ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW DAN PWHT TERHADAP KEKUATAN BENDING PADA BAJA ASTM A36

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata Satu

Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas IBA Palembang

Disusun oleh :

RENO ADI PURNOMO

22 32 0003

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITA IBA

PALEMBANG

2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Reno Adi Purnomo

NPM : 22 32 0003

Judul : Analisis pengaruh variasi arus pengelasan SMAW dan PWHT terhadap kekuatan bending pada baja ASTM A36

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Skripsi ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas IBA.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Palembang,



Reno Adi Purnomo
22 32 0003

ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW DAN PWHT TERHADAP KEKUATAN BENDING PADA BAJA ASTM A36

SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata Satu

Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas IBA Palembang

Menyetujui,

Dekan Fakultas Teknik	**Ketua Program Studi Teknik Mesin**
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA	
Dr. Ir. Hardiyani Haruno, MT	**Reny Afriany, ST., M.Eng.**
NIK. 03 24 514	**NIK. 02 05 171**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

AGENDA NO :
DITERIMA TGL :
PARAF :

ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW DAN PWHT TERHADAP KEKUATAN BENDING PADA BAJA ASTM A36

NAMA : Reno Adi Purnomo

NPM : 22 32 0003

SPESIFIKASI : a) Pengelasan SMAW
b) Standar Uji ASTM E290
c) PWHT Baja ASTM A36

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Reny Afriany, ST, M.Eng.

NIK : 02 05 171

Pembimbin Pendamping

Dr. Arie YudhaBudiman, ST., MT.

NIK : 03 24 508

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Reny Afriany, ST, M.Eng.

NIK : 02 05 171

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini dengan judul	: Analisis Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW dan PWHT Terhadap Kekuatan Bending Pada Baja ASTM A36
Penyusun	: Reno Adi Purnomo
NPM	: 22 32 0003
Program Studi	: Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana (ujian komprehensip) dan diterima sebagai bagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA.

TIM PENGUJI

Ketua	: Reny Afriany, ST., M.Eng	( )
Anggota	: 1. Dr. Arie Yudha Budiman, ST., MT	( )
	2. Yeny Pusvyta, ST., MT	( )
	3. Muhammad Nur, ST., M.Log	( )

Ditetapkan di : Palembang

Tanggal :

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Jangan berhenti menjadi baik,
meski namamu tidak selalu baik dalam cerita orang lain"

PERSEMBAHAN

"Dengan penuh rasa syukur, skripsi ini saya persembahkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesehatan, serta kemudahan dalam setiap proses hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Kepada kedua orang tua tercinta, yang senantiasa menyertai setiap langkah penulis dengan doa, kasih sayang, dukungan, dan kerja keras yang tiada mengenal lelah. Terima kasih atas setiap pengorbanan dan ketulusan yang telah menjadi sumber kekuatan serta motivasi bagi penulis dalam menjalani setiap proses hingga akhirnya mampu menyelesaikan studi ini".

ABSTRAK

Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan salah satu metode penyambungan logam yang banyak digunakan pada konstruksi baja. Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh berbagai parameter, di antaranya besar arus pengelasan dan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan SMAW dan perlakuan PWHT terhadap kekuatan bending sambungan las pada baja ASTM A36. Metode penelitian menggunakan material baja ASTM A36 berukuran 150 mm × 20 mm × 10 mm yang dilas menggunakan proses SMAW posisi 1G dengan elektroda E7018 diameter 3,2 mm dan variasi arus 115 A, 125 A, dan 135 A. Penelitian menggunakan 6 spesimen, yang terdiri 3 spesimen dengan perlakuan Post Weeld Heat Treatment (PWHT) pada suhu 500°C selama penahanan30 menit, dan 3 spesimen Non-PWHT . Pengujian kekuatan bending dilakukan menggunakan metode three point bending sesuai standar ASTM E290. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan PWHT memberikan nilai kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa PWHT pada seluruh variasi arus. Nilai tegangan bending tertinggi diperoleh pada spesimen dengan perlakuan PWHT pada arus 125 A sebesar 3.090,15 N/mm², sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen tanpa PWHT pada arus 115 A dan 125 A sebesar 2.372,79 N/mm². Peningkatan kekuatan bending pada spesimen PWHT terjadi karena proses perlakuan panas mampu mengurangi tegangan sisa (*residual stress*) serta memperbaiki struktur mikro pada daerah las dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi arus pengelasan SMAW dan perlakuan PWHT berpengaruh terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36. Kombinasi arus pengelasan 125 A dengan perlakuan PWHT pada suhu 500°C merupakan kondisi paling optimal dalam menghasilkan kekuatan bending sambungan las.

Kata Kunci : SMAW, PWHT, ASTM A36, Arus Pengelasan, Uji Bending

ABSTRACT

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is one of the most widely used methods for joining metals in steel construction. The quality of welded joints is influenced by various parameters, including welding current and *Post-Weld Heat Treatment* (PWHT). This study aims to determine the effect of variations in SMAW welding current and PWHT on the bending strength of welded joints in ASTM A36 steel. The research was conducted using ASTM A36 steel specimens with dimensions of 150 mm × 20 mm × 10 mm, welded using the SMAW process in the 1G position with E7018 electrodes having a diameter of 3.2 mm and welding current variations of 115 A, 125 A, and 135 A. A total of six specimens were used, consisting of three specimens subjected to PWHT at a temperature of 500°C with a holding time of 30 minutes and three specimens without PWHT (Non-PWHT). Bending strength testing was performed using the three-point bending method in accordance with the ASTM E290 standard. The results showed that the PWHT treatment produced higher bending strength values than the specimens without PWHT at all welding current variations. The highest bending stress was obtained from the specimen subjected to PWHT at a welding current of 125 A, with a value of 3,090.15 N/mm², while the lowest value was obtained from the Non-PWHT specimens at welding currents of 115 A and 125 A, with a value of 2,372.79 N/mm². The increase in bending strength of the PWHT specimens was attributed to the heat treatment process, which reduced residual stress and improved the microstructure in the weld metal and *Heat Affected Zone* (HAZ). Based on the results, it can be concluded that variations in SMAW welding current and PWHT treatment affect the bending strength of ASTM A36 steel welded joints. The combination of a welding current of 125 A and PWHT at 500°C was found to be the most optimal condition for achieving the highest bending strength of the welded joint.

Keywords: SMAW, PWHT, ASTM A36, Welding Current, Bending Test

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul. “Pengaruh Variasi Arus dan PWHT Pengelasan Baja ASTM A36 Terhadap Kekuatan Bending”

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir perkuliahan dan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana 1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Hardayani, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA
2. Reny Afriany, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan serta bantuan untuk menyelesaikan skripsi ini
3. Dr. Arie Yudha Budiman, ST., MT. Selaku Wakil Dekan 1 dan Dosen Pembimbing II yang telah memberi arahan dan bantuan untuk menyelesaikan skripsi ini
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas IBA yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
5. Kedua Orang Tua, Bapak Ramison dan Ibu Sofiah yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan dalam menempuh pendidikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Kakak M.Rian Irawan yang memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Putri Angga Yani, yang selalu memberikan dan semanggat selama penulis menyusun skripsi ini.
8. Teman-teman dari Program Studi Teknik Mesin IBA Palembang atas dukungan dan kerja samanya selama menempuh pendidikan serta penyelesaian penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca pada umumnya.

Palembang,

Reno Adi Purnomo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ii

HALAMAN PENGESAHAN iii

HALAMAN AGENDA iv

HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI v

ABSTRAK vi

KATA PENGANTAR ix

DAFTAR ISI xi

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR TABEL xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah.....3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian.....4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Pengelasan 5

2.2 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) 6

2.3 Baja 7

2.4 Baja Karbon 8

2.4.1 Baja Karbon Rendah 8

2.4.2 Baja Karbon Sedang 9

2.4.3 Baja Karbon Tinggi 9

2.5 Baja ASTM A36 9
2.6 Posisi Pengelasan 11
2.7 Besar Arus Listrik 14
2.8 Elektroda.....14
2.9 Diagram Fasa Baja Karbon (Fe-C) 16
2.10 Perlakuan Panas *(Heat Treatment)* 19
2.10.1 Jenis-Jenis *Heat Treatment* 19
2.11 *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) 21
2.12 Uji Kekuatan Bending 23
2.12.1 *Transversal* Bending.....24
2.12.2 *Longitudinal* Bending.....26
BAB III METODE PENELITIAN 28
3.1 Diagram Alir 29
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian 29
3.3 Alat Dan Bahan 29
3.3.1 Alat 29
3.3.2 Bahan 33
3.4 Variabel Penelitian 34
3.4.1 Variabel Bebas 34
3.4.2 Variabel Terikat 34
3.4.3 Variabel Kontrol 34
3.5 Ukuran Spesimen.....34
3.6 Proses Pelaksanaan Penelitian 35
3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji Bending 35
3.6.2 Proses Pengelasan Benda 35
3.6.3 Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT).....36
3.6.4 Pengujian Bending 37
3.7 Teknik Pengumpulan Data 38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHSAN.....39
4.1 Hasil Uji Bending.....39
4.2 Pengolahan dan Hasil Pengujian Bending.....40
4.3 Pembahasan.....41
BAB V KESIMPULAN.....47
5.1 Kesimpulan.....47
5.2 Saran.....48
DAFTAR PUSTAKA.....49
LAMPIRAN.....52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Daerah Lasan 5
Gambar 2.2 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) 7
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G 12
Gambar 2.4 posisi Pengelasan 2G.....13
Gambar 2.5 posisi Pengelasan 3G.....13
Gambar 2.6 Posisi pengelasan 4G.....14
Gambar 2.7 Spesifikasi Elektroda.....16
Gambar 2.8 Diagram Fasa Baja Karbon 17
Gambar 2.9 Proses Thermal PWHT 22
Gambar 2.10 Mesin Uji Bending 24
Gambar 2.11 *Face Bend* pada *Transversal* Bending.....25
Gambar 2.12 *Root Bend* pada *Transversal* Bending 25
Gambar 2.13 *Side Bend* pada *transversal* bending 26
Gambar 2.14 *Face* Bending *Longitudinal* bending.....27
Gambar 2.15 *Root* Bending *Longitudinal* Bending 27
Gambar 3.1 Diagram alir.....28
Gambar 3.2 Mesin Las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW).....30
Gambar 3.3 Gerinda 30
Gambar 3.4 Ragum 31
Gambar 3.5 Amplas.....31
Gambar 3.6 Alat Pelindung Diri Pengelasan.....32
Gambar 3.7 Tungku *Heat Treatment*.....32
Gambar 3.8 Mesin Uji Bending Tipe RAT-30P 33
Gambar 3.9 Plat Baja ASTM A36.....33
Gambar 3.10 Elektroda 33
Gambar 3.11 Sketsa Spesimen Uji Bending 34

Gambar 3.12 Pembuatan Kampuh V 60º 35
Gambar 3.13 Spesimen Uji Bending.....36
Gambar 3.14 Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT).....36
Gambar 3.15 *Three point* bending.....37
Gambar 3.16 Jarak Tumpuan Uji Bending.....37
Gambar 4.1 Hasil Spesimen Uji Bending Non-PWHT dan PWHT.....39
Gambar 4.2 Spesimen Uji Bending Gagal dan Berhasil.....42
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Bending.....42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A36 10
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja ASTM A36.....11
Tabel 4.1 Hasil Uji Bending 39
Tabel 4.2 Pengolahan Data Hasil Pengujian Bending 40

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi dan manufaktur berdampak kepada penimgkatan kebutuhan sambungan las yang memiliki kualitas dan keandalan tinggi. Sambungan las merupakan salah satu komponen penting dalam struktur baja karena berperan dalam menjamin kekuatan, keamanan, dan umur pakai konstruksi, seperti pada bangunan, jembatan. *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) memiliki peranan penting terutama dalam bidang manufaktur dan konstruksi. PWHT memegang penting dalam keberhasilan dan kekuatan suatu material. Proses PWHT merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap hasil pengelasan.

Salah satu teknik pengelasan yang sering digunakan adalah pengelasan listrik, yang sering disebut las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Jenis penyambungan ini adalah metode penggabungan bahan logam dengan memanfaatkan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda. Pencairan pada benda kerja dan bahan pengisi terjadi akibat panas yang dihasilkan oleh busur listrik. Unsur listrik ini terbentuk melalui aliran arus listrik ketika arus tersebut berada diudara, menghasilkan resistansi listrik yang signifikan saat arus bergerak dari elektroda menuju benda kerja, yang memungkinkan busur listrik dapat mencapai suhu hingga 6000^{o}C (Sawaldi, 2019;Syuhada, 2025).

Arus las mempengaruhi peleburan semakin besar arus maka semakin besar pencampuran antara elektroda dan logam induk. Arus las yang tinggi dapat memperdalam leburan logam dan berpegaruh melebar daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Daerah yang terpengaruh panas ataupun HAZ merupakan logam inti yang bersebelahan dengan logam las sepanjang proses pengelasan (Syuhada, 2025).

Baja ASTM A36 merupakan salah satu jenis baja karbon struktural yang sangat popular dalam berbagai aplikasi konstrksi karena sifat mekaniknya yang unggul, seperti kekuatan tarik minimal 400 Mpa, kekuatan luluh 250 Mpa, dan kemampuan las yang baik. Baja ini sangat popular dalam berbagai aplikasi kontruksi, termasuk pembuatan jembatan dan rangka bangunan, dimana kemampuan menahan beban lentur menjadi faktor krusial untuk menjamin keamanan dan daya tahan kontruksi. Namun, proses pengelasan dapat mempengaruhi siklus termal di sekitar area las. Hal ini dapat mengakibatkan perubahan matalurgi, defortasi, dan tegangan termal (Wahyudin, 2023;Zikri, 2024).

Untuk memastikan kualitas sambungan las yang dihasilkan, diperlukan parameter pengelasan yang tepat, seperti arus sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan las, termasuk kekuatan sambungan, ketahanan deformasi, serta estetika las. Uji bending merupakan salah satu metode pengujian yang umum digunakan untuk menilai kelayakan dan kualitas sambungan las dengan mengukur kemampuan sambungan dalam menahan deformasi tanpa mengalami retak atau patah

PWHT adalah pemanasan kembali daerah las setelah pengelasan selesai dilakukan, hal ini bertujuan untuk melunakkan daerah kena pengaruh panas las, meningkatkan ketangguhan daerah las dan menghilangkan tegangan sisa pada saat pengelasan (Hestiawan, 2014;Muharam, 2021).

Berdasarkan latar belakang di atas penulis akan melakukan penelitian tentang “Analisis pengaruh variasi arus pengelasan SMAW dan PWHT terhadap kekuatan bending pada baja ASTM A36”. Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi parameter pengelasan yang ideal untuk aplikasi kontruksi, sehingga meningkatkan keandalan struktural dan mengurangi resiko kegagalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36
2. Bagaimana pengaruh perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian dan memastikan hasil yang valid serta dapat diukur, penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Material yang digunakan yaitu jenis baja karbon sedang ASTM A36 dengan dimensi ukuran 150mm x 20mm x 10mm
2. Jenis pengelasan yang dipakai menggunakan las SMAW Arus DC
3. Spesimen dilas menggunakan elektroda jenis E7018 berdiameter 3,2 mm
4. Arus yang digunakan 115A, 125A dan 135A
5. Bentuk sambungan las menggunakan kampuh V 60^{o}
6. Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi 1G (posisi datar).
7. Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan temperatur 500°C
8. Pengujian material yang dilakukan adalah pengujian kekuatan bending

Batasan ini bertujuan untuk menghindari kompleksitas yang berlebihan dan memastikan penelitian dapat diselesaikan dalam waktu dan sumber daya yang tersedia.

1.4 Tujuan Peneltian

Tujuan utama penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kekuatan arus pada proses las SMAW
2. Untuk mengetahui PWHT terhadap kekuatan bending

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara akademik maupun praktis, antara lain:

1. Menambah pengetahuan dan literatur teknik pengelasan SMAW, khususnya terkait optimasi PWHT pada baja ASTM A36, hasil penelitian dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, peneliti, dan dosen di bidang teknik mesin atau material *engineering* untuk penelitian lanjutan
2. Memberikan panduan bagi juru las, dan industri manufaktur untuk memilih kuat arus dan PWHT setelah pengelasan yang tepat guna meningkatkan kualitas sambungan las
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam peningkatan kualitas sambungan las pada komponen struktur seperti balok, rangka atap baja, yang menggunakan baja ASTM A36, sehingga memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap pembebanan lentur

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bersifat teoritis tetapi jugaaplikatif, yang dapat di implementasikan langsung di dunia kerja.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

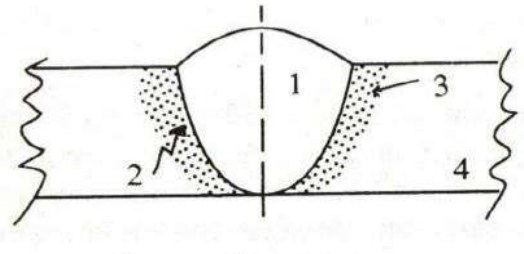
3.1 Pengelasan

Pengelasan ditentukan oleh *American Welding Society* (AWS) sebagai koalesensi lokal (fusi atau tumbuh bersama dari struktur butir bahan yang dilas) dari logam atau non logam yang diproduksi baik dengan memanaskan bahan ke suhu pengelasan yang diperlukan dengan penerapan tekanan atau tanpa bahan pengisi. Pengelasan didefinisikan sebagai proses penggabungan yang menghasilkan koalesensi bahan dengan memanaskannya ke suhu pengelasan dengan menggunakan logam pengisi (Pandita, 2025).

Menurut standar DIN (*Deutsches Institut für Normung*), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Secara singkat pengelasan dapat diartikan sebagai proses penyambungan dua atau lebih material dengan menggunakan energi panas. Panas akan mencairkan elektroda serta material dasar sebagai akibatnya cairan elektroda serta cairan material dasar akan menyatu menghasilkan logam lasan (*Weld metal*) (Ali, 2020).

Dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan (Prayogo, 2024).

Adapun daerah lasan ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Daerah Lasan
Sumber: (https://kawatlas.jayamanunggal.com/wp-content/uploads/2016/04/matalurgi-las.png diakses pada 25 juli 2026)

Daerah lasan umumnya dibagi menjadi empat daerah yaitu daerah *base metal*, daerah HAZ, dan *weld metal*, adalah sebagai berikut:

1. Daerah logam las (*weld metal*) adalah daerah gerakan logam mencair pada saat proses pengelasan dan suhunya di atas titik cair (pada logam murni) atau di atas garis cair *(liquidus line*)
2. Daerah fusi (*fusion line*) merupakan garis batas antara logam yang mencair dan daerah terpengaruh panas (HAZ).
3. Daerah terpengaruh panas *Heat Affected Zone* (HAZ) merupakan daerah logam induk yang dipengaruhi oleh panas, tetapi panas yang terjadi tidak sampai mencairkan logam induk. Daerah HAZ mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga menghasilkan daerah butir halus (*fine grain*) dan butir kasar (*coarse grain).*
4. Daerah logam induk (*base metal*) memiliki sifat-sifat sama sebelum maupun sesudah proses pengelasan. Didaerah ini, panas yang terjadi cukup rendah sehingga tidak menyebabkan perubahan pada struktur mikro. Sifat mampu las baja ditentukan oleh komposisi logam induk.

3.2 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

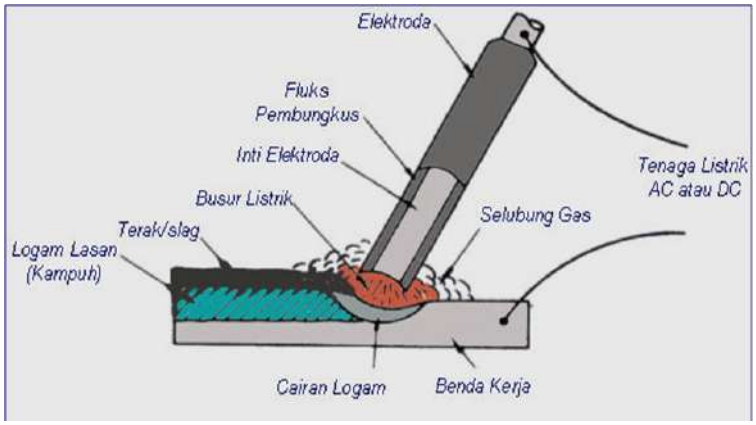
SMAW merupakan sebuah proses penyambungan logam yang memanfaatkan energi panas dari busur untuk mencairkan logam induk dan ujung elektroda. Busur gerakan ini terbentuk di antara ujung elektroda terbungkus dan benda kerja akibat adanya aliran arus gerakan (baik AC maupun DC). Panas yang dihasilkan sangat tinggi sehingga mampu melelehkan logam secara cepat untuk membentuk kawah las yang akan membeku menjadi satu kesatuan sambungan yang kuat (Sudarsono, 2020;Rangkuti, 2024).

Karakteristik utama yang membedakan SMAW dengan metode lain adalah penggunaan elektroda yang dilapisi oleh *fluks.* Saat proses pengelasan berlangsung, *fluks* ini ikut mencair dan menghasilkan gas pelindung yang menyelimuti area busur serta membentuk lapisan terak (*slag*) di atas logam

cair. Lapisan terak dan gas pelindung ini berfungsi krusial untuk mencegah kontaminasi dari udara *atmosfer*, seperti oksigen dan nitrogen, yang dapat menyebabkan oksidasi atau cacat pada hasil pengelasan (Wiryosumarto, 2000;Rangkuti, 2024).

Secara teknis, SMAW dikenal sebagai proses pengelasan manual karena kecepatan pengelasan, sudut elektroda, dan gerakan elektroda sepenuhnya dikendalikan oleh tangan seorang *welder* (juru las). Fleksibilitas ini menjadikan pengelasan SMAW sebagai metode yang paling banyak digunakan dalam konstruksi baja dan perawatan mesin karena alatnya mudah dipindahkan dan dapat digunakan untuk berbagai ketebalan material. Namun, kualitas hasil akhirnya sangat bergantung pada keterampilan tangan operator dalam menjaga kestabilan busur gerakan selama proses berlangsung (Jeffus, 2016;Rangkuti, 2024).

Adapun pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dapat di lihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)
Sumber: (https://tiraweld.blogspot.com/2013/02/proses-las-smaw-shield-metal-arc-welding.html diakses pada 25 juli 2026)

3.3 Baja

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon C sebagai komponen utama, dengan kandungan karbon yang bervariasi antara 0,2% hingga 2,1% berdasarkan jenis baja. Kandungan karbon yang lebih

tinggi akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja, tetapi mengurangi kelenturan. Baja merupakan material yang sangat penting dalam dunia industri, terutama dalam infrastruktur, kendaraan, mesin, dan berbagai produk lainnya karena ketahanan dan daya tahannya (Yeni, 2017;Hartanto, 2019).

Kandungan karbon dan unsur paduan lainnya yang divariasikan berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi kandungan karbon dalam baja ini sendiri guna untuk pengeras dengan dapat mencegah dislokasi pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Penambahan kandungan karbon ini sendiri pada baja guna meningkatkan kekerasan (*hardness)* dan kekuatan tariknya (*tensile strength*). Namun disisi lain penambahan ini dapat membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Anonim, 2015;Muharam, 2021). Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya seperti kadar karbon dari paduan yang digunakan**.**

3.4 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara unsur besi dan karbon. Untuk kadara karbon pada baja ini adalah sekitar 0,0008 hingga 1,7% dengan sedikit diikuti unsur-unsur tambahan lain seperti Si, Mn, P, D dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbinnya, maka dari itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wiryosumarto, 2000;Muharam, 2021). Berdasarkan unsur kadar karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga, diantaranya:

3.4.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon sekitar 0,08% hingga 0,30%. Baja karbon rendah ini merupakan baja yang paling murah untuk biaya produksi diantara baja karbon lainnya. Selain itu baja karbon rendah mempunyai kelebihan, yaitu mudah di las, keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi, akan tetapi kekerasannya sangatlah rendah. Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan dan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan dan lain-lain (Muharam, 2021).

3.4.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan unsur karbon antara 0,30% hingga 0,60%. Baja karbon ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas *(heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros, rel kereta api, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya (Muharam, 2021).

3.4.3 Baja karbon Tinggi

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon yang memiliki kandungan karbon antara 0,60% – 1,7% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih gatas. Baja karbon ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekarasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hal yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, pisau dan lainnya (Muharam, 2021).

3.5 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 adalah baja karbon rendah yang memiliki kekuatan yang baik dan juga ditambah dengan sifat baja yang dapat berubah bentuk dengan menggunakan mesin dan juga dapat dilakukan pengelasan. Namun disamping itu, memiliki sifat yang sangat mudah beroksidasi hingga menyebabkan karat (Andik, 2017;Cumaratungga, 2022).

Baja ASTM A36 merupakan material baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang sangat baik dalam konstruksi dan manufakur karena memiliki keseimbangan optimal antara kekuatan mekanik, fleksibilitas fabrikasi, dan efisiensi biaya. Secara metalurgi, baja ini memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,26% hingga 0,29%, yang memberikan karakteristik unggul berupa keuletan (*ductility*) dan kemampuan las (*weldability*) yang sangat baik dibaik.

Sebagai spesifikasi standar yang ditetapkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM), Baja ASTM A36 mencakup berbagai bentuk produk seperti, pelat, dan batang baja dengan standar kualitas yang teruji. Material ini merupakan salah satu jenis baja karbon yang paling dominan digunakan dalam industri, terutama sebagai komponen utama pada infrastruktur jembatan, bertingkat, dan konstruksi sipil lainnya

Berikut ini merupakan tabel komposisi kimia dan sifat mekanik yang terdapat pada baja ASTM A36:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A36
Sumber: (Yizeng, 2023)

Elemen	Isi
Karbon, C	0,26 – 0,29 %
Tembaga, Cu	0,20 %
Besi, Fe	98,0 %
Mangan, Mn	1,03 %
Fosfor, P	0,040 %
Silikon, Si	0,280 %
Belereng, S	0,050 %

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja ASTM A36
Sumber: (Yizeng, 2023)

Sifat mekanik	Metrik	Imperial
Kekuatan tarik, ultimate	400 – 550 Mpa	58000 – 79800 psi
Kekuatan tarik, hasil	250 Mpa	36300 psi
Perpanjangan saat putus (dalam 200 mm)	20,0 %	20,0 %
Perpanjangan saat putus (dalam 50 mm)	23,0 %	23,0 %
Modulus elastisitas	200 Gpa	29000 ksi
Modulus bulk (khas untuk baja)	140 Gpa	20300 ksi
Rasio poissin	0,260	0,260
Modulus geser	79,3 Gpa	11500 ksi

2.6 Posisi Pengelasan

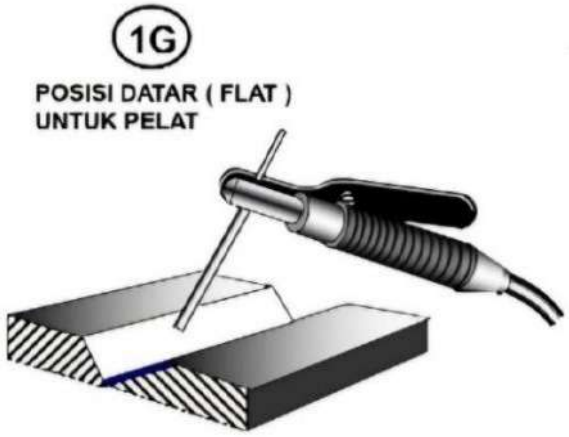
Posisi pengelasan adalah pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang diambil oleh operator las biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi-posisi pengelasan sesuai dengan standar AWS *(American Welding Society*) antara lain, posisi 1G, 2G, 3G, dan 4G. Posisi pengelasan 1G merupakan posisi pengelasan datar, di mana benda kerja berada dalam posisi horizontal dan proses pengelasan dilakukan dari bagian atas sambungan..

Posisi 1G merupakan posisi paling mudah dibandingkan posisi lainnya, seperti 2G, 3G, dan 4G. Pada posisi ini, logam cair dapat mengalir dengan baik sehingga menghasilkan penetrasi yang optimal dan permukaan las yang lebih rata. Selain itu, kemungkinan terjadinya cacat las seperti porositas dan undercut lebih kecil.

Pada penelitian ini, posisi pengelasan 1G digunakan untuk memperoleh hasil sambungan las yang optimal dan meminimalkan kesalahan akibat kesulitan posisi pengelasan, sehingga pengaruh variasi gerakan pengelasan terhadap kekuatan bending dapat diamati secara lebih objektif. Adapun posisi pengelasan ditunjukkan pada gambar di bawah ini:

1. Posisi 1G (*down hand*)

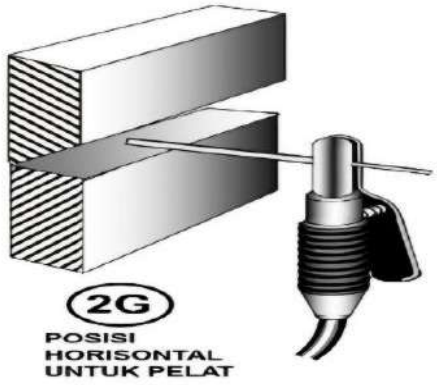
   Posisi bawah tangan yaitu suatu cara pengelasan yang dilakukan pada permukaan datar dan dilakukan dibawah tangan. Kemiringan elektroda las sekitar 10° –20° terhadap garis vertical dan 70° - 80° terhadap benda kerja (Kawirian, 2023). Adapun gambar posisi 1G dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G
Sumber: (https://ilmupengelasan.blogspot.com/2014/10/posisi-pengelasan.html diakses pada 25 juli 2026)

2. Posisi 2G *(horizontal position)*

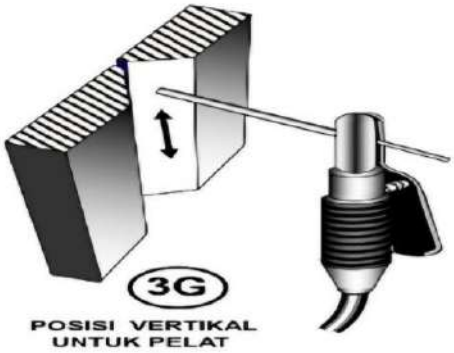
   Mengelasan menggunakan horisontal biasa disebut juga mengelas merata dimana kedudukan benda kerja dibuat tegak dan arah elektroda mengikuti horizontal. Sewaktu mengelas elektroda dibuat miring sekitar 5° – 10° terhadap garis vertical dan 70° – 80° kearah benda kerja (Widharto, 2013). Adapun gambar posisi 2G dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 posisi Pengelasan 2G
Sumber: (https://ilmupengelasan.blogspot.com/2014/10/posisi-pengelasan.html diakses pada 25 juli 2026)

3. Posisi 3G (*vertikal position*)

Mengelas posisi tegak adalah apabila dilakukan arah pengelasannya keatas atau kebawah. Pengelasan ini termasuk pengelasan yang paling sulit karena bahan cair yang mengalir atau menumpuk kabawah, kesulitan dapat diperkecil dengan kemiringan elektroda sekitar 10° – 15° terhadap garis vertical dan 70° – 85° terhadap benda kerja (Kawirian, 2023). Adapun gambar posisi 3G dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 posisi Pengelasan 3G
Sumber: (https://ilmupengelasan.blogspot.com/2014/10/posisi-pengelasan.html diakses pada 25 juli 2026)

4. Posisi 4G (*over head)*

Posisi pengelasan ini sangat sukar dan berbahaya karena bahan cair banyak berjatuhan dan dapat mengenai juru las, oleh karena itu diperlakukan perlengkapan yang serba lengkap antara lain: baju las, sarung tangan, sepatu kulit dan sebagainya. Mengelas dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan kedudukan elektroda sekitar 5° – 20° terhadap garis vertical dan 75° – 85° terhadap benda kerja (Kawirian, 2023). Adapun gambar posisi 4G dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Posisi Pengelasan 4G
Sumber: (https://ilmupengelasan.blogspot.com/2014/10/posisi-pengelasan.html diakses pada 25 juli 2026)

2.7 Besar Arus Listrik

Besarnya arus listrik pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan, dan ayunan elektroda. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi cukup untuk melelehkan logam dasar,

sehingga menghaslkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan makin melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi (Yunus, 2018;Rifai, 2023).

2.8 Elektroda

Menurut Harsono Wiryosumarto (Arus AC dan DC) pemilihan elektroda harus didasarkan pada jenis dan sifat logam induk serta kegunaan sambungannya (Harsono, 1986;Akbar, 2024) Elektroda merupakan bahan habis pakai dalam proses pengelasan SMAW yang berfungsi sebagai logam pengisi pada bahan logam yang akan di las, untuk itu pemilihan jenis elektoda harus disesuaikan dengan bahan logam yang akan dilas. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, elektroda berfungsi sebagai bahan tambah**.**

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Pada dasarnya bila di tinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam (Akbar, 2024). Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material.

Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar system AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*). Elektroda jenis E7018 dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan dengan arus las AC maupun DC. Rigi-rigi yang dihasilkan akan sangat halus maka terak yang ada akan mudah untuk di bersihkan dan busurnya dapat di

kendalikan dengan mudah. Elektroda dengan kode E7018 untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing- masig yaitu:

E = Elektroda untuk busur Listrik

70 = Menandakan kekuatan tarik minimum 70.000 psi

1 = Menyatakan posisi pengelasan dapat digunakan untuk semua posisi.

8 = Mengidentifikasikan fluks jenis serbuk besi *hydrogen* rendah dengan arus AC maupun DC

Adapun spesifikasi arus menurut tipe elektroda ditunjukkan pada gambar 2.7

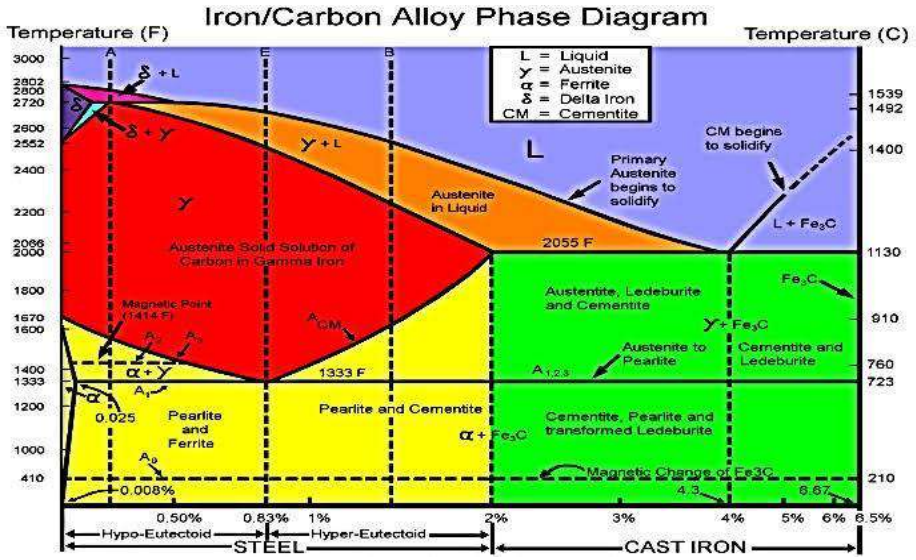
Diameter		Tipe elektroda dan amper yang digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

Gambar 2.7 Spesifikasi Elektroda
Sumber: (Soetardjo, 1997)

2.9 Diagram Fasa Baja Karbon (Fe-C)

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam suhu dan komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi struktur mikro (Cumaratungga, 2022).

Pada diagram fasa Fe-C yang ditampilkan muncul larutan padat atau disebut besi *delta, austenite* dan *ferit. Ferit* mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan austenit mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta mempunyai struktur kristal FCC pada suhu tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe-C yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan sementit yang keras (Cumaratungga, 2022). Adapun diagram fasa baja karbon dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Diagram Fasa Baja Karbon
Sumber: (Gabriel, 2022)

Penjelasan Diagram :

- Pada kandungan karbon mencapai 6.67% terbentuk struktur mikro dinamakan Sementit Fe-C (dapat dilihat pada garis *vertical* paling kanan).

  Sifat-sifat *cementitte*: sangat keras dan sangat getas
- Pada sisi kiri diagram dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah, pada suhu kamar terbentuk *struktur mikro ferit.*

- Pada baja dengan kadar karbon 0.83%, struktur mikro yang terbentuk adalah Perlit, kondisi suhu dan kadar karbon ini dinamakan titik *Eutectoid.*
- Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik eutectoid*, struktur mikro* yang terbentuk adalah campuran antara ferit dan perlit.
- Pada baja dengan kandungan titik *eutectoid* sampai dengan 6.67%, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara perlit dan sementit.
- Pada saat pendinginan dari suhu leleh baja dengan kadar karbon rendah, akan terbentuk struktur mikro Ferit Delta lalu menjadi struktur mikro *Austenit.*
- Pada baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi, suhu leleh turun dengan naiknya kadar karbon, peralihan bentuk langsung dari leleh menjadi *Austenit.*

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-C dan fasa-fasa yang terdapat didalamnya akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperature kritis pada diagram Fe-C:

- Al, adalah temperatur reaksi *eutektoid* yaitu perubahan fasa y menjadi a+Fe-C (perlit) untuk baja *hypo eutektoid.*
- A2, adalah titik *Currie* (pada temperatur 769 °C), dimana sifat magnetik besi berubah dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetik.*
- A3, adalah temperatur transformasi dari fasa y menjadi a (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
- Acm, adalah temperatur transformasi dari fasa y menjadi Fe-C *(*sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
- A13, adalah temperatur transformasi y menjadi a+Fe-C (perlit) untuk baja *hiper etektoid*.

- Fasa-fasa yang terjadi dalam diagram kesetimbangan Fe-C selama pemanasan yang lambat:
- Ferit yaitu paduan Fe dan C dengan kelarutan C maksimum 0,025% pada *temperature* 723°C, struktur kristalnya BCC (*Body Centered Cubic*).
- *Austenit* adalah paduan Fe dan C dengan kelarutan C maksimum 2% pada temperatur 1148°C, struktur kristalnya FCC (*Face Centered Cubic*).
- Delta adalah paduan Fe dan C dengan kelarutan C maksimum 0,1% pada temperatur 1493°C, struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*).
- Senyawa Fe-C atau biasa disebut sementit dengan kandungan C maksimum 6,67%, bersifat keras dan getas dan memiliki struktur kristal *Orthorombic.*
- *Liquid* atau fasa cair, adalah daerah paling luas dimana kelarutan C sebagai paduan utama dalam Fe tidak terbatas pada temperatur yang bervariasi.

2.10 Perlakuan panas (*heat treatment)*

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses pemanasan, penahanan temperatur tertentu, dan pendinginan pada suatu baja untuk memperoleh perbedaan kombinasi sifat-sifat mekanik. Perlakuan panas dilakukan di dalam tungku listrik dengan pengontrolan temperatur yang tepat dan pendinginan kesuatu media pendingin sesuai dengan kondisi dan spesifikasi bajanya (Syamsul, 2016;Cumaratungga, 2022)

2.10.1 Jenis-jenis *Heat Treatment*

A. *Quenching*

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas *austenite* perlu waktu pemanasan yang cukup, selanjutnya secara cepat baja tersebut

dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendinginan yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada *fase austenite* tidak sempat berubah ferrite dan pearlite karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam *austenite* untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk *sementite* oleh karena itu terjadi *fase martensite*. Ini berupa *fase* yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon (Cumaratungga, 2022).

B. *Annealing*

Proses *annealing* atau melunakkan baja adalah proses pemanasan baja di atas temperatur kritis (723° C), selanjutnya dibiarkan bebearapa lama sampai temperatur merata. Kemudian disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperatur bagian luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh yang dinginkan dengan menggunakan media pedingin udara. Tujuan proses *anneling* adalah melunakkan material logam, menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki butir-butir logam (Cumaratungga, 2022).

C. *Tempering*

Proses *tempering* adalah pemanasan baja sampai temperatur sedikit di bawah temperatur kritis, kemudian didiamkan dalam tungku dan temperaturnya dipertahankan sampai merata selama beberapa waktu. Selanjutnya didinginkan dalam media pendingin. Jika kekerasan turun, maka kekuatan tarik juga turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini akan menghasilkan baja yang lebih lemah. Proses ini berbeda dengan *anneling* karena dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak, mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung oleh kadar karbon (Daryanto, 2010;Cumaratungga, 2022).

D. *Normalizing*

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai *fase austenit* yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam

media pendingin udara. Hasil pendinginan ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih halus dari *anneling.* Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakkan logam. *Normalizing* dilakukan untuk mendapatkan struktur mikro dengan butir yang halus dan seragam. Proses ini diartikan sebagai pemanasan dan mempertahankan pemanasan pada temperatur yang sesuai batas perubahan. Kemudian diikuti dengan pendinginan secara bebas didalam udara luar (Cumaratungga, 2022).

2.11 *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

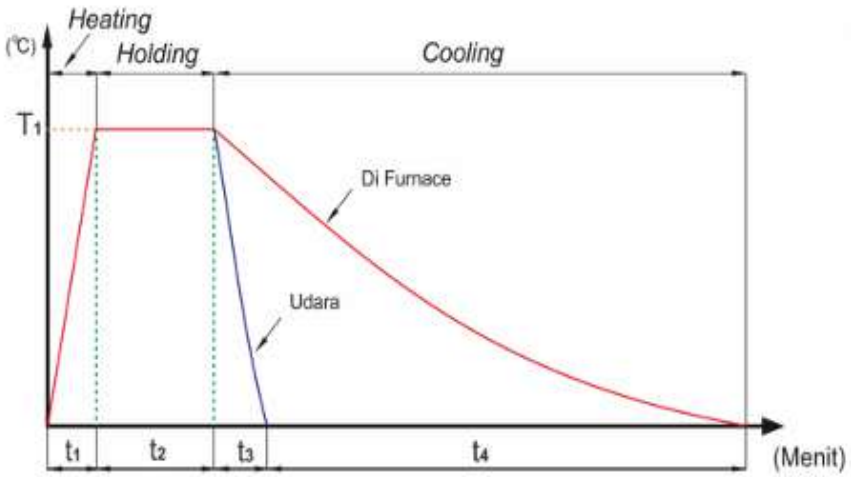
PWHT adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat- sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan, kelunakan, memperhalus ukuran butir. Beberapa perlakuan panas (*heat treatment*) dapat diterapkan setelah pekerjaan pengelasan selesai. Perlakuan panas setelah las sering dilaksanakan untuk tujuan menghilangkan tegangan sisa (Pratama, 2020). *ASME Boiler Pressure Vessel Code* menyebut perlakuan panas setelah las dengan PWHT, dimana istilah ini lebih disukai pada pengelasan *pressure vessel* dan kontruksi pipa. PWHT kadang-kadang disebut juga dengan membuang tegangan *(stress relief)* dan bisa juga disebut dengan *tempering*. PWHT bisa diterapkan pada seluruh pengelasan atau hanya setempat. PWHT dilakukan karena alasan seperti berikut ini (Cumaratungga, 2022).

a. Mengurangi tegangan sisa (*residual stress*).
b. Mengurangi kekerasan di daerah pengelasan dan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ).
c. Meningkatkan ketangguhan (*toughness*).
d. Mengeluarkan *hydrogen* dari logam las.
e. Menghindarkan kerja dingin dari logam las.
f. Meningkatkan keuletan (*ductility*).
g. Meningkatkan daya tahan terhadap retak karena faktor lingkungan (*environmental cracking*) dan serangan karat.
h. Meningkatkan stabilitas dimensional selama *machining.*

Prinsip dasar proses PWHT adalah:

a. *Heating* merupakan proses pemanasan sampai temperatur diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material.
b. *Holding* adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan *struktur mikro.*
c. *Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan tertentu tergantung pada sifat akhir material yang diinginkan.

Adapun proses thermal dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar2.9 Proses Thermal PWHT
Sumber: (Cumaratungga, 2022)

PWHT bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari logam, meningkatkan ketahanan korosi terutama korosi tegangan, dan memperkecil pengaruh terjadinya retak pada daerah las.

Pada dasarnya ada dua cara yang dapat dilakukan pada saat memberikan perlakuan panas pada material hasil las, yaitu dengan memasukkan benda uji ke dapur (*furnace*) atau dengan melakukan pemanasan setempat (*localized*) yang dekat dengan daerah las. Dalam melakukan PWHT banyak hal yang harus diperhatikan agar tujuan PWHT dapat tercapai. Hal-hal yang harus diperhatikan sebagai berikut:

a. *Expansion* area: karena proses panas akan mengakibatkan terjadinya pemuaian dan *expansi* material. Maka dari itu harus diperhatikan bahwa saat stress relieve tersebut tidak mengalami restraint.
b. Insulasi: pada saat element suda dipasangkan dengan benar, selanjutnya area disekitar (*adjacent*) elemen harus ditutup dengan menggunakan kowol atau keramik fiber untuk temperatur tetap terjaga.
c. *Cleaning* material: material yang diproses harus bersih dari segala *grease*/oli

Support material: pada proses pemanasan yang dilakukan, hasilnya akan menyebabkan terjadinya pelunakan material, dengan adanya gaya gravitasi maka material yang di *post weld heat treatment* harus diberikan support sehingga tidak terjadi distorsion (Yusuf, 2008;Cumaratungga, 2022).

2.12 Uji Kekuatan Bending

Uji lengkung (*bendingtest)* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan ketika sebuah material dikenai suatu beban yang cukup berat, gaya yang timbul dari pembebanan tersebut selanjutnya akan menyebabkan material mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk dari material dikenal dengan istilah deformasi (Mabrullah, 2024).

Uji bending digunakan untuk mengevaluasi ketangguhan, elastisitas, serta kekuatan sambungan las. Hasil pengujian berupa nilai tegangan bending yang menunjukkan kemampuan material menahan beban lentur. Semakin tinggi nilai tegangan bending, maka semakin baik kualitas sambungan las (Julianto, 2022).

Pengujian bending sangat penting dalam bidang konstruksi dan manufaktur, karena beban lentur sering terjadi pada struktur rangka, balok, dan komponen mesin. Oleh karena itu, hasil uji bending dapat dijadikan indikator utama dalam menilai kelayakan sambungan las (Kurniawan, 2024). Adapun gambar mesin uji bending dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Mesin Uji Bending
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

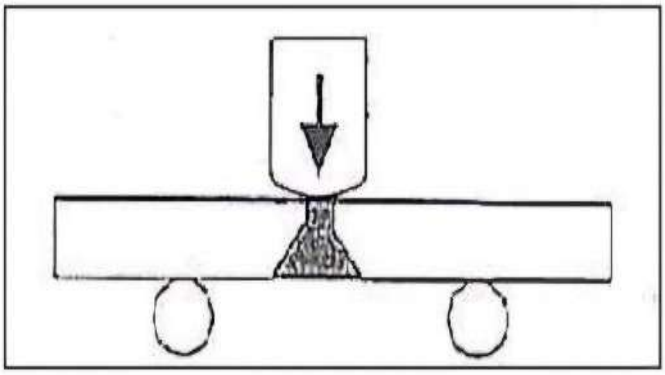
Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dapat dibedakan menajdi dua yaitu *transversal* bending dan *longitudinal* bending:

2.12.1 *Transversal* Bending

Pada *transversal* bending ini, pengambilan spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Berdasarkan arah pembebanan dan Lokasi pengamatan pengujian *transversal* bending dibagi menjadi tiga:

1) *Face Bend* (Bending pada permukaan las)

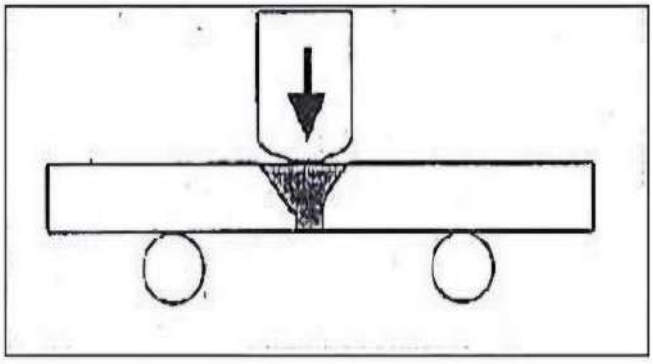
   Dikatakan *face bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya. Apakah di *weld metal*, HAZ, atau *fussiom line* (garis perbatasan *Weld Metal* dan HAZ) (Agustono, 2019). Adapun gambar *transversal face bend* dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 *Face Bend* pada *transversal* bending
Sumber: (Firmansyah, 2025)

2) *Root Bend* (Bending pada akar las)

Dikatakan *root bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan dan dasar las yang mengalami tegangan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak manakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau *fusion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ) (Agustono, 2019). Adapun gambar *transversal rood bend* dapat dilihat pada gambar 2.12

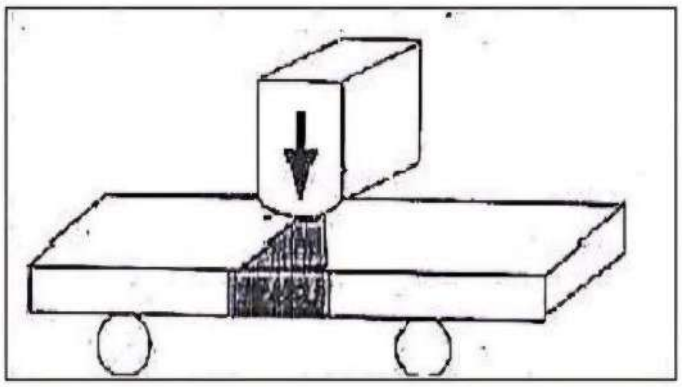


Gambar 2.12 *Root Bend* Pada *Transversal* Bending
Sumber: (Firmansyah, 2025)

3) *Side Bend* (Bending pada sisi las)

Dikatakan *side bend* jika bending dilakukan sehingga sisi las. Pengujian ini dilakukan jika ketebalan material yang dilas besar dari 3/8 inchi. Pengamatan dilakukan pada sisi las tersebut, apakah timbul retak

atau tida. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ, atau di *fusion line* (garis perbatasan *Weld Metal* dan HAZ) (Agustono, 2019). Adapun gambar *transversal side bend* dapat dilihat pada gambar 2.13



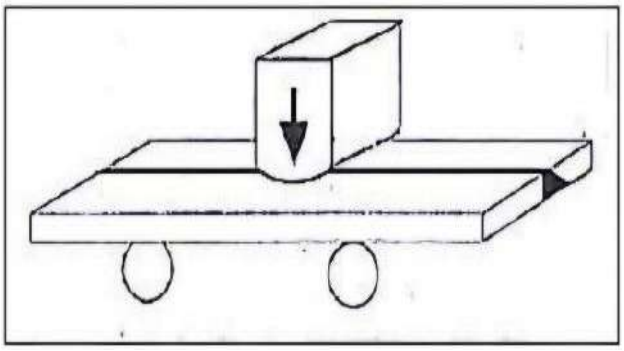
Gambar 2.13 *Side Bend* Pada *Transversal* Bending
Sumber: (Firmansyah, 2025)

2.12.2 *Longitudinal* Bending

Pada *longitudinal* bending ini, pengambilan spesimen searah pengelasan berdasarkan arah pembenanan dan lokasi pengamatan, pengujian longitudinal bending dibagi menjadi dua:

1) *Face Bending* (Bending pada permukaan las)

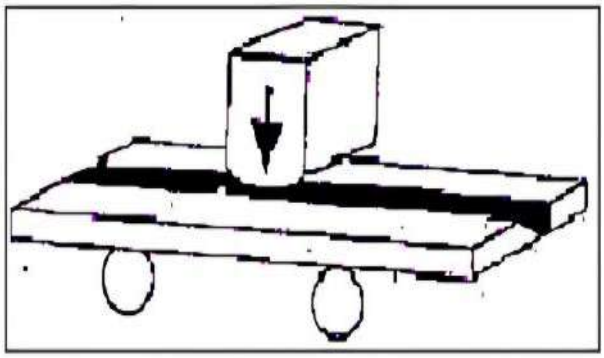
   Dikatakan *face bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan. Apakah timbul retak atau tidak. Jika tumbul retak di manakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ, atau *fussion line* (garis perbatasan *weld metal* dan HAZ) (Agustono, 2019). Adapun gambar *longitudinal face bend* dapat dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2.14 *Face* Bending *Longitudinal* Bending
Sumber: (Firmansyah, 2025)

2) *Root bend* (Bending pada akar las)

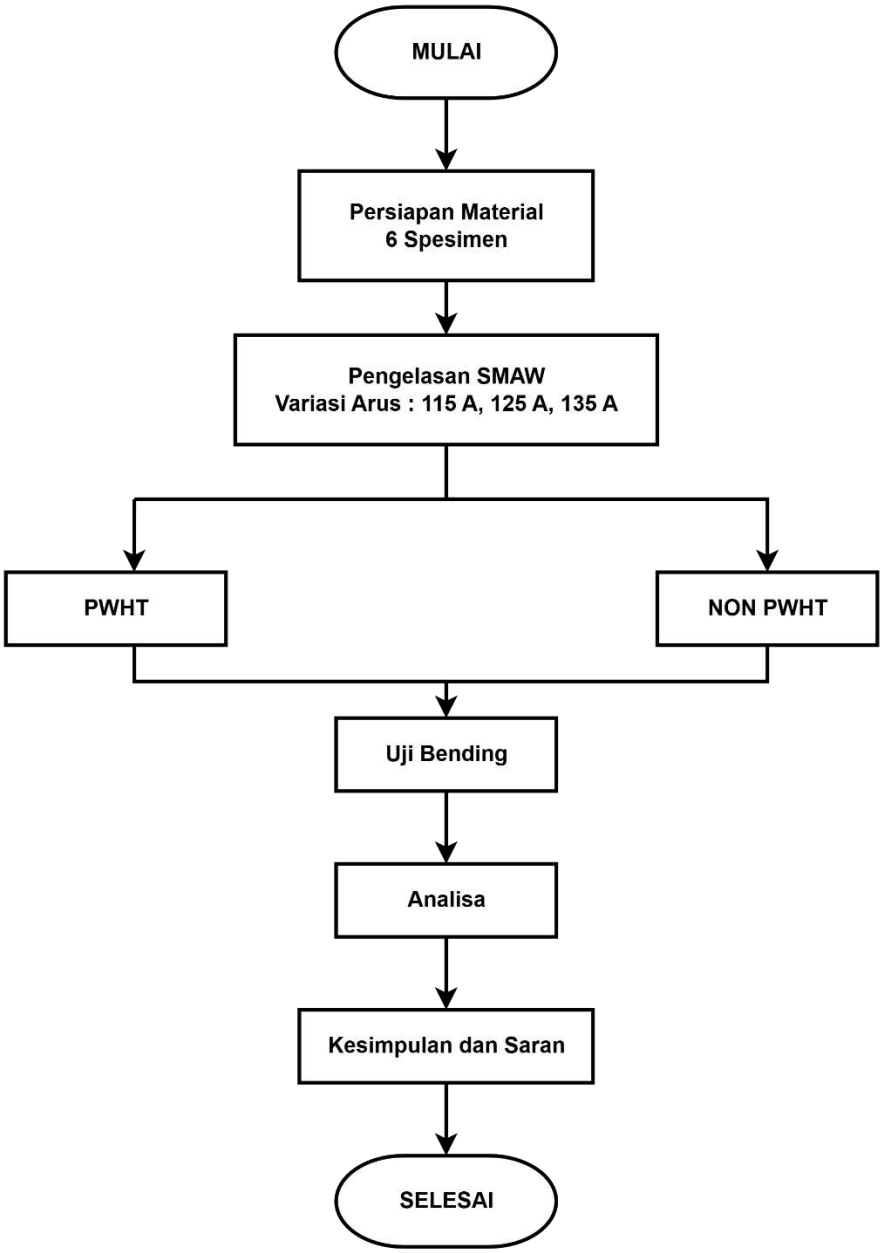
Dikatakan *root bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan dan dasar las yang mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak manakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau *fusion line* (garis perbatasan *Weld Metal* dan HAZ) (Agustono, 2019). Adapun gambar *longitudinal root bend* dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2.15 *Root* Bending *Longitudinal* Bending
Sumber: (Firmansyah, 2025)

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan februari sampai juni 2026 sampai dengan selesai. Adapun tempat dilaksanakan penelitian ini yaitu:

1. Proses pemotongan spesimen dan pembuatan kampuh V 60^{o} dilaboratorium Universitas IBA Palembang
2. Proses PWHT dilakukan di Laboratorium Universitas IBA Palembang
3. Pengujian spesimen kekuatan uji bending dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Sriwijaya

3.3 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan merupakan bagian yang sangat penting dalam penelitian karena berperan dalam menunjang kelancaran proses pengujian san memperoleh data penelitian yang akurat. Peralatan digunakan untuk mendukung pelaksanaan setiap tahapan penelitian, sedangkan bahan digunakan sebagai objek penelitian maupun sebagai pendukung dalam proses pengujian. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

3.3.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan pada proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Las SMAW

   Mesin las berfungsi sebagai peralatan utama untuk menyambung logam melalui proses pengelasan dengan memanfaatkan energi listrik sebagai sember panas sehingga menghasilkan ikatan yang kuat pada material yang dilas. Adapun mesin las SMAW dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.2 Mesin Las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

2. Gerinda

Gerinda berfungsi untuk memotong material sesuai dengan ukuran yang diperlukan. Adapun gambar gerinda dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.3 Gerinda
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

3. Ragum

Ragum digunakan sebagai penahan spesimen saat dilakukan pemotongan degan gerinda tangan. Adapun gambar ragum dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.4 Ragum
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

4. Amplas

Amplas batu gerinda poles digunakan untuk menghaluskan dan merataka permukaan spesimen hasil pengelasan. Adapun gambar amplas batu gerinda dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.5 Amplas
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

5. Alat Pelindung Diri (APD) Pengelasan

Alat pelindung diri pengelasan, seperti helm las dan sarung tangan las, berfungsi melindungi operator dari paparan sinar las, panas, percikan logam, dan risiko cedera selama proses pengelasan. Adapun gambar alat pelindung diri dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.6 Alat Pelindung Diri Pengelasan
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

6. Tungku *Heat Treatment*

Tungku *Heat Treatment* berfungsi untuk melakukan proses PWHT pada spesimen setelah pengelasan. Proses ini bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan, meningkatkan keuletan material. Adapun gambar tungku heat treatment dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.7 Tungku *Heat Treatment*
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

7. Mesin Uji Bending

Mesin uji bending berfungsi untuk menguji kekuatan lentur guna mengetahui kemampuan material atau sambungan las dalam menahan beban pembebanan lentur. Pada penelitian ini menggunakan mesin tipe RAT-30P. Adapun mesin uji bending dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.8 Mesin Uji Bending tipe RAT-30P
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

3.3.2 Bahan :

Adapun bahan yang digunakan pada proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Plat baja karbon ASTM A36

   Adapun gambar plat baja karbon ASTM A36 dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.9 Plat Baja ASTM A36
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

2. Elektroda E7018 diameter 3,2 mm

   Adapun gambar elektroda dapat dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.10 Elektroda
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Pada peneliti ini menggunakan variabel bebas variasi arus 115A, 125A, 135A dan perlakuan PWHT

3.4.2 Variabel Terikat

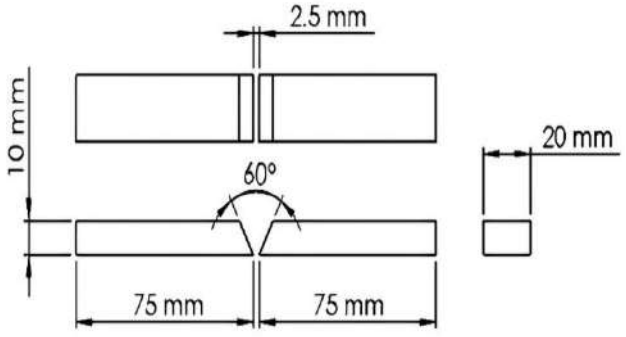
Variabel terikat pada peneliti ini adalah kekuatan uji bending pada pengelasan baja karbon ASTM A36 dengan metode pengelasan SMAW

3.4.3 Variabel Kontrol

- Baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm
- Metode pengelasan SMAW Arus DC
- Jenis elektroda E7018 diameter 3,2 mm
- Posisi pengelasan 1G
- Jenis sambungan yang digunakan kampuh V 60^{o}

3.5 Ukuran Spesimen

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah plat baja karbon ASTM A36, pembuatan sampel yang terdiri dari 6 spesimen, dengan ukuran Panjang masing – masing 150 mm, lebar 20 mm, dan tebal 10 mm, kemudian dipotong dan dibentuk menjadi spesimen uji bending mengikuti standar ASTM E290. Baja karbon ASTM A36 dengan ukuran pengujian dimensi spesimen uji bending mengikuti standar ASTM E290 dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.11 Sketsa Spesimen Uji Bending
Sumber: (Saputra, 2024)

3.6 Proses Pelaksanaan Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah pelaksanaan penelitia:

3.6.1 Pembuatan Spesimen uji bending

Memotong benda kerja yang dibutuhkan yaitu plat baja karbon ASTM A36 dengan ukuran 150mm x 20mm x 10mm. kemudian pembuatan kampuh V 60^{o}. Pembuatan spesimen uji bending mengacu pada standar ASTM E290, Adapun gambar spesimen dapat dilihat pada gambar 3.14



Gambar 3.12 Pembuatan Kampuh V 60^{o}
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

3.6.2 Proses Pengelasan Benda

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah:

a. Mempersiapkan mesin SMAW
b. Mempersiapkan benda kerja yang akan dilas
c. Mempersiapkan elektroda E7018 berdiameter 3,2 mm
d. Posisi pengelasan menggunakan posisi 1G
e. Hidupkan mesin las kemudian elektroda dijepit pada holder dan massa pada meja las
f. Atur arus listrik pada 115 ampere dan tegangan pada 3 volt
g. Atur arus listrik pada 125 ampere dan tegangan pada 3 volt
h. Atur arus listrik pada 135 ampere dan tegangan pada 3 volt
i. Setelah proses pengelasan selesai benda kerja didinginkan dengan udara bebas.

Adapun gambar spesimen yang sudah dilas dapat dilihat pada gambar 3.15



Gambar 3.13 Spesimen Uji Bending
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

3.6.3 Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses PWHT adalah sebagai berikut:

a. Memasukkan spesimen kedalam tungku *heat treatment*

b. Nyalakan mesin atau tungku *heat treatment*

c. Atur ke temperatur 500° C dengan waktu penahanan selama 30 menit

d. Tunggu sampai proses pemanasan selesai

e. Kemudian keluarkan spesimen untuk pendinginan di udara terbuka

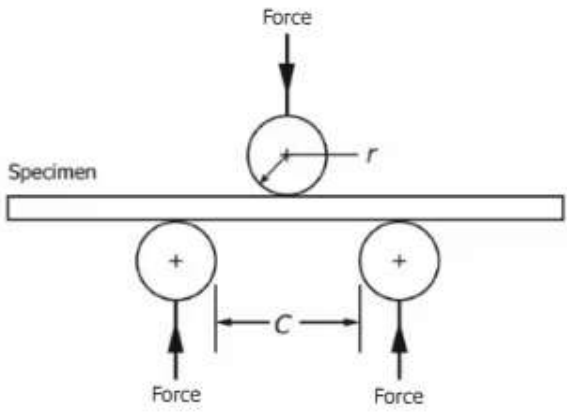
Adapun spesimen yang telah mengalami perlakuan panas PWHT dapat dilihat pada gambar 3.16



Gambar 3.14 Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

3.6.4 Pengujian Bending

Bahan uji yang digunakan adalah material baja ASTM A36, uji bending dengan menggunakan standar ASTM E290 dengan ukuran Panjang 150 mm, lebar 20 mm, dan tebal 10 mm, uji bending yang dilakukan dengan skema uji *three point* bending pada penelitian ini yaitu uji bending *face bend*. Jarak antara tumpuan penelitian ini 60mm. Adapun gambar sketsa pengujian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3.15 *three point* Bending
Sumber: (https://www.scribd.com/dokument/848328703/55-ASTM-E290-2022 diakses pada 25 juli 2026)

Adapun jarak tumpuan uji bending dapat dilihat pada gambar 3.18



Gambar 3.16 Jarak Tumpuan uji Bending
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

$C = (2r + 3t) \pm t/2$

Keterangan rumus:

C= Jarak antara penyangga bawah

r = Jari-jari mandrel

t = Ketebalan spesimen

Diketahui:

r = 15 mm

t = 10

Penyelesaian:

C = (30) +(30)

C = 60 mm

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Langkah – langkah dalam penelitian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan benda kerja yang akan dilas. Material dipotong dengan ukuran 150mm x 20mm x 10mm
2. Pengelasan benda kerja menggunakan mesin las SMAW Arus DC
3. Pendinginan dilakukan di udara terbuka
4. Membuat spesimen uji bending berdasarkan standar ASTM E290
5. Pengujian uji bending dengan benda kerja sebanyak 6 spesimen
6. Pengambilan data
7. Mengolah data hasil pengujian
8. Menyimpulkan hasil penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Bending

Hasil pegujian bending pada spesimen baja ASTM A36 dengan variasi arus pengelasan dan perlakuan PWHT dan Non-PWHT dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil spesimen uji bending Non-PWHT dan PWHT
Sumber: (Dokumentasi Penulis)

Pengujian bending dilakukan pada enam spesimen yang terdiri atas tiga spesimen dengan perlakuan PWHT dan tiga spesimen tanpa perlakuan PWHT (Non-PWHT), menggunakan variasi arus pengelasan 115A, 125A dan 135A. Hasil pengujian bending dari setiap spesimen dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Bending

Spesimen		Lebar (b) (mm)	Tebal (d) (mm)	Panjang (L) (mm)	Beban lengkung Max (kgf)
115 Ampere	PWHT	20	10	150	2.550
	Non PWHT	20	10	150	2.150
125 Ampere	PWHT	20	10	150	2.800
	Non PWHT	20	10	150	2.150
135 Ampere	PWHT	20	10	150	2.700
	Non PWHT	20	10	150	2.200

4.2 Pengolahan Data Hasil Pengujian Bending

Dalam penelitian ini pengujian bending menggunakan metode *three point* bending yang dilakukan di laboratorium pengujian material teknik mesin universitas sriwijaya. Pada penelitian ini menggunakan mesin tipe RAT-30P. Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM E290. Hasil data pengujian yang didapat berdasarkan perlakuan PWHT dan Non-PWHT.

Berikut hasil perhitungan dalam penelitian pengujian bending ini dengan menggunakan persamaan nilai tegangan

- Perlakuan PWHT variasi Arus 115 A

$$\sigma b = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$P = 2.550\ x\ 9{,}81$$

$$= 25.015{,}5\ N$$

$$\sigma b = \frac{3\ x\ 25.015{,}5\ x\ 150}{2\ x\ 20\ x\ 10^2}$$

$$\sigma b = \frac{11.256{,}975}{4000}$$

$$\sigma b = 2.814{,}24\ \mathrm{N/mm^2}$$

Perhitungan kekuatan bending dari keseluruhan spesimen dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Pengolahan Data Hasil Pengujian Bending

Spesimen		Lebar (b) (mm)	Tebal (d) (mm)	Panjang (L) (mm)	Beban lengkung Max (kgf)	Tegangan bending $\sigma b = \frac{3\ PL}{2\ bd2}$ (N/mm^2)
115 Ampere	PWHT	20	10	150	2.550	2.814,24
	Non PWHT	20	10	150	2.150	2.372,79
125 Ampere	PWHT	20	10	150	2.800	3.090,15
	Non PWHT	20	10	150	2.150	2.372,79
135 Ampere	PWHT	20	10	150	2.700	2.979,79
	Non PWHT	20	10	150	2.200	2.427,98

4.3 Validasi Data Hasil Uji Bending

Pengujian bending dalam penelitian ini mengacu pada ASTM E290 yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menerima deformasi akibat pembebanan bending serta ketahanannya terhadap terbentuknya retak atau ketidakteraturan pada permukaan spesimen. Berdasarkan ASTM E290 poin 1.2, setelah proses pembengkokan dilakukan, permukaan cembung spesimen diperiksa untuk mengidentifikasi adanya retak atau ketidakteraturan permukaan. Apabila spesimen mengalami patah secara keseluruhan, maka material dinyatakan gagal dalam pengujian. Namun, apabila tidak terjadi patah secara keseluruhan, penilaian dilakukan berdasarkan jumlah dan ukuran retak atau ketidakteraturan permukaan yang dapat diamati secara visual pada permukaan cembung spesimen, sesuai dengan spesifikasi produk yang berlaku. Retak yang terjadi pada daerah dengan jarak kurang dari satu kali ketebalan spesimen dari tepi tidak dikategorikan sebagai kegagalan pengujian bending. Selain itu, retak yang terbentuk pada bagian sudut daerah pembengkokan tidak dianggap signifikan selama ukurannya tidak melebihi batas yang ditetapkan dalam spesifikasi produk.

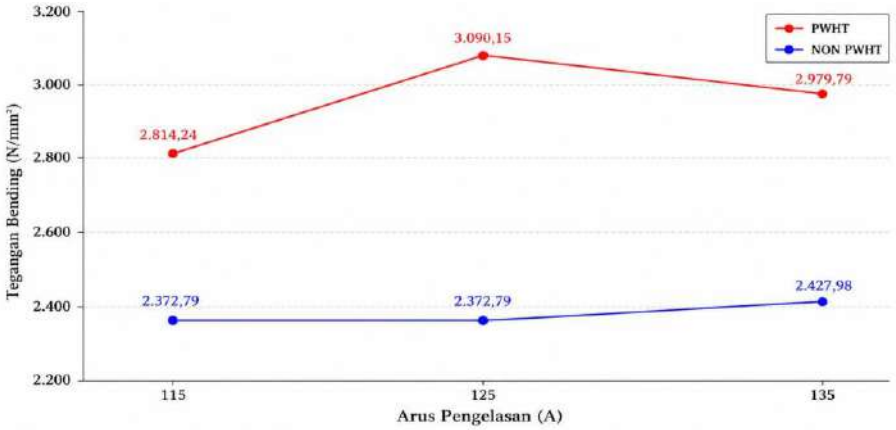
Berdasarkan hasil pengujian bending, seluruh spesimen hasil pengelasan baja ASTM A36 tidak mengalami patah setelah diberikan pembebanan bending, tetapi mampu mengalami deformasi pembengkokan tanpa terjadi kegagalan secara keseluruhan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa spesimen memiliki kemampuan deformasi plastis dan ketahanan yang baik terhadap pembebanan bending. Berdasarkan evaluasi yang mengacu pada ASTM E290, hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen memenuhi kriteria keberhasilan pengujian, karena mampu menerima pembebanan dan mengalami deformasi pembengkokan tanpa mengalami patah secara keseluruhan. Adapun gambar spesimen uji bending yang dinyatakan gagal dan berhasil dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Spesimen uji bending gagal dan berhasil
Sumber: (Dokumentasi penulis)

4.4 Pembahasan

Dari hasil nilai tegangan yang didapatkan pada pengujian bending yang berupa tabel angka, maka dibuatlah grafik perbandingan tegangan perlakuan PWHT dan Non-PWHT. Grafik perbandingan tegangan uji bending dapat dilihat pada gambar 4.3



Arus Pengelasan (A)	115	125	135
Tegangan Bending (N/mm²) - PWHT	2.814,24	3.090,15	2.979,79
Tegangan Bending (N/mm²) - NON PWHT	2.372,79	2.372,79	2.427,98

Gambar 4.3 Grafik Pengujian Bending

Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa spesimen yang diberi perlakuan PWHT memiliki nilai tegangan bending yang lebih tinggi dibandingkan spesimen Non-PWHT pada seluruh variasi arus pengelasan. Nilai tegangan bending pada spesimen PWHT sebesar 2.814,24 N/mm² pada arus 115 A, meningkat menjadi 3.090,15 N/mm² pada arus 125 A, kemudian sedikit menurun menjadi 2.979,79 N/mm² pada arus 135 A. Sementara itu,

spesimen Non-PWHT menghasilkan nilai tegangan bending sebesar 2.372,79 N/mm² pada arus 115 A dan 125 A, kemudian meningkat menjadi 2.427,98 N/mm² pada arus 135 A. Data tersebut menunjukkan bahwa perlakuan PWHT memberikan peningkatan kemampuan sambungan las dalam menahan beban lentur dibandingkan spesimen yang tidak mengalami perlakuan panas.

Peningkatan nilai tegangan bending pada spesimen PWHT disebabkan karena proses PWHT mampu mengurangi tegangan sisa (*residual stress*) yang terbentuk selama proses pengelasan. Melalui proses PWHT Temperatur 500°C berada di bawah temperatur kritis bawah atau Ac1, yang pada baja karbon berada di sekitar 723°C. Oleh karena itu, perlakuan PWHT pada penelitian ini termasuk perlakuan panas subkritis dan tidak menyebabkan transformasi ferrit dan perlit menjadi austenit. Karakteristik material yang lebih dominan mengalami perubahan adalah kondisi tegangan internal melalui mekanisme *recovery* dan relaksasi tegangan sisa (*stress relief)*.

Tegangan sisa terbentuk selama proses pengelasan dan pada kondisi Non-PWHT, tegangan sisa tersebut tetap berada di dalam sambungan setelah proses pendinginan. Sebaliknya, pada spesimen PWHT, pemanasan pada 500°C memberikan energi termal yang memungkinkan terjadinya redistribusi dan relaksasi sebagian tegangan internal. Berkurangnya tegangan sisa menyebabkan konsentrasi tegangan pada sambungan ketika menerima beban bending menjadi lebih rendah, sehingga kemampuan sambungan dalam menerima pembebanan lentur meningkat. Dengan demikian, peningkatan kekuatan bending pada spesimen PWHT lebih tepat dikaitkan dengan relaksasi tegangan sisa dan *recovery*, bukan karena terbentuknya fasa baru.

Pada variasi arus 115 A, nilai tegangan bending sebesar 2.814,24 N/mm², yang merupakan nilai terendah di antara spesimen PWHT. Kondisi ini disebabkan oleh *heat input* yang relatif rendah sehingga energi panas yang diterima logam induk belum cukup untuk menghasilkan peleburan dan penetrasi yang optimal. Heat input yang rendah dapat menyebabkan kualitas fusi antara logam las dan logam induk belum maksimal. Kondisi tersebut dapat

membatasi kontinuitas penampang sambungan sehingga kemampuan sambungan dalam meneruskan beban bending menjadi lebih rendah. Dengan demikian, rendahnya nilai bending pada 115 A tidak hanya berkaitan dengan kondisi tegangan sisa, tetapi juga dengan karakteristik sambungan yang terbentuk akibat heat input yang relatif rendah.

Setelah dilakukan PWHT pada temperatur 500°C, sebagian tegangan sisa yang terbentuk selama pengelasan mengalami relaksasi melalui mekanisme recovery dan stress relief. Namun, PWHT tidak dapat memperbaiki secara langsung keterbatasan penetrasi atau kualitas fusi yang telah terbentuk sejak proses pengelasan. Oleh karena itu, meskipun PWHT memberikan pengaruh positif terhadap kondisi tegangan internal, nilai bending pada arus 115 A tetap lebih rendah dibandingkan variasi arus lainnya.

Pada variasi arus 125 A, nilai tegangan bending mencapai 3.090,15 N/mm², yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh spesimen PWHT. Hasil tersebut menunjukkan bahwa arus 125 A merupakan kondisi paling optimum dalam rentang parameter yang digunakan pada penelitian ini. Besarnya arus tersebut menghasilkan *heat input* yang cukup untuk melelehkan logam induk dan elektroda secara merata sehingga menghasilkan penetrasi las yang baik, ikatan metalurgi yang kuat, serta pembentukan manik las yang lebih seragam. Setelah dilakukan PWHT pada temperatur 500°C, tegangan sisa yang terbentuk selama proses pengelasan mengalami relaksasi melalui mekanisme *stress relief*, sehingga distribusi tegangan pada daerah las dan *Heat Affected Zone* (HAZ) menjadi lebih homogen. Selain itu, PWHT juga meningkatkan kestabilan struktur mikro ferrit–perlit tanpa menyebabkan transformasi fasa yang signifikan karena temperatur perlakuan masih berada di bawah temperatur kritis. Kombinasi antara *heat input* yang optimal dan berkurangnya tegangan sisa tersebut menghasilkan sambungan las dengan kemampuan menahan pembebanan lentur paling tinggi.

Pada variasi arus 135 A, nilai tegangan bending mengalami sedikit penurunan menjadi 2.979,79 N/mm², meskipun masih lebih tinggi

dibandingkan arus 115 A. Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya *heat input* akibat penggunaan arus yang lebih besar. Energi panas yang berlebihan menyebabkan daerah logam las dan HAZ mengalami waktu tinggal pada temperatur tinggi yang lebih lama sehingga mendorong terjadinya pertumbuhan butir (*grain growth*). Ukuran butir yang lebih kasar mengurangi kekuatan material berdasarkan hubungan *Hall–Petch*, yaitu semakin besar ukuran butir maka semakin rendah hambatan terhadap pergerakan dislokasi. Akibatnya, kekuatan bending mengalami sedikit penurunan dibandingkan kondisi optimum pada arus 125 A. Walaupun demikian, perlakuan PWHT tetap memberikan pengaruh positif karena mampu mengurangi tegangan sisa, meningkatkan homogenitas struktur mikro, serta menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan spesimen tanpa PWHT.

Hasil penelitian perlakuan PWHT terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36. Arus 125 A menghasilkan keseimbangan *heat input* yang paling baik sehingga diperoleh penetrasi yang optimal, struktur mikro yang lebih homogen, serta tegangan sisa yang efektif direduksi melalui proses PWHT. Sebaliknya, arus yang rendah menghasilkan penetrasi yang kurang sempurna, sedangkan arus yang terlalu tinggi menyebabkan kecenderungan pertumbuhan butir pada daerah HAZ. Oleh karena itu, kombinasi arus 125 A dengan perlakuan PWHT pada temperatur 500°C selama 2 jam dengan *holding time* 30 menit merupakan kondisi yang paling efektif untuk menghasilkan sambungan las dengan kekuatan bending tertinggi pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil pengujian bending pada spesimen tanpa perlakuan Non-PWHT diperoleh nilai tegangan bending sebesar 2.372,79 N/mm² pada arus 115 A, 2.372,79 N/mm² pada arus 125 A, dan 2.427,98 N/mm² pada arus 135 A. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan dari 115 A menjadi 125 A belum memberikan perubahan terhadap kekuatan bending.

Secara metalurgi, Pada arus 115 A, heat input yang relatif rendah menyebabkan energi panas yang tersedia untuk proses peleburan dan penetrasi relatif terbatas. Kondisi tersebut dapat menyebabkan kualitas fusi dan kontinuitas sambungan belum optimal. Setelah pengelasan, spesimen mengalami pendinginan tanpa perlakuan PWHT sehingga tegangan sisa yang terbentuk akibat siklus termal pengelasan tidak mengalami proses relaksasi melalui pemanasan lanjutan. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kemampuan sambungan dalam menerima pembebanan bending, sehingga diperoleh nilai tegangan bending sebesar 2.372,79 N/mm².

Pada arus 125 A, nilai tegangan bending tetap sebesar 2.372,79 N/mm². Meskipun arus meningkat sebesar 10 A dan secara teoritis heat input juga meningkat, perubahan tersebut belum menghasilkan peningkatan nilai bending yang terukur. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan heat input dari 115 A menjadi 125 A belum memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kemampuan mekanik sambungan pada kondisi Non-PWHT. Selain itu, tidak adanya PWHT menyebabkan tegangan sisa hasil pengelasan tetap berada di dalam sambungan dan tidak mengalami relaksasi melalui perlakuan panas.

Peningkatan nilai tegangan bending terjadi pada arus 135 A, yaitu menjadi 2.427,98 N/mm². Kondisi ini menunjukkan bahwa *heat input* yang lebih tinggi menghasilkan penetrasi las yang lebih baik sehingga ikatan metalurgi antara logam las dan logam induk menjadi lebih sempurna. Meskipun demikian, spesimen 135 A tetap berada dalam kondisi Non-PWHT sehingga tegangan sisa akibat proses pengelasan masih terdapat pada sambungan. sedangkan tegangan sisa tetap menjadi salah satu faktor yang membatasi peningkatan kekuatan bending.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi Non-PWHT, variasi arus pengelasan memengaruhi kekuatan bending, meskipun pengaruhnya relatif kecil. Arus 135 A menghasilkan nilai tegangan bending tertinggi karena memberikan penetrasi dan kualitas fusi yang lebih baik

dibandingkan arus 115 A dan 125 A. Namun, pada kondisi Non-PWHT, tegangan sisa yang terbentuk selama proses pengelasan masih tertahan di dalam sambungan sehingga dapat meningkatkan konsentrasi tegangan ketika menerima beban bending. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan sambungan dalam menerima pembebanan lentur belum optimal.

Perlakuan PWHT pada temperatur 500°C selama 2 jam dengan *holding time* 30 menit pada baja ASTM A36 menyebabkan perubahan struktur mikro yang bersifat *mikrostruktural*, bukan *transformasi* fasa. Hal ini disebabkan temperatur 500°C masih berada di bawah temperatur kritis bawah (A1) yang berkisar 723°C, sehingga energi panas yang diberikan belum cukup untuk mengubah *struktur ferrit* dan *perlit* menjadi *austenit.* Oleh karena itu, struktur mikro setelah PWHT tetap terdiri atas fasa *ferrit* dan *perlit*, namun mengalami perubahan pada morfologi, distribusi, dan kestabilannya.

Hasil penelitian ini memiliki persamaan maupun perbedaan dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Huda dan Rasyid (2025) Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur PWHT memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan bending dan struktur mikro sambungan las baja SS400. Pengamatan struktur mikro Setelah dilakukan PWHT pada 650°C, struktur mikro didominasi oleh fasa *ferrit* dan *perlite* yang tersebar merata dan ukuran butir yang lebih halus. Kondisi ini menghasilkan sifat material yang lebih ulet, lebih tangguh, serta mampu meningkatkan ketahanan terhadap pembebanan bending.

Hasil penelitian ini memiliki persamaan maupun perbedaan dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Genio Yudha Pratama 2022 "Pengaruh *post weld heat treatment* dengan variasi media pendingin hasil pengelasan smaw pada pipa kilang ASTM A 106 *Grade* B terhadap kekuatan bending dan struktur mikro" Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan PWHT pada suhu 500°C dengan *holding time* 20 menit, Hasil pengamatan struktur mikro mendukung hasil pengujian bending. Pada media pendingin

udara, struktur mikro didominasi oleh fasa *ferrit* dengan ukuran butir yang lebih kecil sehingga material bersifat lebih lunak dan ulet.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori mengenai PWHT yang menyatakan bahwa perlakuan panas setelah pengelasan bertujuan mengurangi tegangan sisa, meningkatkan keuletan, serta meningkatkan sifat mekanik sambungan las. Proses PWHT memungkinkan terjadinya redistribusi tegangan internal sehingga sambungan las menjadi lebih stabil ketika menerima pembebanan. Oleh karena itu, spesimen yang mengalami PWHT menunjukkan nilai kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan spesimen Non-PWHT.

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi arus pengelasan SMAW dan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) pada suhu 500°C terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi arus pengelasan SMAW berpengaruh terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan dari 115 A menjadi 125 A mampu meningkatkan nilai tegangan bending, sedangkan pada arus 135 A terjadi sedikit penurunan. Nilai tegangan bending tertinggi diperoleh pada variasi arus 125 A, yaitu sebesar 3.090,15 N/mm² spesimen hasil PWHT. Hal ini menunjukkan bahwa arus 125 A menghasilkan masukan panas (*heat input*) yang optimal, sehingga terbentuk penetrasi las yang baik, ikatan logam yang lebih sempurna, serta kualitas sambungan las yang lebih tinggi dibandingkan variasi arus lainnya.
2. Perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) pada suhu 500°C terbukti meningkatkan kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36. Hal ini ditunjukkan oleh nilai tegangan bending spesimen PWHT yang secara konsisten lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa PWHT pada seluruh variasi arus pengelasan. Peningkatan tersebut terjadi karena proses PWHT pada suhu 500°C mampu mengurangi tegangan sisa (*residual stress*) yang terbentuk selama proses pengelasan serta memperbaiki kondisi struktur mikro pada daerah logam las dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Dengan demikian, sambungan las memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menerima beban lentur.

5.2 Saran

Pada penelitian pengaruh variasi arus dan PWHT pengelasan baja ASTM A36 terhadap kekuatan bending, saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

- Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian tarik dan pengujian kekarasan pada spesimen yang telah diberi perlakuan *post weld heat treatment* (PWHT), sehingga pengaruh PWHT terhadap kekuatan material dan sifat mekanik sambungan las dapat diketahui secara lebih menyeluruh

DAFTAR PUSTAKA

Agustono, H. (2019). “Analisa kekuatan Tarik dan lentur sambungan las baja ST-41 dengan media pendingin oli SAE 10W-40”. Skripsi, Universitas Medan Area.

Ali, A. S. (2020). “Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan las SMAW baja karbon rendah ST 37.” Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal.

Akbar, Muhammad Ae Haziemill. (2024) “Studi pengaruh variasi arus E420-13 lokal dan E6013 impor terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada plat ASTM A36 dengan metode pengelasan SMAW.” Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cumaratungga, A. A. (2022). Analisa sifat kekerasan dan struktur mikro proses PWHT dengan dvariasi suhu pemanasan pada pengelasan logam berbeda ASTM A36 dengan AISI 316L. Skripsi. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

Hartanto. (2019). “Pengaruh variasi holding time pada proses *heat treatment* 1000°C baja C45 dengan quenching oli”. Tugas akhir, Universitas Pamulang.

Huda, M.R., & Rasyid, A. H. A. (2025). “Pengaruh variasi temperatur dalam proses PWHT pengelasan SMAW untuk material baja SS400 terhadap Kekuatan bending dan struktur mikro”. JTM (Jurnal Teknik Mesin), 14(2), 67 - 72

Julianto. F. (2022) “Pengaruh variasi gerakan elektroda terhadap sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan SMAW”. Universitas Islam Indonesia.

Kawirian, W. (2023). ”Rancang bangun meja las Listrik untuk variasi sudut pengelasan dengan pendekatan ergonomic untuk mengetahui efektivitas pengelasan”. Tugas akhir, Universitas Mataram.

Kurniawan, M. R., & Drastiawati, N. S. (2024). “Pengaruh variasi jenis elektroda pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap kekuatan tarik dan bending sambungan las pada material baja ST 37 untuk aplikasi paddock.” Jurnal Teknik Mesin (JTM), 13(1), 123–128.

Konsuci, W., Rosidah, A. A., Suheni, & Pranatal, E. (2024). “Analisis pengaruh variasi arus dan ayunan pengelasan SMAW pada baja AISI 1040 terhadap laju korosi dan kekerasan.” Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV).

Muharam, F. P. (2021). Pengaruh temperatur *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan las MIG baja AISI 1000 SS. Tugas akhir, Universitas Islam Indonesia.

Maulid, R. (2022). “Analisis uji bending pada pengelasan baja ST37 menggunakan las SMAW dengan posisi pengelasan 1G”. Proyek akhir. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Mabrullah, R. A. (2024). “Pengaruh variasi arus pada pengelasan SMAW terhadap uji kekuatan bending, kekuatan Tarik dan struktur mikro baja ST-42”. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Jember.

Pratama, Pandu.(2020). “*Pengaruh Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pegas daun yang dilas dengan pengelasan SMAW”. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

Pratama, Genio Yudha Pratama. (2022). Pengaruh *post weld heat treatment* (PWHT) dengan variasi media pendinginan hasil pengelasan SMAW pada pipa kilang ASTM 106 Grade B terhadap kekuatan bending dan struktur mikro. Jurnal Teknik Mesin, 10(3), 157-165

Prayogo, M. R., Mulyadi, M., Iswanto, & Akbar, A. (2024). “Pengaruh arus dan elektroda pada pengelasan material ASTM A36 terhadap kekuatan tarik”. TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 13(2), 199–205.

Pandita, Adhib Surya. (2025). “Pengaruh variasi arus dan elektroda terhadap kekuatan tarik dan nilai kekerasan pipa baja ASTM A106 menggunakan las SMAW.” Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Magelang.

Rifai, Ahmad Yusuf. (2023). “Analisis pengaruh variasi arus pengelasan pada pola gerakan elektroda zig -zag terhadap kekuatan hasil sambungan las bermaterial pelat baja karbon.” Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar Magelang.

Rangkuti, S. (2024). “Pengaruh variasi aliran gas pelindung pada proses pengelasan TIG menggunakan material stainless steel 304”. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh.

Saputra, S.D., & Drastiawati, N.S. (2024). “Analisis pengaruh variasi *groove* pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending baja karbon SS400.” Jurnal Teknik Mesin, 13(2), 125-130.

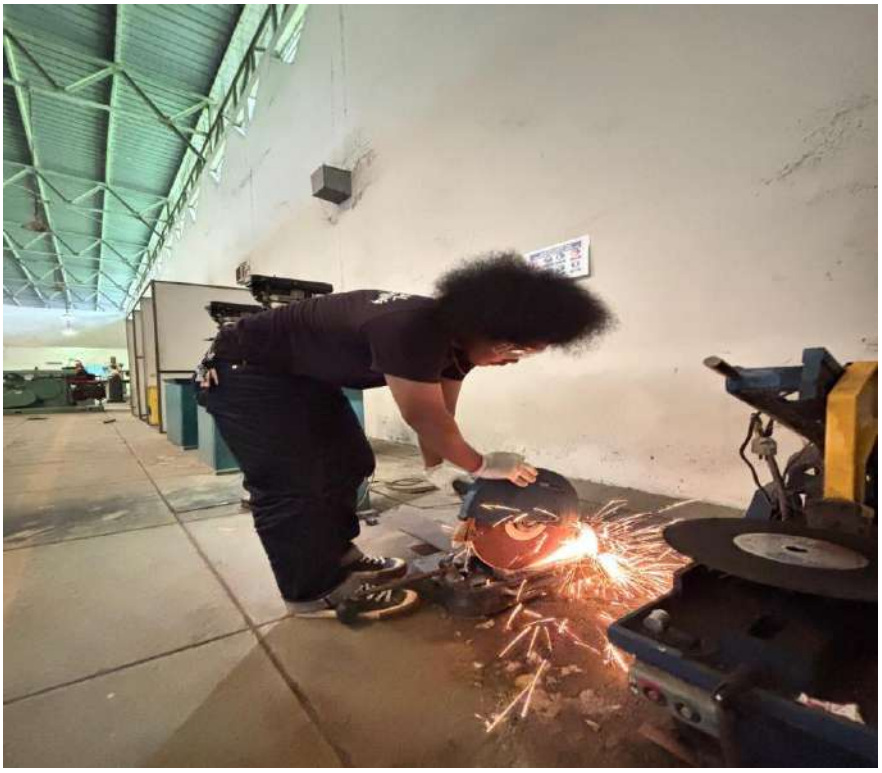
Syuhada, H. (2025). “Analisis *Pengaruh Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las SMAW material baja karbon rendah”, Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan.

Zikri, K. (2024). “Pengaruh penggunaan sambungan tumpul dengan tiga variasi kuat arus terhadap kekuatan bending pada pengelasan SMAW”. Skripsi, Universitas Malikasussaleh.

LAMPIRAN

1. Foto dokumentasi pembuatan spesimen
2. Foto dokumentasi *post weld heat treatment* (PWHT)
3. Foto dokumentasi pengujian bending
4. Lembar surat Keputusan skripsi
5. Lembar bimbingan skripsi
6. Lembar surat rekomendasi
7. Lembar surat keterangan melakukan pengujian
8. Lembar surat spesifikasi baja ASTM A36

1. Foto dokumentasi pembuatan spesimen





2. Foto dokumentasi *post weld heat treatment* (PWHT)



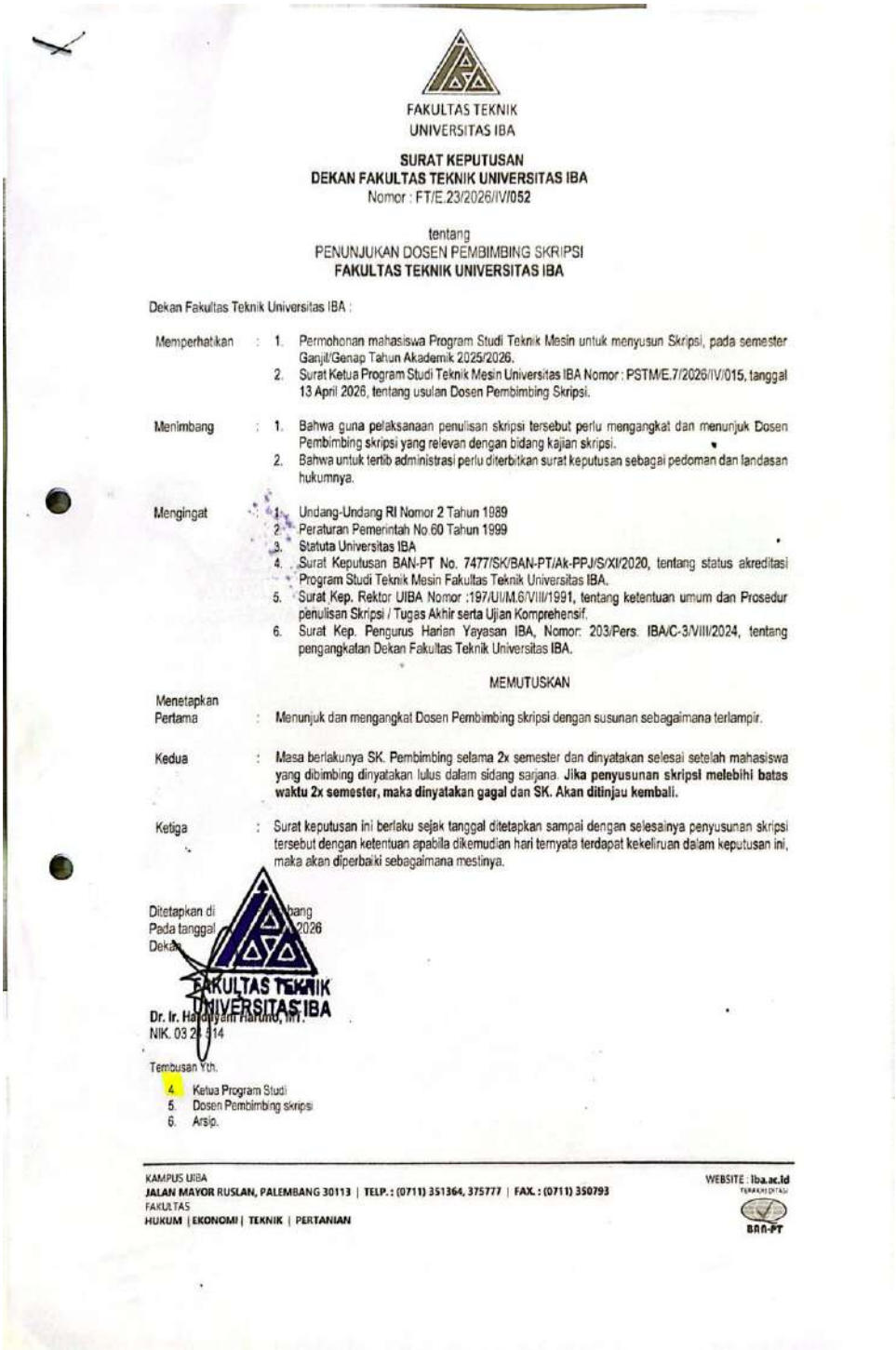


3. Foto dokumentasi pengujian bending





4. Lembar surat keputusan skripsi



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

SURAT KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA
Nomor : FT/E.23/2026/IV/052

tentang
PENUNJUKAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA

Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA :

Memperhatikan :
1. Permohonan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin untuk menyusun Skripsi, pada semester Ganjil/Genap Tahun Akademik 2025/2026.
2. Surat Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas IBA Nomor : PSTM/E.7/2026/IV/015, tanggal 13 April 2026, tentang usulan Dosen Pembimbing Skripsi.

Menimbang :
1. Bahwa guna pelaksanaan penulisan skripsi tersebut perlu mengangkat dan menunjuk Dosen Pembimbing skripsi yang relevan dengan bidang kajian skripsi.
2. Bahwa untuk tertib administrasi perlu diterbitkan surat keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.

Mengingat :
1. Undang-Undang RI Nomor 2 Tahun 1989
2. Peraturan Pemerintah No.60 Tahun 1999
3. Statuta Universitas IBA
4. Surat Keputusan BAN-PT No. 7477/SK/BAN-PT/Ak-PPJ/S/XI/2020, tentang status akreditasi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA.
5. Surat Kep. Rektor UIBA Nomor :197/UI/M.6/VIII/1991, tentang ketentuan umum dan Prosedur penulisan Skripsi / Tugas Akhir serta Ujian Komprehensif.
6. Surat Kep. Pengurus Harian Yayasan IBA, Nomor: 203/Pers. IBA/C-3/VIII/2024, tentang pengangkatan Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA.

MEMUTUSKAN

Menetapkan
Pertama : Menunjuk dan mengangkat Dosen Pembimbing skripsi dengan susunan sebagaimana terlampir.

Kedua : Masa berlakunya SK. Pembimbing selama 2x semester dan dinyatakan selesai setelah mahasiswa yang dibimbing dinyatakan lulus dalam sidang sarjana. **Jika penyusunan skripsi melebihi batas waktu 2x semester, maka dinyatakan gagal dan SK. Akan ditinjau kembali.**

Ketiga : Surat keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan selesainya penyusunan skripsi tersebut dengan ketentuan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam keputusan ini, maka akan diperbaiki sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di [illegible]bang
Pada tanggal [illegible]2026
Dekan

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Dr. Ir. Hanafiah Hamid, M.T.
NIK. 03 2[illegible]14

Tembusan Yth.
4. Ketua Program Studi
5. Dosen Pembimbing skripsi
6. Arsip.

KAMPUS UIBA
JALAN MAYOR RUSLAN, PALEMBANG 30113 | TELP. : (0711) 351364, 375777 | FAX. : (0711) 350793
FAKULTAS
HUKUM | EKONOMI | TEKNIK | PERTANIAN

WEBSITE : iba.ac.id
BAN-PT

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Lampiran

SK Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA
Nomor : FT/E.23/2026/IV/052, Tanggal : 24 April 2026

NAMA DOSEN PEMBIMBING UTAMA DAN PEMBIMBING KEDUA PENULISAN SKRIPSI MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN SEMESTER GANJIL/GENAP 2025/2026

No.	Nama	NPM	Judul Skripsi	Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
1.	Reno Adi Purnomo	22320003	Pengaruh Variasi Arus dan Gerakan Pengelasan terhadap Uji Kekuatan Bending Baja ASTM A36	Reny Afriany, ST., M.Eng.	Dr. Arie Yudha Budiman, ST., MT.

Ditetapkan di : Palembang
Pada tanggal : 24 April 2026

Dekan,

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Dr. Ir. Harsoyuni [illegible], IPU.
NIK. 03 24 [illegible]

5. Lembar bimbingan skripsi

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

NAMA : Reno Adi Purnomo
NPM 22320003
PROGRAM STUDI : Teknik Mesin
JUDUL SKRIPSI : Pengaruh Variasi Arus dan PWHT Pengelasan Baja ASTM A36 Terhadap Kekuatan Bending
PEMBIMBING I : Reny Afriany, ST., M.Eng

NO.	TANGGAL	POKOK BAHASAN	PERBAIKAN	PARAF DOSEN
1.	11/5-26	metode penelitian	setting variasi dibuat 1 spesimen jadi	
2.	25/5-26	elektroda E7018 arus 115, 125, 135 face bending uk: 20 x 10 ASTM E290		
3.	22/6-26	las ulang, 3 spesimen PWHT 650°C, holding time 3 min.		
4.	23/6-26	tambahan persentase C u/ tampilan sesuai ASTM E290 baru		
5.	29/6-26	perbaikan teg bending dibuat grafik & 1 perbaikan		
6.	3/7-26	disetujui untuk u/ pembuatan hasil		

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Reny Afriany
NIK. 02'05 171

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

NAMA : Reno Adi Purnomo
NPM 22320003
PROGRAM STUDI : Teknik Mesin
JUDUL SKRIPSI : Pengaruh Variasi Arus dan PWHT Pengelasan Baja ASTM A36 Terhadap Kekuatan Bending
PEMBIMBING II : Dr. Arie Yudha Budiman, ST., MT

NO.	TANGGAL	POKOK BAHASAN	PERBAIKAN	PARAF DOSEN
1	25/5 - 26	Referensi Artikel untuk rujukan	Perjelas Rujukannya,	
2	4/6 - 26	Persiapan material uji	Bab kampuh * ukuran benda uji	
3	16/6 - 26	Pengambilan data uji bending	—	
4	23/6 - 26	Persiapan spesimen untuk pengujian ulang	—	
5	29/6 - 26	Analisa Hasil Pengujian Bending	—	

Mengetahui,
Ketua Program Studi

NIK. 0205 (71

6 Lembar surat rekomendasi

SURAT REKOMENDASI

Yang bertanda-tangan dibawah ini :

1. Nama : Reny Afriany S.T, M.Eng
   Jabatan : Pembimbing Utama

2. Nama : Dr. Aric Yudha Budiman, ST., MT.
   Jabatan : Pembimbing Pendamping

Dengan ini memberikan rekomendasi kepada :

Nama : Reno Adi Purnomo
NPM : 22 32 0003
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Arus dan PWHT Pengelasan Baja ASTM A36 Terhadap Kekuatan Bending

Untuk mengikuti **Seminar Skripsi** yang diadakan oleh Program Studi Teknik Mesin pada hari Selasa tanggal 07 Juli tahun 2026 Sebagai bahan pertimbangan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan 137 SKS tanpa ada/ada nilai "D" *) sebanyak 0 buah. Mahasiswa telah menyelesaikan Skripsi sehingga sudah layak untuk mengikuti seminar.

Palembang, 03 Juli 2026
Yang memberikan rekomendasi :

Pembimbing Utama : Reny A.

Pembimbing Pendamping : Arie Yudha B

*) coret yang tidak sesuai

Dipindai dengan CamScanner

7 Lembar surat keterangan melakukan pengujian

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM MATERIAL TEKNIK
Jalan Raya Palembang – Prabumulih KM. 32 Indralaya – OI Telp/Fax 0711 580272

SURAT KETERANGAN MELAKUKAN PENELITIAN/PENGUJIAN
Nomor : 028/UN9.1.3/LMT/KS/VI/2026

Yang bertandatangan dibawah ini menerangkan bahwa Mahasiswa dibawah ini memang benar telah melakukan penelitian/pengujian di Laboratorium Material Teknik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Unsri.

Nama	:	Reno Adi Purnomo
NPM	:	22320003
Jurusan	:	Teknik Mesin Universitas IBA Palembang
Pengujian	:	Uji Tekuk/Bending
Tanggal	:	22 Juni 2026
Standar Uji	:	ASTM E90

Data hasil pengujian terlampir pada lembar lain surat ini.

Data alat uji Tarik/Bending :

Merek	: TORSEE
Model	: Universal Testing Machine
Type	: RAT-30P
Kapasitas	: 30 ton forces

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Indralaya, 22 Juni 2026
Pranata Laboratorium Pendidikan,

Yahya Bahar, S.T.
NIP. 196808312014091001

8 Lembar surat spesifikasi baja ASTM A36

Description

ASTM A36 Carbon Steel Plate

Standard: ASTM A36

This specification covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

Grade: ASTM A36

Plate Specification Standard: ASTM A6

Available Dimensions:

Thickness: 4mm - 200mm Width: 1200mm - 2500mm Length: 4000mm - 18000mm

ASTM A36 steel plate chemical composition table:

Product	Shapes[A]	Plates[B]				
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	...	...	0.60–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

ASTM A36 steel plate mechanical property:

TABLE 3 Tensile Requirements[A]

Plates, Shapes,[D] and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250][C]
Plates and Bars[D,E]:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21[D]

ASTM A36 Carbon Steel Plate is the raw material to build oil storage tanks, manufacture pressure vessels and steel pipes and tubes.Where to buy carbon steel ASTM A36 plates or sheets? Contact Linkun!Linkun is a leading China Steel Plate/Coil manufacturer and importer.LINKUN can supply ASTM A36 steel plate for oil storage tanks with plate surface zinc-rich epoxy primer coated.