MeKanik, Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Mesin *Vol.19, No.1 Mei 2026*
e-ISSN: 3046-8272, p-ISSN: 1979-0708 **(Hal: 52-63)**
Alamat Redaksi : Politeknik Negeri Samarinda, Jurusan Teknik Mesin, Jl.Ciptomangunkusumo Kampus Gg.Lipan Samarinda Kalimantan Timur

PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT SHIELD METAL ARC WELDING* (SMAW) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA SS400

The Effect Of Heat Input Variations In Shield Metal Arc Welding (Smaw) On The Microstructure And Mechanical Properties Of SS400 Steel

Hidayat[1], Agus Hariyanto[2], Samen Lolongan[3] , Bintang Trishandy Wicaksono[4]

[1,2,3] Dosen Jurusan Teknik Mesin, Prodi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Samarinda,
[4] Mahasiswa, Prodi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Samarinda,
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda
e-mail: [1]hidayat@polnes.ac.id , [2]agush@polnes.ac.id , [3]samenl@polnes.ac.id , [4]bintang_tw178@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:
Diterima: 14/03/2026
Diterima dalam bentuk revisi: 27/04/2026
Diteima/publis: 25/05/2026

Kata Kunci :
Heat Input, SMAW, SS400, Microstructure, Vickers Hardness, Tensile Strength, Ferrite, Pearlite.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh variasi input panas dalam proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik baja karbon rendah SS400. Input panas yang digunakan adalah 1,24 Kj/mm, 1,84 Kj/mm, dan 2,2 Kj/mm. Pengelasan dilakukan menggunakan elektroda E7018 pada posisi 1G dengan V-bevel 60°. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian mikrostruktur, kekerasan Vickers, dan pengujian tarik. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai tertinggi di daerah las terjadi pada input panas 1,84 Kj/mm yaitu 176,24 HV, sementara di daerah HAZ dan logam dasar nilai tertinggi terjadi pada input panas 1,24 Kj/mm, masing-masing sebesar 157,75 HV dan 144,12 HV. Pengujian tarik menunjukkan kekuatan maksimum pada input panas 1,24 Kj/mm sebesar 466,11 MPa, dan minimum pada 2,2 Kj/mm sebesar 418,71 MPa. Mikrostruktur menunjukkan sebaran ferit tertinggi di zona las dan HAZ pada input panas 1,84 Kj/mm, masing-masing sebesar 66,375% dan 57,927%. Di logam dasar, ferit tertinggi. Distribusi ditemukan pada masukan panas sebesar 2,2 kJ/mm, pada 68,968%. Variasi dalam masukan panas memengaruhi kekerasan, kekuatan tarik, dan morfologi mikrostruktur dari las.

Abstract

This study aims to determine the effect of heat input variations in the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) welding process on the microstructure and mechanical properties of low carbon steel SS400. The heat input used was 1.24 Kj/mm, 1.84 Kj/mm, and 2.2 Kj/mm. Welding was carried out using an E7018 electrode at position 1G with a V-bevel of 60°. Testing included microstructure testing, Vickers hardness, and tensile testing. The hardness test results showed that the highest value in the weld area occurred at a heat input of 1.84 Kj/mm of 176.24 HV, while in the HAZ and base metal areas the highest was at a heat input of 1.24 Kj/mm, respectively at 157.75 HV and 144.12 HV. The tensile test showed a maximum strength at a heat input of 1.24 Kj/mm of 466.11 MPa, and a minimum at 2.2 Kj/mm of 418.71 MPa. The microstructure showed the highest ferrite distribution in the weld zone and HAZ at a heat input of 1.84 KJ/mm, at 66.375% and 57.927%, respectively. In the base metal, the highest ferrite distribution was found at a heat input of 2.2 kJ/mm, at 68.968%. Variations in heat input affect the hardness, tensile strength, and microstructural morphology of the weld.

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses menyambungkan dua bagian logam dengan energi panas [1]. Proses ini menyebabkan siklus termal yang cepat pada logam di sekitar lasan, yang menyebabkan perubahan metalurgi yang kompleks, deformasi termal, dan tegangan [1]. Hal ini sangat berkaitan dengan ketangguhan, retak, cacat las, dan masalah lainnya yang biasanya berbahaya bagi keselamatan konstruksi las [2]. Dalam rekayasa, perbaikan, dan pembuatan logam, pengelasan sangat penting, terutama dalam penyambungan berbagai jenis material [3].

Structural Steel (SS400) merupakan sebuah baja karbon rendah yang sesuai standar American Society for Testing Materials (ASTM) A36 atau Japanese Industrial Standards (JIS) G3101 [4]. Baja ini digolongkan ke dalam baja paduan rendah karena komposisi paduannya kurang dari 8% dengan komposisi karbon (C) sebesar 0,17%, mangan (Mn) 1,4%, fosfor (P) 0,045%, dan sulfur (S) 0,045%. Namun karena sifatnya yang ulet dan tangguh, sehingga baja karbon rendah ini digunakan di bidang perkapalan yang merupakan bahan utama pembuatan konstruksi lambung kapal [5], [6].

Mengelas tidak hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membeku kembali, tetapi juga membuat lasan utuh dengan menambahkan bahan tambah atau elektroda saat logam dipanaskan [7]. Ini membuat logam memiliki kekuatan yang diinginkan. Beberapa faktor, termasuk metode pengelasan, bahan yang akan dilas, elektroda, dan kampuh yang digunakan, memengaruhi kekuatan sambungan las [8]. Kekuatan dan perubahan sifat mekanis logam dipengaruhi oleh pemilihan parameter arus las yang tepat [4],[7]. Semakin kecil arus akan menyebabkan busur listrik tidak stabil dan sulit untuk menyala. Salah satu bagian dari perencanaan las adalah mengatur input panas dengan mengatur arus, voltase, atau kecepatan pengelasan [9], [10]. Heat input yang dihasilkan dipengaruhi oleh perubahan arus pengelasan yang kuat, semakin tinggi arus, semakin besar heat inputnya, dan pencairan logam akan meningkat. Hasil pengelasan sebuah material haruslah memiliki sifat mekanis yang baik, sehingga dapat digunakan sebagaimana pengaplikasiannya [10], [2] .

Kekerasan plastik menunjukkan ketahanan material terhadap deformasi lokal. Kekerasan yang lebih tinggi di area las atau HAZ dapat menunjukkan ketahanan aus yang lebih baik, tetapi terlalu tinggi dapat menyebabkan kelemahan [11]. Namun, kekuatan tarik mengukur kapasitas bahan untuk menahan tegangan tarik sebelum terjadi kerusakan. Struktur dengan kekuatan tegangan yang baik dapat menahan beban kerja tanpa bahaya kegagalan awal [12]. Pengujian kekerasan dan kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui sejauh mana variasi *heat input* memengaruhi sifat mekanik SS400 [5], [4]. Hal ini penting karena sambungan las dengan sifat mekanik yang buruk dapat menjadi titik lemah struktur yang meningkatkan risiko kegagalan. Pengujian metalografi untuk mengetahui struktur mikro daerah *weld*, haz, dan *base metal* untuk mengetahui alasan mengapa daerah tersebut memiliki kekerasan yang beragam dan adanya perbedaan kekuatan tarik pada spesimen variasi *heat input* [11], [13]. Struktur mikro dapat mendukung data dari hasil uji kekerasan dan uji tarik tersebut. Dengan terbentuknya struktur mikro yang lebih kasar, maka katangguhannya akan meningkat. Penelitian sebelumnya juga menyebutkan bahwa jika menggunakan heat input yang rendah, struktur mikro yang terbentuk akan lebih halus. Namun, jika nilai heat input ditingkatkan, maka struktur mikro akan berubah menjadi lebih kasar[10], [14], [2].

Dalam penelitian sebelumnya, pengelasan pada baja SS400 dengan variasi arus 120 A, 130 A, dan 140 A memiliki tingkat kekerasan yang berbeda. Spesimen 140 A memiliki tingkat kekerasan rata-rata 231,055 VHN, dibandingkan dengan spesimen 120 A 219,222 VHN dan spesimen 130 A 223,333 VHN [12], [5], [7].

Penelitian sebelumnya dengan variasi kuat arus yang diteliti 150 A, 170 A, dan 190 A dengan kampuh V sudut 60° , elektroda E7018, pada plat baja SS400[6]. Pengelasan kuat arus yang terbaik untuk memperoleh kekuatan tarik tertinggi yaitu dengan menggunakan kuat arus 190 A yang memiliki kekuatan tarik sebesar 567,8 Mpa [12].

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi *heat input* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja SS400 menggunakan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin menggunakan pendekatan eksperimental terhadap spesimen baja SS400 yang telah dipersiapkan sesuai prosedur standar.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang banyak digunakan pada bidang konstruksi, manufaktur, dan perkapalan karena mampu menghasilkan sambungan permanen dengan kekuatan tinggi [2], [15]. Proses ini dilakukan dengan memberikan energi panas pada logam dasar hingga mencair, kemudian membeku kembali dan membentuk ikatan metalurgi [16]. Selain logam dasar, pengelasan juga menggunakan elektroda atau bahan tambah yang berfungsi memperkuat sambungan agar mampu menahan beban kerja sesuai kebutuhan penggunaannya[17].

Baja SS400 merupakan baja karbon rendah standar JIS G3101 yang memiliki sifat ulet, tangguh, dan mudah dilas sehingga banyak digunakan pada konstruksi kapal, jembatan, rangka bangunan, dan komponen mesin. Sifat mampu las yang baik pada baja SS400 dipengaruhi oleh kandungan karbonnya yang rendah sehingga material ini banyak dipilih dalam proses fabrikasi konstruksi maupun manufaktur [5],[18].

Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh parameter pengelasan, terutama kuat arus dan heat input. Besarnya arus pengelasan memengaruhi kestabilan busur listrik, penetrasi las, dan tingkat pencairan logam [10], [19]. Arus yang terlalu rendah menyebabkan busur listrik tidak stabil, sedangkan arus yang terlalu tinggi dapat menimbulkan cacat las dan perubahan sifat mekanik material. Selain itu, heat input yang dipengaruhi oleh arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan juga berpengaruh terhadap distribusi temperatur serta laju pendinginan pada daerah las dan Heat Affected Zone (HAZ) [20].

Daerah hasil pengelasan terdiri dari weld metal, HAZ, dan base metal yang memiliki struktur mikro berbeda akibat pengaruh siklus termal selama proses pengelasan. Perubahan struktur mikro tersebut memengaruhi sifat mekanik material seperti kekerasan, kekuatan tarik, dan ketangguhan sambungan las. Heat input yang rendah umumnya menghasilkan struktur mikro yang lebih halus, sedangkan heat input yang tinggi menyebabkan pertumbuhan butir menjadi lebih kasar sehingga dapat memengaruhi kualitas sambungan las [21], [22].

Pengujian kekerasan, uji tarik, dan metalografi dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi heat input terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja SS400. Hasil pengujian tersebut dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara parameter pengelasan dengan kualitas sambungan las. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh heat input terhadap kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro baja SS400 penting dilakukan guna memperoleh parameter pengelasan yang optimal dan menghasilkan sambungan las yang aman digunakan pada berbagai aplikasi industri.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur, yaitu mengumpulkan berbagai referensi dan teori yang berkaitan dengan proses pengelasan SMAW, variasi heat input, serta pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah. Tahap ini penting untuk memperkuat landasan teori dan menentukan

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

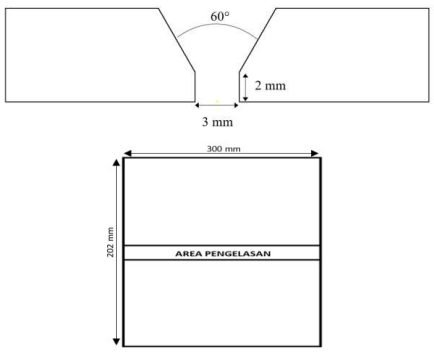
arah penelitian. Setelah landasan teori diperoleh, dilakukan persiapan alat dan bahan. Pada tahap ini, seluruh peralatan seperti mesin las, elektroda, alat ukur, serta bahan spesimen baja SS400 disiapkan agar proses penelitian berjalan lancar.

Tahap berikutnya adalah pembuatan kampuh V 60° pada pelat baja yang akan dilas. Bentuk kampuh ini dibuat sesuai standar untuk memudahkan penetrasi las dan mendapatkan sambungan yang optimal. Proses pengelasan dilakukan dengan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada posisi 1G, menggunakan tiga variasi *heat input* 1,24 Kj/mm, 1,84 Kj/mm, dan 2,2 Kj/mm dengan kecepatan konstan. Variasi ini dimaksudkan untuk melihat bagaimana perbedaan energi panas yang diberikan mempengaruhi hasil sambungan las.

Geometri Sambungan Las

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah tipe SS400 dengan dimensi pelat 100 mm × 300 mm dan ketebalan 8 mm. Pemilihan baja SS400 didasarkan pada sifatnya yang mudah dilas, ketersediaan luas, serta karakteristik mekanik yang cukup baik untuk aplikasi struktural. Komposisi kimia baja ini telah diuji menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES).

Karena kampuh las memainkan peran penting dalam meningkatkan kekuatan sambungan las, pemilihan sudut kampuh las memengaruhi proses pengelasan [23].



Gambar 3. Dimensi Spesimen Las

Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin SMAW tipe DC (Direct Current) dengan polaritas DCEP (Direct Current Electrode Positive). Penggunaan polaritas ini bertujuan untuk menghasilkan penetrasi yang lebih dalam pada logam dasar. Elektroda yang digunakan adalah E7018 dengan diameter 3,2 mm, sesuai dengan standar AWS untuk pengelasan baja karbon rendah. Pengelasan dilakukan dalam dua tahap, yakni root pass dan capping pass, untuk memastikan penetrasi dan pengisian las yang merata.

Tiga variasi arus digunakan dalam proses pengelasan, yaitu 90 A, 110 A, dan 130 A, dengan voltase masing-masing sekitar 24 V, 29,25 V, dan 29,6 V. Kecepatan pengelasan dijaga konstan pada 83,91 mm/menit. Variasi parameter ini menghasilkan tiga nilai heat input, yaitu 1,24 Kj/mm, 1,84 Kj/mm, dan 2,2 Kj/mm. Nilai *heat input* dihitung menggunakan rumus

$$Heat\ Input\ (\mathrm{Q}) = \frac{\mathrm{U.I\ .60}}{\mathrm{V.1000}} . Efficiency$$

Keterangan :

Q: *Heat Input* (Kj/mm)
Efficiency
U: *Voltage* (V) MMA : 0,8
I : *Current* (A)
Mig : 0,8
V: *Welding Speed* (mm/min) SAW : 1
Tig: 0,6
SMAW: 0,8

Setelah proses pengelasan selesai, spesimen dipotong menggunakan mesin gerinda menjadi ukuran yang sesuai untuk pengujian tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Uji tarik dilakukan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM), dengan spesimen yang disiapkan berdasarkan standar ASTM E8. Parameter yang diukur mencakup beban maksimum

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

dan beban luluh, yang kemudian dikonversi menjadi nilai *tensile strength* dan *yield strength* dalam satuan MPa.

Seluruh pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi *heat input* guna menjamin validitas dan reliabilitas data. Hasil pengujian kemudian dianalisis secara kuantitatif dan dibandingkan antar variasi untuk mendapatkan pengaruh *heat input* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja SS400.

Pengujian Struktur Mikro

Dilakukan pengamatan terhadap struktur mikro logam menggunakan metode metalografi. Spesimen diamplas mulai dari grit kasar hingga halus, kemudian dipoles dan dietsa menggunakan campuran alkohol 90% dan HNO3 dengan perbandingan 4:1 selama 3 detik untuk mengungkapkan mikrostruktur. Hasil *etching* diamati dengan mikroskop optik pada perbesaran 50x, dan proporsi fasa dihitung menggunakan perangkat lunak ImageJ berbasis digital. Fokus pengamatan dilakukan pada area BM, HAZ, dan WM untuk melihat perbedaan morfologi dan proporsi antara ferit dan perlit akibat pengaruh panas dari proses pengelasan.

Pengujian Kekerasan

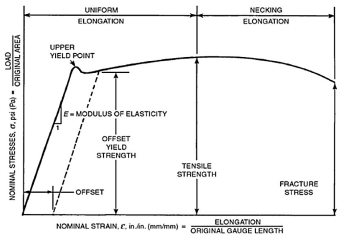
Untuk mengetahui tingkat kekerasan pada masing-masing area pengelasan, dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers. Pengujian dilakukan pada 31 titik yang mencakup area *base metal* (BM), *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* (WM). Beban yang digunakan adalah 300 gram, dan waktu penekanan selama 15 detik. Nilai kekerasan dihitung berdasarkan rata-rata diagonal dari jejak indentasi menggunakan rumus

$$\mathrm{HV} = 1.854 \frac{F_{(kgf)}}{D^2_{(mm)}}$$

Di mana F adalah beban dalam kgf, dan D adalah panjang diagonal rata-rata dari jejak penekanan dalam mm.

Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar material dapat menahan beban tarik hingga material terputus. Uji tarik dapat dilihat pada hasil yang keluar dari pengujian suatu material baja dengan cara menariknya hingga sampai titik dimana material baja yang digunakan mengalami regangan dan tegangan maksimal hingga terputus [24].



Gambar 4. Grafik Tegangan Regangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji komposisi kimia yang dilakukan pada baja SS400 bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur utama yang membentuk material tersebut dan bagaimana mereka mempengaruhi sifat mekanik. Baja SS400 biasanya mengandung kromium (Cr), nikel (Ni), karbon (C), mangan (Mn), silikon (Si), dan fosfor (P), selain unsur pendukung lainnya. Melalui uji komposisi Optical Emission Spectroscopy (OES) maka didapatkan data unsur-unsur yang terkandung dalam baja SS400 dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Material.

Unsur	ada r%
Besi (Fe)	8,06
Silikon (Si)	,694
Tembaga (Cu)	,327
Mangan (Mn)	,256
Aluminium (Al)	,036

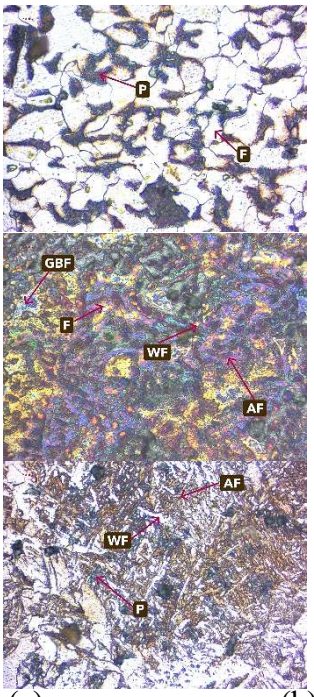
Karbon (C)	,176
Kromium (Cr)	,03
Nikel (Ini)	,027
Sulfur (S)	,016
Niobium (Nb)	,014
Boron (B)	,0003

Tabel 2. Sifat Mekanik Material

Jenis	Kekuatan luluh (Mpa)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekerasan (HV)
SS400	245	400	125

Pengujian Metalografi

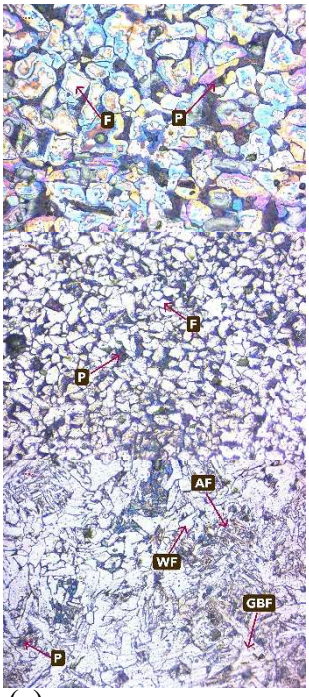
Melalui pengujian metalografi untuk mengetahui struktur mikro pada area *weld*, haz, dan *base metal* baja SS400 maka didapatkan data yang dapat dilihat pada gambar 5, gambar 6, dan gambar 7.



(a) (b) (c)

Gambar 5. Struktur Mikro 1,24 Kj/mm (a) Base Metal, (b) HAZ, (c) Weld

Pada *heat input* 1,24 Kj/mm ini, BM memiliki ferit 51,789% dan perlit 48,211%, menunjukkan struktur khas baja karbon rendah yang tidak terpengaruh oleh panas las, sehingga kekuatan dan kekerasan tetap baik. HAZ menunjukkan ferit 53,472% dan perlit 46,528%, menandakan pembesaran butir ferit akibat paparan panas namun masih menyisakan perlit yang menjaga kekerasan sedang. WM memiliki ferit 52,972% dan perlit 47,028%, terbentuk dari pendinginan sedang yang menghasilkan morfologi ferit–perlit halus, memberikan kombinasi kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan yang seimbang.



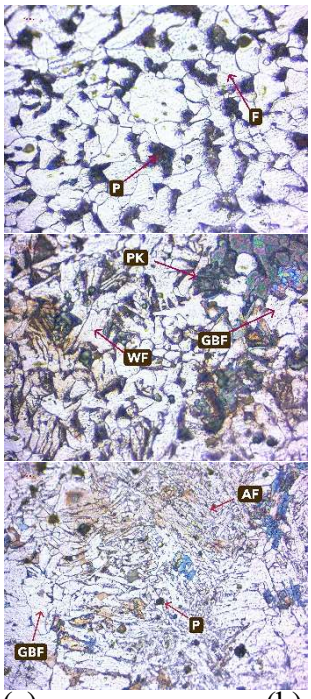
(a) (b) (c)

Gambar 6. Struktur Mikro 1,84 Kj/mm (a) Base Metal, (b) HAZ, (c) Weld

Pada *heat input* 1,84 Kj/mm ini, BM memiliki ferit 61,639% dan perlit 38,361%, menunjukkan sedikit transformasi akibat rambatan panas yang lebih luas, namun tidak merugikan secara signifikan. HAZ memiliki ferit 57,927% dan perlit 42,073%, yang kemungkinan menghasilkan kekerasan tertinggi karena butir halus dan morfologi acicular ferrite. WM didominasi ferit 66,375%, namun pendinginan dan transformasi yang tepat membentuk struktur halus yang meningkatkan

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

kekerasan, menjadikannya titik optimum di antara ketiga variasi *heat input*.



(a) (b) (c)

Gambar 7. Struktur Mikro 2,2 Kj/mm (a) Base Metal, (b) HAZ, (c) Weld

Pada *heat input* tinggi 2,2 Kj/mm ini, BM didominasi ferit 68,968% dan perlit 31,032% akibat rambatan panas yang luas hingga di luar HAZ, memicu pertumbuhan butir ferit dan penurunan perlit, sehingga BM menjadi lebih lunak dan ulet namun kekuatan tarik serta ketahanan aus menurun. HAZ memiliki ferit 56,054% dan perlit 43,946%, menunjukkan pendinginan lebih cepat dibanding WM sehingga perlit terbentuk lebih banyak meski tidak homogen. WM berisi ferit 66,002% dan perlit 33,998% akibat pendinginan lambat, menghasilkan butir ferit besar yang meningkatkan ketangguhan namun menurunkan kekerasan dan resistensi aus

Peningkatan *heat input* pada pengelasan SMAW baja karbon rendah SS400 secara umum cenderung menurunkan kekuatan tarik akibat pertumbuhan butir dan dominasi struktur ferit yang lebih lunak, terutama pada *heat input* tertinggi 2,2 Kj/mm yang menghasilkan penurunan perlit yang cukup besar di seluruh zona. Namun, kekerasan tidak menunjukkan tren linier terhadap *heat input*. Kekerasan tertinggi justru terjadi pada *weld metal* dengan *heat input* 1,84 Kj/mm, yang disebabkan oleh pembentukan struktur butir halus dan morfologi *acicular ferrite* akibat pendinginan yang cukup cepat tetapi tidak ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa *heat input* menengah dapat menghasilkan kombinasi optimal antara kekuatan dan kekerasan, sedangkan *heat input* terlalu rendah atau terlalu tinggi cenderung menurunkan salah satu sifat tersebut.

Pengujian Kekuatan Tarik

Dari pengujian kekuatan tarik yang telah dilakukan, maka diperoleh data yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Uji Tarik

Heat Input (Kj/mm)	σmax (Mpa)	*Yield Strenght* (Mpa)
1,24	466,11	345,89
1,84	427,08	288,04
2,2	418,71	202,72

Hasil pengujian tarik pada baja SS400 dengan variasi *heat input* menunjukkan adanya perbedaan sifat mekanik yang cukup jelas. Pada *heat input* rendah (1,24 Kj/mm), nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield strength*) tercatat paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Kondisi ini disebabkan oleh pendinginan yang lebih cepat, sehingga struktur mikro logam las dan sekitarnya cenderung lebih halus. Struktur butiran yang halus ini mampu menahan beban tarik lebih besar, sehingga kekuatan mekanik meningkat.

Ketika *heat input* meningkat menjadi 1,84 Kj/mm, terjadi penurunan baik pada *tensile strength* maupun *yield strength*. Penurunan ini berkaitan dengan laju pendinginan yang lebih lambat, yang mengakibatkan pertumbuhan butir pada struktur mikro, sehingga material menjadi lebih lunak dan kekuatannya berkurang.

Pada *heat input* tertinggi (2,2 Kj/mm), nilai *tensile strength* maupun *yield strength* semakin menurun. Hal ini memperlihatkan

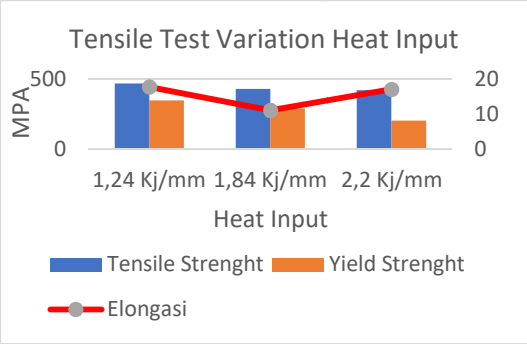
@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

bahwa semakin tinggi heat input, semakin rendah kemampuan material dalam menahan beban tarik. Mekanisme ini dapat dijelaskan melalui teori metalurgi las, di mana heat input besar memperlebar daerah HAZ dan memperlambat pendinginan, sehingga butiran menjadi kasar dan sifat mekanik logam menurun.

Selain itu, penurunan *yield strength* terlihat lebih signifikan dibandingkan penurunan *tensile strength*. Hal ini mengindikasikan bahwa ketangguhan material lebih cepat berkurang terhadap beban awal (plastis) dibandingkan terhadap beban maksimum yang dapat ditahan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *heat input* rendah menghasilkan kekuatan tarik terbaik pada baja SS400, sedangkan *heat input* yang lebih tinggi cenderung menurunkan sifat mekanik akibat perubahan struktur mikro yang kurang menguntungkan.

Dari data kuanti yang telah didapatkan, dapat dilihat pada tabel 3 kemudian di rata-ratakan dan dilanjutkan ke pembuatan grafik guna mengetahui perbandingan kekuatan tarik dan kekuatan luluh melalui grafik yang dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hasil Uji Tarik

Semakin tinggi *heat input*, kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield strength*) menurun, dengan penurunan *yield strength* jauh lebih tajam. Pada *heat input* 1,24 Kj/mm, *tensile strength* rata-rata 466,11 MPa dan *yield strength* 345,9 MPa, kemudian turun menjadi 427,08 MPa dan 288,04 MPa pada 1,84 Kj/mm, serta 418,71 MPa dan 202,72 MPa pada 2,2 Kj/mm. Penurunan ini disebabkan perubahan mikrostruktur akibat suhu dan waktu pemanasan yang lebih lama, yang memicu pertumbuhan butir dan pembentukan ferit batas butir serta perlit kasar. Pada *heat input* rendah, pendinginan cepat menghasilkan struktur halus seperti ferit acicular dan perlit yang meningkatkan kekuatan, sedangkan pada *heat input* tinggi, pendinginan lambat membentuk butir kasar yang meningkatkan ketangguhan namun menurunkan kekerasan dan kekuatan mekanik.

Pengujian Kekerasan Vickers

Dari pengujian kekerasan vickers yang telah dilakukan, maka diperoleh data kekerasan dari setiap area WM, HAZ, dan BM yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data Rata-rata Hasil Uji Kekerasan

Heat Input	Daerah	Rata Rata HV
1,24 Kj/mm	WM	165,86
	HAZ	157,75
	BM	144,12
1,84 Kj/mm	WM	176,24
	HAZ	154,21
	BM	143,49
2,2 Kj/mm	WM	159,08
	HAZ	149,23
	BM	142,57

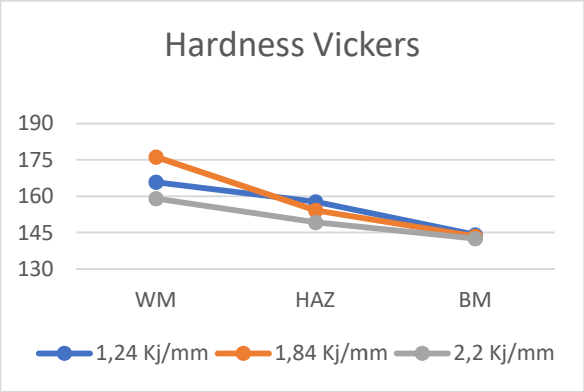
Hasil pengujian kekerasan Vickers menunjukkan adanya variasi nilai kekerasan pada setiap zona pengelasan, yaitu logam las (*weld metal*), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (*base metal*). Pada logam las, nilai kekerasan relatif lebih tinggi dibandingkan zona lainnya. Hal ini disebabkan oleh proses pendinginan yang cukup cepat sehingga terbentuk struktur mikro dengan butiran lebih halus, yang secara langsung meningkatkan kekerasan.

Pada daerah HAZ, nilai kekerasan cenderung lebih rendah. Kondisi ini terjadi karena HAZ mengalami siklus pemanasan dan pendinginan berulang yang menyebabkan pertumbuhan butir (*grain growth*) sehingga struktur menjadi lebih kasar. Pertumbuhan butir tersebut menurunkan nilai kekerasan dibandingkan dengan logam las.

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Sementara itu, pada logam induk nilai kekerasan lebih stabil dan cenderung lebih rendah dibandingkan weld metal, tetapi lebih tinggi daripada bagian HAZ. Hal ini dapat dipahami karena logam induk tidak mengalami perubahan struktur mikro yang signifikan, sehingga sifat mekaniknya relatif sama dengan kondisi awal material SS400.

Dapat dilihat pada gambar 9. Bahwa secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan bahwa variasi kekerasan pada tiap zona sangat dipengaruhi oleh mekanisme perpindahan panas selama proses pengelasan. Pendinginan cepat di logam las menghasilkan kekerasan lebih tinggi, sedangkan daerah HAZ yang mengalami perlambatan pendinginan cenderung memiliki kekerasan terendah akibat pertumbuhan butir.



Gambar 9. Grafik Hasil Uji Tarik

Hasil uji kekerasan vickers menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi pada zona WM dicapai oleh *heat input* 1,84 Kj/mm sebesar 176,24 HV, diikuti 1,24 Kj/mm 165,86 HV, dan terendah 2,2 Kj/mm 159,08 HV. Di zona HAZ, kekerasan menurun pada semua variasi, dengan 1,24 Kj/mm masih tertinggi 157,75 HV. Pada BM, nilai kekerasan hampir sama (142–144 HV) untuk semua heat input.

Secara umum, tren peningkatan *heat input* cenderung menurunkan kekerasan akibat pendinginan lebih lambat yang menghasilkan struktur mikro lebih lunak. Secara umum teren penurunan kekerasan dengan meningkatnya *heat input* disebabkan laju pendinginan yang semakin lambat, sehingga struktur mikro yang terbentuk lebih kasar dan lunak, sebaliknya *heat input* rendah cenderung menghasilkan pendinginan yang lebih cepat sehingga terbentuk struktur yang lebih halus. Namun pada *heat input* sedang kekerasan diarea *weld* meningkat dikarenakan pengaruh kombinasi keseimbangan panas dan laju pendinginan yang ideal untuk membentuk struktur yang keras.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis karakterisasi morfologi dan proporsi fasa, kekerasan vickers, dan kekuatan tarik baja *Structural Steel* SS400 dengan variasi *heat input* pengelasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi *heat input* berpengaruh terhadap morfologi dan proporsi fasa serta sifat mekanik setelah pengelasan.

Berdasarkan pengujian struktur mikro semakin tinggi *heat input* pengelasan yang digunakan maka semakin besar proporsi ferit batas butir dan semakin rendah *heat input* yang digunakan akan meningkatkan proporsi ferit acicular yang memiliki sifat ulet, tangguh dan kuat.

Hasil pengujian tarik pada spesimen hasil pengelasan baja SS400 menunjukkan bahwa semakin tinggi *heat input* yang digunakan maka semakin rendah kekuatan tariknya. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan variasi *heat input* 1,24 Kj/mm sebesar 466,11 Mpa dan terendah ada pada variasi *heat input* 2,2 Kj/mm sebesar 418,71 Mpa.

Hasil pengujian kekerasan menggunakan metode vickers pada daerah *weld* tertinggi diperoleh oleh pengelasan dengan variasi *heat input* 1,84 Kj/mm sebesar 176,24 HV. Untuk daerah HAZ diperoleh kekerasan tertinggi pada variasi *heat input* 1,24 Kj/mm yakni sebesar 157,75 Mpa. Untuk daerah *base metal* diperoleh kekerasan vickers tertinggi sebesar 144,12 HV. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekerasan vickers pada *heat input* 1,84 Kj/mm berada diatas nilai

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

kekerasan *base metal* baja SS400. Sehingga hasil uji kekerasan dalam penelitian ini tidak menghasilkan kekerasan dibawah batas minimun standar uji kekerasan baja SS400 yakni 125 HV-170 HV.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, pada proses pengelasan baja SS400 ketebalan 8 mm dengan kampuh V 60°, *rootgap* 3 mm, dan *rootface* 2 mm menggunakan elektroda E7018 diameter 3,2 mm. Maka didapatkan *heat input* optimal pada 1,24 Kj/mm menggunakan arus 90 Ampere.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Sun and K. Dilger, "Thermal cycle method's applicable conditions for predicting residual stresses in low-strength steel weldments induced by arc welding," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 47, p. 102260, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.TSEP.2023.102260.

[2] J. Sun, T. Nitschke-Pagel, and K. Dilger, "Generation and distribution mechanism of welding-induced residual stresses," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 27, pp. 3936–3954, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.JMRT.2023.10.252.

[3] H. Oktadinata, W. Winarto, E. S. Siradj, D. Priadi, M. R. Muslih, and K. Ito, "Study on residual stress by neutron diffraction in SM570-TMC welded by flux-cored wires containing different nickel," *Yosetsu Gakkai Ronbunshu/Quarterly J. Japan Weld. Soc.*, vol. 38, no. 2, pp. 116S-120S, 2021, doi: 10.2207/QJJWS.38.116S.

[4] E. Surojo *et al.*, "Effect of Welding Parameter on the Corrosion Rate of Underwater Wet Welded SS400 Low Carbon Steel," *Appl. Sci. 2020, Vol. 10, Page 5843*, vol. 10, no. 17, p. 5843, Aug. 2020, doi: 10.3390/APP10175843.

[5] N. Muhayat, Y. A. Matien, H. Sukanto, Y. C. N. Saputro, and Triyono, "Fatigue life of underwater wet welded low carbon steel SS400," *Heliyon*, vol. 6, no. 2, p. e03366, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.HELIYON.2020.E03366.

[6] E. Aprianto and H. Haftirman, "The Effect of Post-Weld Heat Treatment Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of FCAW-Welded SS400 Steel," *J. Tek. Mesin Mech. Xplore*, vol. 6, no. 2, pp. 111–125, 2025, doi: 10.36805/NQ48MY18.

[7] H. K. Rahman and S. Sunyoto, "Pengaruh Arus SMAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Baja Konstruksi IWF JIS G3101 SS400," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 35–45, Mar. 2021, doi: 10.21831/DINAMIKA.V6I1.37070.

[8] J. Awali, F. Rudiyanto, S. Thesalonicha, M. P. D. Lubis, R. A. Tanjung, and Y. Triana, "Analisis Variasi Arus Pengelasan Kombinasi SMAW-FCAW dengan Kampuh Double V-Groove terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Dissimilar Material JIS G3101-SS400 dan ASTM A36," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 421–432, Sep. 2021, doi: 10.21776/UB.JRM.2021.012.02.19.

[9] B. Ma, X. Gao, L. Wang, Y. Zhang, N. Zhang, and D. You, "Effect of current stability on surface formation of GMAW-based multi-layer single-pass additive deposition," *J. Mech. Sci. Technol. 2021 356*, vol. 35, no. 6, pp. 2449–2458, May 2021, doi: 10.1007/S12206-021-0516-1.

[10] A. K. Naik, R. Roshan, K. S. Arora, N. Shajan, and S. C. Mishra, "Effect of electrode negativity ratio and heat input on bead and arc characteristics in submerged arc welding," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part E J. Process*

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Mech. Eng., 2022, doi: 10.1177/09544089221084802;CSUBTYPE:STRING:AHEAD.

[11] H. Schönmaier, R. Krein, M. Schmitz-Niederau, and R. Schnitzer, "Influence of the Heat Input on the Dendritic Solidification Structure and the Mechanical Properties of 2.25Cr-1Mo-0.25V Submerged-Arc Weld Metal," *J. Mater. Eng. Perform. 2021 3010*, vol. 30, no. 10, pp. 7138–7151, Jun. 2021, doi: 10.1007/S11665-021-05922-X.

[12] W. Jatimurti, N. A. Prahasto, and A. T. Wibisono, "Effect of current and electrode diameter of gas metal arc welding (GMAW) on mechanical properties and microstructures of JIS G3101 SS400," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2592, p. 020014, May 2023, doi: 10.1063/5.0129702.

[13] H. Li, S. Liu, Q. Ma, P. Wang, D. Liu, and Q. Zhu, "Investigation of Process Stability and Weld Quality of Underwater Wet Flux-Cored Arc Welding of Low-Alloy High-Strength Steel with Oxy-Rutile Wire," *Polish Marit. Res.*, vol. 28, no. 3, pp. 100–109, Oct. 2021, doi: 10.2478/POMR-2021-0037.

[14] Y. Wang, H. Li, S. Zhao, W. Chen, and G. Zhou, "Flow pattern and Vortex mechanisms on heat transfer performance in shell-and-tube heat exchangers," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 167, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.109249.

[15] H. L. Li, D. Liu, Y. T. Yan, N. Guo, Y. B. Liu, and J. C. Feng, "Effects of heat input on arc stability and weld quality in underwater wet flux-cored arc welding of E40 steel," *J. Manuf. Process.*, vol. 31, pp. 833–843, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.JMAPRO.2018.01.013.

[16] S. Syukran, A. Syahri, A. S. Ismy, A. F. Al Fathier, F. Fadhlurrahman, and A. Amrizal, "The Effect of Heat Input on the Tensile Strength and Toughness of welded SS400 Materials by SMAW," *J. Weld. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 21–25, Aug. 2023, doi: 10.30811/JOWT.V5I1.3508.

[17] K. H. Ling, Y. K. Fuh, K. L. Wu, T. C. Kuo, and C. Y. Huang, "Groove configurations of a flux-cored arc welding process used in critical structures of precision mechanical presses—mechanical and metallurgical studies," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 78, no. 9–12, pp. 1905–1916, Jun. 2015, doi: 10.1007/S00170-014-6766-7.

[18] A. T. Wibowo *et al.*, "Analisis Variasi Polaritas Shield Metal Arc Welding Dan Build-Up Root Gap Terhadap Diskontinuitas, Metalografi, Dan Nilai Ketangguhan Pada Material Baja SS400 Untuk Struktur Bangunan Kapal," *J. Teknol. Dan Ris. Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 46–51, Jun. 2025, doi: 10.30871/JATRA.V7I1.9404.

[19] A. Haelsig, P. Mayr, and M. Kusch, "Determination of energy flows for welding processes," *Weld. World*, vol. 60, no. 2, pp. 259–266, Feb. 2016, doi: 10.1007/S40194-016-0297-9.

[20] N. Muhayat, Y. A. Matien, H. Sukanto, Y. C. N. Saputro, and Triyono, "Fatigue life of underwater wet welded low carbon steel SS400," *Heliyon*, vol. 6, no. 2, p. e03366, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.HELIYON.2020.E03366.

[21] X. Ye *et al.*, "Rapidly acquiring monocrystalline joint of single crystal superalloys via a

@MEKANIK 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

composition-matched filler material under quasi-equilibrium solidification," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 968, p. 150400, Aug. 2026, doi: 10.1016/J.MSEA.2026.150400.

[22] J. Wang *et al.*, "The effect of double-sided differential speed friction stir welding on the mechanical properties of welded joints," *Mater. Charact.*, vol. 237, Jul. 2026, doi: 10.1016/j.matchar.2026.116456.

[23] Hanan Setia Abadi and S. Subagiyo, "Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Pengelasan Hasil Las SMAW Baja SS400 untuk Bahan Bejana Tekan terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan," *Venus J. Publ. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 5, pp. 171–185, Oct. 2024, doi: 10.61132/venus.v2i5.588.

[24] I. F. Romadhon, "STUDI Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Tarik Dan Cacat Pengelasan Pada Baja St 42," 2021.