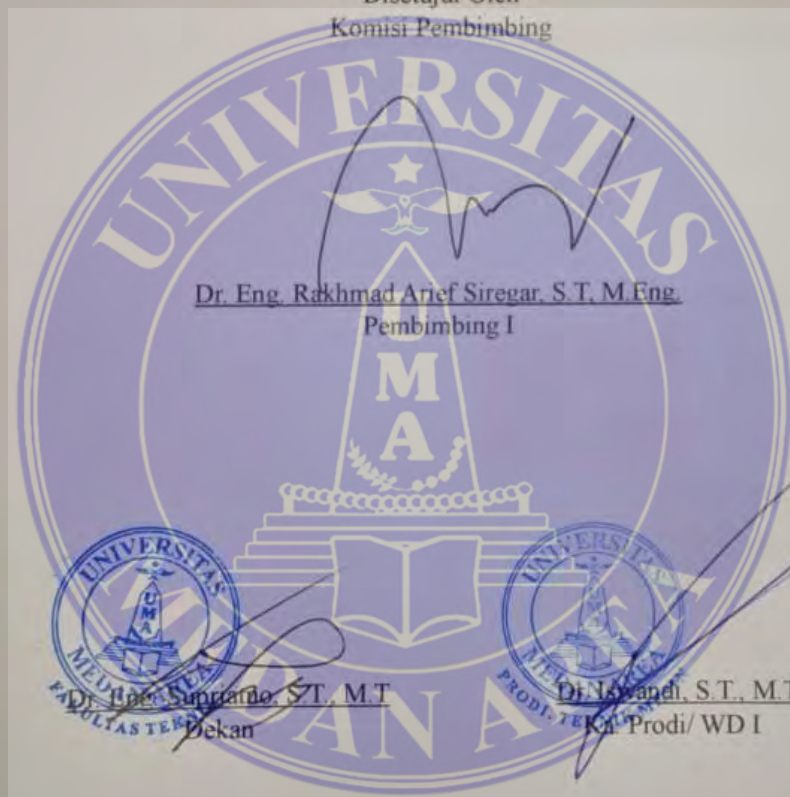
Document Accepted 8/4/26

Access From (repository.uma.ac.id)8/4/26

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Kekuatan Tarik Hasil Pencetakan 3D Printer
dengan Bahan Logam
Nama Mahasiswa : Ari Ramadhan
NIM : 21.813.0064
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



Tanggal Lulus: 02 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.



**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 : Ari Ramadhan

NPM : 218130064

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 Tarik 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

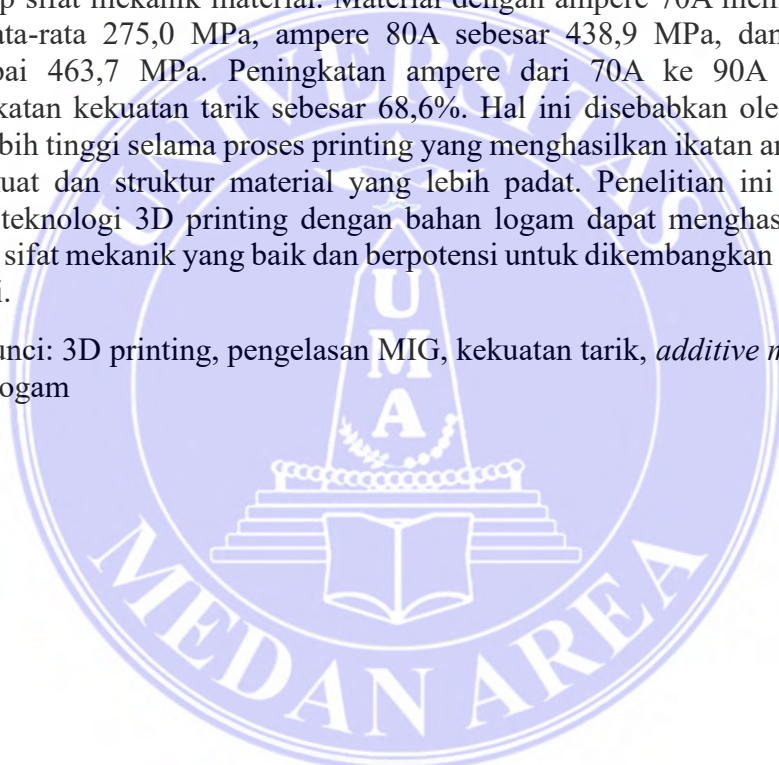
(Ari Ramadhan)

218130064

ABSTRAK

Teknologi 3D printing telah berkembang pesat sebagai metode *additive manufacturing* yang dapat menghasilkan objek dengan geometri kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik hasil pencetakan 3D printer dengan bahan logam menggunakan teknologi pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*). Penelitian dilakukan dengan membuat spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM A370-07a menggunakan mesin 3D printer yang dimodifikasi dengan sistem pengelasan MIG. Variasi parameter yang digunakan adalah ampere pengelasan sebesar 70A, 80A, dan 90A. Setiap variasi dibuat 3 spesimen untuk memastikan validitas data. Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum, dan regangan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ampere berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik material. Material dengan ampere 70A memiliki kekuatan tarik rata-rata 275,0 MPa, ampere 80A sebesar 438,9 MPa, dan ampere 90A mencapai 463,7 MPa. Peningkatan ampere dari 70A ke 90A menghasilkan peningkatan kekuatan tarik sebesar 68,6%. Hal ini disebabkan oleh input energi yang lebih tinggi selama proses printing yang menghasilkan ikatan antar layer yang lebih kuat dan struktur material yang lebih padat. Penelitian ini membuktikan bahwa teknologi 3D printing dengan bahan logam dapat menghasilkan material dengan sifat mekanik yang baik dan berpotensi untuk dikembangkan dalam aplikasi industri.

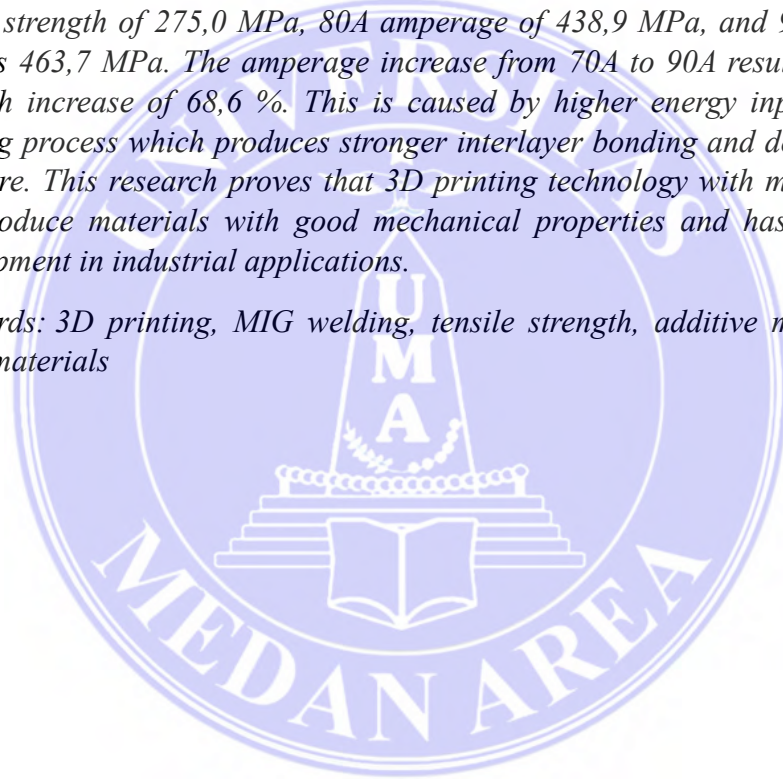
Kata kunci: 3D printing, pengelasan MIG, kekuatan tarik, *additive manufacturing*, bahan logam



ABSTRACT

3D printing technology has rapidly developed as an additive manufacturing method capable of producing objects with complex geometries. This research aims to analyze the tensile strength of 3D printer printed products using metal materials through MIG (Metal Inert Gas) welding technology. The study was conducted by creating tensile test specimens based on ASTM A370-07a standards using a modified 3D printer with MIG welding system. The parameter variations used were welding amperage of 70A, 80A, and 90A. Three specimens were made for each variation to ensure data validity. Tensile testing was performed using Universal Testing Machine (UTM) to determine maximum tensile strength, and strain of the material. Research results show that amperage increase significantly affects the mechanical properties of the material. Material with 70A amperage has an average tensile strength of 275,0 MPa, 80A amperage of 438,9 MPa, and 90A amperage reaches 463,7 MPa. The amperage increase from 70A to 90A results in a tensile strength increase of 68,6 %. This is caused by higher energy input during the printing process which produces stronger interlayer bonding and denser material structure. This research proves that 3D printing technology with metal materials can produce materials with good mechanical properties and has potential for development in industrial applications.

Keywords: 3D printing, MIG welding, tensile strength, additive manufacturing, metal materials



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Ari Ramadhan berumur 23 tahun, dilahirkan di Medan pada Tanggal 13 November 2002. Penulis beragama Islam, anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Yupaत्री dan Ibu Deni Agustiany dengan seorang kakak yang bernama Annisa Mutia. Pendidikan formal dimulai dari SD Swasta Ramajaya Medan tahun 2008-2014, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 31 Medan tahun 2014-2017, sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan tahun 2017-2020, 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, Sumatera Utara dan tamat di Universitas Medan Area tahun 2025.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul **"Analisis Kekuatan Tarik Hasil Pencetakan 3D Printer Dengan Bahan Logam"**. Tersusunnya skripsi ini ditujukan sebagai pengajuan skripsi guna memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin (S1), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area. Penulis menyadari bahwa dari awal hingga akhir penulisan skripsi ini, telah banyak memperoleh bantuan serta dukungan dari berbagai pihak yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

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 Dr. Eng Rakhmad Arief Siregar, ST., M.Eng. Selaku pembimbing saya yang telah banyak melunagkan waktu dan dengan sabar dalam memberikan bimbingan, saran, dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini dapat selesai dengan baik.
5. Bapak Tino Hermanto ST., M.Sc selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah membimbing dan membantu penulis selama masa perkuliahan.
6. Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area atas ilmu yang telah diajarkan selama ini kepada penulis.

7. Pegawai dan Staf Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Kedua orang tua yang sangat penulis cintai Yupatjri dan Deni Agustiany juga kakak penulis Annisa Mutia dan Susi Agustiaty adik dari orang tua penulis, dengan dukungan doa dan semangat serta arahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman seperjuangan dalam bimbingan skripsi dan juga Dewani Hutagalung yang telah memberikan semangat serta dukungan kepada penulis.
10. Rekan-rekan Stambuk 2021 Teknik Mesin, Universitas Medan Area, atas kerjasama dan dukungan selama proses perkuliahan dan penelitian.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
12. "Jika kau tidak mau mengambil resiko, kau tidak dapat menciptakan masa depan". (One Piece)

Penulis meyakini penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan dalam penulisan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga karya ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi yang berarti dalam dunia pendidikan dan teknologi, penulis ucapkan terimakasih.

Penulis,

Ari Ramadhan
218130064

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| ANALISIS KEKUATAN TARIK HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER | |
| DENGAN BAHAN LOGAM | i |
| HALAMAN PENGESAHAN SKIRPSI..... | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS | |
| AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | iv |
| ABSTRAK | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vi |
| RIWAYAT HIDUP | vii |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| DAFTAR NOTASI..... | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 3D Printer | 5 |
| 2.2 Sejarah dan Perkembangan Teknologi 3D Printing..... | 6 |
| 2.2.1 Sejarah Awal | 6 |
| 2.2.2 Inovasi Awal..... | 6 |
| 2.2.3 Perkembangan Modern..... | 7 |
| 2.3 Prinsip Dasar 3D Printing..... | 7 |
| 2.3.1 Jenis-jenis 3D Printer..... | 9 |
| 2.3.2 Mekanisme pada mesin Printer 3D..... | 12 |
| 2.4 Logam..... | 12 |
| 2.4.1 Logam <i>ferro</i> | 14 |
| 2.4.2 Logam non <i>ferro</i> | 15 |
| 2.5 Pengelasan | 17 |
| 2.5.1 Jenis-jenis Pengelasan..... | 18 |
| 2.5.2 Pengelasan MIG..... | 20 |
| 2.6 Sifat Mekanik | 26 |
| 2.7 Jenis-jenis Pengujian dalam Pengelasan | 28 |
| 2.7.1 Uji Tarik | 29 |
| 2.7.2 Skema Uji Tarik | 34 |
| 2.7.3 Komponen-Komponen Uji Tarik | 36 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 39 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 39 |
| 3.2 Bahan dan Alat Penelitian | 40 |
| 3.2.1 Bahan | 40 |
| 3.2.2 Alat..... | 40 |
| 3.3 Metode Penelitian..... | 43 |

| | | |
|----------------------------------|----------------------------|----|
| 3.4 | Populasi dan Sampel | 45 |
| 3.5 | Prosedur Kerja | 46 |
| 3.6 | Diagram Alir | 48 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 49 |
| 4.1 | Hasil..... | 49 |
| 4.1.1 | Pembuatan Spesimen | 49 |
| 4.1.2 | Hasil Pengujian Tarik..... | 52 |
| 4.2 | Pembahasan | 59 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN | | 61 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 61 |
| 5.2 | Saran | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 63 |
| LAMPIRAN | | 66 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1. Jadwal penelitian | 37 |
| Tabel 3.2. Populasi dan sampel | 43 |
| Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik Spesimen | 50 |
| Tabel 4.2. Kekuatan Tarik | 53 |
| Tabel 4.3. Regangan | 55 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Gambar 3D Printer | 5 |
| Gambar 2.2. 3D Printer Charles Hull | 6 |
| Gambar 2.3. 3D Printer <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM) | 7 |
| Gambar 2.4. 3D Printer <i>cartesian</i> | 10 |
| Gambar 2.5. 3D Printer <i>corexy</i> | 11 |
| Gambar 2.6. 3D Printer model Delta | 11 |
| Gambar 2.7. Material Logam | 13 |
| Gambar 2.8. <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW) | 18 |
| Gambar 2.9. <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> (GTAW) | 19 |
| Gambar 2.10. <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW) | 20 |
| Gambar 2.11. <i>Oxygen Asetilen Welding</i> (OAW) | 20 |
| Gambar 2.12. Mesin Las MIG | 22 |
| Gambar 2.13. <i>Wire feeder</i> | 23 |
| Gambar 2.14. <i>Welding gun</i> | 23 |
| Gambar 2.15. Kabel Las | 24 |
| Gambar 2.16. Gas Pelindung <i>nozzel</i> | 24 |
| Gambar 2.17. Pipa Kontak pada ujung mata las | 25 |
| Gambar 2.18. Elektroda pengelasan MIG | 26 |
| Gambar 2.19. Regangan Teknis | 31 |
| Gambar 2.20. Tegangan Regangan Sejati | 32 |
| Gambar 2.21. Kurva Tegangan dan Regangan | 33 |
| Gambar 2.22. Skema pengujian tarik | 35 |
| Gambar 2.23. Komponen pada mesin pengujian tarik | 36 |
| Gambar 3.1. Wire las MIG | 40 |
| Gambar 3.2. Mesin 3D printer | 41 |
| Gambar 3.3. Mesin Las MIG | 41 |
| Gambar 3.4. Alat Uji Tarik | 42 |
| Gambar 3.5 Mesin Sekrap | 42 |
| Gambar 3.6. Jangka Sorong Digital | 43 |
| Gambar 3.7. Gambar Spesimen | 44 |
| Gambar 3.8. Diagram Alir Prosedur Pembuatan Spesimen. | 47 |
| Gambar 3.9. Diagram Alir Proses Pengujian Tarik. | 47 |
| Gambar 3.10. Diagram alir penelitian | 48 |
| Gambar 4.1. Hasil Pembuatan Spesimen hasil 3D printer. | 49 |
| Gambar 4.2. Proses Pembubutan Spesimen. | 50 |
| Gambar 4.3. Proses Penyekrapan Spesimen. | 50 |
| Gambar 4.4. Spesimen Uji Tarik | 51 |
| Gambar 4.5. Grafik Gaya | 53 |
| Gambar 4.6. Spesimen hasil pengujian | 53 |
| Gambar 4.7. Grafik Tegangan | 56 |
| Gambar 4.8. Grafik Regangan | 58 |
| Gambar 4.9. Grafik Suhu | 59 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Spesimen sebelum pengujian | 64 |
| Lampiran 2. Spesimen saat melakukan pengujian | 64 |
| Lampiran 3. Proses pembuatan spesimen | 65 |
| Lampiran 4. Gambar AutoCAD spesimen | 65 |
| Lampiran 5. Data Hasil Pengujian Spesimen | 66 |



DAFTAR NOTASI

| | |
|---------------|--|
| P | = kuat bahan, satuannya N/m^2 |
| F | = beban maksimum (gaya), satuannya N |
| A | = luas bidang bahan, satuannya meter persegi (m^2) |
| P | = gaya yang diberikan pada benda uji |
| A_0 | = luas penampang awal benda uji (mm^2) |
| σ | = Tegangan sejati (Nm/mm^2) |
| ε | = Regangan sejati (%) |
| σ_u | = Kekuatan Tarik Maksimum (N/mm^2) |
| P_{maks} | = Pembebanan Maksimum (N) |
| A_0 | = Luas Penampang (mm^2) |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, teknologi utama yang digunakan untuk membuat model fisik dalam rangka pengujian dan evaluasi adalah *rapid prototyping* (RP). Meskipun prototipe CNC mampu menghasilkan produk dalam jumlah besar dan dengan biaya lebih rendah, tetapi ketika menghadapi pembuatan satu produk yang memiliki level kompleksitas tinggi, maka *rapid prototyping* akan lebih efektif (Jain & Kunthe, 2013).

Salah satu teknologi *rapid prototyping* adalah mesin 3D printing, yang merupakan teknik *Additive Manufacturing* (AM) untuk membuat berbagai bentuk dan struktur yang kompleks berdasarkan data model 3D (Saputra, Herianto, & Pamasaria, 2019). Teknologi 3D printing termasuk dalam metode manufaktur baru yang disebut *additive manufacturing*. Cara kerjanya adalah dengan menumpuk material secara bertahap hingga membentuk objek tiga dimensi. Teknologi ini bisa digunakan untuk mencetak objek dengan cepat, bahkan di tahap desain prototype, sehingga sering disebut *rapid prototyping*. Dalam perkembangannya, teknologi 3D printing tidak hanya digunakan untuk membuat prototype, tetapi juga sudah bisa digunakan untuk memproduksi objek yang memiliki fungsi nyata (H.I. Medellin-Castillo, J. Zaragoza-Siqueiros, 2019). Berbeda dengan cara pembuatan barang biasa yang menghasilkan sampah dan menggunakan banyak komponen, teknologi 3D printing tidak menghasilkan limbah dan memakai komponen yang lebih sederhana, sehingga lebih irit energi (J. Faludi, C. Bayley, S. Bhogal, M. Iribarne,

2015). Selain itu, metode ini juga bisa digunakan untuk membuat bentuk yang rumit dengan biaya yang tidak terlalu mahal (Deny, Sriyanto, & Agus, 2021). Printer 3D, yang juga dikenal sebagai cetak tiga dimensi, adalah salah satu teknologi di bidang manufaktur yang memiliki beberapa fitur canggih dalam prosesnya. Mesin yang digunakan untuk printer 3D memiliki keunggulan khusus, yaitu memungkinkan objek yang dicetak bisa persis sama dengan desain dalam bentuk file digital. Proses mencetak 3D melibatkan berbagai metode, bahan, dan alat. Teknologi ini telah berkembang selama bertahun-tahun dan mampu mengubah cara kerja manufaktur serta logistik. *Additive Manufacturing* telah banyak digunakan di berbagai bidang industri seperti konstruksi, kesehatan, prototipe, dan biomekanik (Ngo, dkk., 2018).

Ada beberapa jenis teknologi 3D printing yang dibedakan berdasarkan bahan yang digunakan serta cara kerjanya dalam proses pencetakan. Menurut penelitian (Hasdiansyah & Herianto, 2018), teknologi 3D printing memiliki kemampuan yang sangat besar dalam bidang manufaktur saat ini. Membuat produk secara cepat dari model CAD merupakan kebutuhan penting karena semakin banyaknya permintaan untuk proses pembuatan produk yang lebih singkat. Teknik *Rapid Prototyping* ini tidak memerlukan persiapan proses yang rumit seperti umumnya dalam pembuatan produk, cukup hanya berdasarkan informasi dari model 3D saja.

Berdasarkan hal tersebut akan dilakukan penelitian 3D printer dengan bahan logam yang matanya digantikan dengan mata las mig dan hasil las-an tersebut akan dilakukan uji tarik untuk mengetahui seberapa kuat hasil las-an tersebut dan seberapa kokoh struktur yang terbuat

Dengan demikian penelitian ini akan mengangkat pembahasan dengan judul
”Analisis kekuatan tarik hasil pencetakan 3D printer dengan bahan logam”

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana cara menganalisis kekuatan spesimen pencetakan 3d printer dengan bahan logam hasil pengujian tarik statis.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu:

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

1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Sebagai sarana untuk memperoleh gelar sarjana
2. Sebagai kontribusi bagi ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang teknik mesin
3. Memberikan informasi bagi penelitian selanjutnya tentang kekuatan tarik spesimen pencetakan 3D *Printing* dengan bahan logam.
4. Sebagai tolak ukur untuk penelitian selanjutnya

5. Memperluas aplikasi teknologi 3D *Printing* di berbagai industri seperti otomotif, medis, dan penerbangan.

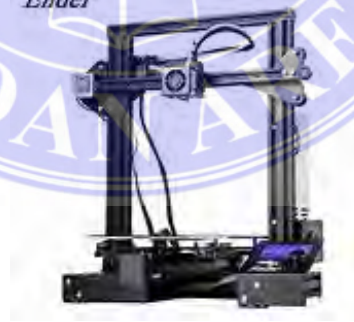


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 3D Printer

Pencetakan 3D disebut juga sebagai *manufaktur aditif* (AM). Kata "*aditif*" digunakan karena prosesnya dimulai dari penguraian material untuk membentuk bagian yang sudah jadi, berbeda dengan metode konvensional (Berman, 2012). 3D printing juga dikenal sebagai *Additive Layer Manufacturing*, yaitu proses membuat objek dalam bentuk 3 dimensi atau bentuk apa pun dari model digital (CAD). Cara kerjanya mirip dengan printer laser, yaitu objek dibuat secara bertahap dari lapisan demi lapisan, masing-masing lapisan dicetak satu per satu hingga membentuk benda yang diinginkan. Teknologi ini sudah ada sejak sekitar tahun 1980, tetapi belum banyak dikenal hingga tahun 2010 ketika mesin pencetak 3D mulai diperkenalkan secara komersial.



Gambar 2.1. Gambar 3D Printer

Dalam sejarah Printer 3D pertama yang bekerja dengan baik dibuat oleh Chuck Hull dari 3D System Corp pada tahun 1984. Sejak saat itu teknologi 3D printing semakin berkembang dan digunakan dalam purwarupa (model) maupun industri secara luas

seperti dalam arsitektur, otomotif, militer, industri medis, fashion, sistem informasi geografis sampai biotech (penggantian jaringan tubuh manusia).

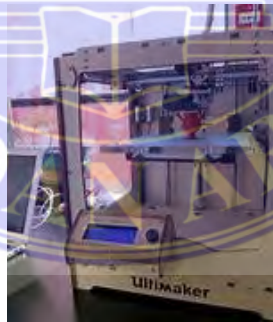
2.2 Sejarah dan Perkembangan Teknologi 3D Printing

Berikut ialah sejarah awal perkembangan mesin 3D printer dari awal sampai modern.

2.2.1 Sejarah Awal

1981-1984: Dr. Hideo Kodama dari Jepang menciptakan prototipe mesin cetak 3D pertama menggunakan resin dan teknologi laser. Namun, ia gagal mendapatkan paten karena keterbatasan dana.

1984: Charles “Chuck” Hull dari Amerika Serikat mengembangkan teknologi *Stereolithography* (SLA), yang menggunakan sinar UV untuk mengeras resin lapis demi lapis. Hull kemudian mendirikan perusahaan 3D Systems dan mematenkan teknologi ini.

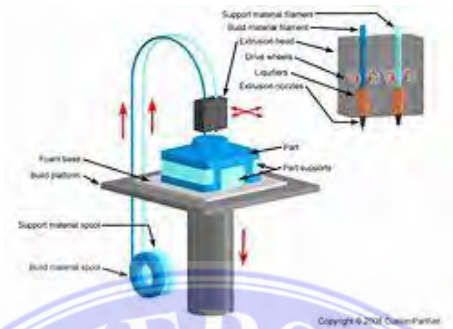


Gambar 2.2. 3D Printer Charles Hull

2.2.2 Inovasi Awal

1988: Carl Deckard dari *University of Texas* mengembangkan *Selective Laser Sintering* (SLS), yang menggunakan laser untuk menyatukan partikel bubuk menjadi bentuk padat.

1989: Scott Crump menciptakan *Fused Deposition Modeling* (FDM), yang menggunakan filamen termoplastik yang dipanaskan dan diekstrusi untuk membentuk objek lapis demi lapis.



Gambar 2.3. 3D Printer *Fused Deposition Modeling* (FDM)

2.2.3 Perkembangan Modern

2000-an: Teknologi 3D printing mulai digunakan dalam berbagai industri, termasuk medis, otomotif, dan penerbangan RepRap Project yang dimulai pada 2005 bertujuan untuk membuat printer 3D yang dapat mereplikasi dirinya sendiri.

2010-an: 3D printing semakin populer dengan munculnya printer 3D desktop yang lebih terjangkau dan mudah digunakan. Teknologi ini juga mulai digunakan untuk mencetak bahan-bahan yang lebih kompleks seperti logam dan bioprinting untuk jaringan manusia.

2.3 Prinsip Dasar 3D Printing

3D printing, juga dikenal sebagai *additive manufacturing*, yang merupakan proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital dengan menambahkan material lapis demi lapis. Untuk 3D printing logam, prinsip dasarnya melibatkan beberapa tahap kunci:

1. Desain Digital:

- a. Proses dimulai dengan model 3D digital, biasanya dibuat menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)*.
- b. Model ini kemudian dikonversi ke format file yang dapat dibaca oleh printer 3D, umumnya format STL (*Stereolithography*).

2. Slicing:

- a. File 3D dibagi menjadi lapisan-lapisan tipis horizontal menggunakan perangkat lunak slicing.
- b. Perangkat lunak ini menghasilkan kode G (*G-code*) yang memberikan instruksi spesifik kepada printer tentang bagaimana mencetak setiap lapisan.

3. Persiapan Material:

- a. Untuk pencetakan logam, bahan baku biasanya berupa bubuk logam halus.
- b. Bubuk ini harus memiliki ukuran partikel dan distribusi yang sesuai untuk memastikan hasil cetakan yang baik.

4. Pencetakan:

- a. Proses pencetakan bervariasi tergantung pada teknologi spesifik yang digunakan (misalnya, SLM, DMLS, atau EBM).
- b. Umumnya, lapisan tipis bubuk logam disebar di atas platform build.

- c. Sumber energi (laser atau *electron beam*) kemudian melelehkan atau menyinter bubuk logam sesuai dengan desain lapisan.
- d. Platform build kemudian diturunkan, dan lapisan baru bubuk logam disebar di atasnya.
- e. Proses ini diulang hingga objek selesai dicetak.

5. Pendinginan dan *Solidifikasi*:

- a. Setelah setiap lapisan diproses, logam cair akan mendingin dan memadat.
- b. Proses ini kritis untuk pembentukan struktur mikro dan sifat mekanik akhir.

6. *Post-Processing*:

- a. Setelah pencetakan selesai, objek biasanya memerlukan beberapa tahap post-processing.
- b. Ini dapat mencakup pelepasan dari platform build, penghilangan struktur pendukung, heat treatment, dan finishing permukaan.

2.3.1 Jenis-jenis 3D Printer

Mesin 3D Printer memiliki banyak jenis dan jenis-jenis yang sering digunakan ialah 3D printer *cartesian*, 3D printer *corexy*, dan 3D printer model delta. Ketiga jenis tersebut memiliki keunggulan dan kegunaannya masing-masing.

1. 3D printer *cartesian*

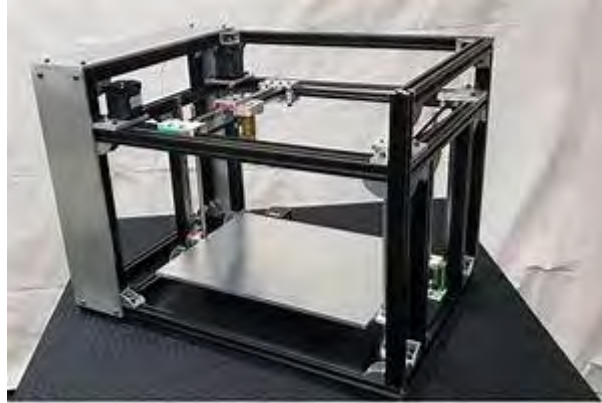
3D printer cartesian merupakan tipe 3D printer yang klasik. 3D printer cartesian bekerja dalam tiga dimensi, yaitu sumbu X dan Y bergerak ke kiri-kanan di sepanjang rail, sedangkan sumbu Z bergerak ke atas-ke bawah. Bentuk bed 3D printer cartesian adalah persegi. Dalam model cartesian, gerakan pada sumbu X dan Y diatur melalui *belt* dan *pulley*, sedangkan gerakan pada sumbu Z didorong oleh leadscrew.



Gambar 2.4. 3D Printer *cartesian*

2. 3D printer *corexy*

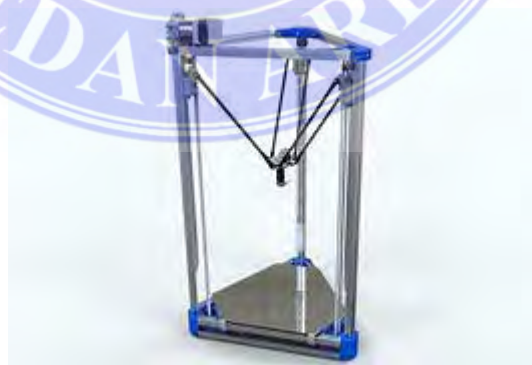
3D printer corexy memiliki desain seperti kartesius dengan pola persegi, di mana area tempat mencetak (*print bed*) hanya bergerak naik dan turun di sumbu Z secara *vertikal*. Nama 3D printer *corexy* berasal dari cara *nozzle* bergerak secara horizontal ke arah X dan Y, serta menggunakan motor *stepper* sebagai penggerakannya. Cara kerja 3D printer *corexy* hampir sama dengan 3D printer *cartesian*, akan tetapi bedanya terdapat pada bagian sumbu X dan Y yang dioperasikan melalui *belt* dan *pulley*. Di 3D printer *corexy*, ada dua motor *stepper* yang bekerja secara bersamaan untuk menggerakkan sumbu X dan Y, sedangkan di 3D printer cartesian hanya menggunakan satu motor *stepper* saja.



Gambar 2.5. 3D Printer *corexy*

3. 3D Printer model Delta

3D printer model delta memiliki kepala printer atau *nozzle* (hotend) yang didukung dan digerakkan naik atau turun dengan rangka berbentuk segitiga. Setiap lengan bergerak naik atau turun berkat satu motor. Kepala printer delta bergerak di sumbu X, Y, dan Z, sehingga platform pencetakan (*printbed*) tidak perlu bergerak. Untuk bergerak di satu sumbu, ketiga motor harus bekerja bersama. Karena itu, 3D printer model delta lebih rumit dalam kalibrasi dibandingkan model lainnya. Pada model *delta*, platform pencetakan (*printbed*) berbentuk lingkaran atau segi enam.



Gambar 2.6. 3D Printer model *Delta*

2.3.2 Mekanisme pada mesin Printer 3D

1. Model Objek

3D Model objek 3D dapat dibuat dengan menggunakan software khusus untuk model desain 3D yang printernya mendukung contohnya *solidwork*, *catia*, *autocad* dan *delcam*.

2. Proses Printing

Jika desain sudah selesai, Anda bisa langsung mencetaknya menggunakan mesin printer 3D. Proses pencetakan tergantung pada ukuran dan besar modelnya. Printer 3D bekerja dengan prinsip *additive layer*, di mana mesin membaca desain 3D dan mulai membuat lapisan demi lapisan secara berurutan untuk membentuk model virtual. Setiap lapisan diatur secara otomatis hingga membentuk model yang utuh dan sempurna.

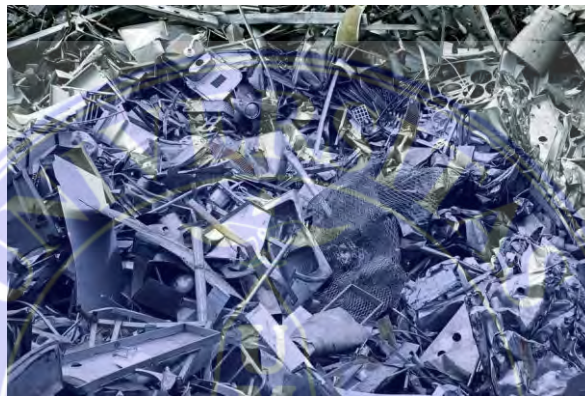
3. *Finishing*

Pada tahap ini bisa dilakukan penyempurnaan terhadap bagian-bagian yang rumit, yang mungkin disebabkan oleh ukuran yang terlalu besar atau tidak sesuai dengan yang diharapkan. Cara tambahan untuk memperbaiki proses ini adalah dengan menggunakan teknik beberapa bahan atau kombinasi warna.

2.4 Logam

Materi atau material adalah suatu unsur yang mempunyai massa dan dapat menempati sebuah ruang. Dalam sejarah peradaban manusia, material berperan dalam penggolongan era atau zaman. Dimulai dari zaman batu, zaman perunggu, zaman besi, zaman aluminium, hingga menuju perkembangan rekayasa material komposit.

Semua bahan atau zat yang digunakan dalam kebutuhan teknik atau industri, baik langsung maupun setelah diolah disebut dengan material atau bahan teknik. Material ini berfungsi sebagai bahan dasar untuk membuat produk yang berguna. Contoh bahan yang bisa digunakan langsung adalah pasir, batu, kayu, air, oksigen, dan lainnya. Sementara itu, bahan yang perlu diolah terlebih dahulu seperti besi, baja, aluminium, plastik, kaca, dan lainnya.



Gambar 2.7. Material Logam

Budyanto (2020) material logam adalah bahan yang terbentuk oleh unsur-unsur logam. Unsur-unsur logam pada material logam terlihat dominan (sekitar 80%) dibandingkan unsur-unsur lainnya. Logam adalah bahan kimia yang memiliki sifat seperti kuat, lentur, keras, mampu menghantarkan listrik dan panas, serta mempunyai titik leleh yang tinggi. Logam tidak bisa dilihat secara jelas, tampak buram, dan jika dibuat menjadi permukaan yang mengkilap, maka logam tersebut bisa memantulkan cahaya dengan baik. Dalam penggunaannya, logam biasanya tidak murni, tetapi digunakan dalam bentuk campuran. Logam dan campurannya merupakan bahan penting dalam teknik. Logam digunakan untuk membuat mesin, kendaraan, jembatan, bangunan, pesawat terbang, peralatan perang, peralatan pertanian, dan berbagai keperluan lainnya.

Menurut Kristanto (2010), logam merupakan bahan yang terdiri dari banyak kristal kecil (polykristalin) dengan ukuran berbeda, yaitu antara 10^{-1} sampai 10^{-4} cm. Berdasarkan cara pembentukannya, ada kristal yang memiliki bentuk rapi (*kristalit*) dan ada juga yang tidak rapi (*amorf*). Logam murni umumnya memiliki kekuatan yang rendah, sehingga jarang digunakan dalam bidang teknik. Karena itu, manusia sering menggabungkan beberapa logam murni menjadi satu, yang disebut paduan logam (*alloy*). Paduan logam dibuat dengan cara melelehkan dua atau lebih logam murni atau bahan logam serta bahan non-logam secara bersamaan. Contoh paduan logam antara lain baja, tembaga, aluminium, kuningan, perunggu, dan masih banyak lagi.

Menurut Samlawi & Rudi (2016) definisi logam ialah unsur kimia yang memiliki sifat-sifat seperti kuat, keras, dapat menghantarkan listrik dan penghantar panas, mengkilap dan pada umumnya memiliki titik cair yang tinggi.

2.4.1 Logam *ferro*

Logam *ferro* atau logam besi adalah jenis logam yang mengandung unsur besi (Fe). Besi merupakan logam yang sangat penting dalam bidang teknik, tetapi besi murni terlalu lembut dan mudah patah untuk digunakan dalam pekerjaan, konstruksi, atau pembuatan pesawat. Kata "besi" bisa merujuk pada:

1. Besi murni dengan simbol kimia Fe yang hanya dapat diperoleh dengan jalanreaksi kimia.
2. Besi teknik adalah yang sudah atau selalu bercampur dengan unsur lain.

Besi karbon atau baja karbon adalah sebutan untuk logam *ferro*. Bahan dasarnya ialah unsur besi (Fe) dan karbon (C), tetapi sebenarnya juga dapat

mengandung unsur lain seperti: silisium, mangan, fosfor, belerang dan sebagainya yang kadarnya cenderung lebih rendah. Unsur-unsur dalam campuran itulah yang pada akhirnya mempengaruhi sifat-sifat besi atau baja pada umumnya, tetapi pengaruh paling besar terhadap besi atau baja terutama kekerasannya ialah unsur karbon.

Pembuatan besi atau baja dimulai dengan memproses bijih besi di dalam dapur tinggi, yang menghasilkan besi kasar atau besi mentah. Besi kasar ini belum bisa digunakan langsung untuk membuat barang jadi atau barang setengah jadi, jadi besi kasar masih harus diproses lagi di dalam dapur baja. Logam yang dihasilkan dari dapur baja disebut sebagai besi atau baja karbon, yang digunakan untuk membuat barang jadi atau barang setengah jadi.

2.4.2 Logam non *ferro*

Logam non *ferro* adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Secara umum, logam non *ferro* murni tidak digunakan sendirian karena sifat-sifatnya belum memenuhi kebutuhan yang diinginkan. Namun, beberapa logam non *ferro* seperti platina, emas, dan perak tidak dicampurkan dengan logam lain karena memiliki sifat yang baik, seperti ketahanan terhadap reaksi kimia dan kemampuan menghantarkan listrik yang bagus, serta cukup kuat. Karena harganya yang mahal, ketiga logam ini hanya digunakan untuk keperluan tertentu, seperti dalam teknik proses, laboratorium, perhiasan, dan berbagai bidang lainnya (Samlawi & Rudi, 2016).

Logam non fero juga digunakan untuk campuran besi atau baja dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat baja. Dari jenis logam non *ferro* berat yang sering

digunakan untuk paduan baja antara lain, nikel, kromium, molibdenum, wolfram dan sebagainya. Sedangkan dari logam non *ferro* ringan antara lain: magnesium, titanium, kalsium dan sebagainya. Logam non *ferro* dikelompokkan menjadi 5 bagian, yaitu:

1. Logam berat adalah apabila berat jenisnya lebih besar dari 5 kg/dm³, misalnya: nikel, kromium, tembaga, timah hitam, Timah putih, seng dan sebagainya.
2. Logam ringan adalah apabila berat jenisnya lebih kecil dari 5 kg/dm³, misalnya: aluminium, magnesium, titanium, kalsium, kalium, natrium, barium dan sebagainya.
3. Logam mulia adalah logam yang mempunyai nilai ekonomis tinggi, digunakan untuk keperluan khusus, misalnya untuk alat tukar (uang), perhiasan dan asesoris lainnya, misalnya: emas, perak, dan platina.
4. Logam refraktori atau logam tahan api, logam tersebut biasanya digunakan sebagai unsur paduan untuk alat-alat listrik, silinder line pada motor bakar torak dan alat-alat lainnya yang memerlukan ketahanan panas, Misalnya: *wolfram, molibdenum, titanium, dan zirkonium*.
5. Logam radioaktif yaitu logam yang dapat memancarkan sinar radioaktif yaitu sinar *alpha*, sinar *Betha* dan sinar Gama, misalnya: *uranium, plutonium* dan *radium*.

Sifat mekanik logam non *ferro* pada umumnya kurang baik, akan tetapi dapat diperbaiki dengan memadukannya. Kebanyakan dari logam non *ferro* adalah tahan korosi karena adanya lapisan oksida yang kuat. Sedangkan beberapa logam non *ferro* mempunyai daya penghantar listrik dan daya penghantar panas yang baik.

2.5 Pengelasan

Definisi dari pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah cara menghubungkan beberapa batang logam dengan memanfaatkan energi panas. Pengelasan adalah teknik untuk menggabungkan logam dengan mencairkan sebagian logam dasar dan logam pelapis, baik dengan maupun tanpa penambahan logam lain, sehingga terbentuk logam yang menyatu secara terus-menerus (Siswanto, 2011).

Menurut Alip (1989), mengelas ialah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan adalah proses menyambung dua buah logam hingga mencapai titik di mana logam tersebut meleleh dan membentuk ikatan tetap. Proses ini bisa dilakukan dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan, serta membutuhkan energi panas untuk melelehkan logam yang akan digabungkan. Selain itu, pengelasan juga bisa diartikan sebagai pembentukan ikatan yang kuat antara benda atau logam yang telah dipanaskan.

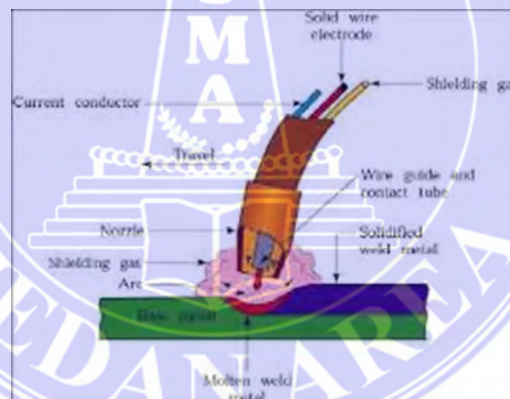
Las adalah cara menghubungkan dua bagian logam dengan memanaskan sampai meleleh, lalu menggabungkannya hingga membeku menjadi satu. Proses ini dilakukan dengan menambahkan bahan tambahan atau elektroda saat panas, sehingga hasilnya memiliki kekuatan sesuai yang diinginkan. Kekuatan sambungan

las dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti cara melakukan pengelasan, jenis bahan logam, jenis elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan.

2.5.1 Jenis-jenis Pengelasan

A. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Proses pengelasan ini juga dikenal sebagai *metal inert gas* (MIG) di mana kawat elektroda yang digunakan tidak dibungkus dan didorong secara terus-menerus. Area las dilindungi dari udara luar oleh gas yang dihasilkan dari alat las (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan biasanya adalah argon, helium, atau campuran kedua gas tersebut. Untuk memperkuat nyala api, kadang-kadang ditambahkan gas oksigen sebanyak 2 hingga 5% atau karbon dioksida sebanyak 5 hingga 20% (Wiryosumarto, 1996).

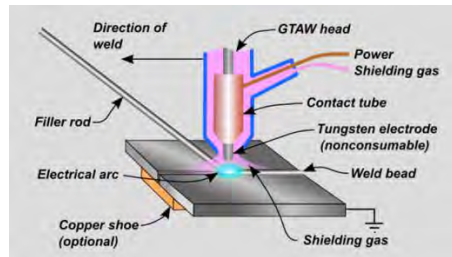


Gambar 2.8. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

B. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Las busur tungsten (GTAW) adalah metode pengelasan yang menggunakan api dari elektroda tungsten (yang tidak habis) ke titik yang ingin dilas. Proses ini dilindungi oleh gas dan tidak memerlukan tekanan tambahan. GTAW bisa dilakukan dengan atau tanpa bahan tambahan. Metode ini sangat penting bagi

berbagai industri karena hasil lasnya berkualitas tinggi dan peralatannya tidak terlalu mahal. Skematik pengelasan juga digunakan dalam proses ini.

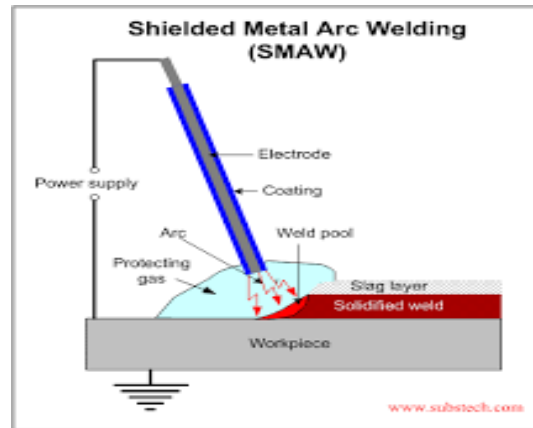


Gambar 2.9. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

C. Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Pengelasan dengan busur adalah metode pengelasan yang menggunakan panas dari busur listrik untuk menyatukan logam. Busur listrik terbentuk antara elektroda terlindung dan logam dasar. Panas dari busur membuat logam dasar dan ujung elektroda mencair, lalu membeku bersama. Dalam proses ini, elektroda yang digunakan berupa kawat logam yang terbungkus fluks. Busur listrik terbentuk antara logam dasar dan ujung elektroda, sehingga logam dasar dan ujung elektroda tersebut mencair dan membeku bersama.

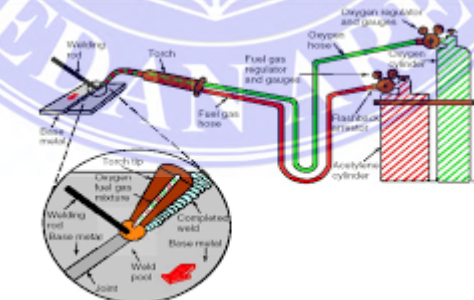
Prinsip kerja las busur listrik elektrode terbungkus (SMAW) yaitu dimulai ketika api elektrik menyala dan menyentuh ujung elektrode dengan benda kerja. Dua logam yang konduktif jika dialiri listrik dengan tegangan yang relatif rendah akan menghasilkan loncatan elektron yang menimbulkan panas yang sangat tinggi, dapat mencapai 4500°C yang dapat mencairkan kedua logam tersebut. (Gunawan, 2018).



Gambar 2.10. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

D. *Oxygen Asetilen Welding (OAW)*

Oxygen Asetilen Welding (OAW) adalah jenis proses pengelasan menggunakan panas dari api yang dihasilkan dari pembakaran gas oksigen dan gas asetilen. Panas ini digunakan untuk melelehkan logam serta bahan tambahannya. Proses pengelasan ini umumnya hanya digunakan pada plat yang tebalnya tipis, karena sambungan las yang dihasilkan memiliki kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan metode pengelasan menggunakan arus listrik (Andre, S. 2017).



Gambar 2.11. *Oxygen Asetilen Welding (OAW)*

2.5.2 Pengelasan MIG

Pengelasan MIG atau *Metal Inert Gas* adalah jenis pengelasan GMAW yang menggunakan gas pelindung berupa argon dan helium. Karena menggunakan gas

inert atau gas mulia ini, maka proses pengelasan ini disebut sebagai pengelasan MIG. Jenis pengelasan ini umumnya digunakan untuk memperkuat atau menyambung bahan non logam seperti aluminium, baja tahan karat, paduan nikel tinggi, dan beberapa bahan lainnya. Pengelasan MIG adalah proses penyambungan dua atau lebih bahan logam menjadi satu dengan cara mencairkan bagian tertentu. Proses ini menggunakan elektroda berupa gulungan kawat yang komposisinya sama dengan bahan dasar logam yang dilas. Selain itu, proses ini juga memakai gas pelindung berupa argon dan helium untuk melindungi arus listrik dan logam yang mencair dari pengaruh udara luar.

Keuntungan las MIG jika dibandingkan las jenis lain antara lain:

1. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
2. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi, kecepatan pengelasan yang digunakan juga tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.
3. Deposit yang terbentuk cukup banyak.
4. Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara dan sifat-sifat lainnya lebih baik daripada hasil las dengan cara pengelasan lain.

Karena hal-hal tersebut di atas, maka las MIG banyak sekali digunakan dalam praktek terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain. Kawat pengisi dalam las MIG biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya (*torch*) digerakkan dengan tangan.

Peralatan utama adalah peralatan yang berhubungan langsung dengan proses pengelasan, yakni minimum terdiri dari:

1. Mesin Lass

Sistem penghasil tenaga pada mesin GMAW dasarnya sama dengan mesin MMAW, dan dibagi menjadi dua jenis, yaitu mesin las dengan arus bolak balik (*Alternating Current / AC Welding Machine*) dan mesin las dengan arus searah (*Direct Current / DC Welding Machine*). Namun, karena pekerjaan las umumnya menggunakan bahan seperti baja, maka secara umum proses las dengan GMAW lebih sering menggunakan mesin las arus searah (*DC Welding Machine*).



Gambar 2.12. Mesin Las MIG

2. Wire Feeder

MIG merupakan alat utama dalam pengelasan. Alat ini biasanya tidak menyatu dengan mesin las, tapi merupakan bagian yang terpisah dan ditempatkan berdekatan dengan pengelasan. Fungsinya ialah sebagai berikut:

- a. Menempatkan rol kawat elektroda.
- b. Menempatkan kabel las (termasuk *welding gun* dan *nozzle*) dan sistem saluran gas pelindung.
- c. Mengatur penggunaan kawat elektroda (sebagai tipe mesin, unit pengontrolannya terpisah dengan *wire feeder unit*)

- d. Memudahkan proses/penanganan pengelasan, dimana *wire feeder* tersebut dapat dipindah-pindah sesuai kebutuhan.

dasarnya terdapat tiga jenis *wire feeder*; yaitu jenis dorongan jenis tarik, jenis dorongan tarik. Perbedaannya adalah dari cara mengerakan elektroda dari spool ke touch. Kecepatan dari *wire feeder* dapat ditiru mulai dari 1 hingga 22 m/menit pada mesin las MIG performa tinggi, kecepatannya dapat mencapai 30 m/menit.



Gambar 2.13. *Wire feeder*

3. *Welding Gun*

Welding torch berfungsi sebagai pegangan sekaligus pengendali manual las MIG



Gambar 2.14. *Welding gun*

4. Kabel las

Kabel yang digunakan pada mesin las harus sesuai dengan arus maksimum yang mampu dihasilkan mesin tersebut. Semakin kecil ukuran kabel atau semakin panjang kabelnya, maka hambatan listrik pada kabel akan semakin besar.

Sebaliknya, jika kabel lebih tebal dan lebih pendek, hambatannya akan lebih kecil. Di ujung kabel las biasanya terdapat sepatu kabel yang berfungsi untuk menghubungkan kabel ke terminal mesin las, serta mengikat elektroda dan benda kerja.



Gambar 2.15. Kabel Las

5. Gas pelindung

Gas pelindung untuk MIG adalah pelindung untuk mempertahankan / menjaga stabilitas busur dan perlindungan cairan logam las dari kontaminasi selama pengelasan, terutama dari atmosfer dan pengotoran daerah las (Prasetya, A. 2017).



Gambar 2.16. Gas Pelindung *nozzel*

6. Pipa kontak

Pipa pengarah elektroda biasa juga disebut pipa kontak. Pipa kontak terbuat dari tembaga, dan berfungsi untuk membawa arus listrik ke elektroda yang bergerak dan mengarahkan elektroda tersebut ke daerah kerja pengelasan. *Torch* dihubungkan dengan sumber listrik pada mesin las dengan menggunakan kabel. Karena elektroda harus dapat bergerak dengan bebas dan melakukan kontak listrik dengan baik, maka besarnya diameter lubang dari pipa kontak sangat berpengaruh.



Gambar 2.17. Pipa Kontak pada ujung mata las

7. Kawat Las MIG

Kawat Las MIG (*Metal Inert Gas*) adalah kawat yang digunakan dalam proses pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*), yang juga dikenal sebagai *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Pada proses ini, kawat las MIG memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai elektroda (penghasil busur listrik) juga sebagai bahan pengisi sambungan antara dua material logam yang akan disambung.



Gambar 2.18. Elektroda pengelasan MIG

2.6 Sifat Mekanik

Kemampuan material untuk menahan beban, baik statik maupun dinamik, tanpa mengalami kerusakan disebut sebagai sifat mekanik suatu material. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik sebuah material. Beberapa sifat material antara lain:

a. Kekuatan (*Strenght*)

Nilai yang paling sering ditulis sebagai hasil uji kekuatan tekan dan tarik adalah kekuatan. Kekuatan material adalah kapasitasnya untuk menahan tegangan tanpa merusaknya. Nilai tersebut dan hubungannya dengan kekuatan logam tidak lagi bermanfaat pada tegangan yang lebih kompleks. Rancangan statis logam ulet didasarkan pada kekuatan luluhnya, yang sering terjadi. Namun, metode ini lebih banyak digunakan karena jauh lebih mudah untuk mengukur kekuatan bahan dengan kekuatan tarik (Rafe'i, A. 2011).

b. Regangan (*Strain*)

Regangan, juga dikenal sebagai strain, adalah perbandingan panjang benda yang mengalami perubahan karena gaya dengan arah sejajar dengan panjang awal benda. Strain memiliki lambang ε , yang diwakili oleh mm/mm atau %, dalam standar internasional. Pengujian kekuatan tarik menunjukkan gejala fisis, seperti perubahan panjang komposit uji dari panjang awalnya menjadi panjang baru setelah uji tarik. Pengujian tarik menghasilkan patahan pada baja uji. Sifat mekanik suatu bahan dapat digambarkan dengan diagram yang menggambarkan hubungan antara tegangan (stress) dan strain (strain).

c. *Modulus Elastisitas*

Elastisitas adalah ukuran seberapa kaku suatu bahan pada grafik tegangan-regangan. Elastisitas pada sifat mekanis material adalah kecenderungan material untuk mengembalikan ukuran dan bentuk awalnya dengan massa yang tetap. Elastisitas sangat penting untuk semua struktur material yang memiliki beban yang dapat berubah dengan cepat. Elastisitas tersebut dapat dihitung dengan menghitung kemiringan kemiringan garis elastik yang linier. Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan (σ) dan regangan elastik (ε) (Putri Wirman, R., Ahmad Isnaini, V., Kartika, R., & Putra Wirman, S. 2023).

d. *Ketangguhan (Toughness)*

Kemampuan material untuk menyerap energi sampai patah disebut ketangguhannya. Pengujian dampak harus dilakukan untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Pengujian dampak yang dikenal adalah Charpy dan Izod.

e. *Kekerasan (Hardness)*

Pengujian kekerasan menilai kekerasan material. Untuk menguji kekerasan material, permukaan spesimen ditekan oleh suatu penekan atau indentor sampai terbentuk cekungan. Kekerasan bahan tersebut ditentukan oleh kedalaman cekungannya. Indentor dapat berbentuk bola atau kerucut yang terbuat dari bahan yang lebih keras daripada spesimen benda uji. (Daryus, 2019)

2.7 Jenis-jenis Pengujian dalam Pengelasan

Pengujian dalam pengelasan ada berbagai mana seperti uji tekan, uji lentur, dan uji tarik. Pengujian bahan bertujuan untuk memahami sifat-sifat mekanik bahan atau mendeteksi cacat yang mungkin ada pada bahan atau produk, sehingga pemilihan bahan yang tepat untuk suatu keperluan dapat dilakukan.

1. Pengujian Tekan

Tekanan dapat diartikan sebagai gaya tekan yang bekerja pada suatu satuan luas permukaan yang mengalami gaya tekan. Oleh karena itu, apabila sebuah gaya sebesar F yang bekerja pada sebuah bidang permukaan A (area), maka rumus dari tekanan adalah (Tipler, 1991)

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

σ = kuat tekan bahan, satuannya N/m^2

F = beban tekan maksimum (gaya tekan), satuannya N

A = luas bidang bahan, satuannya meter persegi (m^2)

2. Pengujian Lentur

Kuat lentur adalah besar kecilnya nilai tarik tidak langsung dari contoh yang dihasilkan dari beban contoh yang ditempatkan secara mendatar pada permukaan alas tekan mesin penekuk, atau juga didefinisikan sebagai hasil bagi antara momen lentur dan momen. inersia benda uji (Gunawan et al., 2014). Kekuatan lentur adalah kemampuan sampel yang didukung pada dua bantalan untuk menahan gaya yang diterapkan padanya tegak lurus terhadap sumbu sampel hingga sampel putus, yang dinyatakan sebagai gaya satuan dalam mega pascal (MPa).

3. Pengujian Tarik

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum atau tegangan maksimum suatu bahan (Ultimate Tensile Strength/ UTS). Setelah proses pengolahan data hasil pengujian tarik, kita juga dapat menentukan Tegangan Lumer (Yield Strength), Tegangan Putus (Fracture Strength), serta Regangan (Strain). Secara kasar, kita dapat menentukan apakah logam tersebut tergolong liat, keras, atau lunak dengan menganalisis grafik pengujian tarik yang telah terekam dan memperhatikan bekas patahan pada benda uji. (Affandi, 2013)

2.7.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah proses memberikan gaya tarik pada suatu bahan agar dapat mengetahui seberapa kuat bahan tersebut. Gaya tarik yang digunakan adalah gaya nyata yang diberikan dari luar atau perpanjangan yang terjadi pada benda yang diuji. Uji ini dilakukan dengan menarik benda uji secara terus-menerus menggunakan gaya tarik, sehingga bahan tersebut mengalami perpanjangan secara teratur hingga akhirnya putus. Tujuan dari uji tarik ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari bahan tersebut. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu

bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.15.

Hasil uji tarik menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi saat uji dilakukan. Mesin uji tarik digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari suatu material. Mesin ini terdiri dari beberapa komponen, seperti kerangka, mekanisme untuk menahannya, sistem penarik, serta alat pengukur. Uji tarik sering dilakukan untuk melengkapi informasi dasar mengenai kekuatan bahan dan sebagai data pendukung dalam menentukan spesifikasi bahan. Saat uji dilakukan, benda uji diberi beban dalam bentuk gaya tarik sepanjang sumbu yang bertambah secara bertahap. Selama proses uji, dilakukan pengamatan terhadap perubahan panjang yang dialami benda uji. Dalam pengujian tarik suatu spesimen atau material, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut:

1. Tegangan teknis (σ)

Tegangan yang diperoleh dari kurva tegangan teoritik adalah tegangan yang membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji itu.

$$\sigma = \frac{p}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

P = gaya yang diberikan pada benda uji

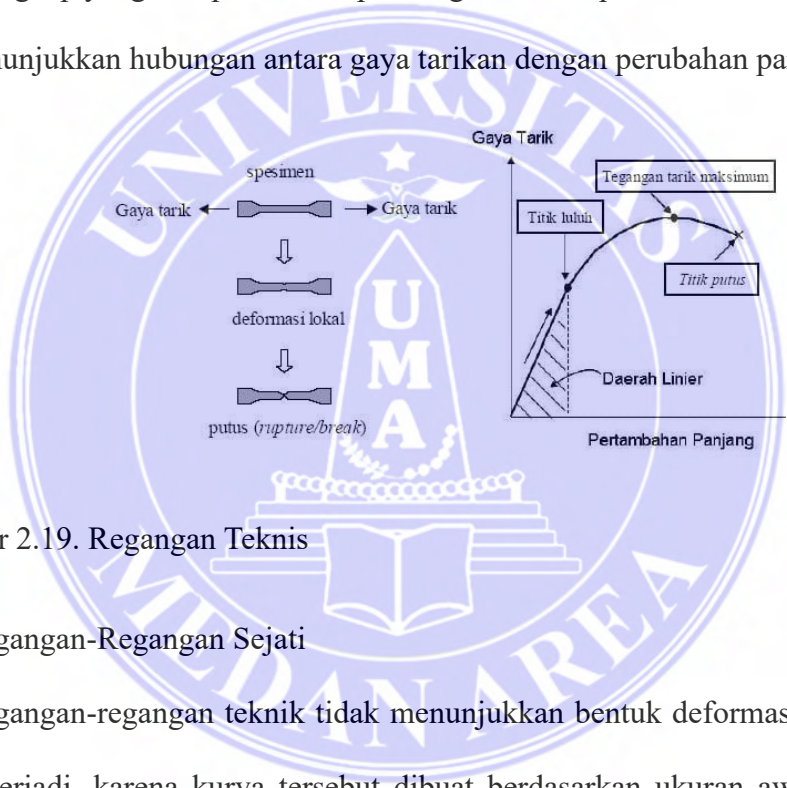
A₀= luas penampang awal benda uji (mm²)

2. Regangan teknis

Regangan yang didapatkan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan (gage length) benda uji, dengan panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Terus menarik suatu benda uji sampai putus, akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.16. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.

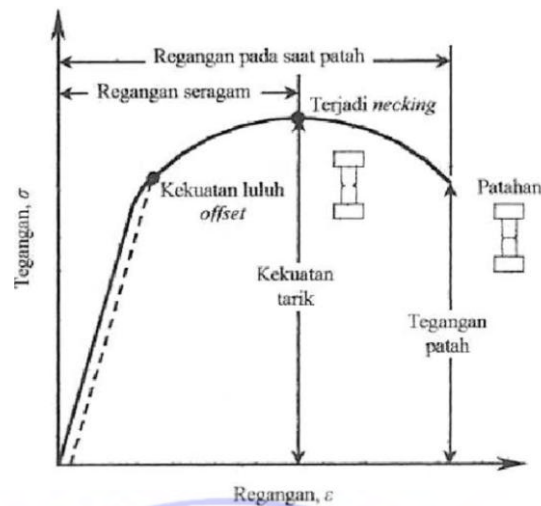


Gambar 2.19. Regangan Teknis

3. Tegangan-Regangan Sejati

Tegangan-regangan teknik tidak menunjukkan bentuk deformasi yang benar-benar terjadi, karena kurva tersebut dibuat berdasarkan ukuran awal benda uji, padahal selama pengujian ukuran benda uji itu sendiri mengalami perubahan.

Pada uji tarik logam, terjadi penyempitan saat beban mencapai nilai tertinggi. Pada tahap ini, luas penampang benda uji berkurang dengan cepat, sehingga beban yang diperlukan untuk melanjutkan peregangan akan berkurang cepat juga.



Gambar 2.20. Tegangan Regangan Sejati

Tegangan-regangan teknis dihitung berdasarkan ukuran awal (luas area dan panjang) benda uji, sedangkan untuk mendapatkan tegangan-regangan sejati, diperlukan ukuran aktual dari luas area dan panjang pada saat pembebanan terjadi. Perbedaan antara kedua kurva tidak terlalu besar pada regangan yang kecil, tetapi semakin nyata pada rentang terjadinya pengerasan regangan, yaitu setelah melewati titik luluh. Perbedaan tersebut menjadi sangat jelas pada daerah necking (pengecilan penampang). Dalam tegangan-regangan teknis, benda uji tampak mampu menahan penurunan beban karena luas area awal A_0 tetap konstan pada saat penghitungan tegangan $\sigma = P / A_0$. Sementara itu, dalam kurva tegangan-regangan sejati, luas area aktual terus berkurang hingga terjadi patah, dan benda uji tetap mampu menahan peningkatan tegangan karena $\sigma' = P / A_i$. Hubungan antara tegangan-regangan sejati dan teknis dapat dilihat melalui persamaan berikut:

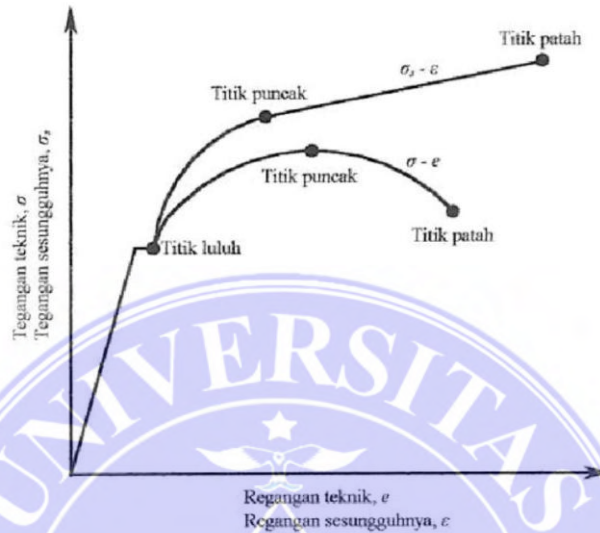
$$\sigma' = \sigma (1 + \epsilon), \text{ (Nm/mm}^2\text{)}$$

$$\epsilon' = \ln (1 + \epsilon), \text{ (\%)}$$

Dimana:

σ' = Tegangan sejati (Nm/mm²)

ϵ' = Regangan sejati (%)



Gambar 2.21. Kurva Tegangan dan Regangan

Berdasarkan Gambar 2.17. menjelaskan perbandingan nilai kurva tegangan dan regangan teknis dan sejati. Perbedaan nilai dimulai dari titik luluh ke titik puncak hingga material patah. Hal tersebut terjadi di daerah plastis material dimana daerah tersebut adalah daerah dimana material tidak dapat kembali ke bentuk semula.

4. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik maksimum adalah angka yang biasanya ditulis sebagai hasil uji tarik, tetapi sebenarnya angka ini tidak begitu penting dalam menentukan kekuatan bahan. Untuk logam lunak, kekuatan tarik harus dihubungkan dengan beban maksimum yang bisa ditahan oleh logam tersebut dalam kondisi yang sangat terbatas. Pada kondisi tegangan yang lebih rumit, kegunaan angka tersebut dalam menilai kekuatan logam sangat terbatas. Hal yang umum dilakukan adalah

merancang logam lunak berdasarkan kekuatan luluhnya. Namun karena lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan daya tahan bahan, maka metode ini lebih sering digunakan. Kekuatan tarik dihitung dengan membagi beban maksimum yang bisa ditahan oleh benda uji dengan luas penampang awalnya.

$$\sigma_y \frac{P_{max}}{A_0}, (N/mm^2) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

σ_u = Kekuatan Tarik Maksimum (N/mm²)

P_{maks} = Pembebanan Maksimum (N)

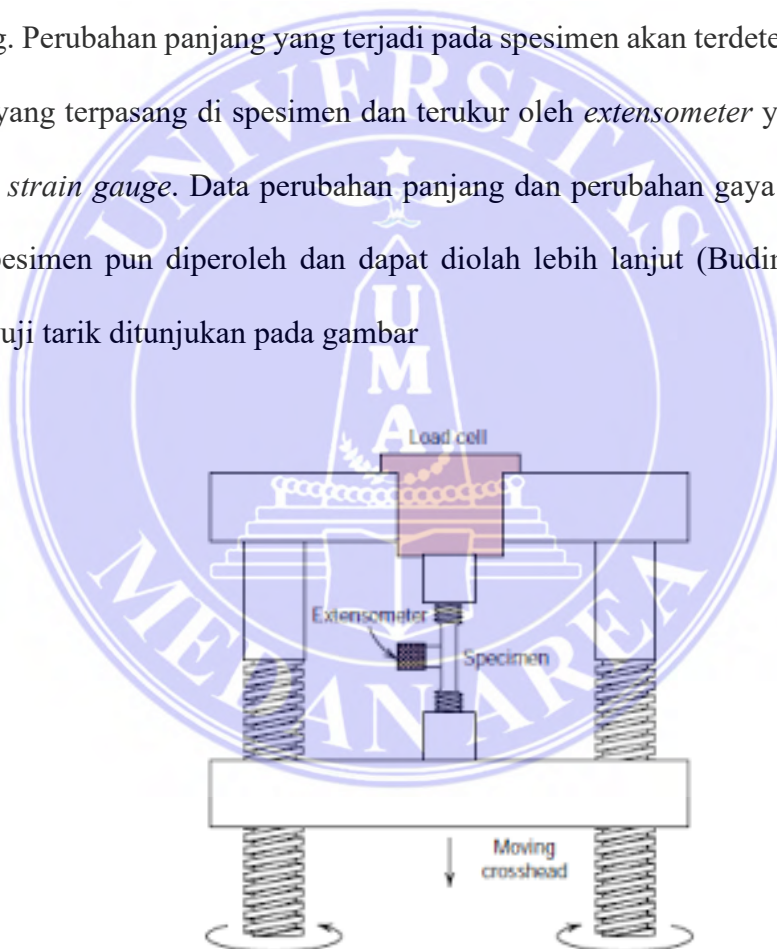
A_0 = Luas Penampang (mm²)

Korelasi empiris yang diperluas antara kekuatan tarik dengan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan dan kekuatan leleh, sering dipergunakan. Hubungan tersebut hanya terbatas pada hasil penelitian beberapa jenis material.

2.7.2 Skema Uji Tarik

Pada uji tarik, spesimen dipasang di mesin uji tarik dan terhubung ke *extensometer* melalui *strain gauge*. *Extensometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur perubahan panjang spesimen, sedangkan *strain gauge* berfungsi sebagai sensor. *Crosshead* bergerak, sehingga menyebabkan *load cell* bergerak pula. *Load cell* memberikan gaya dan menciptakan tegangan tarik pada spesimen. Spesimen yang mengalami tegangan tarik akan mengalami perubahan panjang. Perubahan panjang tersebut akan dideteksi oleh *strain gauge* yang dipasang pada spesimen, kemudian diukur oleh *extensometer* yang terhubung dengan *strain gauge*. Data mengenai perubahan panjang dan perubahan gaya diterima oleh spesimen sesuai

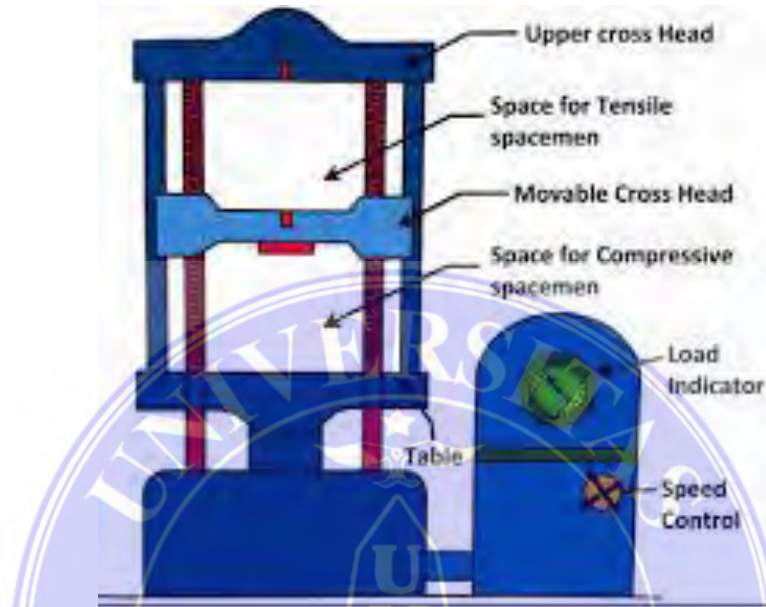
dengan standar yang berlaku. Hasil dari uji tersebut diperoleh, dan perubahan gaya yang diterima oleh spesimen berasal dari uji tarik itu sendiri. Spesimen dipasang pada mesin uji tarik dan terhubung ke *extensometer* melalui strain gauge. *Extensometer* adalah alat yang mengukur perubahan panjang spesimen dengan strain gauge sebagai sensor. *Crosshead* bergerak, sehingga membuat *load cell* bergerak. *Load cell* memberikan gaya dan menimbulkan tegangan tarik pada spesimen. Spesimen yang menerima tegangan tarik akan mengalami perubahan panjang. Perubahan panjang yang terjadi pada spesimen akan terdeteksi oleh *strain gauge* yang terpasang di spesimen dan terukur oleh *extensometer* yang terhubung dengan *strain gauge*. Data perubahan panjang dan perubahan gaya yang diterima oleh spesimen pun diperoleh dan dapat diolah lebih lanjut (Budiman H, 2016). Skema uji tarik ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.22. Skema pengujian tarik

2.7.3 Komponen-Komponen Uji Tarik

Pada mesin uji tarik memiliki komponen-komponen yang memiliki fungsinya masing-masing.



Gambar 2.23. Komponen pada mesin pengujian tarik

a. *Upper Cross Head*

Upper cross hand merupakan bagian atas dari mesin UTM, pada bagian ini terdapat pencekam atau grip untuk menahan material ketika ditarik bagian ini juga dapat bergerak naik dan turun menyesuaikan dari kebutuhan.

b. Jarak Untuk Spesimen Uji Tarik

Jarak ini digunakan sebagai tempat spesimen uji tarik, panjang jarak ini menyesuaikan dari panjang material uji tarik. Walaupun sudah ditentukan olah standart atau kode minimal panjang spesimen uji tarik namun panjang dari spesimen yang akan diuji dari pihak pelanggan terkadang berbeda-beda.

c. *Movable cross head*

Movable cross head adalah bagian yang bisa digeser ke atas atau ke bawah sesuai dengan panjang spesimen. Bagian atas digunakan untuk menahan spesimen, sedangkan bagian bawah digunakan untuk menahan *dril* saat melakukan uji *bending*.

d. Meja

Meja ini digunakan sebagai peletakan mataras uji banding jadi harus dipastikan meja ini sangat kuat dan sanggup untuk menahan tekanan saat uji bending dilakukan.

e. Indikator Beban

Besar beban yang kita berikan dari load indicator dapat diketahui, untuk jenis indikator beban ini bervariasi ada yang sudah digital dan juga ada yang masih analog tergantung dari mesinnya.

f. Speed Control

Speed control berfungsi dalam mengatur kecepatan penurunan dan kecepatan saat mengangkat mesin pengecam.

g. Komputer

Mesin UTM terbaru biasanya sudah dilengkapi dengan 1 set komputer lengkap dengan printer untuk mencetak hasil pengujian. Jadi dalam komputer tersebut terdapat *software* yang sudah terinstal dan *connect* dengan mesin UTM.

h. Extensometer

Extensometer digunakan untuk mengukur perubahan panjang material saat uji tarik berlangsung

i. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan dalam pengukuran material.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dari September 2024 dengan persiapan penelitian dan berakhir di bulan Maret 2025 dengan sidang skripsi. Adapun jadwal seperti yang dijelaskan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal penelitian

| Aktifitas | 2024 | | | | | 2025 | | | |
|-------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | Okt | Nov | Des | Jan | Feb | mei | Apr | ags | okt |
| Pengajuan Judul | | | | | | | | | |
| Penulisan Proposal | | | | | | | | | |
| Seminar Proposal | | | | | | | | | |
| Pembuatan spesimen | | | | | | | | | |
| Pengujian tarik | | | | | | | | | |
| Pengolahan data | | | | | | | | | |
| Seminar Hasil | | | | | | | | | |
| Evaluasi dan Persiapan sidang | | | | | | | | | |

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Labolatorium Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang beralamat di Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate / Jalan Gedung PBSI, Medan 20223.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam analisis kekuatan uji tarik hasil cetakan 3D printer adalah elektroda las MIG dengan tipe E71T-GS berdiameter 0,8mm dengan titik lelehnya berkisar antara 1535°C hasil pengelasan dari elektroda tersebut kemudian spesimen akan di uji tarik



Gambar 3.1. Wire las MIG.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian analisis uji tarik mesin 3D printer dengan bahan logam adalah sebagai berikut:

a. Mesin 3D printer

Mesin 3D printer adalah alat yang akan digabungkan dengan mesin las MIG yang akan menghasilkan hasil 3D printer berbahan logam.



Gambar 3.2. Mesin 3D printer

b. Mesin Las MIG

Mesin Las MIG adalah alat yang akan digunakan untuk menggantikan mesin 3D printer dari bahan plastik menjadi bahan logam



Gambar 3.3. Mesin Las MIG

c. Mesin Uji tarik

Mesin uji tarik adalah alat yang sangat penting dalam analisis kekuatan tarik hasil cetakan 3D printer berbahan logam ini.



Gambar 3.4. Alat Uji Tarik

d. Mesin Sekrap

Mesin Sekrap digunakan sebagai alat pembentuk spesimen atau benda kerja agar sesuai dengan standar yang digunakan.



Gambar 3.5 Mesin Sekrap

e. Jangka Sorong

Jangka sorong atau caliper adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi luar, dalam, dan kedalaman objek dengan tingkat presisi tinggi.

Biasanya terbuat dari logam, jangka sorong memiliki skala yang diukur dalam milimeter.



Gambar 3.6. Jangka Sorong Digital

3.3 Metode Penelitian

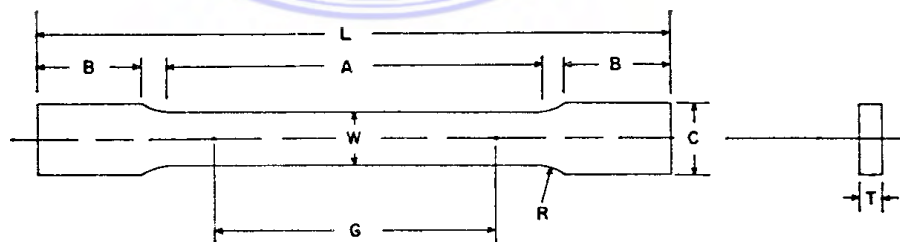
Penelitian merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mencari, mencatat, menganalisis dan menyusun laporan hasil. Penelitian ialah sebuah upaya atau usaha yang dilakukan untuk menjawab setiap pertanyaan dan memecahkan masalah yang ada. Metodologi penelitian merupakan serangkaian tata cara yang digunakan untuk memperoleh pengetahuan ilmiah (Renggo, 2022).

Metode penelitian dalam analisis kekuatan tarik hasil pencetakan 3D printer dengan bahan logam dilakukan dengan cara kuantitatif, yaitu melalui pengamatan secara langsung, pengumpulan data serta analisis data yang dilakukan secara langsung pada mesin uji tarik menganalisis dan mengobservasi hasil pencetakan 3D printing berbahan logam dengan menggunakan las mig dengan standart spesimen pengujian yang ada. Metode eksperimental ini melibatkan pengukuran yang objektif dan penggunaan data numerik untuk menentukan hasil dari pengujian tarik

spesimen 3d printing yang dilakukan sesuai dengan judul penelitian, sumber – sumber buku dan literatur ataupun jurnal pendukung lainnya yang saling berkaitan untuk memberikan informas yang di perlukan dan pengujian ini dilakukan dengan standar ASTM A370-07a.

Alur penelitian yang di lakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pertama dilakukan studi literatur dengan dosen pembimbing untuk menentukan alat dan bahan yang di perlukan.
2. Selanjutnya pembuatan spesimen menggunakan mesin 3d printer berbahan logam yaitu menggunakan las mig sebagai pencetak spesimen uji tarik.
3. Pembuatan spesimen uji tarik yaitu menggunakan beberapa tingkat ampere yaitu 70, 80, dan 90 ampere.
4. Setelah benda uji di cetak di biarkan beberapa saat hingga spesimen uji tarik dingin atau mencapai suhu ruangan.
5. Pengujian spesimen yang di lakukan pada beberapa tingkat kekuatan.
6. Perhitungan hasil uji tarik pencetakan mesin 3d printer berbahan logam.



Sumber : ASTM Internatuinal ASTM A370-07a

Gambar 3.7. Gambar Spesimen

3.4 Populasi dan Sampel

Populasi ialah keseluruhan objek penelitian yang terdiri dari manusia, benda-benda, hewan, tumbuh-tumbuhan, gejala-gejala, nilai tes, atau peristiwa-peristiwa sebagai sumber data yang memiliki karakteristik tertentu di dalam suatu penelitian (Renggo dkk, 2022). Populasi penelitian ini merupakan seluruh spesimen hasil pencetakan 3D printer berbahan logam dan memiliki karakteristik dan spesifikasi yang sama.

Sedangkan Sampel adalah sebagian anggota populasi yang diambil dengan menggunakan teknik pengambilan sampling (Renggo dkk, 2022). Sampel yang digunakan dalam penelitian ini ialah beberapa spesimen uji tarik yang diambil dari populasi hasil pencetakan 3D printer berbahan logam tersebut. Setiap sampel harus memenuhstandar spesimen uji tarik ASTM A370-07a.

Dalam penelitian populasi yang digunakan adalah hasil pengelasan mesin 3D printer yang akan diujikan spesimen uji tarik, sebanyak 3 spesimen dengan variasi ampere yang berbeda yaitu 70, 80, dan 90 Ampere dan dengan. Adapun populasi spesimen dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.2. Populasi dan sampel

| No | Material | Panjang (mm) | Lebar (w) (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Kuat Arus (Ampere) | Jumlah |
|----|-------------|-----------------|-------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------|
| 1 | Bahan Logam | 200 | 12,5 | 20 | 6 | 70 | 3 |
| 2 | Bahan Logam | 200 | 12,5 | 20 | 6 | 80 | 3 |
| 3 | Bahan Logam | 200 | 12,5 | 20 | 6 | 90 | 3 |

3.5 Prosedur Kerja

Ada 4 tahap pada prosedur pelaksanaan penelitian untuk mendapatkan data yang akurat dan logis. Adapun tahapan prosedur sebagai berikut:

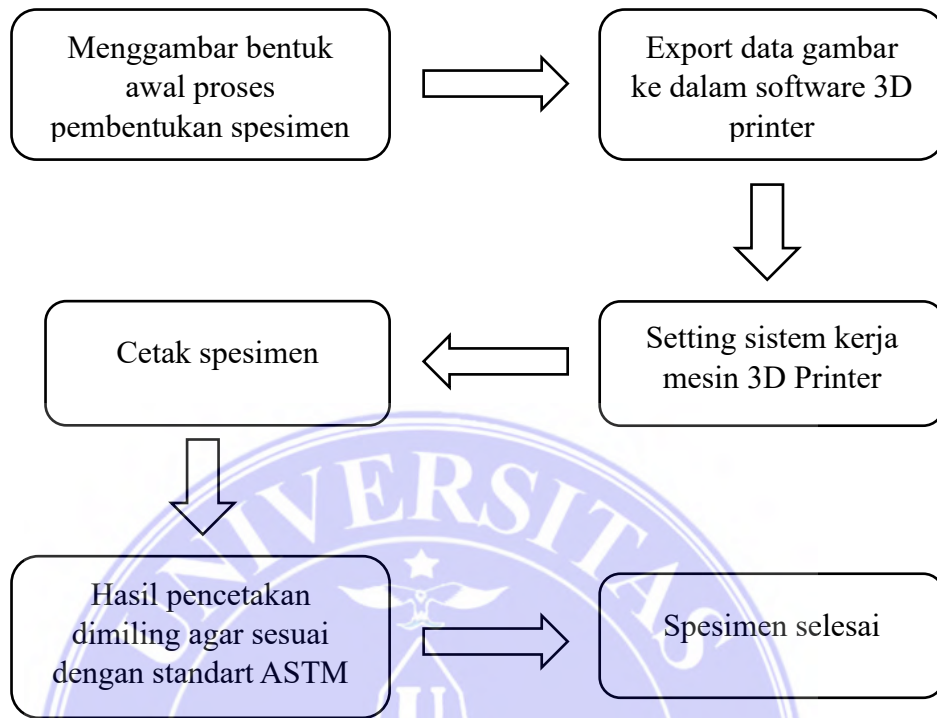
1. Mempersiapkan alat dan bahan untuk melaksanakan percobaan dan pengambilan data.
2. Melakukan pengoperasian.
3. Meletakkan komponen yang sudah tersusun dengan tempat yang sudah disesuaikan pada mesin uji tarik.
4. Analisis data yaitu Pengambilan data dilakukan pada saat di mulai pengujian tarik. saat mesin melakukan tarikan akan muncul data hasil penarikan di layar kompuer, perhatikan sampai spesimen uji hingga patah atau putus.

Adapun Pada proses pembuatan spesimen uji tarik sesuai standart ASTM A370-07a berikut merupakan gambar langkah langkah ditunjukkan pada gambar

1. Menggambar bentuk awal proses pembentukan spesimen
2. Export data gambar ke dalam software 3D printer
3. Setting sistem kerja mesin 3D Printer dan cetak Spesimen
4. Hasil pencetakan di rapikan dengan mesin milling agar sesuai dengan standart

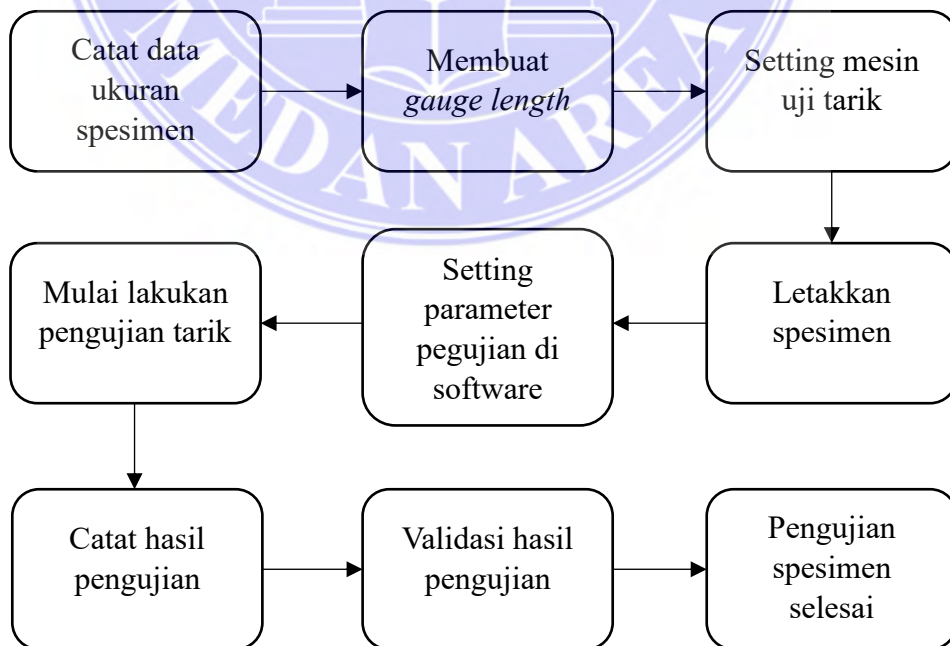
ASTM A370-07a

Proses pembuatan spesimen



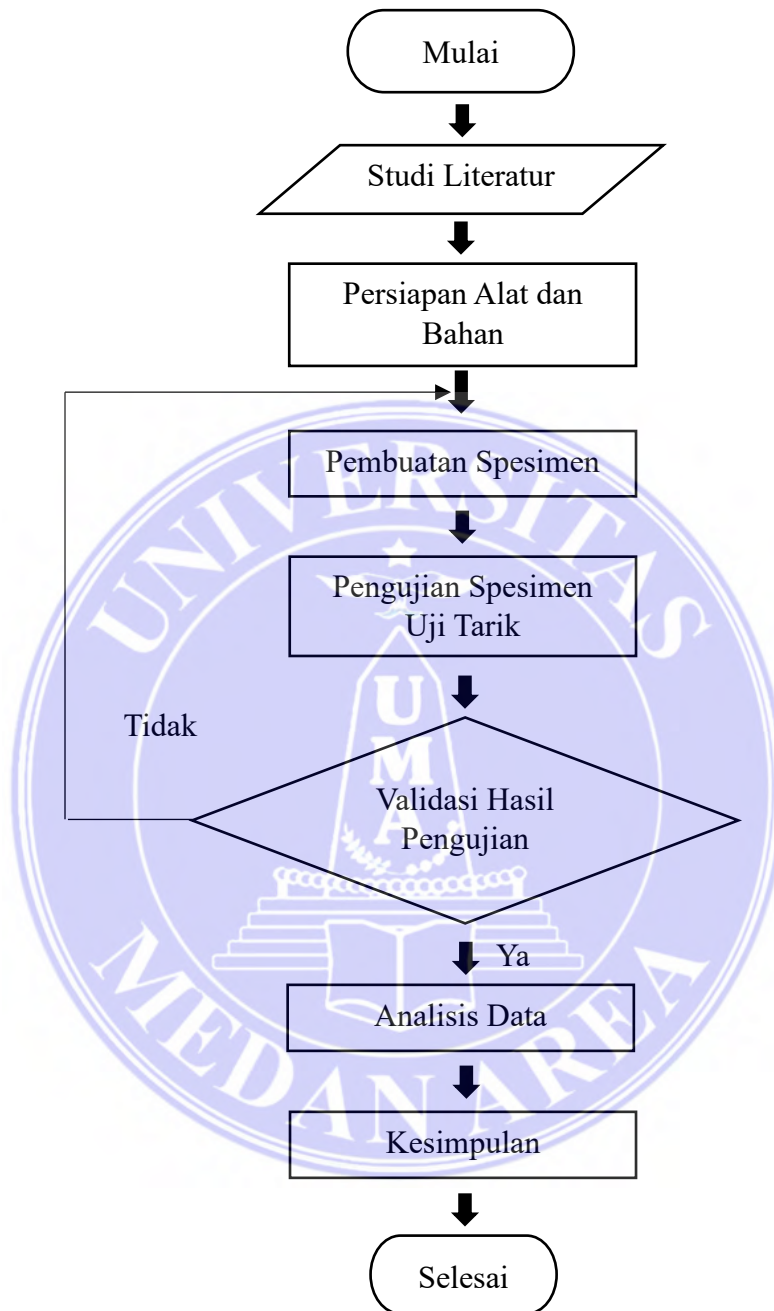
Gambar 3.8. Diagram Alir Prosedur Pembuatan Spesimen.

Proses pengujian spesimen



Gambar 3.9. Diagram Alir Proses Pengujian Tarik.

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.10. Diagram alir penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil uji tarik spesimen pencetakan 3d printer berbahan logam dengan variasi ampere dapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen uji tarik menggunakan teknologi 3D printing dengan bahan logam melalui modifikasi mesin 3D printer yang dilengkapi sistem pengelasan MIG telah berhasil dilakukan. Spesimen dibuat dengan menggunakan kawat las MIG tipe E71T-GS dan mengikuti standar ASTM A370-07a. Proses pembuatan melibatkan beberapa tahapan pascacetak termasuk pembubutan dan penyekrapan untuk memastikan dimensi spesimen sesuai dengan standar yang ditetapkan.
2. Pengujian tarik terhadap spesimen hasil pencetakan 3D printer berbahan logam telah berhasil dilaksanakan menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Pengujian dilakukan dengan tiga variasi parameter ampere pengelasan yaitu 70A, 80A, dan 90A, dengan masing-masing variasi dibuat 3 spesimen untuk memastikan validitas data. Semua spesimen berhasil diuji hingga mengalami kegagalan (patah), sehingga data kekuatan tarik maksimum dan regangan dapat diperoleh dengan lengkap.
3. Analisis kekuatan tarik menunjukkan bahwa peningkatan ampere pengelasan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik material. Hasil menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang konsisten seiring dengan peningkatan ampere: ampere 70A menghasilkan kekuatan tarik rata-rata 275,0 MPa, ampere 80A

mencapai 438,9 MPa, dan ampere 90A mencapai 463,7 MPa. Peningkatan ampere dari 70A ke 90A menghasilkan peningkatan kekuatan tarik sebesar 68,6%. Fenomena ini disebabkan oleh input energi yang lebih tinggi selama proses printing yang menghasilkan ikatan antar layer yang lebih kuat dan struktur material yang lebih padat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dapat mempelajari kekuatan hasil pengelasan menggunakan mesin 3D printer dengan bahan logam
2. Untuk penelitian berikutnya, diharapkan bisa dikembangkan dengan variasi yang berbeda agar terciptanya penelitian yang baru.
3. Untuk peneliti selanjutnya disarankan dengan uji yang berbeda seperti menguji mikro strukturnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, A. Y. (2013). Pengujian Bahan. Bintang Konsultan, 1–4. Bintang Konsultan
- Alip, M. (1989). Teori dan Praktik Las, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan
- Amri, A. A., & Sumbodo, W. (2018). Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 110-115.
- Andre, S. (2017). Karakteristik hasil pengelasan oxy asetilin welding (OAW). *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 4(1), 20-24.
- Arthaya, B., & Fransiscus, H. (2015). Eksplorasi Kemampuan dan Kapasitas Mesin 3D Printing dalam Pengembangan Modul Rakitan dan Komponen UJi. Bandung: LPPM UNPAR.
- ASTM International. (2007). Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products (ASTM A370-07a). ASTM International.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D Printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Bussiner horison*, 677-788.
- Berman. B. (2012). 3D Printing: The New Industrial Revolution. *Business Horizon* Vol.55, Hal 155-162. USA. Kelley School Of Business Indiana University.
- Budyanto, E. (2020). Pengujian Material. Lampung: Laduny Alifatama
- Budiman H, 2016. Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja ST37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell, *Jurnal J-Ensitem*, Vol 03 No.01
- Daryus, A. (2019). Diktat Kuliah Material Teknik. *Teknik Mesin UNSADA*, 156.
- Deni Andriyansyah, Sriyanto, Agus Jamaldi. (2021). “Perancangan Dan Pembuatan Mesin 3D Printer Tipe Cantilever”
- Genculu, Semih, 2007. Structural Steel Welding. Dakota: PDH Center
- Gunawan, A. (2018, Juli 24). Pengelasan SMAW listrik. *Academia.edu*.
- Gunawan, P., Budi, A. S., & Wicaksono, K. D. (2014). Kuat Lentur, Toughness, Dan Stiffness Pada Beton Ringan. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 109–116.
- H.I. Medellin-Castillo, J. Zaragoza-Siqueiros. (2019). “Design and Manufacturing Strategies for Fused Deposition Modelling in Additive Manufacturing: A Review,” *Chin J. Mech. Eng.* ,vol. 32.

- Hasdiansah & Herianto. (2018). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk yang dihasilkan. Seminar Nasional Inovasi Teknologi. Prosiding SEMNAS INOTEK, Vol. 02, No. 1 (pp 187± 192). Kediri: Innovation of Green Technology for Smart City- UN PGRI Kediri.
- J. Faludi, C. Bayley, S. Bhogal, M. Iribarne. (2015). "Comparing Environmental Impacts of Additive Manufacturing vs. Traditional Machining via Life-Cycle Assessment," *Rapid Prototyping. J.*, vol21, pp. 14–33.
- Jain, P., and Kuthe, A. M. (2013). Feasibility Study of Manufacturing Using Prototyping: FDM Approach, Elsevier, Volume 63, Pages 4-11.
- Kristanto, A. (2010). *Material Teknik*. Yogyakarta: Universitas Ahmad dahlan
- Mauliza, A., Usman, U., & Saifuddin, S. (2022). Analysis of the effect of current on tensile strength of aisi 1050 material in the SMAW welding process. *Journal of Welding Technology*, 4(1), 22–26.
- Mulyanto, F. D. W. I. (2022). Rancang bangun 3d printer dengan mekanikal corexy menggunakan kontroler arduino mega 2560 dengan firmware marlin skripsi.
- Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., and Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. *Composite Part B: Engineering ScienceDirect*, Volume 143, pages 172-196.
- Putri Wirman, R., Ahmad Isnaini, V., Kartika, R., & Putra Wirman, S. (2023). Rancang bangun alat ukur modulus elastisitas material dengan menggunakan sensor force gauge dan video tracker. *Journal Online of Physics*, 8(2), 61-65.
- PowerWeld Inc. (2016). Safety Data Sheet: E71T-G1 (Melting Point: 1535 °C). PowerWeld Inc.
- Prasetya, A. (2017). Pengaruh debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 9(1)
- Pristiansyah, & Herianto. (2018). Pengaruh Parameter 3D Printing Terhadap Transparansi Produk yang Dihasilkan. Seminar Nasional Inovasi Teknologi. Kediri: UN PGRI.
- Rafe'i, A. (2011). Laporan praktikum material teknik uji tarik. *Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*.
- Renggo, Y. R., & Kom, S. (2022). Populasi Dan Sampel Kuantitatif. *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan Kombinasi*, 43.

- Samlawi, A.K., & Rudi, S. (2016). *Material Teknik*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat
- Saputra, Tri Hannanto, Herianto, H., & Pamasaria, Herda Agus. (2019). *Analisa Pengaruh Pemilihan Komponen terhadap Ketelitian Dimensi dan Kualitas Permukaan Produk pada Mesin 3D Printing Jenis FDM (Fused Deposition Modelling)*. IENACO (Industrial Engineering National Conference) 7 2019.
- Seprianto, D., Wilza, R., & Iskandar. (2017). *Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3D Printing Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri*. Seminar Nasional Teknik Industri UGM. Yogyakarta.
- Siswanto. (2011). *Konsep Dasar Teknik Las Untuk SMK Teori Dan Praktek*. Jakarta
- Sugiyono. (2019). *Metodologi penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sulayman, D., Waluyo F, B., & Sugito, B. (2015). *Pengaruh Suhu dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D*. Surakarta.



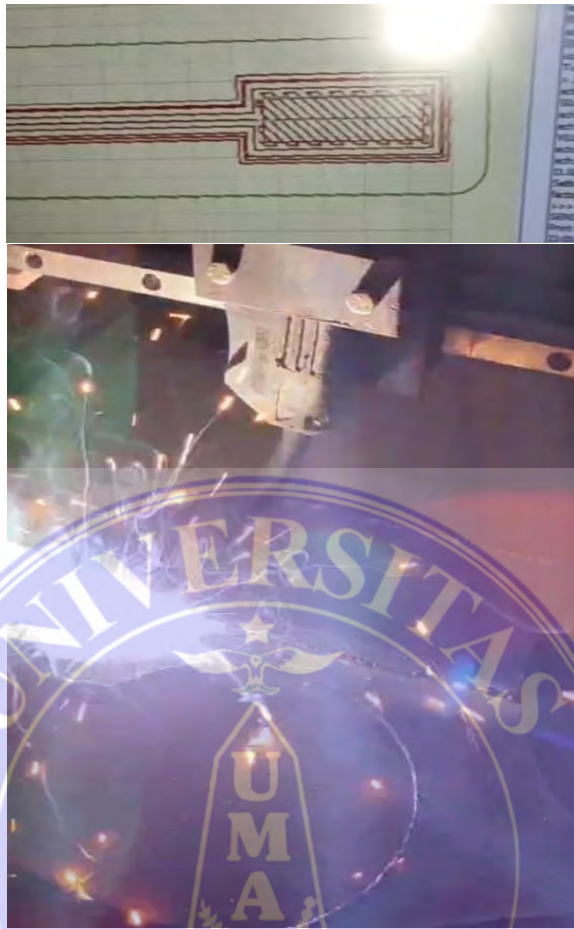
LAMPIRAN



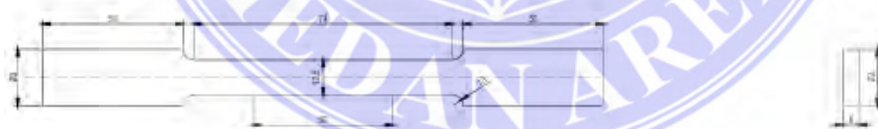
Lampiran 1. Spesimen sebelum pengujian



Lampiran 2. Spesimen saat melakukan pengujian



Lampiran 3. Proses pembuatan spesimen




Lampiran 4. Gambar AutoCAD spesimen

DATA HASIL PENGUJIAN TARIK BAHAN CARBON STEEL

Nama : ARI RAMADHAN
NIM : 218130064
Judul : ANALISIS KEKUATAN TARIK HASIL PENCETAKAN 3D PRINTER DENGAN BAHAN LOGAM

| No | Bahan | Ampere | Tebal (mm) | F (kg) | l_0 (mm) | l_{max} (mm) | Δl (mm) |
|----|-------------|--------|------------|--------|------------|----------------|-----------------|
| 1 | | 70 | | 1600 | | 76,1 | 1,1 |
| 2 | Bahan Logam | 70 | 6 | 2100 | 75 | 76,3 | 1,3 |
| 3 | | 70 | | 2610 | | 76,7 | 1,7 |
| 4 | | 80 | | 3290 | | 77,8 | 2,8 |
| 5 | Bahan Logam | 80 | 6 | 3330 | 75 | 78,6 | 3,6 |
| 6 | | 80 | | 3450 | | 79,8 | 4,8 |
| 7 | | 90 | | 3490 | | 77,2 | 2,2 |
| 8 | Bahan Logam | 90 | 6 | 3550 | 75 | 76,3 | 1,3 |
| 9 | | 90 | | 3600 | | 75,8 | 0,8 |

Medan, Agustus 2025
L20 Pengujian bahan

M. Fathahillah

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian Spesimen