

## Pengaruh Arus Pengelasan Smaw pada Dissimilar Logam Stainless Steel 201 dan Baja 1040 Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro

### *The Effect of Smaw Welding Current on The Mechanical Properties and Microstructure of Dissimilar Metals Stainless Steel 201 and Aisi 1040 Steel*

Qomarul Hadi<sup>1</sup>, Ifsya Ussalam Matondang<sup>2</sup> Ahamad Zamheri<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Indralaya Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Mesin Politeknik Sriwijaya Palembang, Indonesia

#### Info Artikel

Diajukan: 28 Mei 2025

Diterima: 17 Juli 2025

Diterbitkan: 30 September 2025

#### Keywords:

Dissimilar Metal Welding;

SMAW;

Stainless Steel 201;

AISI 1040

#### Kata Kunci:

Pengelasan Tak Sejenis,;

SMAW;

Stainless Steel 201;

Baja 1040



Lisensi: cc-by-sa

#### ABSTRACT

The advancement of welding technology plays a crucial role in industrial development, especially in dissimilar metal welding, such as joining stainless steel 201 and carbon steel 1040. This type of welding often results in reduced mechanical properties at the joint due to differences in composition and physical characteristics. This study aims to investigate the effect of welding current variations on the tensile strength, hardness, and microstructure of dissimilar metal joints between stainless steel 201 and AISI 1040 steel. The welding method used is Shielded Metal Arc Welding (SMAW) with current settings of 85A, 90A, 95A, and 100A. Tests performed include tensile testing (ASTM E8M), hardness testing (JIS B 7724), composition analysis, and metallographic examination (ASTM E407-07). The results show that 95A is the most optimal current, producing the highest tensile strength and hardness values, particularly in the Heat Affected Zone (HAZ). Lower currents (85A and 90A) lead to insufficient penetration and fusion, while higher current (100A) causes overheating and microstructural defects. Composition analysis shows that stainless steel 201 primarily contains Fe, Cr, and Mn, while AISI 1040 is mostly composed of Fe. Variations in welding current also affect the microstructure, with the formation of phases such as widmanstätten ferrite and acicular ferrite, which significantly influence the mechanical properties of the welded joint.

#### ABSTRAK

Perkembangan teknologi pengelasan memegang peranan penting dalam industri, khususnya dalam pengelasan logam tak sejenis seperti stainless steel 201 dan baja 1040. Pengelasan sering menyebabkan penurunan sifat mekanik pada sambungan akibat perbedaan komposisi dan sifat fisik kedua logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pada pengelasan dissimilar logam stainless steel 201 dan baja 1040. Metode yang digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan variasi arus 85A, 90A, 95A, dan 100A. Pengujian meliputi uji tarik (ASTM E8M), uji kekerasan (JIS B 7724), uji komposisi, dan uji struktur mikro (ASTM E407-07). Hasil pengujian menunjukkan bahwa arus 95A merupakan parameter paling optimal, menghasilkan kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi, khususnya di daerah Heat Affected Zone (HAZ). Arus 85A dan 90A menghasilkan penetrasi dan peleburan yang kurang sempurna, sedangkan arus 100A menyebabkan overheating dan cacat mikrostruktur. Uji komposisi menunjukkan bahwa stainless steel 201 didominasi oleh Fe, Cr, dan Mn, sedangkan baja 1040 terutama mengandung Fe. Variasi arus juga memengaruhi struktur mikro, dengan terbentuknya fasa seperti widmanstätten ferrite dan acicular ferrite yang berpengaruh terhadap sifat mekanik sambungan.

**Corresponding Author:**

Qomarul hadi

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya; qoma2007@unsri.ac.id

**PENDAHULUAN**

Teknologi konstruksi merupakan salah satu bentuk kemajuan yang mendukung kebutuhan dalam dunia perindustrian. Salah satu perkembangan teknologi dalam bidang ini adalah pengelasan yang berperan penting dalam proses pembuatan produk konstruksi. Hampir semua proses konstruksi melibatkan proses pengelasan dalam menyambung rancangan karena teknik penyambungan dengan cara pengelasan relatif lebih murah serta lebih mudah (Romdhoni dkk., 2019). Pengelasan dapat diartikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam yang dilakukan dengan cara dicairkan. Berdasarkan penelitian oleh Setiawan & Rosidah (2023), tujuan dari pengelasan yaitu meminimalkan biaya serta meningkatkan kualitas dan efisiensi dari produk yang dibuat. Akibat kemajuan teknologi pengelasan tidak hanya dilakukan pada logam sejenis, tetapi pengelasan juga pada logam tak sejenis (dissimilar metal welding) (Suryanto & Qolik, 2016).

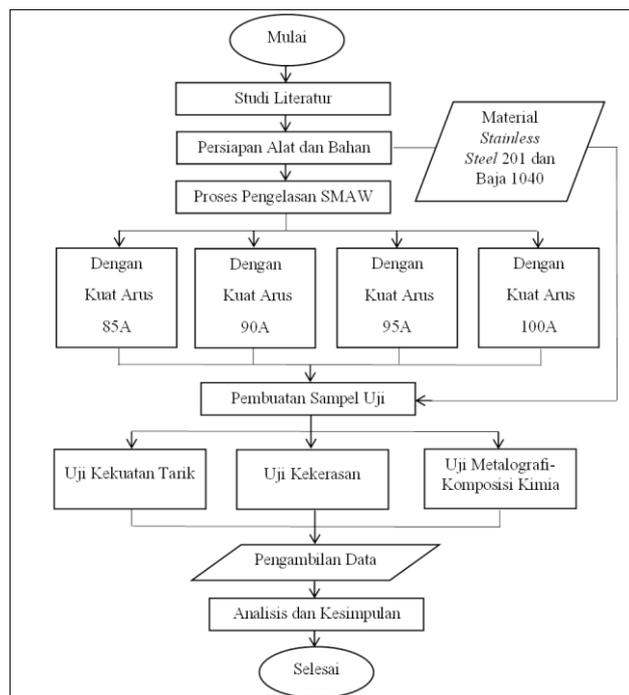
Pengelasan logam tak sejenis merupakan teknik penyambungan dua jenis logam atau paduan logam yang memiliki karakteristik yang berbeda. Teknik ini biasa disebut dengan dissimilar metal welding merupakan suatu inovasi teknologi pengelasan terbaru yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan penyambungan material dengan jenis yang berbeda. Pengelasan tak sejenis sangat banyak dibutuhkan dalam berbagai bidang, terutama pada bidang yang memerlukan sambungan khusus seperti penyambungan antara baja tahan karat (*stainless steel*) dan baja karbon. Dalam proses pengelasan tentunya sering terjadi terkendala oleh beberapa masalah yang terjadi. Masalah utama dalam pengelasan logam tak sejenis adalah adanya perbedaan sifat fisis dan mekanis, titik lebur, dan koefisien muai sehingga mengakibatkan terjadinya patahan pada permukaan yang disebabkan oleh adanya peleburan logam pengisi dan pembentukan senyawa metalik. Hal ini disebabkan oleh perbedaan komposisi dan sifat fisik yang terkandung dalam dua logam tersebut. Diperlukan temperatur yang sesuai ketika dilakukan proses penyambungan, temperatur yang tidak sesuai dapat mengakibatkan penurunan sifat mekanik pada sambungan kedua logam tersebut (Widodo dkk., 2018). Pemilihan elektroda yang tepat menjadi salah satu yang menjadi penentu keberhasilan dari pengelasan tersebut. Selain itu pengaturan arus yang sesuai dan penentuan jenis sambungan berdasar pada standar pengelasan juga mempengaruhi keberhasilan dari proses pengelasan tersebut (Parekke dkk., 2014).

Faktor lainnya yaitu metode yang digunakan dalam pengelasan seperti metode *Tungsten Inert Gas* (TIG), *Metal Inert Gas* (MIG), dan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Dari ketiga metode tersebut saling memiliki keunggulan dan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan pengelasan. Pemilihan metode juga didasari oleh pertimbangan dari berbagai aspek seperti jenis material, efisiensi waktu, skala pekerjaan, dan biaya yang dibutuhkan (Gundara & Biggunah, 2021). *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau dikenal dengan pengelasan busur listrik manual merupakan teknik pengelasan yang digunakan untuk mencairkan elektroda dan logam induk dengan memanfaatkan energi panas dari busur listrik. Hasil yang diperoleh dari proses ini yaitu sambungan permanen yang terdapat diantara dua material logam. Elektroda yang digunakan dilapisi oleh bahan khusus yang disebut *flux*, yang berfungsi sebagai material pengisi dan pelindung. Beberapa komponen penting dalam SMAW antara lain sumber daya listrik, elektroda berlapis *flux*, pemegang elektroda, kabel massa, dan benda kerja. Sumber daya listrik menghasilkan arus yang diperlukan untuk membentuk busur, baik dalam bentuk arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC).

Pada proses pengelasan digunakan teknik yang sederhana, tetapi membutuhkan keahlian dan pengetahuan yang mumpuni karena banyak faktor yang harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi proses pengelasan. Pengaturan heat input berperan penting dalam menentukan kualitas hasil pengelasan. Arus yang terlalu rendah dapat menghambat pembentukan nyala busur listrik yang stabil, sehingga panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar secara sempurna. Hal ini dapat berdampak pada hasil akhir pengelasan yang kurang optimal. Sebaliknya apabila arus yang diberikan terlalu tinggi maka akan menyebabkan hasil permukaan lebih luas karena elektroda meleleh dengan cepat, sehingga mengakibatkan sifat mekanik yang kurang optimal (Wahid dkk., 2022).

## METODE

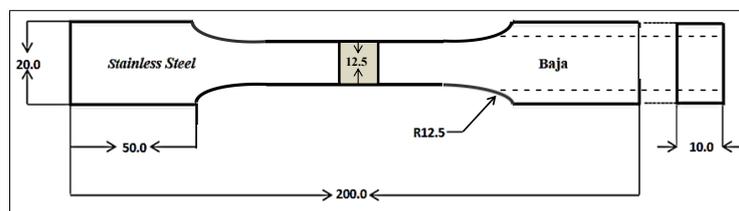
Proses penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Persiapan spesimen pada penelitian ini diawali dengan:

1. Pemotongan spesimen Baja 1040 dan *Stainless Steel* 201.
2. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan metode pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dengan mesin las SMAW. Material antara *stainless steel* 201 dengan baja 1040 dilakukan penyambungan pada setiap kuat arus yaitu 85A, 90A, 95A, dan 100A menggunakan jenis sambungan *butt joint* dengan bentuk alur *single V groove*, sementara posisi pengelasan yang dipilih adalah 1G. Tegangan yang digunakan 220 volt dengan kecepatan pengelasan konstan sebanyak 6 kali pengulangan serta menggunakan elektroda tipe E309-16, sesuai dengan standar AWS A5.4. Untuk metode pembersihan adalah *grinding* dan *wire brush*.
3. Pemotongan sampel uji dilakukan setelah proses penyambungan pada plat baja berbeda sesuai dengan standar pada setiap pengujian. Pada uji tarik menggunakan standar ASTM E8M seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8M

4. Pengujian tarik menghasilkan sejumlah data penting, antara lain kekuatan tarik, kekuatan luluh, elongasi, dan pengurangan luas penampang. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine Torsee*.
5. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* dengan mesin uji *Vickers* tipe VKH-2E sesuai dengan standar JIS B 7725. Mesin ini memiliki keunggulan dalam hal tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pengujian kekerasan lainnya, serta mampu menguji material yang sangat keras berkat indenter berbahan intan.

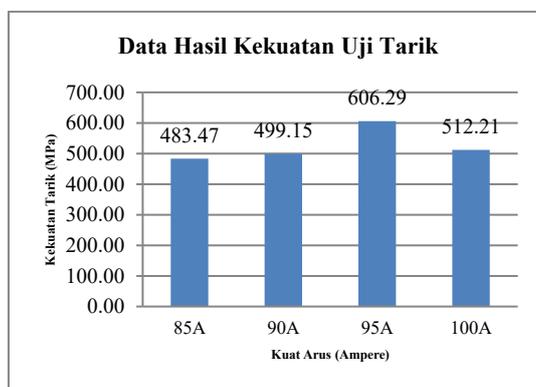
- Pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung pada hasil sambungan las beda jenis antara baja 1040 dan *stainless steel* 201. Uji komposisi ini dilakukan menggunakan alat *X-ray Fluorescence Spectromet* karena berdasarkan kemampuan material dalam memberikan hasil yang akurat serta efisien melalui identifikasi spektrum sinar-x ketika terpapar radiasi.
- Pengujian metalografi bertujuan untuk mengamati struktur mikro serta distribusi ukuran butir pada logam. Dari pengujian ini, dapat diperoleh informasi mengenai sifat-sifat logam dan jenis paduan yang terkandung di dalamnya. Pengujian dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E407-07 menggunakan mikroskop Keyence tipe VH-Z450. Untuk proses etsa pada *base metal* baja 1040 digunakan larutan nital, yang merupakan campuran asam nitrat dan alkohol. Sementara itu, proses etsa pada *weld metal* dan *base metal stainless steel* 201 menggunakan larutan *aqua regia*, yang merupakan campuran asam nitrat dan asam klorida.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil penelitian dari uji yang dilakukan:

### 1. Data Hasil Uji Tarik

Setelah dilakukan pengujian tarik, data yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Data Hasil Kekuatan Uji Tarik

Hasil uji tarik pada material *stainless steel* 201 dan baja 1040 dengan arus pengelasan 85A, 90A, 95A, dan 100A memiliki rata-rata kekuatan tarik yang cukup beragam. Pada arus pengelasan 95A menunjukkan rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 606,29 MPa, sedangkan para arus 85A memiliki nilai rata-rata sebesar 483,47 MPa. Selanjutnya rata-rata hasil uji tarik pada arus 90A adalah 499,15 MPa dan pada arus 100A menunjukkan rata-rata sebesar 512,21 MPa.

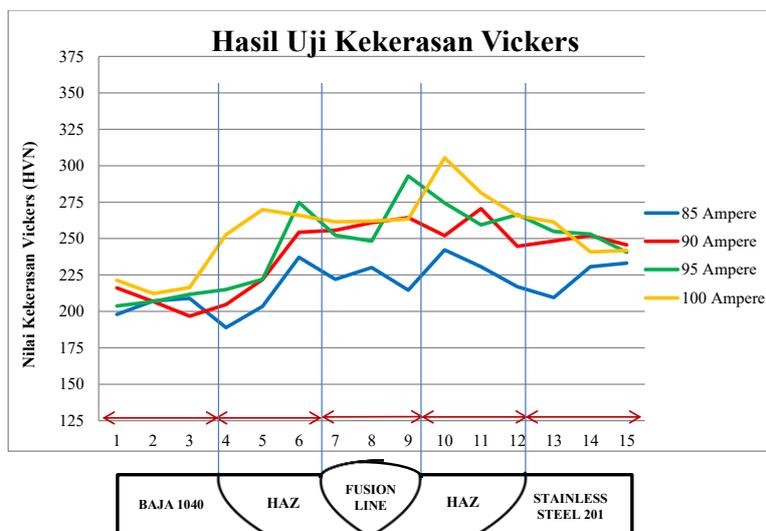
Hasil uji tarik optimal pada pengelasan baja 1040 dan *stainless steel* 201 pada arus 95 A disebabkan oleh keseimbangan distribusi panas, stabilitas busur, dan kontrol struktur mikro yang ideal. Dibandingkan arus 85 dan 90 A, yang menghasilkan panas terlalu rendah sehingga menyebabkan penetrasi las kurang sempurna dan ikatan antar logam lemah, arus 95 A memberikan heat input yang cukup untuk mencair dan menyatukan logam dengan baik tanpa menyebabkan cacat (Nasrul dkk., 2016).

Sementara itu, arus 100 A menghasilkan panas berlebih yang berisiko menimbulkan pertumbuhan butir kasar, pembentukan fase rapuh seperti martensit atau karbida kromium, serta retak panas akibat perbedaan sifat termal antara kedua logam. Arus 95 A juga menghasilkan busur yang lebih stabil, *bead* las (jalur logam cair yang telah membeku) lebih bersih, dan struktur mikro yang lebih halus dengan tegangan sisa minimal, sehingga kekuatan tarik sambungan meningkat secara signifikan dan menjadi yang paling optimal di antara variasi arus yang diuji (Parekke dkk., 2014).

Dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian menunjukkan variasi arus listrik yang digunakan mempengaruhi sifat mekanik. Peningkatan arus cenderung memengaruhi tegangan luluh dan elongasi, meskipun terdapat fluktuasi dalam hasil yang diukur. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk memahami hubungan antara arus listrik dengan perubahan sifat mekanik secara lebih mendalam.

## 2. Data Hasil Uji Kekerasan

Setelah dilakukan uji kekerasan *vickers*, hasil data yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

Gambar 4 menunjukkan grafik profil kekerasan pada sambungan las untuk variasi arus pengelasan 85A, 90A, 95A, dan 100A. Berdasarkan grafik tersebut, nilai kekerasan tertinggi di semua spesimen terletak pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dengan arus 100A sebesar 305,404 HVN. Menurut Sedriks (1996), nilai kekerasan yang tinggi disebabkan oleh transformasi fasa saat mengalami siklus termal pengelasan. Pada kondisi suhu tinggi yang dihasilkan oleh arus 100A, sebagian austenit dapat mengalami transformasi menjadi martensit sebagai akibat dari ketegangan termal dan pendinginan cepat di daerah HAZ.

Transformasi ini disebut *strain-induced martensitic transformation*, dan meskipun lebih umum terjadi akibat deformasi plastis, studi menunjukkan bahwa kondisi termal ekstrem juga dapat memicu transformasi ini pada austenit metastabil. Menurut Lippold & Kotecki (2005), selain pembentukan martensit, presipitasi karbida kromium di sepanjang batas butir (struktur mikro) juga berkontribusi terhadap kenaikan kekerasan di HAZ. Presipitasi ini umum dijumpai pada daerah HAZ akibat siklus panas dari proses pengelasan. Fase karbida kromium ini tidak hanya meningkatkan kekerasan lokal, tetapi juga dapat menyebabkan daerah tersebut mengalami sensitisasi, yaitu penurunan ketahanan korosi akibat depleksi krom di sekitar batas butir.

Pada arus 95A, nilai kekerasan tertinggi terletak di *fusion zone* sebesar 292,933 HVN. Selanjutnya pada arus 90A dengan nilai kekerasan tertinggi berada di daerah HAZ sebesar 270,575 HVN dan pada arus 85A, nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah HAZ dengan nilai 242,231 HVN. Sedangkan nilai kekerasan terendah secara keseluruhan tercatat di daerah base metal baja 1040 dengan arus 85A, yaitu 188,825 HVN. Hal ini terjadi karena bagian *base metal* tidak mengalami pemanasan hingga melewati suhu kritis transformasi, sehingga tidak terjadi perubahan fasa signifikan selama proses pengelasan. Struktur mikro pada daerah ini tetap berupa *ferrite* dan *pearlite* kasar, yang memiliki kekerasan rendah namun memberikan keuletan yang baik (Callister & Rethwisch, 2018; Kou, 2003). Ketiadaan fasa martensit atau bainit menjadikan *base metal* sebagai daerah dengan kekerasan lebih rendah dibanding zona HAZ atau *fusion zone*.

Berdasarkan hasil pengujian, arus 100A memang menghasilkan nilai kekerasan tertinggi di daerah HAZ, yakni mencapai 305,404 HVN, yang dikaitkan dengan pembentukan martensit halus akibat pendinginan cepat dan input panas tinggi. Namun, kekerasan yang terlalu tinggi umumnya berkorelasi dengan penurunan keuletan dan meningkatnya risiko retak, terutama jika disertai tegangan sisa yang besar (Kou, 2003; Lippold & Kotecki, 2005). Sebaliknya, pada arus 95A, nilai kekerasan berada pada tingkat tinggi namun masih dalam batas aman yakni 292,933 HVN, disertai hasil uji tarik tertinggi dibanding arus lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pada arus 95A terjadi transformasi fasa aktif dan terkontrol sehingga menghasilkan mikrostruktur dengan martensit halus dan sedikit bainit yang

mendistribusi kekuatan secara merata tanpa mengorbankan keuletan. Struktur ini terbentuk karena laju pendinginan yang cukup tinggi untuk menghasilkan kekerasan, namun tidak terlalu ekstrem hingga menyebabkan embrittlement atau hilangnya deformabilitas (Porter & Easterling, 2009). Kombinasi ini membuat sambungan las pada arus 95A memiliki kekuatan tarik tinggi dan sifat mekanik yang seimbang, menjadikannya arus las paling optimal secara keseluruhan.

### 3. Data Hasil Uji Komposisi

Setelah dilakukan uji komposisi, diperoleh hasil data yang diperoleh dari baja 1040, *stainless steel* 201, dan *fusion line*. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Daerah *Fusion Line*

Parameter	Hasil Analisa
Fe	64,148%
Cr	21,917%
Ni	11,457%
Mn	1,466%
Si	0,541%

Berdasarkan hasil uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada sambungan *stainless steel* 201 dan baja 1040 (zona fusi) menggunakan elektroda E309-16 diatas, diketahui bahwa elemen Besi (Fe) mendominasi dengan konsentrasi sebesar 64,148%. Kandungan Kromium (Cr) sebesar 21,917% dan Nikel (Ni) sebesar 11,457% yang menunjukkan karakteristik tahan karat. Selanjutnya kandungan Mangan (Mn) yang terdapat pada fusion zone adalah sebesar 1,466% dan Silisium (Si) sebesar 0,541%.

Tabel 2. Hasil Uji Komposisi Baja 1040

Parameter	Hasil Analisa
Fe	98%
Mn	0,40%
C	0,40%
Si	0,25%
S	0,035%

Berdasarkan tabel 4.8 hasil uji komposisi yang terkandung dalam material baja 1040, terdapat 7 unsur utama pada komposisinya yaitu Besi (Fe) sebesar 98% sebagai komponen utama, Karbon (C) sebesar 0,40%, yang memiliki fungsi untuk meningkatkan kekerasan serta ketahanan oksidasi, dan Mangan (Mn) sebesar 0,40% yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan pada logam. Selain itu, material ini juga mengandung Belerang (S) sebesar 0,035% dan Fosfor (P) sebesar 0,03%.

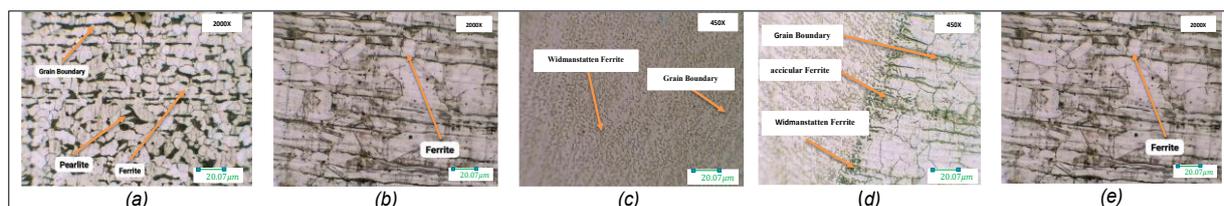
Tabel 3. Hasil Uji Komposisi *Stainless Steel* 201

Parameter	Hasil Analisa
Fe	69%
Cr	14,30%
Mn	8,070%
Cu	1,60%
Ni	1,00%
Si	0,460%

Tabel 2 menunjukkan hasil uji komposisi yang terkandung dalam material *stainless steel* 201. Terdapat beberapa unsur utama pada komposisinya yaitu Besi (Fe) sebesar 69% yang merupakan elemen utama, Kromium (Cr) sebesar 14,30%, Mangan (Mn) sebesar 8,070%, Tembaga (Cu) sebesar 1,60 %, Nikel (Ni) sebesar 1,00%, dan Silisium (Si) sebesar 0,460%.

#### 4. Data Hasil Uji Metalografi

Uji metalografi dilakukan pada spesimen di setiap masing-masing arus, hasil pengamatan mikrostruktur pada logam sambungan baja 1040 dan *stainless steel* 201 adalah sebagai berikut:

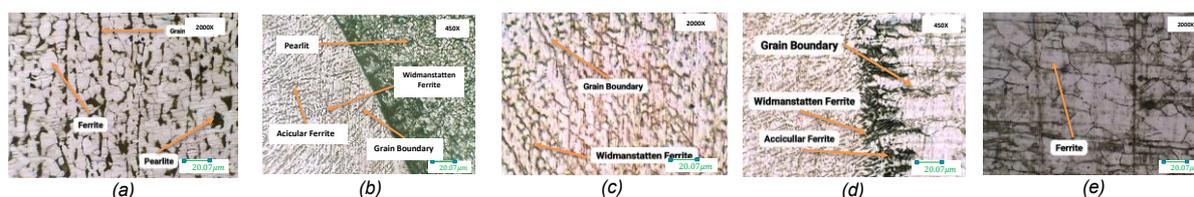


Gambar 5. Hasil analisa struktur mikro dengan kuat arus 85A

Pada arus 85A, struktur mikro sambungan las antara baja karbon 1040 dan *stainless steel* 201 memperlihatkan karakteristik yang masih relatif stabil, dengan intensitas pengaruh termal yang tidak terlalu tinggi. Logam induk baja 1040 (Gambar a) menunjukkan dua fasa utama, yaitu *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* tampak cerah, bersifat lunak dan ulet, sedangkan *pearlite* tampak lebih gelap, dengan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi. Kombinasi fasa ini memberikan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan material (Callister & Rethwisch, 2018).

Pada daerah *fusion line* baja 1040 (Gambar b), pengaruh panas pengelasan menyebabkan pembentukan *ferrite widmanstatten* dan *acicular ferrite*. *Grain boundary* terlihat jelas, mencerminkan pertumbuhan ulang butiran kristal di zona ini (Kou, 2003). Struktur mikro pada *weld metal* (gambar c) didominasi oleh *ferrite widmanstatten*, menandakan kondisi solidifikasi yang relatif seragam namun masih belum optimal dalam hal kekompakan struktur.

Pada sisi *stainless steel* 201 (Gambar d), khususnya di daerah *fusion line*, terlihat adanya transformasi struktur menjadi *ferrite widmanstatten* dan *acicular ferrite*. Meskipun *stainless steel* 201 umumnya memiliki struktur austenitik, pemanasan lokal yang intens pada proses pengelasan memicu munculnya fasa feritik, yang lebih stabil pada kondisi pendinginan cepat dan sangat dipengaruhi oleh komposisi krom dan nikel dalam paduan (Sedriks, 1996; Davis, 1994). Pada daerah logam induk *stainless steel* 201 (Gambar e) terlihat didominasi oleh *ferrite*.



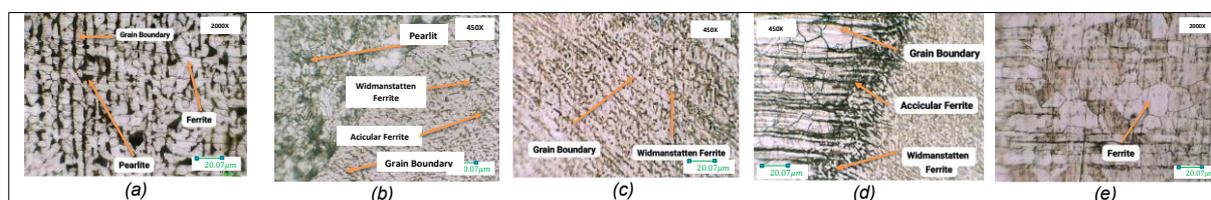
Gambar 6. Hasil analisa struktur mikro dengan kuat arus 90A

Pengelasan dengan arus 90A menghasilkan struktur mikro yang mulai menunjukkan efek termal yang lebih nyata dibandingkan arus 85A. Struktur mikro logam induk baja 1040 (Gambar a) tetap menunjukkan dominasi fasa *ferrite* dan *pearlite*. Namun, perubahan mulai terlihat lebih jelas di zona *fusion line* (Gambar b), di mana *ferrite widmanstatten* dan *acicular ferrite* mulai lebih menonjol. Hal ini menandakan terjadinya pendinginan yang cukup cepat, meskipun tidak ekstrem, sehingga fasa yang terbentuk masih beragam (Lippold & Kotecki, 2005).

Pada daerah *weld metal* (Gambar c), terbentuk struktur jarum panjang dan pendek, yang menunjukkan terjadinya transformasi mikrostruktur akibat laju pendinginan yang menengah. *Grain Boundary* terlihat jelas dan struktur *pearlite* mulai menunjukkan degradasi akibat suhu tinggi selama pengelasan. Di area *weld metal*, struktur yang terbentuk cenderung didominasi oleh *ferrite widmanstatten*, menunjukkan bahwa solidifikasi logam pengisi dipengaruhi oleh keseimbangan antara suhu puncak dan laju pendinginan.

Pada *fusion line stainless steel* 201 (Gambar d), muncul struktur feritik yang mirip seperti pada arus 85A, yaitu *ferrite widmanstatten* dan *acicular ferrite*. Perubahan ini disebabkan oleh paparan panas dari pengelasan yang mengganggu kestabilan struktur austenitik, terutama pada daerah *fusion line*. Hal

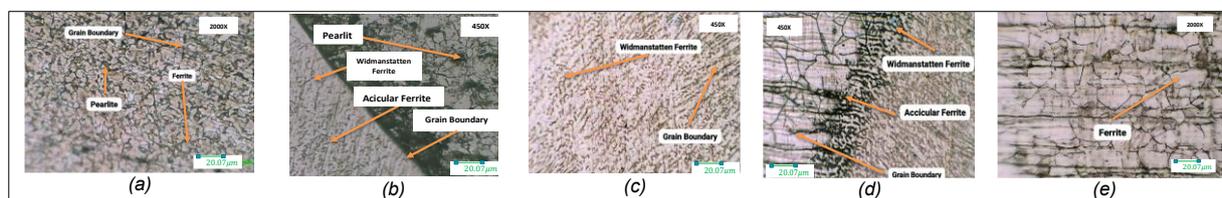
ini sejalan dengan sifat *stainless steel* 201 yang tergolong dalam kelompok baja tahan karat dengan kecenderungan fasa campuran (austenit–ferit) saat didinginkan dari suhu tinggi (Davis, 1994). Sementara untuk logam induknya (Gambar e) didominasi oleh *ferrite*.



Gambar 7. Hasil analisa struktur mikro dengan kuat arus 95A

Pengamatan mikrostruktur pada arus 95A menunjukkan kondisi yang mendekati optimal baik dari segi struktur mikro. Logam induk baja 1040 (Gambar a) masih menunjukkan kombinasi fasa *ferrite* dan *pearlite* yang khas. Pada *fusion line* (Gambar b), *ferrite widmanstatten* terbentuk lebih padat dan *acicular ferrite* menjadi lebih dominan, menandakan pendinginan yang cukup cepat tetapi masih dalam batas ideal untuk menghasilkan struktur yang halus dan homogen (Kou, 2003).

*Weld metal* (Gambar c) menunjukkan dominasi struktur *ferrite widmanstatten* yang lebih seragam dan terdistribusi merata, mencerminkan kondisi solidifikasi yang stabil. Komposisi kimia dan arus pengelasan pada 95A memungkinkan tercapainya keseimbangan antara suhu puncak dan laju pendinginan, sehingga menghasilkan struktur mikro yang mendukung kekuatan mekanik maksimum. Pada *stainless steel* 201, struktur mikro di *fusion line* (Gambar d) menunjukkan *ferrite widmanstatten* dan *acicular ferrite* yang terbentuk akibat paparan panas pengelasan. Fasa ini tetap muncul meskipun *stainless steel* 201 secara umum lebih cenderung mempertahankan struktur austenitik, menandakan bahwa suhu lokal cukup tinggi untuk mendorong transformasi fasa (Sedriks, 1996). Struktur feritik pada *stainless steel* 201 yang memanjang sejajar deformasi menunjukkan respon terhadap perubahan termomekanik selama pengelasan, dan memiliki kekerasan serta ketahanan korosi yang tinggi. *Ferrite* juga terlihat mendominasi pada logam induk *stainless steel* 201.



Gambar 8. Hasil analisa struktur mikro dengan kuat arus 100A

Struktur mikro pada arus 100A menunjukkan pengaruh termal yang paling kuat dari seluruh variasi arus yang diamati. Logam induk baja 1040 (Gambar a) tetap menunjukkan *ferrite* dan *pearlite*, namun pada daerah *fusion line* baja 1040 (Gambar b) perubahan mikrostruktur sangat dominan. *Ferrite widmanstatten* tampak jelas dengan struktur yang lebih panjang dan padat, sedangkan *acicular ferrite* tetap terbentuk akibat kecepatan pendinginan sedang (Callister & Rethwisch, 2018). *Weld metal* (Gambar c) menunjukkan dominasi *ferrite widmanstatten* yang lebih tajam dan batas butir yang sangat tegas. Struktur ini menandakan bahwa proses solidifikasi berlangsung yang umumnya menghasilkan kekerasan lebih tinggi namun berisiko menurunkan keuletan. Hal ini sejalan dengan hasil uji kekerasan yang menunjukkan nilai maksimum pada arus 100A.

*Fusion line stainless steel* 201 (Gambar d) mengalami transformasi struktur menjadi *ferrite widmanstatten* dan *acicular ferrite* akibat eksposur panas tinggi selama pengelasan. Meskipun *stainless steel* 201 lebih stabil dalam struktur austenitik, peningkatan suhu dan waktu tahan panas menyebabkan terbentuknya struktur feritik di zona tersebut. Hal ini konsisten dengan laporan literatur yang menyebutkan bahwa kondisi pengelasan ekstrem dapat memicu perubahan fasa meskipun pada baja tahan karat jenis austenitik (Davis, 1994; Lippold & Kotecki, 2005). Pada (Gambar e) tepatnya logam induk *stainless steel* 201 terlihat didominasi oleh *ferrite*.

## KESIMPULAN

Berikut adalah kesimpulan yang telah dibuat setelah melakukan berbagai pertimbangan dari data yang telah diolah pada penelitian ini:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las antara baja 1040 dan *stainless steel* 201, di mana arus 95A menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 606,29 MPa. Arus ini memberikan keseimbangan distribusi panas, stabilitas busur, dan struktur mikro yang optimal, sehingga menghasilkan sambungan yang kuat dan bebas cacat. Sebaliknya, arus 85A dan 90A menghasilkan *heat input* yang terlalu rendah, menyebabkan penetrasi las kurang sempurna dan kekuatan tarik lebih rendah, sedangkan arus 100A cenderung menghasilkan panas berlebih yang memicu cacat mikrostruktur seperti pertumbuhan butir kasar dan fase rapuh. Dengan demikian, arus 95A direkomendasikan sebagai parameter pengelasan paling optimal untuk menghasilkan sambungan dengan sifat mekanik terbaik.
2. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, nilai kekerasan tertinggi ditemukan pada daerah HAZ dengan arus pengelasan 100A sebesar 305,404 HVN. Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh pembentukan martensit akibat siklus termal pengelasan serta presipitasi karbida kromium di batas butir. Namun, kekerasan yang terlalu tinggi dapat menurunkan keuletan dan meningkatkan risiko retak. Arus 95A menghasilkan kekerasan tinggi yang masih dalam batas aman (292,933 HVN) serta menunjukkan kekuatan tarik tertinggi, menunjukkan terbentuknya mikrostruktur martensit halus dan sedikit bainit dengan distribusi kekuatan yang baik tanpa mengurangi keuletan. Oleh karena itu, arus 95A dinilai sebagai kondisi pengelasan paling optimal dalam penelitian ini.
3. Pengujian komposisi dengan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) bertujuan untuk mengidentifikasi elemen-elemen yang terkandung dalam spesimen yang diuji. Unsur-unsur yang diperoleh dari uji komposisi adalah Fe, Mn, Cr, S, Si, P, Co, Mo, Cu, Nb. Komposisi unsur tertinggi pada logam *stainless steel* 201 adalah Besi (Fe), Kromium (Cr), dan Mangan (Mn). Sedangkan untuk logam baja 1040, komposisi unsur pembentuk utamanya hanya Besi (Fe) saja.
4. Hasil pengujian struktur mikro pada sambungan baja 1040 dan *stainless steel* 201 dengan variasi arus 85A, 90A, 95A, dan 100A menunjukkan bahwa proses pengelasan menyebabkan perubahan pada struktur mikro di zona logam induk, *fusion line*, dan *weld metal*. Terbentuknya fasa seperti *ferrite widmanstätten*, *acicular ferrite*, serta *grain boundary* yang jelas menunjukkan bahwa pengaruh suhu dan laju pendinginan terhadap perubahan mikrostruktur. Variasi arus las mempengaruhi perubahan bentuk butir dan distribusi fasa yang berpotensi mempengaruhi sifat mekanik sambungan secara keseluruhan.

## REFERENSI

- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
- Davis, J. R. (Ed.). (1994). *Stainless steels*. ASM International.
- Hadi, Q., & Zamheri, A. (2017). Pengaruh Fraksi Volume Penguat Abu Terbang, Serbuk Besi dan Matriks Resin Terhadap Keausan dan Kekerasan Untuk Bahan Kampas Rem. *Jurnal Austenit*, 9(1), 25–32.
- Kou, S. (2003). *Welding Metallurgy*. John Wiley & Sons.
- Lippold, J. C., & Kotecki, D. J. (2005). *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. Wiley-Interscience.
- Nasrul, M. Y., Suryanto, H., & Qolik, A. (2016). Pengaruh Variasi Arus Las SMAW Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar *Stainless Steel* 304 dan ST. 37. *Jurnal Teknik Mesin*, 1, 1–12.
- Parekke, S., Leonard, J., & Muchsin, A. H. (2014a). Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (Aisi 1045) Dengan (Aisi 316L) Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *J. Sains & Teknologi*, 3(2), 191–198.
- Porter, D. A., & Easterling, K. E. (2009). *Phase Transformations in Metals and Alloys*. CRC Press.

- Romdhoni, V. Y. F., Fadelan, & Winardi, Y. (2019). Pengaruh Heat Input Terhadap Hasil Kekuatan Sambungan Pengelasan SMAW Pada Material Stainless Steel 201. *KOMPUTEK: Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo*, 3(2), 14–26.
- Sedriks, A. J. (1996). *Corrosion of stainless steels* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Suherman, Muliadi, D., Ridho, M, S., & Marpaung, C, P. (2019). Pengaruh Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *Ilmiah Mekanik*, 4(2), 64–69.
- Suryanto, H., & Qolik, A. (2016). Pengaruh Variasi Arus Las SMAW terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 dan ST 37. *Jurnal Teknik Mesin*, 1, 1–12.
- Wahid, M. A., dkk. (2022). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pada Pengelasan SMAW Arus DC Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Material Stainless Steel 201. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 12(1), 26–30.
- Widodo, E. W. R., Setyowati, V. A., Suheni, & Qiromi, I. (2018). Variasi Jenis Kampuh Las dan Kuat Arus Pada Pengelasan Logam Tidak Sejenis Material Stainless Steel 304L dan Baja AISI 1040 Dengan Gas Tungsten ARC Welding. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 327–332.