TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN PENGELASAN ARUS KONVENSIONAL DAN ARUS *SINGLE PULSE* PADA PENGELASAN FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERSAN MATERIAL ASTM A36

Disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai gelar Ahli Madya/Sarjana Terapan
Dosen Pembimbing :

Roza Puspita, S.Pd., M.Hum

Disusun oleh:
NASSEM HAMED
4422201005

TEKNOLOGI REKAYASA PENGELASAN DAN FABRI KASI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BATAM

2026

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN PENGELASAN ARUS KONVENSIONAL DAN ARUS SINGLE PULSE PADA PENGELASAN FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERSAN MATERIAL A36

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan
pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Batam

ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN PENGELASAN ARUS KONVENSIONAL DAN *ARUS SINGLE PULSE* PADA PENGELASAN FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERSAN MATERIAL ASTM A36

Disusun oleh :

NASSEM HAMED
4422201005

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing.

Batam, 14 Juli 2026.

Dosen Pembimbing I

Roza Puspita, S.Pd., M.Hum

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN PENGELASAN ARUS KONVENSIONAL DAN ARUS *SINGLE PULSE* PADA PENGELASAN FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERSAN MATERIAL ASTM A36

TUGAS AKHIR
Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar S.Tr.T pada
Program Studi D4 Teknologi Pengelasan dan Fabrikasi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Batam

Disusun oleh :

NASSEM HAMED
4422201005

Telah diterima dan disetujui pada 8, Agustus, 2026

Penguji I

Ebeng Sugondo, S.T., M.T.

Penguji II

Yosef Adicita, S.Fil., M.Sc.

Dosen Pembimbing I

Roza Puspita, S.Pd., M.Hum.

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi

Nurul Laili Arifin, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Nassem Hamed
NIM	: 4422201005
Tahun terdaftar	: 2022
Program Studi Fabrikasi	: Teknologi Rekayasa Pengelasan dan
Jurusan	: Teknik Mesin

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Laporan Tugas Akhir ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang terlah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yag pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur- unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Tesis ini dikemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Batam, 14 Juli 2026

Nassem Hamed
4422201005

KATA PENGANTAR

Penulis menyampaikan rasa puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Pengaruh Perbedaan Pengelasan Arus Konvensional dan Arus *Single Pulse* pada Pengelasan FCAW terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Material ASTM A36" dengan baik dan tepat waktu.

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Terapan (S.Tr.T.) dalam Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, pada Jurusan Teknik Mesin, di Politeknik Negeri Batam. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak penggunaan arus konvensional serta arus *single pulse* terhadap proses pengelasan menggunakan metode *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) terhadap struktur mikro dan tingkat kekerasan bahan dengan standar ASTM A36. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pengelasan serta bertindak sebagai acuan bagi penelitian di masa depan.

Dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak telah memberikan bantuan, dukungan, bimbingan, serta motivasi. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus dan besar kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kemudahan, dan kekuatan kepada penulis selama proses penulisan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang terus memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral serta materi, dan motivasi yang tak pernah berhenti kepada penulis.
3. Bapak Nugroho Pratomo Ariyanto, S.T., M.SC dan Ibu Roza Puspita, S.Pd., M.Hum selaku dosen pembimbing yang telah menyisihkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan petunjuk, bimbingan, serta saran selama proses penelitian dan pembuatan Tugas Akhir.
4. Bapak/Ibu dosen dari Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi di Politeknik Negeri Batam yang telah memberikan pengetahuan, pengalaman, serta wawasan selama masa studi.

5. Seluruh pihak dari kampus Politeknik Negeri Batam yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian yang telah memberikan kesempatan, fasilitas, serta dukungan selama proses pengumpulan data penelitian.
6. Teman-teman sejawat serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan semangat hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dan belum mencapai tingkat kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap menerima kritik dan saran yang konstruktif guna memperbaiki dan menyempurnakan karya ini di masa depan.

Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, kampus Politeknik Negeri Batam, serta pembaca dan pihak-pihak yang membutuhkan, terutama dalam upaya pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pengelasan, bahan material, serta fabrikasi.

Batam, 14 Juli 2026

Penyusun

Nassem Hamed
4422201005

ABSTRAK

Dalam pengelasan, pengendalian *heat input* sangat penting untuk mencapai hasil las yang optimal. Salah satu metode untuk mengendalikan *heat input* adalah dengan menggunakan pengelasan arus *single pulse*. Optimalisasi *heat input* merupakan aspek kunci dalam industri fabrikasi karena hal ini mempengaruhi struktur mikro benda kerja hasil las; selain itu, kekerasan material hasil las juga merupakan faktor krusial yang harus diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengelasan FCAW pada material ASTM A36 dengan membandingkan pengelasan arus konvensional dan pengelasan arus *single pulse*. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji kekerasan *Vickers* dan analisis struktur mikro. Pengujian kekerasan *Vickers* pada *weld metal* menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 182,7 HV untuk pengelasan arus *single pulse* dan 178,67 HV untuk pengelasan arus konvensional. Pada daerah HAZ kekerasan rata-rata adalah 154,5 HV untuk pengelasan arus *single pulse* dan 146,5 HV untuk pengelasan arus konvensional. Analisis struktur mikro terkait ukuran butir rata-rata menunjukkan nilai 5,16 μm untuk zona logam las yang dilas dengan arus konvensional, dibandingkan dengan 4,32 μm untuk pengelasan arus *single pulse*; sementara pada HAZ, ukuran butir rata-rata adalah 3,03 μm untuk pengelasan arus konvensional dan 2,56 μm untuk pengelasan arus *single pulse*.

Kata kunci: Pengelasan FCAW, Pengelasan arus *single pulse*, Baja ASTM A36.

ABSTRACT

In welding, controlling heat input is crucial for achieving optimal weld results. One method to control heat input is by using single-pulse current welding. Optimizing heat input is a key concern in the fabrication industry, as it influences the microstructure of the welded object; additionally, the hardness of the welded material is a critical factor that must be considered. This study aims to evaluate FCAW welding on ASTM A36 material by comparing conventional current welding with single-pulse current welding. The testing conducted in this study included Vickers hardness tests and microstructural analysis. The variables compared were FCAW welding using conventional current and FCAW welding using single-pulse current. Vickers hardness testing in the weld metal zone yielded an average hardness of 182.7 HV for single-pulse current welding and 178.67 HV for conventional current welding. In the Heat-Affected Zone (HAZ), the average hardness was 154.5 HV for single-pulse current welding and 146.5 HV for conventional current welding. Microstructural analysis regarding average grain size showed a value of 5,16 μm for the weld metal zone welded with conventional current, compared to 4,32 μm for single-pulse current welding; in the HAZ, the average grain size was 3,03 μm for conventional current welding and 2,56 μm for single-pulse current welding.

Keywords: FCAW, Single pulse current welding, ASTM A36 Steel

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
KATA PENGANTAR v
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR 12
BAB I PENDAHULUAN 13
1.1. Latar Belakang 13
1.2. Rumusan Masalah 15
1.3. Batasan Masalah/Ruang Lingkup 16
1.4. Tujuan Penelitian 16
1.5. Manfaat Penelitian 17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 18
2.1. Hasil Penelitian/Perancangan Terdahulu 18
2.2. Teori/Konsep dasar 19
2.2.1. Teori Pengelasan 19
2.2.2. Teori Pengelasan Arus *Single Pulse* 20
2.2.3. Teori Pengelasan Flux Core Arc Welding 20
2.2.4. Teori Struktur Mikro 21
2.2.5. Teori Kekerasan Material 21
BAB III METODOLOGI 23
3.1. Metode Penelitian 23
3.1.1 Studi Literatur 23
3.1.2. Persiapan Material untuk Proses Pengelasan 24
3.1.3. Proses Pengelasan 25
3.1.4. Proses Persiapan Material Untuk Persiapan Pengujian Mikro dan *Vickers Hardness Test* 27
3.1.5. Proses Pengujian *Vickers Hardness* 28
3.1.6. Proses Pengujian Mikro, untuk Mencari Besar Butir Menggunakan Metode *Heyn Lineal Intercept* 29
3.2. Alat dan Bahan yang Digunakan 30
3.2.1. Alat yang Digunakan 30
3.2.1.1. Mesin Las AOTAI 350P 30
3.2.1.2. Alat Ukur 30
3.2.1.3. *Oxy fuel cutting machine* 30

3.2.1.4. Gerinda Tangan 30
3.2.1.5. *Bandsaw* 31
3.2.1.6. Alat *Vickers Hardnses Test* 31
3.2.1.7. Mikroskop Optik Metalografi 31
3.2.2. Bahan yang Digunakan 31
3.2.2.1. Plat Baja ASTM A36 31
3.2.2.2. Gas Pelindung Pengelasan 32
3.2.2.3. Kawat Las 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1. Hasil Pengelasan 33
4.2. Hasil Uji Kekerasan *Vickers* 35
4.3. Hasil Pengujian Mikro 37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 42
5.1. Kesimpulan 42
5.2. Saran 44
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN 47

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Komposisi Kimia Baja A36 (Mill Certificate, Hebei Angfeng Iron & Steel Group) 15
Tabel 3. 1. Parameter Pengelasan 26
Tabel 4. 1. Tabel Validasi Penggunaan Arus Selama Pengelasan Arus Konvensional 33
Tabel 4. 2. Tabel Validasi Penggunaan Arus Selama Pengelasan Arus Single Pulse 33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. 1Skematik arus pengelasan Single Pulse (Pal & Pal, 2011). 20
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian 24
Gambar 3. 2. Ukuran Spesimen yang akan dilas 25
Gambar 3. 3. Ukuran spesimen uji mikro dan Vickers hardness 27
Gambar 3. 4. Skematik Indentor Vickers Hardness Test (American Society for Testing and Materials, 2017)..... 28
Gambar 3. 5. Pemetaan Lokasi Pengujian Kekerasan Vickers 29
Gambar 4. 1. Hasil Pengelasan Bagian Capping, (Sebelah Kiri Arus Single Pulse dan Sebelah Kanan Arus Konvensional)..... 34
Gambar 4. 2. Hasil Pengelasan Bagian Root, (Sebelah Kiri Arus Single Pulse dan Sebelah Kanan Arus Konvensional) 34
Gambar 4. 3. Gambar Pengukuran Hasil Pengelasan Bagian Root, (Sebelah Kiri Arus Single Pulse dan Sebelah Kanan Arus Konvensional)..... 34
Gambar 4. 4. Grafik dan Tabel Hasil Uji Kekerasan Vickers..... 36
Gambar 4. 5. Hasil Mikro HAZ (A. Single Pulse) dan (B. Konvensional) 37
Gambar 4. 6. Hasil Mikro Weld Metal (C. Single Pulse) dan (D. Konvensional) 38
Gambar 4. 7. Metode Mengukur Estimasi Besar Butir Menggunakan Metode Heyn Lineal Intercept Procedure (Test Methods for Determining Average Grain Size, 2010) 38
Gambar 4. 8. Proses Perhitungan Besar Butir Weld metal arus konvensional (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir) 39
Gambar 4. 9. Proses Perhitungan Besar Butir HAZ arus konvensional (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir)..... 39
Gambar 4. 10. Proses Perhitungan Besar Butir Weld metal arus single pulse (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir) 39
Gambar 4. 11. Proses Perhitungan Besar Butir Weld metal arus single pulse (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir) 40

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri fabrikasi logam terus mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan teknologi yang semakin modern seperti saat ini tidak dapat dijauhkan dari proses pengelasan. Pengelasan sendiri dipilih sebagai metode penyambungan logam dikarenakan teknologi pengelasan memiliki peran penting dalam perkembangan industri yang dimana kemampuan teknologi ini dapat menghasilkan lasan yang baik dari proses penyambungan logam jika prosesnya terkontrol. Penerapan teknik pengelasan dalam industri fabrikasi juga sudah mencakup berbagai bidang, seperti pada industri pembuatan kapal, industri otomotif, perpipaan, manufaktur kereta api, hingga pada konstruksi bangunan (Tohari Alfian Amin & Yunus, 2021).

Salah satu metode pengelasan yang sering digunakan di bidang industri konstruksi baja dan fabrikasi saat ini adalah *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Proses pengelasan FCAW banyak digunakan pada industri saat ini dikarenakan kelebihan yang dimiliki dari proses pengelasan ini dibandingkan dari metode pengelasan lainya, kelebihan-kelebihan tersebut diantaranya adalah tingkat deposit pengelasan yang tinggi, kecepatan pengelasan yang tinggi, penetrasi yang tinggi, dan juga biaya pengoperasian yang relatif rendah (Wu dkk., 2023), (Kurtulmus dkk., 2015).

Flux Cored Arc Welding yang juga dikenal sebagai FCAW, adalah kategori teknik pengelasan busur yang melibatkan penggunaan kawat yang berbentuk tabung/tubular yang diisi dengan fluks, kawat ini akan terus-menerus meleleh dan membentuk kolam las selama proses pengelasan dan kolam las yang meleleh dilindungi oleh gas pelindung. Umumnya pada industri dan sesuai dengan EN ISO 4063 “Standar dan klasifikasi pengelasan”, ada dua tipe pengelasan FCAW yaitu pengelasan FCAW dengan tambahan gas pelindung dan pengelasan FCAW tanpa tambahan gas pelindung (Świerczyńska dkk., 2024).

Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang optimal, mengontrol *heat input* menjadi salah satu hal yang penting, hal ini dikarenakan *heat input* adalah besar

energi yang diberikan pada objek pengelasan sepanjang jalur yang terkena las. Besaran energi yang diberikan pada material yang akan dilas dapat berdampak pada laju pendinginan. Laju pendinginan ini akan berdampak pada pembentukan fasa mikrostruktur pada objek yang dilas oleh karena itu, *heat input* juga berkontribusi dalam pembentukan struktur mikro dan juga mempengaruhi *heat affected zone* (HAZ) serta akan mempengaruhi sifat mekanik objek yang dilas (Yuniarto M. dkk., 2019), (GÜROL, 2022). Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menyebabkan adanya perbedaan suhu yang besar pada lasan serta sekitar area yang dilas. Secara umum, bidang logam yang terhubung melalui las dapat dibagi menjadi dua area utama, yaitu *fusion zone* (FZ) dan *heat affected zone* (HAZ). Zona HAZ adalah area yang terletak di luar zona fusi dan terkena dampak panas dari proses pengelasan. Zona HAZ dianggap sebagai zona transisi karena terdiri dari struktur mikroskopis bahan dasar (BM) dan zona fusi. Sifat-sifat dari zona HAZ sangat penting setelah proses pengelasan selesai karena zona ini dianggap lebih lemah dan menjadi tempat terjadinya kegagalan pada logam yang dilas, terutama ketika logam mengalami kondisi yang keras. Oleh karena itu, pemahaman terhadap zona kritis ini pada sambungan las sangat diperlukan (Boumerzoug, 2020).

Ada beberapa opsi untuk mengendalikan *heat input* pada proses pengelasan, salah satunya dengan menggunakan arus pengelasan yang lebih rendah saat pengelasan untuk mengurangi *heat input*. Tetapi hal ini tidak selalu benar dikarenakan arus pengelasan yang terlalu rendah dapat mengakibatkan penurunan kekuatan sambungan las (Suwandi dkk., 2024). Salah satu cara untuk mengontrol *heat input* adalah dengan menggunakan pengelasan arus *single pulse*. Hal ini dikarenakan arus *single pulsed* menggunakan teknik *cycle* pada saat arus pengelasan mengalir, arus cycle ini dapat berada pada level *peak current* (tinggi) dan level *background current* (rendah) sehingga energi yang tidak diperlukan pada saat pengelasan dapat dikurangi, oleh karena itu pengelasan arus *single pulsed* dapat memberikan *heat input* yang lebih kecil (Rani & Marpu, 2012), (Singh & Siddique, 2025).

Pada penelitian ini, baja A36 dipilih sebagai objek yang akan digunakan sebagai spesimen uji pada penelitian yang akan dilakukan. Baja A36 adalah baja karbon rendah yang sangat banyak digunakan. Baja ini banyak digunakan untuk struktur sebuah objek, seperti struktur pada jembatan, konstruksi perkapalan dan banyak lagi, hal ini dikarenakan baja A36 mudah dilas dan dapat dilas menggunakan semua metode pengelasan yang ada seperti metode pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW), *Flux Core Arc Welding* (FCAW), dan metode pengelasan lainnya (Arifin J. dkk., 2017). Komposisi kimia baja A36 dapat dilihat pada Tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1.1. Komposisi Kimia Baja A36 (Mill Certificate, Hebei Angfeng Iron & Steel Group)

Fe	**C**	**Mn**	**Si**	**Al**	**S**	**P**
99.155 %	0.17 %	0,48 %	0.16 %	0.001 %	0.017 %	0.017 %

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya banyak melakukan pengujian terhadap pengelasan yang menggunakan arus *pulse*, tetapi pada penelitian-penelitian tersebut banyak terfokus pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dan pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) yang banyak dilakukan pada material stainless steel, dan untuk pengelasan FCAW yang menggunakan arus pulse pada baja karbon rendah khususnya baja ASTM A36 masih sangat jarang ditemukan penelitian yang sudah ada. Penelitian ini nantinya akan mengamati hasil pengelasan ASTM A36 dari variasi pengelasan FCAW yang menggunakan arus *single pulse* dan pengelasan FCAW yang menggunakan arus konvensional (arus *Non-Pulse*) terhadap struktur mikro dan kekerasan material.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apa pengaruh perbedaan metode pengelasan arus *Non-pulse* dan *single pulse* FCAW terhadap profil lasan yang dihasilkan pada sambungan las baja ASTM A36?
2. Apa pengaruh perbedaan metode pengelasan arus *Non-pulse* dan *single pulse* FCAW terhadap kekerasan sambungan las baja ASTM A36?

3. Apa pengaruh perbedaan metode pengelasan arus *Non-pulse* dan *single pulse* FCAW terhadap struktur mikro sambungan las baja ASTM A36?

1.3. Batasan Masalah/Ruang Lingkup

Penelitian ini akan berfokus pada pengelasan FCAW yang menggunakan arus konvensional dan pengelasan FCAW yang menggunakan arus *single pulse*. Pengelasan akan menggunakan mesin las AOTAI AMIG 350P. Spesimen/material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah baja ASTM A36, dengan ketebalan 10 mm dan akan diberi bavel berupa *single-v* sebesar 60˚+/-10˚, pengelasan akan menggunakan ceramic *backing* dan posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G. Kawat las yang digunakan pada pengelasan ini adalah Kisswel K-71T dengan ukuran 1,2mm, pengelasan menggunakan *shielding gas* campuran yaitu 80% Ar dan 20% CO. Parameter pengelasan yang digunakan pada kedua mode pengelasan adalah konstan. Pengelasan akan dilakukan di laboratorium W2 pada Politeknik Negeri Batam. Penelitian ini akan berfokus pada analisa struktur mikro dan analisa kekerasan material menggunakan metode *Vickers hardness test.* Untuk pengujian mikro dan kekerasan *Vickers* akan dilakukan di laboratorium pada Politeknik Negeri Batam.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menganalisa pengaruh perbedaan metode pengelasan arus *Non-pulse* dan *single pulse* FCAW terhadap profil lasan yang dihasilkan pada sambungan las baja ASTM A36.
2. Menganalisa pengaruh perbedaan metode pengelasan arus *Non-pulse* dan *single pulse* FCAW terhadap kekerasan sambungan las baja ASTM A36.
3. Menganalisa pengaruh perbedaan metode pengelasan arus *Non-pulse* dan *single pulse* FCAW terhadap struktur mikro sambungan las baja ASTM A36.

1.5. Manfaat Penelitian

Secara teoritis penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dalam bidang teknik pengelasan dengan menambah pemahaman mengenai pengaruh perbedaan metode pengelasan FACW dengan arus konvensional dan pengelasan FCAW dengan arus single pulse terhadap struktur mikro dan kekerasan material, pada baja ASTM A36, serta memperkaya referensi ilmiah terkait penerapan arus *single pulse* pada proses pengelasan FCAW.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Hasil Penelitian/Perancangan Terdahulu

Singh & Siddique, (2025) Melakukan penelitian terhadap pengaruh pengelasan GMAW arus *pulsed* terhadap *cladding stainless steel* pada *mild steel*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa dengan mengoptimalkan parameter pengelasan dalam proses pengelasan *pulse* dapat menghasilkan hasil pengelasan, khususnya pada parameter frekuensi *pulse*. Dengan pernyataan ini peneliti dapat menyimpulkan bahwa dengan tegangan busur sebesar 30 V, arus *pulse* 210 A, dan laju pengelasan 4 m/menit, menjadi parameter paling optimal untuk mendapatkan hasil pengelasan baik. Penelitian ini memiliki topik yang sama dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh pengelasan arus *pulse*, terhadap daerah HAZ. Tetapi penelitian ini tidak mengangkat pengaruh pengelasan arus *pulse* terhadap besar sudut distorsi yang diakibatkan oleh *heat input* pada pengelasan arus *pulse*. Penelitian ini juga menggunakan metode pengelasan GMAW dan baja *mild steel* sebagai spesimen uji.

Penelitian lain yang juga membahas daerah HAZ dengan topik pengelasan arus *pulse* adalah penelitian yang dilakukan oleh (Srivastava & Patra, 2021) yang berjudul "*Pulse spray gas metal arc welding of advanced high strength S650MC automotive steel*" dengan hasil penelitian yang menyatakan dari dua proses pengelasan yang digunakan pada penelitian, menyatakan bahwa proses pengelasan *pulse* lebih unggul dibandingkan proses pengelasan menggunakan arus konvensional karena memiliki efisiensi sambungan las yang lebih tinggi. Zona HAZ biasanya merupakan bagian paling lemah dalam proses las, hal ini dipengaruhi beberapa faktor seperti ukuran butir yang sangat kecil dikarenakan sehingga semakin kecil ukuran butir semakin keras material tersebut (Suhartono A.H., 2005), yang juga menjelaskan jika sambungan las suatu material yang terlalu keras dapat berdampak pada timbulnya retak akibat material yang terlalu keras.

2.2.Teori/Konsep dasar

2.2.1. Teori Pengelasan

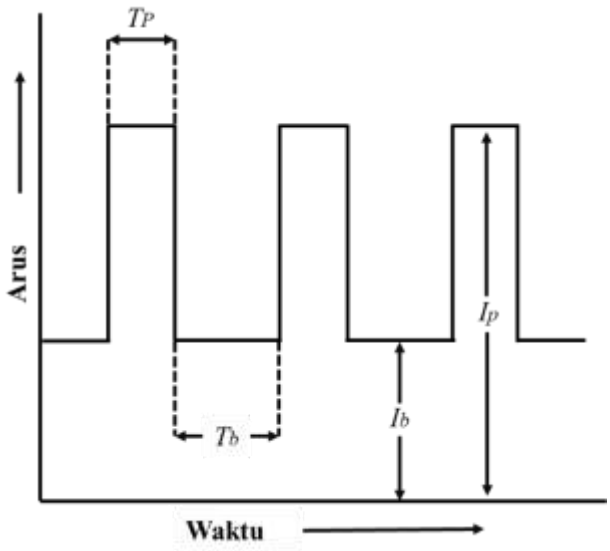
Pengelasan adalah proses menggabungkan dua buah logam dengan cara menghubungkan dua atau lebih bagian dari benda kerja menggunakan panas, tekanan, atau keduanya sehingga permukaan yang bersentuhan menyatu dan membentuk ikatan logam yang berkelanjutan dan biasanya permanen. Dalam banyak proses pengelasan yang umum, logam dasar dan juga logam pengisi (*filler metal)* dibuat mencair kemudian mengeras lagi untuk membentuk sambungan. Menurut Standar AWS A3.0/A3.0M,"*Standard Welding Terms and Definitions"*, pengelasan adalah proses penyambungan yang menghasilkan penggabungan material dengan pemanasan, dengan atau tanpa penerapan tekanan, dan dengan atau tanpa penggunaan bahan pengisi (American Welding Society, 2020).

Pengelasan memberikan *heat input* pada material yang dilas. Tingkat *heat input* yang berlebih dapat yang diberikan akan mengubah fase pada struktur mikro material yang dimana setiap fase memiliki karakteristik dan sifat tertentu yang mempengaruhi kekuatan, keuletan, dan kekerasan material (Nitha, 2019). *Heat input* atau besaran energi yang diberikan pada material las juga dapat berpengaruh pada laju pendinginan. Laju pendinginan ini akan berdampak pada pembentukan fase struktur mikro pada material yang dilas oleh karena itu, *heat input* juga berkontribusi dalam pembentukan struktur mikro dan juga mempengaruhi *heat affected zone* (HAZ) serta akan mempengaruhi sifat mekanik objek yang dilas (Yuniarto M. dkk., 2019), (GÜROL, 2022). Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menyebabkan adanya perbedaan suhu yang besar pada lokasi pengelasan dan area di sekitar lokasi yang dilas. Secara umum, bidang logam yang terhubung melalui las dapat dibagi menjadi dua area utama, yaitu *fusion zone* (FZ) dan *heat affected zone* (HAZ). Zona HAZ adalah area yang terletak di luar zona fusi dan terkena dampak panas dari proses pengelasan. Zona HAZ dianggap sebagai zona transisi karena terdiri dari struktur mikroskopis bahan dasar (BM) dan zona fusi. Sifat-sifat dari zona HAZ sangat penting setelah proses pengelasan selesai karena zona ini dianggap lebih lemah dan menjadi tempat terjadinya kegagalan pada logam yang dilas, terutama ketika logam mengalami kondisi yang

keras. Oleh karena itu, pemahaman terhadap zona kritis pada sambungan las sangat diperlukan (Boumerzoug, 2020).

2.2.2. Teori Pengelasan Arus *Single Pulse*

Single pulsed welding adalah teknik pengelasan di mana arus yang memasok busur tidak konstan, melainkan berubah-ubah periodik antara arus puncak (*peak current)* dan arus latar (*background current)*. Peralihan arus ini dikontrol oleh parameter seperti *peak current*, *background current*, *pulse frequency* HZ, dan *pulse-on time*. Hal-hal tersebut adalah faktor yang merubah atau memberi kontrol yang akan memberikan hasil pengelasan yang lebih baik atas kolam las, masuknya panas (*heat input*), dan perilaku tetesan/transfer logam (Pal & Pal, 2011). Pada Gambar 2. 1 dapat dilihat skematik dari pengelasan arus single *Pulse,* pada gambar *(Ip)* adalah arus puncak *(peak current), (Ib)* adalah arus latar *(background current)* dan *(tp) dan (tb)* adalah waktu dari masing-masing arus puncak dan arus latar aktif.



Gambar 2. 1. Skematik arus pengelasan *Single Pulse (Pal & Pal, 2011).*

2.2.3. Teori Pengelasan Flux Core Arc Welding

Fluks cored arc welding (FCAW) menggunakan elektroda dari kawat berbentuk tabung (*tubular wire*) yang diisi dengan *fluks*. Selama proses pengelasan, kawat ini dialirkan secara terus menerus/kontinu dan akan meleleh karena panas busur listrik yang akan membentuk kolam las cair. *Fluks* yang

terdapat di dalam kawat las akan menghasilkan terak las (*slag*) yang memiliki fungsi seperti gas pelindung pada pengelasan GMAW dan GTAW, dimana *flux* ini memiliki peran melindungi kolam las dari kontaminasi udara luar, seperti oksigen dan nitrogen yang dapat menurunkan kualitas hasil las (Świerczyńska dkk., 2024), (Maijuansyah dkk., 2019). Berdasarkan praktik industri yang mengacu pada standar EN ISO 4063 tentang klasifikasi proses pengelasan, FCAW diklasifikasikan menjadi dua jenis utama. Jenis pertama adalah FCAW dengan tambahan gas pelindung eksternal (*gas-shielded FCAW*) yang umumnya menggunakan gas seperti CO_2 atau campuran argon–CO_2 untuk memberikan perlindungan tambahan pada kolam las. Jenis kedua adalah FCAW tanpa tambahan gas pelindung (*self-shielded FCAW*) dimana gas pelindung sepenuhnya dihasilkan dari pembakaran fluks di dalam kawat, sehingga metode ini lebih fleksibel dan dapat digunakan di lingkungan terbuka atau berangin (Maijuansyah dkk., 2019).

2.2.4. Teori Struktur Mikro

Struktur mikro baja karbon terdiri dari fasa dan juga besar butir, kedua hal ini sangat berpengaruh pada kekuatan mekanikal sebuah material. Besar butir dapat mempengaruhi kekerasan material, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh (Suhartono A.H., 2005), hasil pada penelitian yang dilakukan menyatakan bahwa ukuran butir yang lebih kecil dapat mempengaruhi kekerasan material, Dimana jika semakin kecil ukuran butirnya maka material itu akan memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada dengan material sama dengan ukuran butir yang lebih besar.

2.2.5. Teori Kekerasan Material

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik material yang menunjukkan kemampuan suatu material untuk menahan deformasi plastis akibat adanya gaya luar. Secara khusus, kekerasan berkaitan dengan ketahanan material terhadap goresan, keausan, erosi, penetrasi, penekanan, serta beban yang cukup besar hingga menyebabkan perubahan bentuk permanen pada permukaannya. Oleh karena itu, nilai kekerasan sering digunakan sebagai indikator awal untuk menilai kekuatan dan ketahanan suatu material terhadap beban mekanis. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan panas terhadap material,

termasuk untuk mengetahui terjadinya proses *hardening* (pengerasan) atau *softening* (pelunakan). Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk mendeteksi adanya cacat atau perubahan sifat permukaan akibat dekarburisasi, *overheating* (pemanasan berlebih), maupun proses manufaktur lainnya (Li dkk., 2025).

Dengan pernyataan pada paragraf sebelumnya dapat disimpulkan bahwa uji kekerasan menjadi salah satu metode yang penting dalam pengendalian kualitas material, khususnya pada komponen teknik dan struktur yang memerlukan sifat mekanik tertentu. Prinsip dasar pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah *indenter* ke permukaan spesimen menggunakan beban tertentu selama waktu yang telah ditetapkan. Setelah beban dilepaskan, ukuran jejak atau lekukan (indentasi) yang terbentuk pada permukaan material diukur. Nilai kekerasan kemudian ditentukan berdasarkan hubungan antara beban yang diberikan dan ukuran atau luas jejak indentasi tersebut. *Indenter* yang digunakan dalam pengujian kekerasan umumnya terbuat dari material yang memiliki kekerasan jauh lebih tinggi dibandingkan spesimen uji, seperti baja yang dikeraskan, karbida tungsten, atau berlian. Bentuk *indenter* bervariasi tergantung pada metode pengujian yang digunakan, di antaranya berbentuk bola (seperti pada uji Brinell), kerucut atau piramida berlian (seperti pada uji Vickers dan Rockwell). Pada penelitian ini digunakan *Vickers hardness test*, sebagai metode pengujian kekerasan pada seluruh spesimen uji dikarenakan dari ketiga metode pengujian kekerasan material yang tersedia, *indenter* pada pengujian *vickers* yang berbentuk piramida/berlian memiliki ukuran yang lebih kecil dibanding dengan metode pengujian kekerasan lain seperti rockwell dan brinell. Dengan *indenter* yang lebih kecil ini pengujian kekerasan pada seluruh spesimen uji dapat menghasilkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi (Li dkk., 2025).

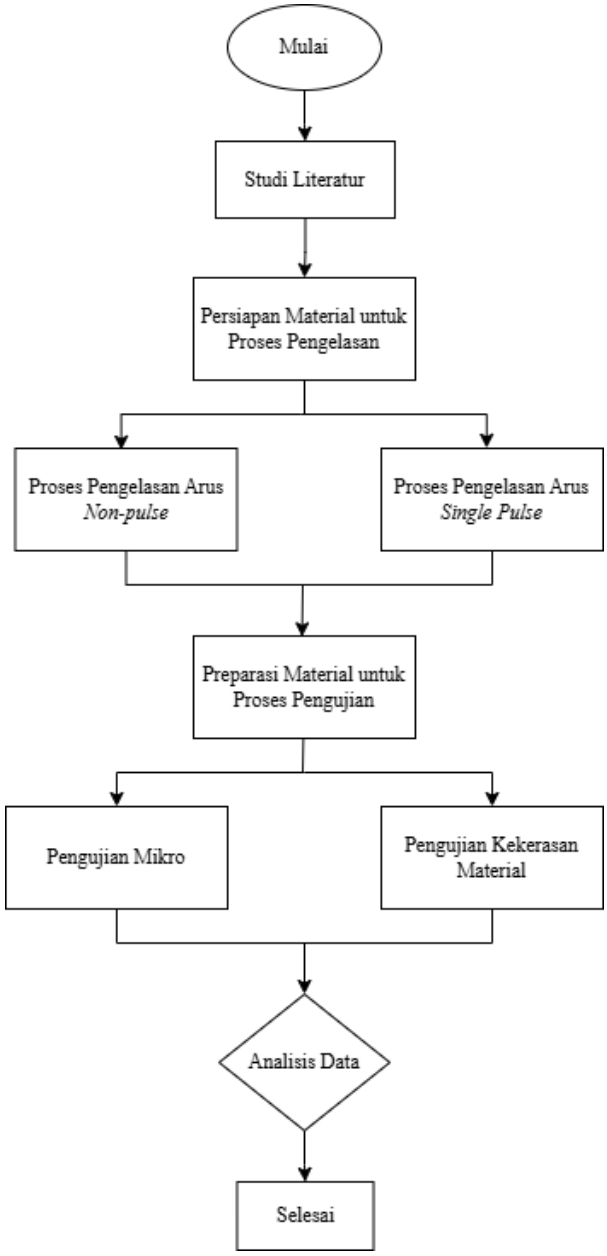
BAB III
METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian

Pada penelitian ini variabel bebas ada pada metode pengelasan FCAW dengan arus konvensional dan arus single *pulse,* sedangkan variabel terikat meliputi struktur mikro dan kekerasan material, pada sambungan las baja ASTM A36. Untuk alur penelitian dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 3.1.

3.1.1 Studi Literatur

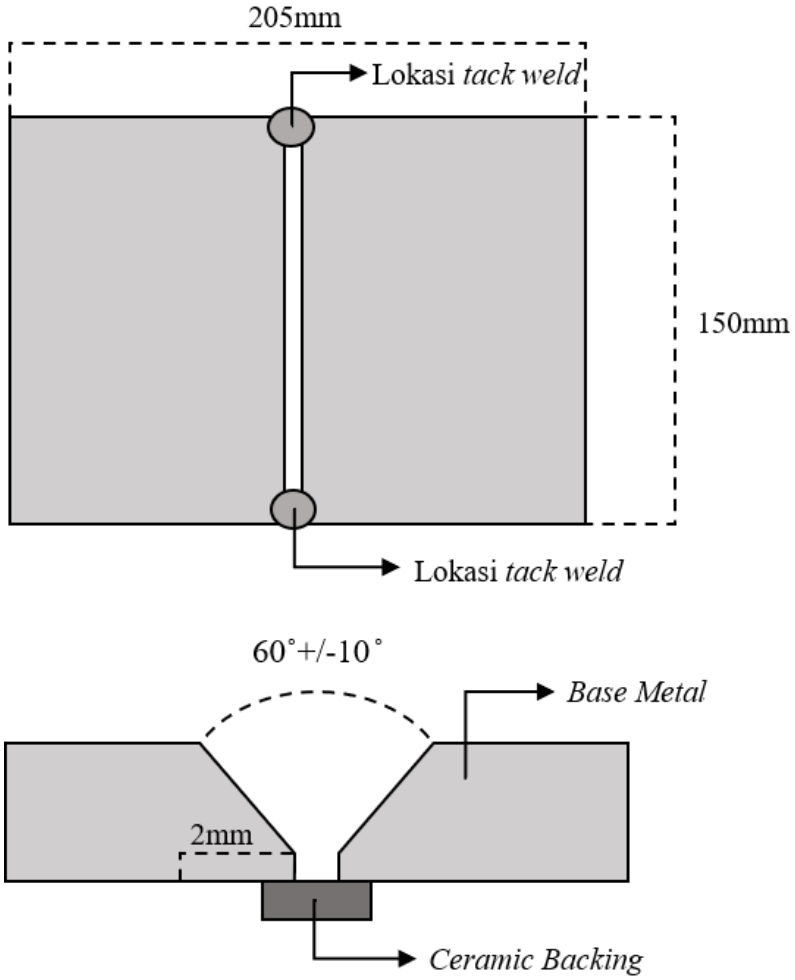
Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap penelitian yang kan dilakukan, pada tahap studi literatur ini juga dilakukan pemilihan topik dan judul untuk penelitian yang akan dilakukan. Selama tahapan studi literatur dilakukan penulis banyak berkonsultasi kepada dosen pembimbing untuk meminta arahan terhadap pengujian yang akan dilakukan, pada tahap ini juga peneliti mengumpulkan banyak referensi dari jurnal-jurnal penelitian yang sudah dilakukan dan karya ilmiah lainya yang terkait pada penelitian yang akan dilakukan, hal ini dilakukan agar penelitian yang dilakukan memiliki sandaran faktual.



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.1.2. Persiapan Material untuk Proses Pengelasan

Pada tahap ini peneliti menyiapkan material yang akan dilas yaitu baja ASTM A36 dengan ketebalan 10mm. Persiapan yang dilakukan pada spesimen uji adalah memotong spesimen menjadi ukuran 100 mm X 150 mm dan juga mempersiapkan *bavel* sebesar 60˚ +/- 10˚, setelah spesimen dipotong dan di-*bavel* dengan ukuran yang sudah ditentukan, spesimen uji akan di *tack weld* menjadi satu buat *coupon* las dan diberi *backing* berbahan keramik sebagai *backing*-nya yang bentuknya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Ukuran Spesimen yang akan dilas

3.1.3. Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las AOTAI 350P dengan proses pengelasan FCAW, posisi 1G untuk kedua variabel penelitian, kawat las yang digunakan pada proses pengelasan adalah Kiswell K-71T dengan diameter kawat sebesar 1,2 mm dan menggunakan gas pelindung berupa campuran 80% argon dan 20% karbon dioksida. Untuk parameter pengelasan akan menggunakan parameter seperti yang tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Parameter Pengelasan

Parameter	Arus Konvensional	Arus *Single Pulse*
Diameter kawat las (mm)	1,2	1,2
Tegangan (V)	24	24
Arus (A)	200	-
Arus puncak (A)	-	200
Arus latar (A)	-	100
Pulse on time	-	50%
Gas pelindung	80% Ar + CO2 20%	80% Ar + CO2 20%
Gas flow rate (l/min)	16	16
Kecepatan pengelasan (mm/min)	200	200
Heat input (kJ/mm)	1,280	0,960

Untuk mendapatkan nilai *heat input* seperti pada Tabel 3.1. terdapat sedikit perbedaan tahap penggunaan rumus untuk mencari nilai *heat input* pada kedua variabel pengelasan. Pada pengelasan arus konvensional untuk mencari nilai *heat input* dapat langsung digunakan persamaan berikut,

$$kJ = \frac{V \times I \times 60}{S \times 1000} \quad (1)$$

Pada persamaan (1) yang digunakan untuk menghitung nilai *heat input* yang dihasilkan pada pengelasan konvensional, *V* adalah nilai tegangan yang digunakan pada pengelasan, *I* adalah arus yang digunakan pada, *S* adalah kecepatan las dan angka 60 dan 1000 adalah angka pengubah untuk menyesuaikan satuan.

Pada pengelasan arus konvensional dapat langsung menggunakan persamaan (1) untuk $I = \frac{Ip}{2} + \frac{Ib}{2}$ menghitung dan menghasilkan nilai *heat input* yang digunakan pada pengelasan arus konvensional, tetapi pada proses pengelasan arus *single pulse* tidak dapat langsung menggunakan rumus pencarian *heat input* hal ini dikarenakan untuk mencari nilai *heat input* yang dihasilkan selama pengelasan pada metode pengelasan ini, kita terlebih dahulu harus mencari nilai rata-rata arus yang digunakan pada pengelasan arus *single pulse*, dikarenakan pengelasan yang menggunakan arus *single pulse* memiliki dua jenis arus yaitu arus *peak current* dan *background current*, maka dari itu untuk rumus menghitung *heat input* yang digunakan pada pengelasan dengan arus *single pulse* digunakan rumus berikut terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai rata-rata arus yang digunakan persamaan berikut:

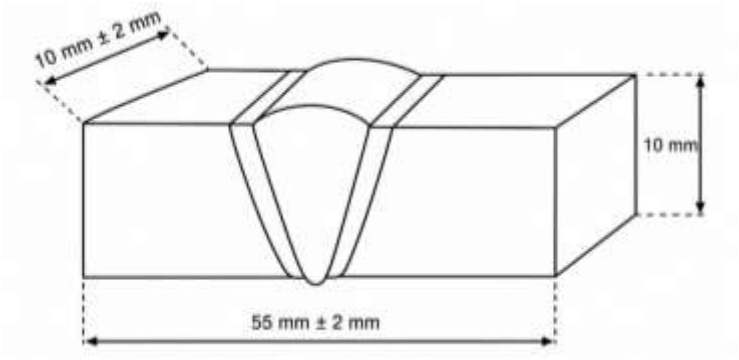
(2)

Pada persamaan (2) *Ip* adalah nilai arus puncak (*peak current)* pada pengelasan arus *single pulse* dan *Ib* adalah nilai arus latar (*background current)* (Joseph dkk., 2003).

setelah mendapatkan hasil kalkulasi rata-rata arus yang menggunakan persamaan (2) pada pengelasan arus *single pulse,* kemudian nilai arus tersebut dimasukkan pada persamaan (1) untuk mendapatkan nilai *heat input* yang digunakan pada pengelasan arus *single pulse.*

3.1.4. Proses Persiapan Material Untuk Persiapan Pengujian Mikro dan *Vickers Hardness Test*

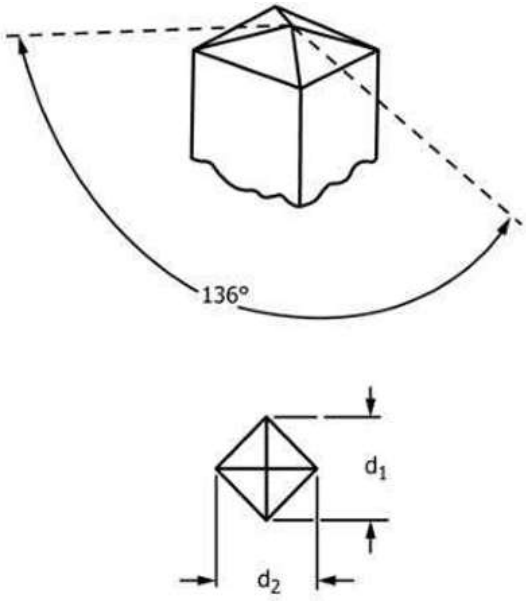
Pada tahap ini spesimen uji yang sudah melalui proses pengelasan akan dipersiapkan untuk tahap pengujian, pada tahap ini spesimen uji akan dipotong menggunakan *bandsaw* menjadi ukuran yang sudah ditentukan, untuk ukuran spesimen yang akan diuji ini dapat dilihat pada Gambar 3.3. Setelah material dipotong ke dalam ukuran yang sudah ditentukan, akan dilakukan proses pengamplasan pada permukaan spesimen. Proses pengamplasan akan dimulai dari kekasaran amplas dengan grit 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000, (Haryanto & Wahyudi, 2024). Untuk masing-masing spesimen akan melalui proses pengamplasan minimum selama 5 menit untuk masing-masing grit yang digunakan. Selanjutnya spesimen uji juga akan dipoles menggunakan kain flanel yang diberikan *autosol* selama 10 menit.



Gambar 3. 3. Ukuran spesimen uji mikro dan *Vickers hardness*

3.1.5. Proses Pengujian *Vickers Hardness*

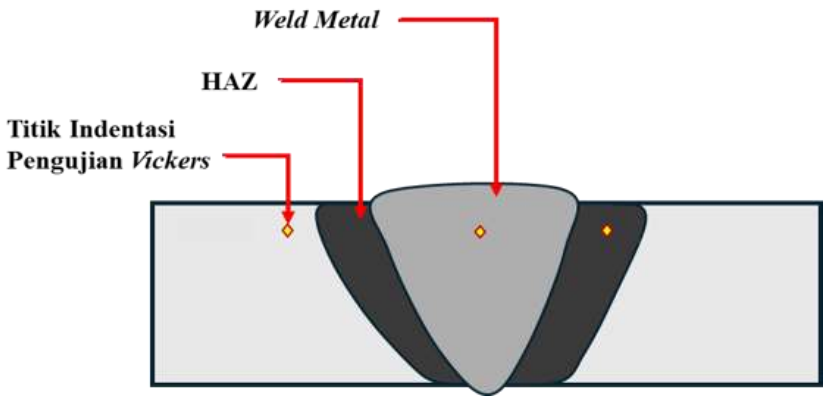
Pada proses ini spesimen yang sudah melalui tahap preparasi untuk pengujian mikro dan kekerasan material akan diuji. Langkah pertama yang dilakukan pada tahap ini adalah mencelupkan permukaan spesimen yang akan diuji kedalam larutan *etching* yaitu larutan dengan campuran 98% etanol dan 2% asam nitrat, proses pencelupan hanya berlangsung selama tidak lebih dari 5 detik, setelah spesimen dicelupkan ke dalam larutan *etching,* spesimen dicelupkan ke dalam cairan etanol untuk menghentikan reaksi kimia dari larutan *etching* pada permukaan spesimen uji, setelah itu keringkan spesimen uji dari cairan etanol spesimen dapat masuk pada tahap pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan metode pengujian kekerasan *vickers* untuk mengukur distribusi dan nilai kekerasan pada spesimen uji. Proses pengujian ini akan dilakukan dengan cara menekankan indentor yang berbentuk menyerupai piramida dengan sudut permukaan indentor sebesar 136˚ (American Society for Testing and Materials, 2017) seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4. Skematik Indentor Vickers Hardness Test (American Society for Testing and Materials, 2017)

Pengujian vickers hardness test akan dilakukan pada daerah hasil pengelasan,

daerah HAZ, dan juga daerah material induk (base metal) dengan kekuatan sebesar 10 kgf. Untuk pemetaan bagian material yang akan dikenai indentor pada pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.5. Pada ASTM E92 tidak menjelaskan dengan spesifik tentang kehalusan permukaan pengujian *vickers hardness test*, tetapi ASTM E92 menyarankan untuk permukaan spesimen uji bersih dan rata dan terhindar dari hal-hal yang dapat mempengaruhi pengujian nantinya. Untuk *holding time* pengujian *vickers hardness test* akan berlangsung selama 10 hingga 15 detik, di mana hal ini juga sudah disebutkan pada ASTM E92.



Gambar 3. 5. Pemetaan Lokasi Pengujian Kekerasan *Vickers*

3.1.6. Proses Pengujian Mikro, untuk Mencari Besar Butir Menggunakan Metode *Heyn Lineal Intercept*

Proses pengujian mikro yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk melihat besar butir yang dihasilkan pada masing-masing variabel proses pengelasan arus konvensional dan arus *single pulse* pada daerah *weld metal* dan HAZ material ASTM A36, yang natinya hasil dari pengujian ini akan menjadi salah satu jembatan yang menghubungkan perubahan kekerasan material uji terhadap perbedaan besar butir. Proses pengujian besar butir pada penelitian ini akan menggunakan metode *Heyn Lineal Intercept,* yaitu metode mengukur rata-rata besar butir dengan menghitung banyak butir yang dilalui oleh satu atau lebih garis lurus dengan minimum intersepsi butiran sebanyak 50 butir (American Society for Testing and Materials, 2010).

3.2. Alat dan Bahan yang Digunakan

3.2.1. Alat yang Digunakan

3.2.1.1. Mesin Las AOTAI 350P

Alat ini digunakan untuk seluruh pengelasan yang akan dilakukan pada penelitian ini, yaitu pengelasan pada spesimen dengan arus konvensional dan juga pada spesimen yang akan dilas menggunakan arus *pulse*. Alat ini dipilih sebagai mesin las untuk pengujian dikarenakan kemampuan mesin ini untuk dapat menghasilkan arus *pulse.*

3.2.1.2. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah ;

a. Penggaris, yang digunakan untuk mengukur panjang dan lebar spesimen pada pengujian ini.
b. *Welding gauge,* yang digunakan untuk mengukur besar sudut *bevel* pada spesimen uji.
c. *Taper gauge*, yang digunakan untuk mengukur besar *gap* antar spesimen uji.
d. *Clamp meter*, yang digunakan sebagai alat untuk melihat besar arus dan tegangan listrik yang digunakan selama pengelasan pada spesimen uji dilakukan, alat ini digunakan untuk memastikan arus yang sudah ditentukan pada pengujian sesuai pada saat proses pengelasan berlangsung.

3.2.1.3. Alat Potong Plasma

Pada penelitian ini digunakan alat potong yang menggunakan plasma sebagai cara untuk memotong material yang digunakan pada penelitian. Alat potong plasma ini digunakan untuk memotong pelat baja yang digunakan dalam penelitian menjadi ukuran yang sudah ditentukan (Gambar 3.2.) dan juga membentuk *bevel* dari spesimen uji.

3.2.1.4. Gerinda Tangan

Pada penelitian ini alat ini digunakan untuk mengikis permukaan *bavel* dan sekitaran area yang akan dilas, hal ini dilakukan untuk membersihkan/mengikis pengotor yang ada pada sekitaran permukaan spesimen yang akan dilas agar hasil lasan terhindar dari cacat. Selain itu alat ini juga digunakan untuk membersihkan *slag* antara *pass* yang dihasilkan selama pengelasan agar pengelasan terhindar dari *slag inclusion.*

3.2.1.5. *Bandsaw*

Alat ini digunakan untuk memotong spesimen uji yang sudah dilas dan akan diuji mikro dan uji kekerasan material. *Bandsaw* dipilih sebagai metode pemotongan spesimen yang akan diuji mikro dan uji kekerasan dikarenakan dengan menggunakan *bandsaw* dapat menghindari perubahan pada struktur mikro pada spesimen uji saat proses pemotongan berlangsung.

3.2.1.6. Alat *Vickers Hardnses Test*

Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan material pada spesimen uji yang sudah melalui tahap pengelasan, dimana alat ini akan digunakan untuk mengetahui kekerasan material pada daerah *base metal, heat affected zone (HAZ)* dan *weld metal,* untuk kedua jenis variabel pengujian yaitu spesimen yang dilas dengan arus konvensional dan spesimen yang dilas dengan arus *single pulse.* Pada pengujian ini akan digunakan standar yang mengacu pada ASTM E92, yaitu standar yang mengatur tata cara pengujian kekerasan material.

3.2.1.7. Mikroskop Optik Metalografi

Alat ini digunakan untuk melihat perbedaan yang terjadi pada struktur mikro pada baja ASTM A36 setelah pengelasan menggunakan arus konvensional dan pengelasan menggunakan arus *single pulse* dilakukan. Pengujian mikro dilakukan untuk melihat apakah ada perbedaan pada struktur mikro yang terbentuk oleh masing-masing variabel pengujian yang berbeda pada penelitian.

3.2.2. Bahan yang Digunakan

3.2.2.1. Plat Baja ASTM A36

Pada penelitian ini digunakan pelat baja ASTM A36 yang akan dibentuk menjadi kupon pengelasan seperti pada Gambar 3.2. Pelat ini digunakan sebagai spesimen utama yang akan dianalisis struktur mikro dan kekerasannya setelah material ini melalui proses pengelasan yang menggunakan metode pengelasan FCAW dengan arus konvensional dan juga menggunakan pengelasan FCAW dengan arus *single pulse.*

3.2.2.2. Gas Pelindung Pengelasan

Pengelasan dengan metode FCAW memerlukan bantuan dari gas pelindung pada saat pengelasan berlangsung, gas pelindung ini memiliki peran melindungi kolam las dari kontaminasi udara luar, seperti oksigen dan nitrogen yang dapat menurunkan kualitas hasil las. Penelitian ini menggunakan gas pelindung yang berupa campuran, yaitu campuran antara Argon (Ar) sebesar 80% dan Karbon dioksida (Co20) sebesar 20%. Pada pengelasan ini tekanan gas yang digunakan selama pengelasan berlangsung untuk kedua variabel pengelasan adalah sebesar 16 l/min.

3.2.2.3. Kawat Las

Kawat las yang digunakan pada penelitian ini adalah kawat las KISWEL K-71T dengan diameter 1,2 mm, kawat ini adalah kawat las khusus yang digunakan pada pengelasan dengan metode FCAW, kawat las ini berbentuk tabung dan memiliki *flux* di dalamnya. *Flux* ini berfungsi sebagai pelindung/*shielding* untuk kolam las dari kontaminasi lingkungan sekitar selama pengelasan berlangsung (Maijuansyah dkk., 2019).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengelasan

Parameter yang digunakan pada proses pengelasan dapat dilihat pada Tabel 3.1. pada tabel tersebut dapat dilihat arus yang digunakan pada pengelasan arus konvensional adalah sebesar 200A, tetapi nilai ini memiliki sedikit kenaikan dan penurunan selama pengelasan berlangsung, maka dari itu penulis melakukan validasi nilai arus yang digunakan dengan mengambil interval per 5 detik untuk validasi arus selama pengelasan berlangsung. Validasi nilai arus ini juga dilakukan pada pengelasan arus *single pulse* dimana peneliti mengukur kenaikan dan penurunan pada arus *peak* dan arus *background.* Hasil validasi pada arus konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan untuk hasil validasi nila arus yang digunakan pada pengelasan arus *single pulse* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 1. Tabel Validasi Penggunaan Arus Selama Pengelasan Arus Konvensional

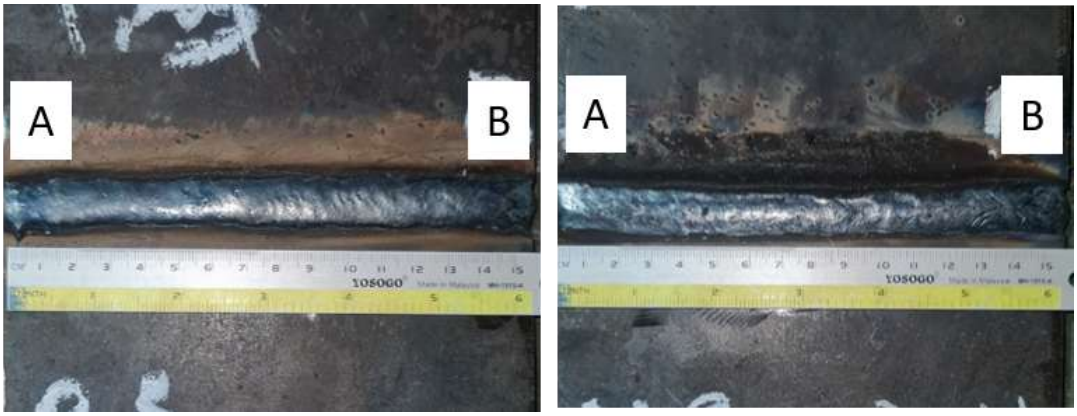
Waktu (S)	5	10	15	20	25	30	35
Arus (A)	198	201	206	196	204	193	199
						Rata-rata	199,57

Tabel 4. 2. Tabel Validasi Penggunaan Arus Selama Pengelasan Arus *Single Pulse*

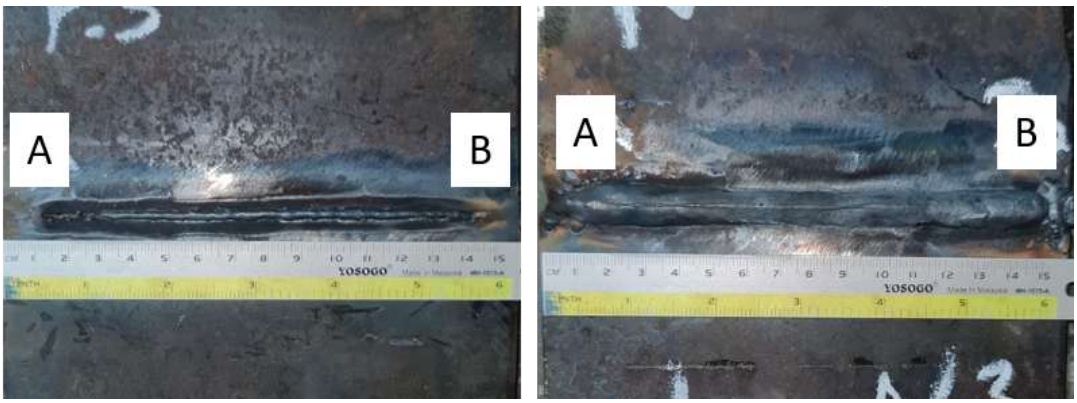
Waktu (S)	5	10	15	20	25	30	35
Arus *Peak* (A)	202	198	205	202	197	201	203
				Rata-rata Arus *Peak*			201,14

Waktu (S)	5	10	15	20	25	30	35
Arus *Back Grond* (A)	102	98	105	101	97	101	103
				Rata-rata Arus *Back ground*			101

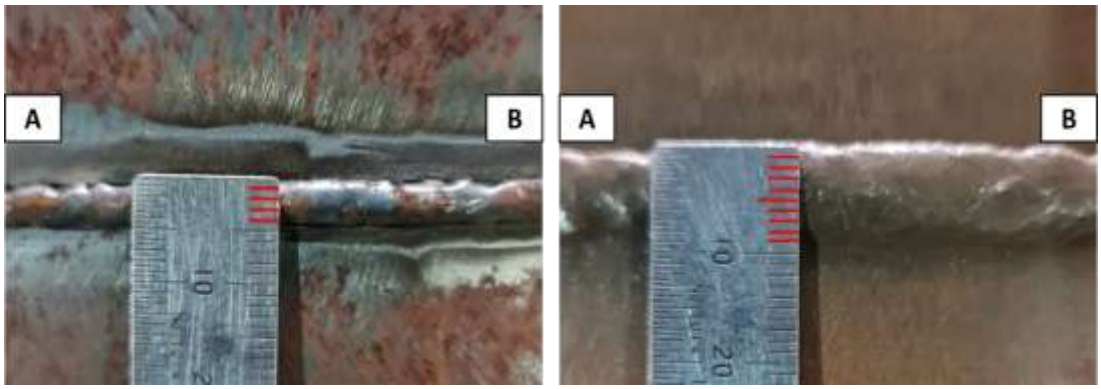
Proses pengelasan yang dilakukan penelitian ini adalah dengan menggunakan metode pengelasan FCAW yang menggunakan arus konvensional dan arus *single pulse* terhadap baja ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm. Untuk hasil pengelasan pada daerah *capping* dapat dilihat pada gambar 4.1. sedangkan Untuk hasil pengelasan pada daerah *root* dapat dilihat pada Gambar 4.2. di bawah. Pada gambar hasil proses pengelasan terdapat huruf “A” dan huruf “B”, dimana huruf “A” mengindikasikan lokasi awal pengelasan dimulai dan huruf “B” mengindikasikan lokasi akhir dimana pengelasan berakhir.



Gambar 4. 1. Hasil Pengelasan Bagian *Capping*, (Sebelah Kiri Arus *Single Pulse* dan Sebelah Kanan Arus Konvensional)



Gambar 4. 2. Hasil Pengelasan Bagian *Root*, (Sebelah Kiri Arus *Single Pulse* dan Sebelah Kanan Arus Konvensional)



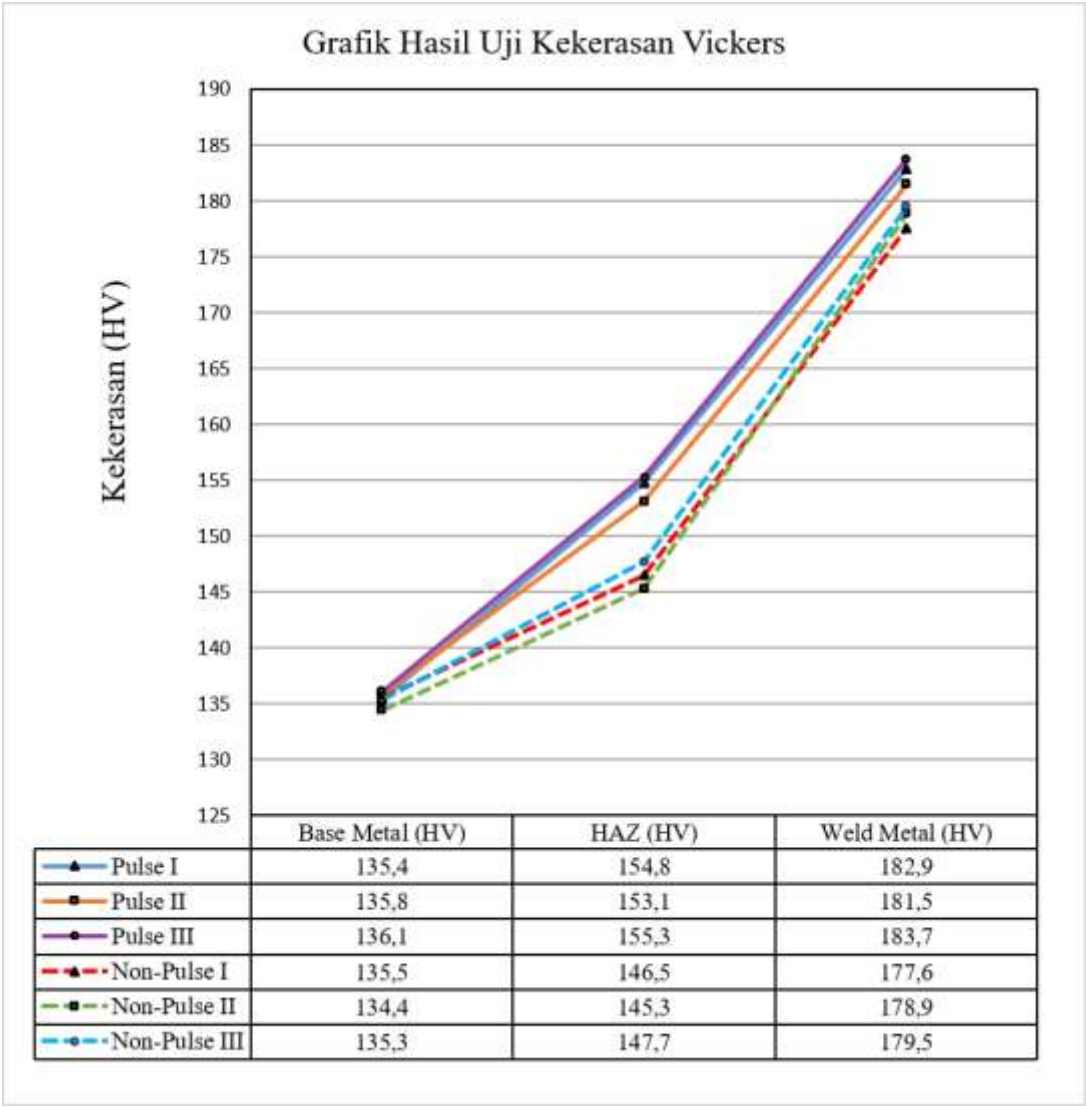
Gambar 4. 3. Gambar Pengukuran Hasil Pengelasan Bagian *Root*, (Sebelah Kiri Arus *Single Pulse* dan Sebelah Kanan Arus Konvensional)

Dapat dilihat dari gambar hasil pengelasan di atas bahwa hasil pengelasan dengan arus konvensional dan arus *single pulse* tidak banyak perbedaan pada daerah *capping*-nya, tetapi jika kita melihat pada daerah *root* terdapat perbedaan signifikan pada pengelasan arus konvensional dan pengelasan arus *single pulse.*

Terlihat *root* pada spesimen pengelasan yang menggunakan arus *single pulse* lebih kecil dengan ukuran lebar *weld metal* sebesar 4 mm, dan juga terlihat ada beberapa bagian yang tidak fusi dengan baik, hal ini berbeda dari *root* yang dihasilkan pada pengelasan yang menggunakan arus konvensional, dimana *root* yang dihasilkan dari pengelasan arus konvensional memiliki penetrasi yang lebih baik dan *weld metal* terlihat fusi dengan baik dengan *base metal*. Perbedaan *root* ini dapat terjadi akibat *heat input* yang dihasilkan pada pengelasan arus *single pulse* lebih kecil dari pada pengelasan arus konvensional, dan juga dapat diakibatkan ketika arus *background* terjadi selama pengelasan, dugaan ini dapat sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Ahmad dkk., 2017), dimana hasil penelitian mengatakan bahwa ketika pengelasan yang menggunakan arus *single pulse* memasuki tahapan *background current* cairan las sudah memasuki tahap pendinginan dan juga tahap solidifikasi atau cairan las sudah mulai mengeras, sehingga hasil pengelasan dari arus *single pulse* menghasilkan *root* yang tidak baik. Hasil *root* yang lebih keci ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Pratikno dkk., 2021) dimana pada penelitian ini menyimpulkan bahwa *heat input* yang lebih kecil dapat menghasilkan profil lasan yang lebih kecil. Hal ini juga membuktikan penelitian yang dilakukan oleh (Suwandi dkk., 2024) dimana pada penelitian ini hasil penelitian memberikan hasil bahwa dengan menggunakan *heat input* yang terlalu kecil pada pengelasan dapat menghasilkan lasan yang kurang baik.

4.2. Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

Berdasarkan Hasil uji kekerasan *vickers* pada spesimen uji yang dilas dengan arus konvensional dan dengan arus *single pulse,* didapatkan hasil nilai kekerasan *vickers* yang dapat dilihat pada Gambar 4.3. Hasil pengujian yang didapatkan adalah hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *vickers hardness test* yang dilakukan pada 3 daerah pada setiap spesimen uji yaitu pada daerah *base metal, HAZ* dan *weld metal* seperti pada Gambar 3.5.



	Base Metal (HV)	HAZ (HV)	Weld Metal (HV)
Pulse I	135,4	154,8	182,9
Pulse II	135,8	153,1	181,5
Pulse III	136,1	155,3	183,7
Non-Pulse I	135,5	146,5	177,6
Non-Pulse II	134,4	145,3	178,9
Non-Pulse III	135,3	147,7	179,5

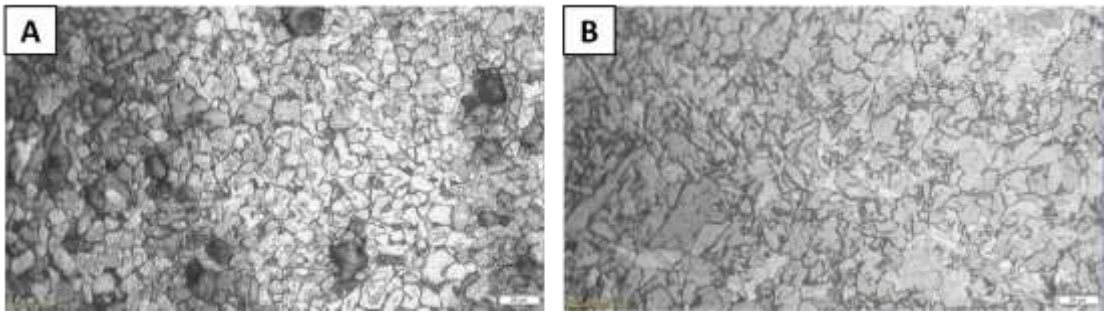
Gambar 4. 4. Grafik dan Tabel Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

Dapat dilihat pada grafik dan tabel yang terdapat pada Gambar 4.3. ada perbedaan nilai kekerasan pada spesimen uji pengelasan arus konvensional dan spesimen uji pengelasan arus *single pulse*, dimana pada spesimen uji yang menggunakan arus pengelasan *single pulse* mengalami peningkatan sebesar 2,98% jika ketiga buah spesimen uji arus *single pulse* dibandingkan dengan ketiga buah spesimen uji arus konvensional. Selain adanya peningkatan nilai kekerasan pada daerah *weld metal,* ada juga peningkatan nilai kekerasan yang dihasilkan dari pengelasan arus *single pulse* jika dibandingkan dengan ketiga spesimen uji arus konvensional sebesar 5,4% pada daerah HAZ. Angka perbedaan ini menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan material lebih besar di area HAZ, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Durgutlu A. & Çevik B., 2019), yang

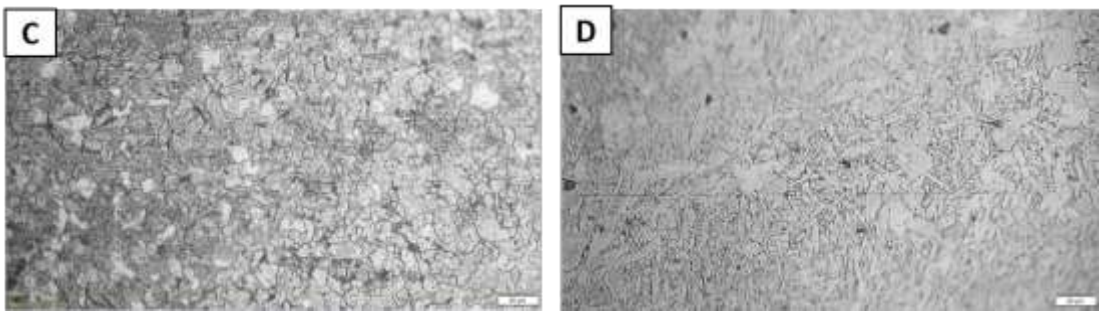
mengatakan bahwa dengan menggunakan metode pengelasan arus *pulse* dapat mengakibatkan nilai kekerasan material yang lebih tinggi dikarenakan *heat input* yang lebih kecil dan tingkat pendinginan yang lebih cepat dikarenakan adanya arus *back ground* yang menurunkan arus pengelasan sehingga *heat input* berkurang dan proses pendinginan pada spesimen uji terjadi lebih cepat sehingga area yang dilas menggunakan arus *pulse* menghasilkan tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Walaupun pada pengelasan dengan metode *single pulse* memiliki nilai kekerasan *vickers* yang lebih besar dibanding dengan pengelasan yang menggunakan arus konvensional, kekerasan material pada pengelasan arus *single pulse* masih masuk pada kategori aman, kesimpulan ini diambil dari referensi (ANSI/NACE MR0175/ISO15156-1, 2015), dimana pada dokumen ilmiah ini dijelaskan bahwa nilai kekerasan maksimum pada baja karbon yang dilas adalah sebesar 250 HV, dimana angka ini masih jauh dengan hasil dari pengujian yang didapatkan pada penelitian ini.

4.3. Hasil Pengujian Mikro

Hasil pengujian mikro dapat dilihat pada Gambar 4.4. untuk melihat struktur mikro pada area *weld metal* dan juga Gambar 4.5. untuk melihat struktur mikro pada daerah HAZ, pada kedua variabel pengujian, yaitu untuk spesimen uji yang dilas dengan menggunakan arus konvensional dan spesimen uji yang dilas menggunakan arus *single pulse.*

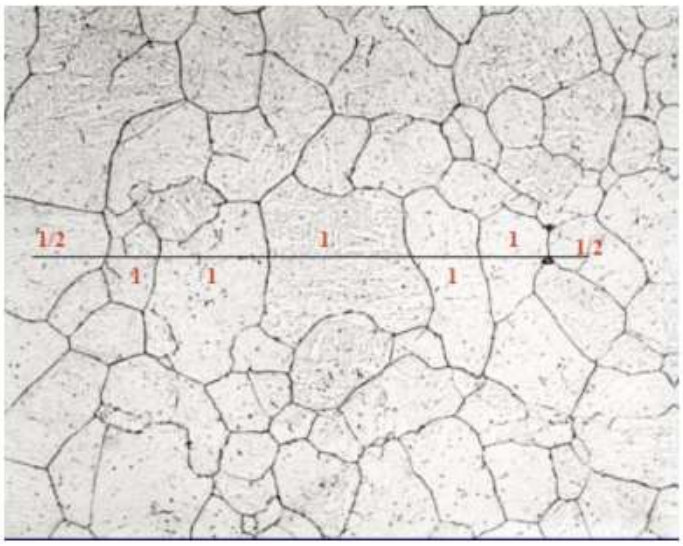


Gambar 4. 5. Hasil Mikro HAZ (A. *Single Pulse*) dan (B. Konvensional)

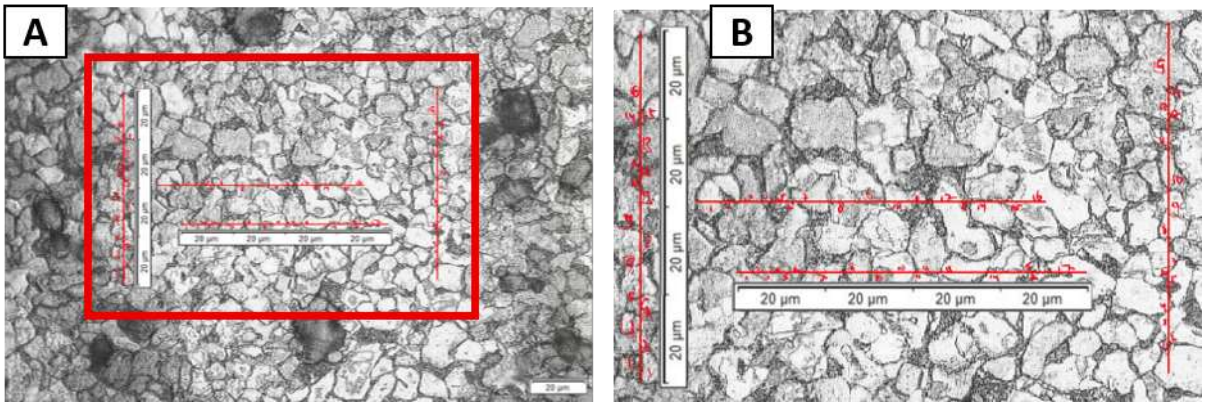


Gambar 4. 6. Hasil Mikro *Weld Metal* (C. *Single Pulse*) dan (D. Konvensional)

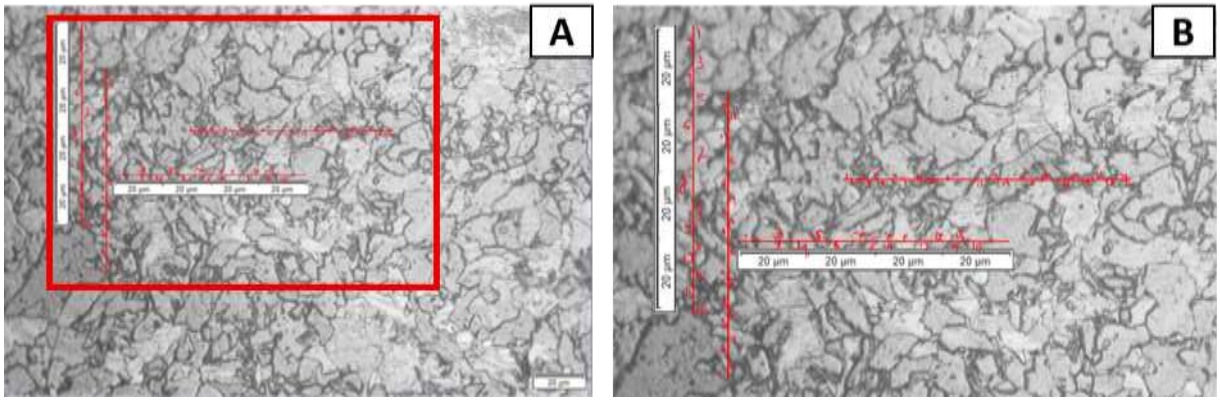
Untuk melihat perbandingan besar butir yang pada hasil pengujian mikro pada daerah *weld metal* dan daerah HAZ, digunakan metode *Heyn Lineal Intercept Procedure,* yaitu metode untuk mencari nilai estimasi dari besar butir dengan cara menghitung banyak butiran yang dilalui oleh satu atau lebih garis lurus dengan minimum intersepsi butiran sebanyak 50 butir (American Society for Testing and Materials, 2010)



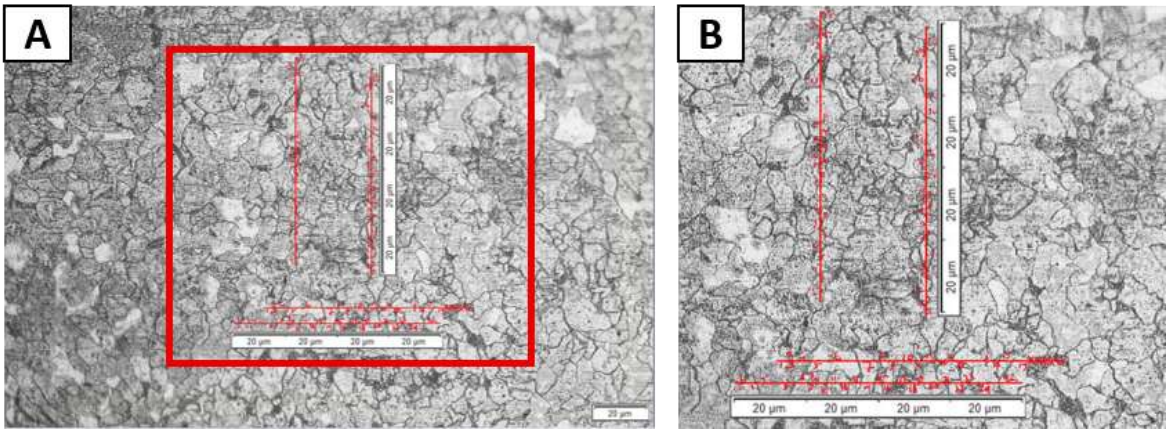
Gambar 4. 7. Metode Mengukur Estimasi Besar Butir Menggunakan Metode *Heyn Lineal Intercept Procedure (American Society for Testing and Materials, 2010)*



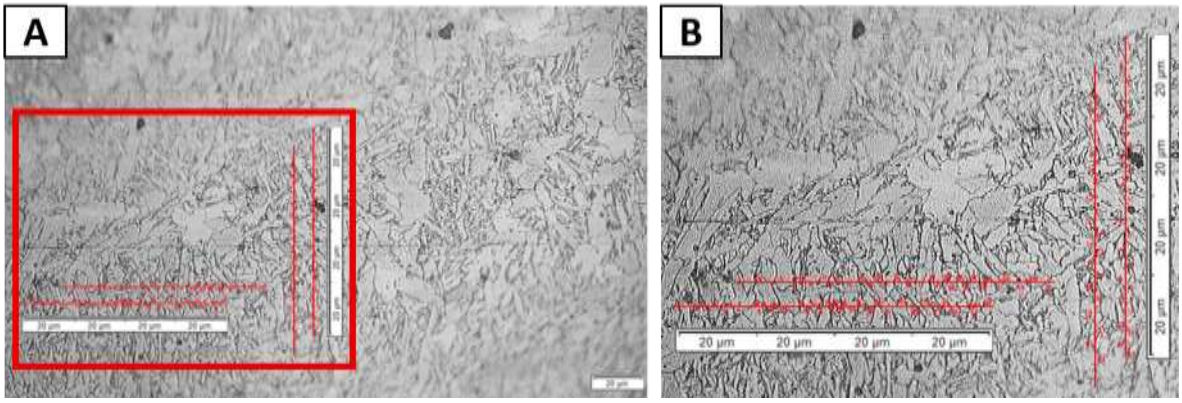
Gambar 4. 8. Proses Perhitungan Besar Butir *Weld metal* arus konvensional (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir)



Gambar 4. 9. Proses Perhitungan Besar Butir HAZ arus konvensional (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir)



Gambar 4. 10. Proses Perhitungan Besar Butir *Weld metal* arus *single pulse* (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir)



Gambar 4. 11. Proses Perhitungan Besar Butir HAZ arus *single pulse* (A. Gambar penempatan garis untuk menguji besar rata-rata butir) (B. Lokasi pengujian besar rata-rata butir)

Dapat dilihat pada gambar di atas, dimana metode pengukuran besar rata-rata butir/*grain* yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan 4 garis yang semuanya sama panjang yang masing-masing garis memiliki panjang sebesar 60 µm. Penggunaan cara perhitungan dengan menggunakan *magnification bar* ini digunakan sesuai dengan yang dijelaskan pada (Michael S, 2019), penjelasan ini juga memberikan persamaan untuk pengujian besar rata-rata butir yaitu sebagai berikut,

$$Pl = \frac{Pi}{L/M} \tag{3}$$

Dimana *Pi* adalah berapa banyak butir yang dilalui oleh garis uji, *L* adalah total panjang garis yang digunakan dan *M* adalah nilai pembesaran (*magnification)* pada pengujian.

$$\ell = \frac{1}{Pl} \tag{4}$$

Setelah melakukan perhitungan menggunakan persamaan (3) da (4) untuk menemukan nilai terhadap besar rata-rata butir pada *weld metal* spesimen uji pengelasan arus konvensional dan dan spesimen uji pengelasan arus *single pulse* dan begitu juga pada daerah HAZ untuk masing-masing spesimen uji, didapatkanlah hasil rata-rata besar butir untuk kedua variabel pengujian yang dapat dijabarkan sebagai berikut, untuk nilai rata-rata besar butir pada *weld metal* pengelasan arus konvensional adalah 5,16 µm, sedangkan untuk nilai rata-rata besar butir pada *weld metal* pengelasan arus *single pulse* adalah sebagai berikut 4,324 µm., Melihat angka hasil perhitungan dari nilai rata-rata *weld metal* pada

pengelasan arus konvensional dan pengelasan arus *single pulse*, dapat disimpulkan bahwa *grain size* pada pengelasan arus *single pulse* lebih kecil sebesar 16,28%. Berikutnya dilakukan juga pengujian untuk mencari nilai rata-rata besar butir pada daerah HAZ yang dilakukan pada kedua variabel uji yaitu pengelasan dengan arus konvensional dan pengelasan dengan arus *single pulse,* untuk hasil pencarian nilai rata-rata besar butir pada daerah HAZ dapat dijabarkan sebagai berikut; nilai rata-rata besar butir pada daerah HAZ pengelasan arus konvensional adalah 3,03 μm**,** sedangkan untuk nilai rata-rata besar butir pada *weld metal* pengelasan arus *single pulse* adalah sebagai berikut 2,56 μm, Melihat angka hasil perhitungan dari nilai rata-rata daerah HAZ pada pengelasan arus konvensional dan pengelasan arus *single pulse*, dapat disimpulkan bahwa *grain size* pada pengelasan arus *single pulse* lebih kecil sebesar 15,51%. Hasil dari perhitungan rata-rata besar butir ini sejalan dengan kesimpulan pada pengujian kekerasan *vickers* sebelumnya, dimana pada pengelasan arus *single pulse* menghasilkan tingkat kekerasan material yang lebih keras dibandingkan hasil pengujian kekerasan pada pengelasan arus konvensional, selain dari hasil nilai pengujian kekerasan yang sudah dilakukan, hasil pengujian besar butir ini juga sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Suhartono A.H., 2005), dimana pada penelitian tersebut mengatakan bahwa dengan ukuran butir yang lebih kecil dapat meningkatkan kekerasan material. Ukuran butir yang lebih kecil pada pengelasan arus *single pulse* yang disimpulkan oleh penelitian yang dilakukan (Durgutlu A. & Çevik B., 2019) yang menyimpulkan pada penelitiannya bahwa pengelasan arus *pulse* dengan heat input yang lebih kecil dapat membentuk struktur mikro yang lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan arus konvensional hal ini dikarenakan tingkat pendinginan pada pengelasan arus *single pulse* terjadi lebih cepat dibandingkan pada pengelasan arus konvensional, tingkat pendinginan yang lebih cepat ini dipengaruhi oleh arus *back ground* yang menurunkan arus pengelasan sehingga *heat input* berkurang dan proses pendinginan pada spesimen uji terjadi lebih cepat (Durgutlu A. & Çevik B., 2019).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pengaruh perbedaan pengelasan arus konvensional dan arus single pulse pada pengelasan FCAW terhadap struktur mikro dan kekerasan material ASTM A36, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengelasan pada kedua variabel pengujian, menghasilkan bentuk *capping* yang baik pada kedua variabel pengujian, tetapi pada daerah *root* hasil pengelasan yang dihasilkan oleh pengelasan arus konvensional terlihat lebih baik dibandingkan hasil pengelasan arus *single pulse*, dimana pada *root* hasil pengelasan *single pulse* lebih kecil dan terlihat ada beberapa titik dimana pada *root* hasil pengelasan ini tidak fusi dengan baik. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pengelasan arus konvensional pada penelitian ini menghasilkan profil lasan yang lebih baik.
2. Hasil pengujian kekerasan dengan metode *vickers hardness test* terhadap spesimen pengelasan arus konvensional pada daerah *weld metal* menghasilkan angka rata-rata kekerasan sebesar 178,67 HV sedangkan pada spesimen pengelasan arus *single pulse* menghasilkan angka rata-rata kekerasan sebesar 182.7 HV dan untuk hasil pengujian *vickers hardness test* terhadap spesimen pengelasan arus konvensional pada daerah HAZ menghasilkan angka rata-rata kekerasan sebesar 146.5, sedangkan pada spesimen pengelasan arus *single pulse* menghasilkan angka rata-rata kekerasan sebesar 154.5 HV. Angka ini menunjukkan bahwa ada perbedaan kekerasan material sebesar 2,98% pada daerah *weld metal* dan juga ada perbedaan kekerasan material sebesar 5,4% pada daerah HAZ. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada kedua variabel pengujian dimana dikarenakan perbedaan kekerasan yang tidak terlalu besar.
3. Hasil pengujian mikro terhadap kedua variabel penelitian menghasilkan nilai rata-rata besar butir sebesar 5,16 μm untuk daerah *weld metal* yang dilas dengan menggunakan arus konvensional, sedangkan untuk nilai rata-rata besar butir yang dihasilkan oleh pengelasan arus *single pulse* pada area *weld metal* adalah sebesar 4.32 μm dan untuk nilai rata-rata besar butir di daerah HAZ

pada pengelasan arus konvensional adalah sebesar 3,03 μm, angka ini menunjukkan ada penurunan besar butir yang dihasilkan pengelasan arus *single pulse* pada daerah *weld metal* sebesar 16,28%. Nilai ilai rata-rata besar butir di daerah HAZ pada pengelasan arus *single pulse* adalah sebesar 2,56 μm, angka ini juga menunjukkan ada penurunan besar butir yang dihasilkan pengelasan arus *single pulse* pada area HAZ sebesar 15,51%. Pada pengujian besar butir yang dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perubahan besar butir yang terjadi tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada kedua variabel pengujian, kesimpulan ini diambil dari dampak besar butir yang terjadi pada kekerasan material yang tidak berbeda jauh, meskipun angka persentase yang dihasilkan pada pengujian ini memiliki angka persentase yang lebih besar dibandingkan pada hasil pengujian *vickers.* Hal ini dikarenakan angka persentase kekerasan material tidak berjalan linear dengan nilai persentase besar butir seperti apa yang sudah dijelaskan oleh (Naik & Walley, 2020).

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis pada pembaca yang ingin melakukan penelitian serupa atau melanjutkan penelitian ini untuk melakukan pengujian yang lebih lagi, berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengujian berikutnya;

1. Dapat dilakukan pengujian struktur makro pada spesimen uji pada penelitian berikutnya, hal ini dapat dilakukan untuk melihat besar daerah HAZ yang dihasilkan pada kedua variabel pengelasan.
2. Pada pengujian berikutnya, penguji menyarankan untuk melakukan penelitian terhadap perubahan pada *pulse-on time.*
3. Selain melakukan penelitian pada *pulse-on time,* penguji juga menyarankan untuk melakukan perubahan pada variasi besar arus yang digunakan pada penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A., Alam, S., & Research Scholar, P. (2017). A Review on Pulsed TIG Welding. Dalam *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*| (Vol. 5). www.ijsrd.com

American Society for Testing and Materials. (2017). *Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/E0092-17

American Welding Society. (2020). *Standard Welding Terms and Definitions*. American Welding Society. https://dl.gasplus.ir/standard-ha/Standard-AWS/AWS%20A3.0%202020.pdf

ANSI/NACE MR0175/ISO 15156-1. (2015).

Boumerzoug, Z. (2020). Heat Affected Zone in Welded Metallic Materials. *Modern Concepts in Material Science*, *3*(4). https://doi.org/10.33552/mcms.2020.03.000566

Durgutlu A., & Çevik B. (2019). Effect of Continuous and Pulsed Currents on Microstructural Evolution of Stainless Steel Joined by TIG Welding. *Pract. Metallorgr.*, *3*. https://doi.org/10.3390/jmmp3030054

GÜROL, U. (2022). HEAT INPUT EFFECT OF THE FCAW PROCESS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEEL JOINTS. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1207–1220. https://doi.org/10.17482/uumfd.1157841

Haryanto, R. N., & Wahyudi, H. (2024). *Analisis Pengaruh Media Pendinginan pada Proses Perlakuan Panas Baja Hadfield terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan*. https://doi.org/10.23960/mech.v15.i2.2024189

Joseph, A., Harwig, D., Farson, D. F., & Richardson, R. (2003). Measurement and calculation of arc power and heat transfer efficiency in pulsed gas metal arc welding. *Science and Technology of Welding and Joining*, *8*(6), 400–406. https://doi.org/10.1179/136217103225005642

Kurtulmus, M., İrfan Yukler, A., Bilici, M. K., & Catalgol, Z. (2015). EFFECTS OF WELDING CURRENT AND ARC VOLTAGE ON FCAW WELD BEAD GEOMETRY. Dalam *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*. http://www.ijret.org

Li, L., Khraishi, T., & Shen, Y. L. (2025). Indentation and Hardness of Materials: An Inherently Multiscale-Dependent Problem. *Metals*, *15*(3). https://doi.org/10.3390/met15030265

Maijuansyah, M., Pradana, Y. R. A., Jatisukamto, G., & Solichin, S. (2019). Study on The Thermal Distortion, Hardness and Microstructure of St 37 Steel Plate Joined Using FCAW. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, *3*(1), 18–28. https://doi.org/10.17977/um016v3i12019p018

Michael S. (2019). *Materials& Manufacturing Training*. https://youtu.be/u6dFDoG5_kw?si=h6vfpmCdS-LGKaGu

Naik, S. N., & Walley, S. M. (2020). The Hall–Petch and inverse Hall–Petch relations and the hardness of nanocrystalline metals. Dalam *Journal of Materials Science* (Vol. 55, Nomor 7, hlm. 2661–2681). Springer. https://doi.org/10.1007/s10853-019-04160-w

Nitha. (2019). PENGARUH ARUS PENGELASAN TERHADAP

KEKERASAN, KEKUATAN TARIK, DAN STRUKTUR MIKRO HASIL LAS SMAW Nitha. Dalam *Mechanical Engineering Science (MES) Journal: ISSN*. https://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/mes/article/view/777

Pal, K., & Pal, S. K. (2011). Effect of pulse parameters on weld quality in pulsed gas metal arc welding: A review. Dalam *Journal of Materials Engineering and Performance* (Vol. 20, Nomor 6, hlm. 918–931). https://doi.org/10.1007/s11665-010-9717-y

Pratikno, H., Pahlawan, N. A., & Lalitya Danista, W. (2021). *International Journal of Offshore and Coastal Engineering Comparative Analysis of FCAW, and GMAW Welding With Heat Input Variations on A36 Steel Against Vickers Hardness Test and Macrostructure*.

Rani, I. M., & Marpu, R. N. (2012). *Effect of Pulsed Current Tig Welding Parameters on Mechanical Properties of J-Joint Strength of Aa6351*. (5). www.theijes.com

Singh, B., & Siddique, Y. (2025). Stainless Steel Cladding on Mild Steel using Pulsed Current GMAW. *International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA)*, *12*. www.ijetajournal.org

Srivastava, A. K., & Patra, P. K. (2021). PULSE SPRAY GAS METAL ARC WELDING OF ADVANCED HIGH STRENGTH S650MC AUTOMOTIVE STEEL. *Metallurgical and Materials Engineering*, *27*(4), 505–517. https://doi.org/10.30544/682

Suhartono A.H. (2005). PENGARUH BESAR BUTIR TERHADAP KEKUATAN FATIK EKSPERIMEN, PERHITUNGAN DAN SIMULASI. *Jurnal Sains Materi Indonesia*.

Suwandi, Y. S., Jamian, S., Harun, D. M., Kamarudin, K. A., Ismail, A. E., Aziz, A. A., & Khidir, E. A. (2024). Effect of Welding Heat Input on the Mechanical Properties of Mild Steel at Coarse Grain Heat Affected Zone (CGHAZ). *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, *116*(1), 145–155. https://doi.org/10.37934/aram.116.1.145155

Świerczyńska, A., Varbai, B., Pandey, C., & Fydrych, D. (2024). Exploring the trends in flux-cored arc welding: scientometric analysis approach. Dalam *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 130, Nomor 1–2, hlm. 87–110). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/s00170-023-12682-6

American Society for Testing and Materials. (2010). *Test Methods for Determining Average Grain Size*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/E0112-10

Tohari Alfian Amin, & Yunus. (2021). *PENGARUH KECEPATAN ALIRAN GAS PELINDUNG PADA PROSES LAS MIG MATERIAL BAJA SS-540 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO*.

Wu, W., Zhang, T., Chen, H., Peng, J., Yang, K., Lin, S., Wen, P., Li, Z., Yang, S., & Kou, S. (2023). Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of Deposited Metal of E120C-K4 High Strength Steel Flux-Cored Wire. *Materials*, *16*(8). https://doi.org/10.3390/ma16083239

Yuniarto M., Pratikno Herman, & Chamelia Dirta. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BKI Grade A Terhadap Sifat Mekanik. *JURNAL TEKNIK ITS*.

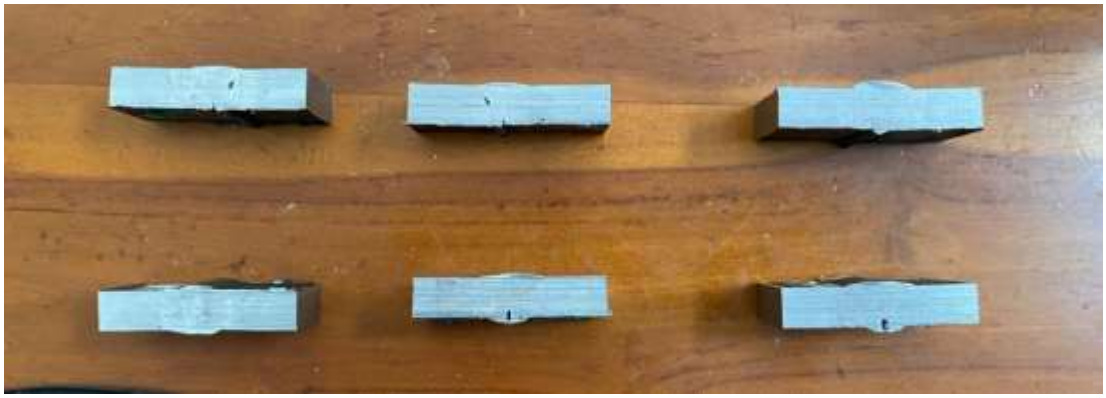
LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Tahap Persiapan Sebelum Proses Pengelasan

Lampiran 2. Dokumentasi Saat Proses Pengelasan

Lampiran 3. Dokumentasi Hasil Proses Pengelasan

Lampiran 4. Dokumentasi Proses Persiapan Spesimen Uji



Lampiran 4. Dokumen Pendukung

河北安丰钢铁有限公司

HEBEI ANFENG IRON & STEEL GROUP CO.LTD NO.BCZ20250517020

产品名称：热轧钢板
Product Name
执行标准：ASTM A36/36M
Specification
牌　号：A36
Steel Grade

产品质量证明书
INSPECTION CERTIFICATE

发货日期：2025.05.17

炉号 HEAT NO.	规格及重量 MATERIAL DESCRIPTION				化学成份分析 (Chemical Composition) (%)						拉伸试验			冷弯实验 Cold bend test
	尺寸Size (mm*mm*mm)	件数 BUNDLES	重量 WEIGHT t	片数 PIECES	C X10-2	Si X10-2	Mn X10-2	P X10-3	S X10-3	Als X10-3	屈服 Y.S	抗拉 T.S	延伸率 EL.	
											Mpa		%	d=0.5a
A5006957	8.0X1219X2438	7	36.750	525	16	11	32	25	18	3	322	438	34	合格
A5006954	5.0X1219X2438	8	37.110	318	16	13	30	17	18	8	322	438	34	合格
A5006968	8.0X1219X2438	4	20.163	108	16	13	30	16	19	3	319	429	31	合格
A5006972	10.0X1219X2438	9	43.748	186	17	16	48	17	16	1	307	442	32	合格
A5006983	12.0X1219X2438	9	42.840	153	16	14	41	19	16	1	277	417	34	合格
A5006945	16.0X1219X2438	5	22.190	59	17	16	48	17	16	1	307	442	32	合格
A5006985	20.0X1219X2438	5	19.601	42	16	13	43	27	18	1	280	439	32	合格
合计 (Total)	数量 QTY: 47BUNDLES　重量WEIGHT: 222.402MT													

备注（Notes）：

1. 钢级以质量证明书为准（The grade should base on the quality certificate）

2. 交货状态：热轧（Condition of supply: As Rolled）

地址：中国河北昌黎县靖安
ADD: JingAn ChangLi HeBei China

(2)

DATE OF FILLING 2025.05.17

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI BATAM
LABORATORIUM METALURGI
Jalan Ahmad Yani, Batam Centre, Kecamatan Batam Kota, Batam 29461
Telepon +62 778-469856 – 469860, Faksimile +62 778 463620
Laman: www.polibatam.ac.id, Surel: info@polibatam.ac.id

REPORT OF TESTING

51V – 56V / LHU / MET / JUNE / 2026

PARAMETER: UJI KEKERASAN VICKERS

No. Formulir : F/7.8.5/MET.

Pelanggan *(Customer)*	Nassem Hamed
Alamat (*Address*)	Perum Anggara Graha Blok K/10, Batu Aji
Metode Pengujian *(Test Method)*	Vickers HV
Tanggal Penerimaan *(Date of Received)*	3 Juni 2026
Tanggal Pengujian *(Date of Testing)*	3 Juni 2026
Kode Spesimen *(Code Specimen)*	51V – 56V
Keterangan Spesimen *(Specimen Remarks)*	Preparation ASTM A36 1. Single Pulse 2. Non-Pulse

Sketsa Lokasi Titik Uji *(Sketch)*

Kode Spesimen	Variabel	*Test Location*		
		Weld Metal	HAZ	Base Metal
51V (P1)	Single Pulse	182,9 HV	154,8 HV	137,4 HV
52V (P2)		181,5 HV	152,1 HV	135,8 HV
53V (P3)		183,7 HV	153,3 HV	136,1 HV
54V (N1)	Non-Pulse	177,6 HV	146,5 HV	135,5 HV
55V (N2)		178,9 HV	145,3 HV	134,4 HV
56V (N3)		179,5 HV	147,7 HV	135,3 HV

Alat *(Testing Machine Used)* : Mitutoyo Vickers Hardness Tester, Model HV-1000A, S/N 0024

Catatan Alat Uji *(Remark)* : Diversifikasi menggunakan block kalibrasi Blok Set C S/N 700 HV (*Has been verified with* Blok Set C *Standardized Block*, S/N 700 HV)

Pelaksana Pengujian (*Test Conducted by*) : Sriyanto, S.Tr.T

Disaksikan Oleh (*Witnessed by*) : Khollilah Nuraini, S.T

Batam, 3 Juni 2026

Penanggung Jawab Pengujian

Ebeng Sugondo, S.T., M.T

TERKENDALI

KETERANGAN

1. Hasil uji di atas hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laporan Hasil Uji ini terdiri dari 3 halaman.
3. Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan, kecuali secara lengkap dan seijin tertulis dari Laboratorium Metalurgi, Politeknik Negeri Batam.
4. Laboratorium melayani pengaduan/complaint maksimum 5 (lima) hari kerja terhitung dari tanggal penyerahan LHU.
5. Rekaman data teknis, diberikan kepada pelanggan, bila diminta oleh pelanggan secara tertulis.
6. Jika sampel diantar atau dikirim oleh pelanggan, maka laboratorium tidak bertanggung jawab terhadap pengambilan dan pengiriman sampel.
7. Rujukan, mengacu pada: ASTM E92.

TERKENDALI

Plagiarism Report

TUGAS AKHIR NASSEM HAMED 4422201005.pdf

Document Details

Submission ID
6a563fe36c2ec3e56a71d712

File Size
1.0 MB

File Name
TUGAS AKHIR NASSEM HAMED 4422201005.pdf

Total Pages
43 Page

Account Name
ITentix Plagiarism

Tota Words
7,830 Words

Submission Date
14 Jul 2026, 20:55 GMT+7

Tota Characters
65,779 Characters

Release Date
14 Jul 2026, 20:59 GMT+7

Filter Options

Filter settings used in this submission report.

- Exclude Bibliography
- Exclude Quoted Text

19%
Similarity

65
Matched Sources

Match Group

0% Internet sources
19% Publications
0% Submitted works (Student papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission.

1	Publication digilib.isi.ac.id	<1%
2	Publication digilib.isi.ac.id	<1%
3	Publication repository.uin-suska.ac.id	<1%
4	Publication e-journal.uajy.ac.id	<1%
5	Publication etheses.uin-malang.ac.id	<1%
6	Publication je.politala.ac.id	<1%
7	Publication ejournal.undip.ac.id	<1%
8	Publication iptek.its.ac.id	<1%
9	Publication e-journals.irapublishing.com	<1%
10	Publication ojs.polmed.ac.id	<1%
11	Publication jurnal.politeknik-kebumen.ac.id	<1%

12 Publication	repository.uin-suska.ac.id	<1%
13 Publication	journal.univpancasila.ac.id	<1%
14 Publication	talenta.usu.ac.id	<1%
15 Publication	digilib.isi.ac.id	<1%
16 Publication	journal.ubb.ac.id	<1%
17 Publication	repository.unwira.ac.id	<1%
18 Publication	ejournal.uniramalang.ac.id	<1%
19 Publication	scholar.unand.ac.id	<1%
20 Publication	repository.uinsu.ac.id	<1%
21 Publication	e-journal.uajy.ac.id	<1%
22 Publication	repository.uin-suska.ac.id	<1%
23 Publication	ojs.unimal.ac.id	<1%
24 Publication	jurnal.polines.ac.id	<1%
25 Publication	thesis.univ-biskra.dz	<1%

26	Publication	<1%
digilib.isi.ac.id		
27	Publication	<1%
ejournal.unibabwi.ac.id		
28	Publication	<1%
journal.uny.ac.id		
29	Publication	<1%
jurnal.untidar.ac.id		
30	Publication	<1%
jurnal.polban.ac.id		
31	Publication	<1%
ojs.bonviewpress.com		
32	Publication	<1%
eprints.walisongo.ac.id		
33	Publication	<1%
jurnal.polines.ac.id		
34	Publication	<1%
publikasiilmiah.unwahas.ac.id		
35	Publication	<1%
jurnal.polibatam.ac.id		
36	Publication	<1%
journals.plos.org		
37	Publication	<1%
repository.usd.ac.id		
38	Publication	<1%
journal.umy.ac.id		
39	Publication	<1%
journals.ukitoraja.ac.id		