

ANALISIS PENGARUH VARIASI AMPERE PENGELASAN FCAW ANTARA BAJA GRADE EH36 DENGAN GRADE A TERHADAP SIFAT MEKANIK

Risiki Widodo¹, Purwanto², Siswadi³

^{1,2,3} Teknik Transportasi Laut, Universitas Maritim AMNI

Jl. Soekarno Hatta No.180, Palebon, Kec. Pedurungan, Kota Semarang, Jawa Tengah 50246

risikiwidodoo@gmail.com¹

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak dari variasi *ampere* pada hasil pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) material *Grade* EH36 tebal 24 mm dengan material *Grade* A tebal 16 mm posisi *flat* (1G) pada *main deck* kapal. Dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh variasi *ampere* terhadap uji radiografi, struktur makro dan sifat mekanis. Variasi *ampere* yang digunakan 160 A, 200 A dan 250 A. Pada hasil pengujian radiografi tidak ditemukan cacat pengelasan pada *weld metal*. Hasil analisis variasi *ampere* yang digunakan pada pengelasan FCAW material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A dengan *shielding gas* CO₂ 100% mengakibatkan kenaikan nilai *heat input* pada spesimen pengelasan, variasi 160 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,57 Kj/mm, variasi 200 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,60 Kj/mm dan variasi 250 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,67 Kj/mm. Pada hasil pengamatan struktur makro tidak ditemukan cacat pengelasan. Hasil interpretasi pengujian radiografi pada hasil pengelasan FCAW pada spesimen C1 sampai C3 dengan *shielding gas* CO₂ 100% tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Semua spesimen dinyatakan memenuhi standar berketerimaan ASME *section IX* paragraf QW 191.1.2. Hasil pengujian tarik (*tensile strength*) pada hasil pengelasan FCAW menghasilkan rata-rata nilai kekuatan tarik pada variasi arus 160 A sebesar 445,71 MPa, variasi arus 200 A sebesar 453,56 dan variasi arus 250 A sebesar 445,71 MPa sehingga kekuatan tarik melebihi nilai kekuatan tarik logam induk terlemah *Grade* A sesuai ASME *Section IX*.

Kata kunci : FCAW, *Grade* EH36, *Grade* A, kuat tarik, radiografi, struktur makro

Abstract

The purpose of this research is to determine the impact of amperage variation on the results of FCAW (*Flux Core Arc Welding*) of *Grade* EH36 material with a thickness of 24 mm and *Grade* A material with a thickness of 16 mm in the *flat* position (1G) on the *main deck* of the ship. This study will analyze the effect of amperage variation on radiographic tests, macro structure, and mechanical properties. The amperage variations used are 160 A, 200 A, and 250 A. The radiographic test results showed no welding defects in the *weld metal*. The analysis of the amperage variations used in FCAW welding of *Grade* EH36 material with *Grade* A material using 100% CO₂ *shielding gas* resulted in an increase in *heat input* values in the welding specimens, with the 160 A variation producing an average *heat input* value of 1.57 Kj/mm, the 200 A variation producing an average *heat input* value of 1.60 Kj/mm, and the 250 A variation producing an average *heat input* value of 1.67 Kj/mm. Observations of the macro structure revealed no welding defects. The interpretation of the radiographic tests on the FCAW welds of specimens C1 to C3 with 100% CO₂ *shielding gas* showed no discontinuities in the *weld area* (*weld metal*). All specimens were declared to meet the acceptance standards of ASME *section IX* paragraph QW 191.1.2. The results of the *tensile strength* test on FCAW welding produced an average *tensile strength* value at a current variation of 160 A of 445.71 MPa, at a current variation of 200 A of 453.56 MPa, and at a current variation of 250 A of 445.71 MPa, thus the *tensile strength* exceeds the *tensile strength* value of the weakest base metal *Grade* A according to ASME *Section IX*.

Keywords : FCAW, *Grade* EH36, *Grade* A, *tensile strength*, radiography, macro structure.

PENDAHULUAN

Industri maritim dan perkapalan merupakan salah satu sektor utama dalam perekonomian global yang memiliki peran penting dalam perdagangan internasional, Galangan kapal merupakan suatu tempat yang khusus dibuat untuk mendukung proses pembangunan, perbaikan dan perawatan kapal serta juga dapat digunakan untuk membangun wahana maritim lainnya yang sesuai dengan fasilitas yang tersedia. Pengelasan adalah tahap inti dari rangkaian proses fabrikasi. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam Paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan merupakan proses menggabungkan dua potongan baja bersama-sama dengan memanaskannya ke titik dimana material pengisi (*filler*) melebur dengan logam dasar dan menjadi satu bagian yang tersambung [1].

Pengelasan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, yaitu SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux Core Arc Welding*) dan metode -metode lainnya. Proses pengelasan FCAW memiliki beberapa keuntungan yaitu Tingkat deposisi yang tinggi, lebih sederhana dari SAW, tidak membutuhkan skill operator yang tinggi seperti GMAW, produktifitas lebih tinggi dari SMAW, wujud permukaan yang bagus [2].

Pada proses pengelasan *Flux Core Arc Welding* (FCAW) biasanya perusahaan menggunakan gas pelindung CO₂. Hal tersebut dikarenakan gas pelindung CO₂ mempunyai peran sebagai pelindung pada weld metal sehingga tidak terkontaminasi oleh zat pengotor di atmosfer sekitar. Cacat pengelasan yang sering terjadi berupa retak, porositas *incomplete fusion* dan *slag inclusion*. Material pelat baja ABS umumnya digunakan dalam industri kelautan untuk pembuatan bagian struktural kapal, tongkang, dan peralatan kelautan. Plat baja ABS Grade EH36 dan plat baja Grade A adalah jenis plat kapal yang digunakan dalam pembangunan *Barge Mounted Power Plant* (BMPP) 60MW.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak dari variasi arus 160 A, 200 A dan 200 A dengan *shielding gas* CO₂. Hasil pengelasan dari kedua material kan dilakukan analisis *heat input*, uji struktur makro, uji tarik dan uji radiografi. Penulis menggunakan hasil pengelasan antara material *Grade* EH36 dengan ketebalan 24 mm material *Grade* A dengan ketebalan 16 mm pada *Insert Plate main deck* kapal dengan tujuan untuk menahan pembebanan struktur di atasnya.

METODE PENELITIAN

1. Flux Cored Arc Welding

Metode FCAW merupakan teknik pengelasan yang modern dalam industri manufaktur dengan hasil las yang berkualitas, dan minim cacat las serta dapat digunakan dalam semua posisi pengelasan.

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan jenis pengelasan yang menggunakan proses otomatis maupun semi-otomatis yang memanfaatkan elektroda gulung (*wire roll*) untuk mencairkan logam. Kawat las atau elektroda yang digunakan untuk pengelasan FCAW mempunyai bentuk tubular yang dipasok ke dalam daerah pengelasan secara kontinu dan terdapat material *flux* di dalam elektroda yang berbentuk tubular tersebut [3].



Gambar 1 Mesin FCAW dan Wire Feeder

Mesin las FCAW menggunakan gas pelindung selama proses pengelasan, gas pelindung yang digunakan adalah CO₂ 100% dengan *flow rate* 10 L/min.

Baja Karbon

Baja karbon adalah baja yang menggunakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C). Selain karbon, sering juga ditambahkan unsur chrom (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), molybdaen (Mo) untuk mendapatkan sifat lain sesuai aplikasi dilapangan [6]. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbonnya, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tetapi perpanjangannya menurun [4].

Pada penelitian ini digunakan material *Grade* EH36 dan material *Grade* A, keduanya merupakan baja karbon rendah. Komposisi kimia dan sifat mekanik material *Grade* EH36 pada tabel 1 dan tabel 2 sedangkan komposisi kimia dan sifat mekanik pada material *Grade* A pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 1. Chemical Composition Baja Grade EH36

| Chemical Composition BKI Grade EH36 | |
|-------------------------------------|-----------|
| Chemical Composition | (%) |
| C_{max} | 0,18 |
| Mn | 0,90-1,60 |
| SI_{max} | 0,50 |
| P_{max} | 0,035 |
| S_{max} | 0,035 |
| AI (acid soluble) $_{max}$ | 0,015 |
| Nb | 0,02-0,05 |
| V | 0,05-0,10 |
| TI_{max} | 0,02 |
| C_{max} | 0,35 |
| Cr_{max} | 0,20 |
| Ni_{max} | 0,40 |
| Mo_{max} | 0,08 |

Tabel 2. Mechanical Properties Baja Grade EH36

| Mechanical Properties BKI Grade EH36 | |
|--------------------------------------|----------------------|
| Mechanical Properties | (N/mm ²) |
| Yield Strenght | 355 |
| Tensile Strenght | 490-630 |

Tabel 3. Chemical Composition Baja Grade A

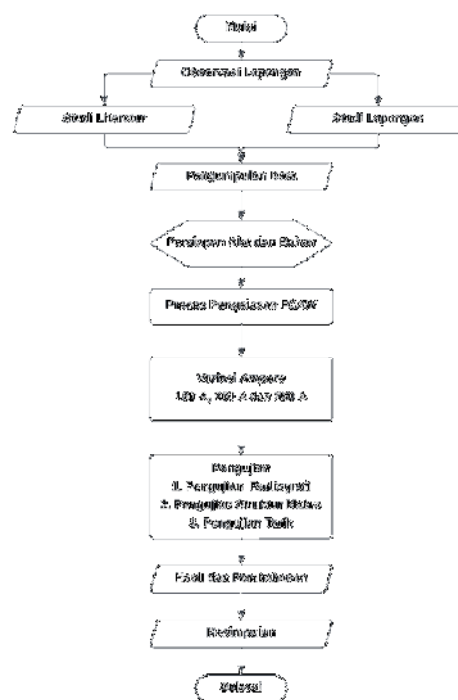
| Chemical Composition BKI Grade A | |
|----------------------------------|---------|
| Chemical Composition | (%) |
| C_{max} | 0,21 |
| SI_{max} | 0,50 |
| Mn_{max} | 2,5 x C |
| P_{max} | 0,035 |
| S_{max} | 0,035 |

Tabel 4. Mechanical Properties Baja Grade A

| Mechanical Properties BKI Grade A | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Mechanical Properties | (N/mm ²) |
| Yield Strenght | 235 |
| Tensile Strenght | 400-520 |

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan observasi lapangan untuk mengetahui informasi dari objek yang akan diteliti. Tahap berikutnya melakukan studi literatur dan studi lapangan dilanjutkan mengumpulkan data-data yang berhubungan dan bisa dijadikan pendukung dalam penelitian. Eksperimen pengelasan diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan kemudian dilanjutkan proses pengelasan FCAW. Spesimen hasil pengelasan selanjutnya dilakukan uji radiografi, struktur dilanjutkan dengan melakukan analisis hasil. Alur penelitian dapat dilihat pada *flow chart* sebagai berikut:

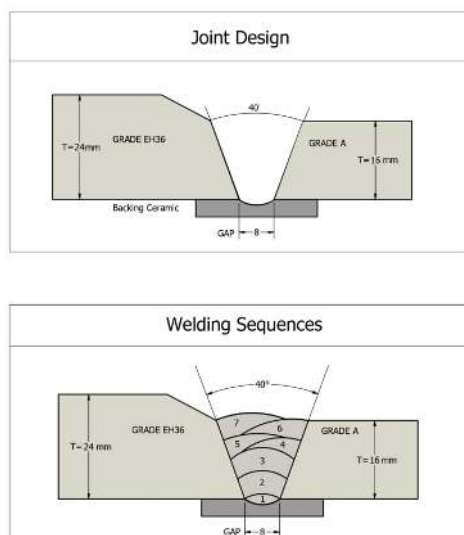
**Gambar 1. Flowchart Penelitian**

Persiapan Alat dan Bahan

Material yang telah dipotong dengan gas potong *oxy-acetylene* berupa material *Grade EH36* dengan dimensi 400 mm x 145 mm x 24 mm sejumlah 18 buah *double bevel*, material *Grade A* dengan dimensi 400 mm x 145 mm x 16 mm sejumlah 18 buah *bevel 20°*, *strongback* dengan dimensi 200 mm x 100 mm x 12 mm sejumlah 36 buah dan *extension bar* dengan dimensi 50 mm x 50 mm x 16 mm sejumlah 108 buah dengan *bevel 20°*. Persiapan alat-alat kerja penunjang pengelasan untuk mendukung proses pengelasan, antara lain:

1. Mesin FCAW OTC Dyna Auto XD-500SII
2. *Wire Roll ESAB Dual Shield (AWS A5-20 E71T-1C/9C-J)*
3. *Electric Preheat*
4. Gerinda tangan
5. *Pneumatic chipping hammer*
6. Tang potong
7. Sikat baja
8. *Welding gauge*
9. *Sketchmath*
10. *Tapper*
11. *IR thermometer*
12. APD (alat pelindung diri)

Parameter Pengelasan



Gambar 2. Weld Preparation Details (Sketch)

| | |
|-----------------------|--|
| Spesifikasi Material | : Baja Grade EH36 dan Baja Grade A |
| Type of Steel | : Carbon Steel |
| Dimensi | : 400 mm X 145 mm X 24 mm – Grade EH36 |
| | : 400 mm X 145 mm X 16 mm – Grade A |
| Proses Pengelasan | : FCAW (Flux Cored Arc Welding) |
| Tipe Sambungan | : Butt Joint Single V-Groove |
| Filler Metal | : A5.20 – E71T-1C/9C-J |
| Shielding Gas | : CO ₂ 100% |
| Posisi Pengelasan | : 1-G |
| Arus Pengelasan | : DC RP |
| Backing | : Ceramic |
| Preheat Temperature | : 60°C |
| Interpass Temperature | : 205°C |
| Bevel | : 20° |
| Gap | : 8 mm |
| Interpass Cleaning | : Chipping and Grinding |
| Welder | : Juni Cahyadi |
| Sertifikat Welder | : 007/LR/QA-PAL/DKN/V/2021 |

Proses Pengelasan

Langkah kerja pada proses pengelasan metode FCAW menggunakan *Shielding gas* CO₂ 100% dengan *flow rate* 10 L/min dan *ampere* (160 A, 200 A dan 250 A) sebagai berikut:

1. Melakukan pemasangan *backing ceramic*;

2. Melakukan pemanasan pada material *Grade EH36* dengan *electric preheat* sampai suhu mencapai 60°C;
3. Melakukan *rootpass* sesuai parameter pengelasan;
4. Melakukan pembersihan terak dengan *pneumatic chipping hammer* dan *grinding* selanjutnya lakukan pengamatan visual pada *layer* serta cacat jika ditemukan cacat pengelasan;
5. Melakukan penggerindaan sepanjang jalur las untuk pengisian *layer* selanjutnya;
6. Lakukan Langkah 3 sampai 5 pada *layer* kedua sampai dengan *layer* ketujuh;
7. Setelah selesai pengelasan *layer* terakhir (*capping*) lakukan pembersihan dengan sikat baja dan amati kembali serta cacat jika ditemukan cacat pengelasan.



Gambar 3. Proses Fitting Spesimen, Kontrol Suhu Pengelasan dan Hasil Lasan

Pembentukan Spesimen Uji

Spesimen yang akan dilakukan pengujian struktur makro dan kuat tarik selanjutnya dilakukan marking dan dipotong menggunakan *metal cutting bandsaw* untuk menghindari efek panas. Setelah spesimen dipotong sesuai desain dilanjutkan proses *machining* dengan mesin sekrap (*shaping machining*) dan mesin frais (*milling*) untuk membentuk *coupon test* sesuai dengan gambar dan dimensi.



Gambar 4. Marking Spesimen, Proses milling dan Proses Shaping

Masukan Panas

Heat input adalah perpindahan energi panas per unit satuan panjang pada proses pengelasan. Energi panas diakibatkan oleh parameter pengelasan yaitu arus, tegangan, sentuhan elektroda dengan logam induk dan kecepatan pengelasan. *Heat input* merupakan faktor penting dalam pengelasan karena dapat mempengaruhi laju pendinginan. Laju pendinginan akan berperan pada pembentukan struktur metalurgi daerah HAZ dan *weld metal* serta sifat mekanis dari sambungan [5]. Masukan panas disebabkan beberapa faktor seperti tegangan, kecepatan dan arus selama proses pengelasan, dengan rumus sebagai berikut:

$$HI = \frac{\text{Volts} \times \text{Amp}}{\text{Travel speed} \times 1000} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

HI = Masukan panas (J/mm atau J/in)

V = Tegangan busur las (Volt)

I = Arus Las (Ampere)

Travel speed = Kecepatan pengelasan (mm/s atau in/s).

Uji Radiografi (Radiography)

Pengujian radiografi adalah pengujian dengan bantuan sinar X atau gamma untuk mengetahui diskontinuitas dari sebuah material yang ditunjukkan dalam bentuk film. Pengujian ini untuk mengetahui indikasi cacat pada sambungan pengelasan FCAW dengan menggunakan gas pelindung CO₂ 100% antara material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A pada variasi 160 A, 200 A dan 250 A. Proses pengujian dengan metode radiografi dapat dilakukan setelah sertifikat radiografi dari lokasi pengujian diterbitkan. *Radiation source* yang digunakan yaitu Ir-192 dan *film* yang digunakan dari AGFA dengan tipe D7 (4 X 15 in). Teknik penyinaran (*Single Wall Exposure Single Viewing*) SWSW dengan durasi 90 detik dan menggunakan 1 buah IQI (*Image Quality Indicator*). Selanjutnya pemrosesan *film* dilakukan di laboratorium dan dilanjutkan interpretasi dan evaluasi film sesuai hasil yang ada.



Gambar 5. Gamma Ray dan Film Casette

Uji Struktur Makro (Metallography)

Pengujian *metallography* (*makro test*) bertujuan untuk mengetahui bentuk visual sambungan las, logam induk dan HAZ baik menggunakan bantuan kamera atau tidak. *Test piece* yang telah di *machining* sesuai desain terlebih dahulu di haluskan dengan kertas gosok (*grid* 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 dan 1200). Selanjutnya dilakukan proses *etching* untuk mengkorosikan permukaan *test piece* dengan larutan etsa nital (HNO₃ dan alkohol 98%). Selanjutnya permukaan *test piece* dapat diobservasi untuk mengamati struktur makro pada hasil lasan.

Uji Kuat Tarik (Tensile)

Pengujian Tarik merupakan pengujian mekanik yang paling dasar yang bersifat merusak yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan mekanik dari suatu material dengan cara menarik suatu benda uji, dengan menarik benda uji tersebut akan dapat diketahui bagaimana kemampuan suatu material mampu menahan suatu beban yang diberikan. Pengujian ini untuk mengetahui kekuatan kuat tarik pada sambungan pengelasan FCAW dengan menggunakan gas pelindung CO₂ 100% antara material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A pada variasi 160 A, 200 A dan 250 A. Sebelum dilakukan proses pengujian kuat tarik pada mesin *Universal Test Machine* (UTM), *test piece* yang berjumlah 6 buah dilakukan pengukuran dimensi untuk masing-masing *test piece* berserta panjang awal dan hasil pengukuran dicatat pada lembar kerja. Selanjutnya *test piece* dijepit pada mesin UTM dan diberikan pembebanan sampai putus. Selanjutnya *test piece* yang telah putus dilepas dari penjepit mesin UTM dan dilakukan pengukuran panjang dari *test piece* tersebut. Pengujian dilakukan sesuai standar [6].



Gambar 6. Mesin UTM

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Masukan Panas

Spesimen yang telah selesai dilakukan pengelasan sesuai parameter akan didapatkan nilai *travel speed* dan *heat input*. Penggunaan kodifikasi dipilih untuk memudahkan dalam identifikasi. Spesimen dengan variasi 160 A diberi kode C1, untuk spesimen dengan variasi 200 A diberi kode C2 dan untuk spesimen dengan variasi 250 A diberi kode C3. Tabel nilai masukan panas untuk masing-masing spesimen sebagai berikut:

Tabel 5. Welding Detail Spesimen C1

| Layer (s) | Ampere (A) | Voltage Range (V) | Travel Speed (mm/sec) | Heat Input (kJ/mm) |
|-----------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Root | 160 | 23 | 115,38 | 1,91 |
| Filler 1 | 160 | 23 | 126,58 | 1,74 |
| Filler 2 | 160 | 23 | 142,86 | 1,54 |
| Filler 3 | 160 | 23 | 148,51 | 1,48 |
| Filler 4 | 160 | 23 | 177,51 | 1,24 |
| Capping 1 | 160 | 23 | 136,36 | 1,65 |
| Capping 2 | 160 | 24 | 156,25 | 1,41 |
| Rata-rata | | | | 1,57 |

Tabel 6. Welding Detail Spesimen C2

| Layer (s) | Ampere (A) | Voltage Range (V) | Travel Speed (mm/sec) | Heat Input (kJ/mm) |
|-----------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Root | 200 | 25 | 122,95 | 2,44 |
| Filler 1 | 200 | 25 | 162,16 | 1,85 |
| Filler 2 | 200 | 25 | 144,23 | 2,08 |
| Filler 3 | 200 | 25 | 217,39 | 1,38 |
| Filler 4 | 200 | 25 | 267,86 | 1,12 |
| Capping 1 | 200 | 25 | 232,56 | 1,29 |
| Capping 2 | 200 | 25 | 291,26 | 1,03 |
| Rata-rata | | | | 1,60 |

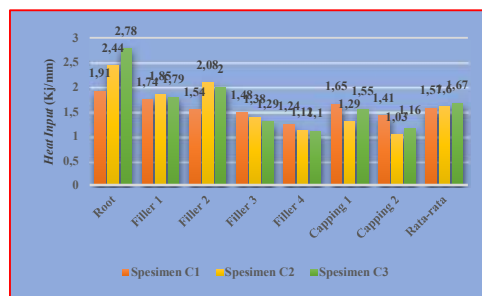
Tabel 7. Welding Detail Spesimen C3

| Layer (s) | Ampere (A) | Voltage Range (V) | Travel Speed (mm/sec) | Heat Input (kJ/mm) |
|-----------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Root | 250 | 28 | 150,75 | 2,78 |
| Filler 1 | 250 | 30 | 252,1 | 1,79 |
| Filler 2 | 250 | 29 | 217,39 | 2,00 |
| Filler 3 | 250 | 29 | 337,08 | 1,29 |
| Filler 4 | 250 | 29 | 394,74 | 1,10 |
| Capping 1 | 250 | 29 | 280,37 | 1,55 |
| Capping 2 | 250 | 29 | 375 | 1,16 |
| Rata-rata | | | | 1,67 |

Heat input dalam pengelasan FCAW menggunakan batasan maksimal dan minimal berdasarkan TWI CSWIP 3.1 – *Welding Inspector WIS5 Section 10 Introduction to Welding Processes 10.2 Heat Input* [7]. Prinsip-prinsip umum untuk pengelasan manual dan semi-otomastis, sebagai berikut:

1. Pengelasan vertikal ke atas cenderung memberikan masukan panas tertinggi dikarenakan ada kebutuhan gerakan mengayun untuk mendapatkan profil yang sesuai dan kecepatan las relatif lambat.
2. Pengelasan vertikal ke bawah cenderung memberikan masukan panas terendah karena dapat menggunakan kecepatan las yang cepat.
3. Pengelasan horizontal-vertikal adalah posisi pengelasan dengan masukan panas yang relatif rendah karena *welder* tidak bisa mengayun dalam posisi ini.
4. Pengelasan *overhead* cenderung memberikan masukan panas yang rendah karena kebutuhan untuk menggunakan arus yang rendah dan kecepatan las yang cepat.
5. Pengelasan pada posisi datar (*downhand*) dapat menghasilkan masukan panas yang rendah atau tinggi karena *welder* memiliki lebih banyak fleksibilitas terhadap kecepatan las yang digunakan.
6. Dari proses pengelasan busur, SAW memiliki potensi untuk memberikan masukan panas tertinggi dan laju deposisi tertinggi dan TIG, MIG/MAG menghasilkan masukan panas yang sangat rendah.
7. Nilai masukan panas yang umum untuk masukan panas pengelasan yang terkontrol antara 1,0 – 3,5 kJ/mm.

Sesuai prinsip-prinsip umum tersebut, masukan panas pada pengelasan FCAW dengan *shielding gas* CO₂ 100% dapat diterima karena masih dalam batasan nilai masukan panas yang terkontrol.

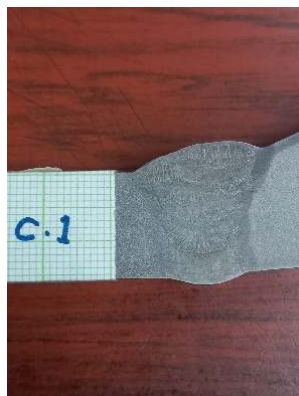


Grafik 1. Perbandingan Heat Input

2. Analisis Struktur Makro

Pengujian ini adalah salah satu dari pengujian *destructive test* (DT) yang bertujuan untuk

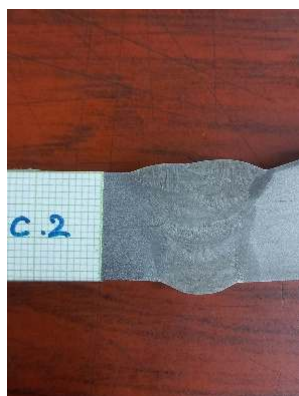
mengetahui fusi lasan dan cacat pengelasan pada daerah *weld metal*. Analisis pengamatan struktur makro menggunakan bantuan kamera ponsel untuk pengambilan sampel gambar. Hasil dari pengujian struktur makro dapat dilihat pada gambar 8, 9 dan 10.



Gambar 7. Hasil Foto dari Spesimen C1

Tabel 8. Hasil Uji Struktur Makro Spesimen C1

| Keterangan | |
|---------------------------|-----------------------|
| Test Piece Identification | C1 |
| Shielding Gas | CO ₂ 100 % |
| Flow Rate | 10 L/min |
| Ampere | 160 A |
| Fusion | OK |
| Weld Metal | OK |
| Defect Size | - |
| Result | ACCEPT |



Gambar 8. Hasil Foto dari Spesimen C2

Tabel 9. Hasil Uji Struktur Makro Spesimen C2

| Keterangan | |
|---------------------------|-----------------------|
| Test Piece Identification | C2 |
| Shielding Gas | CO ₂ 100 % |
| Flow Rate | 10 L/min |
| Ampere | 200 A |
| Fusion | OK |
| Weld Metal | OK |
| Defect Size | - |
| Result | ACCEPT |



Gambar 9. Hasil Foto dari Spesimen C3

Tabel 10. Hasil Uji Struktur Makro Spesimen C3

| Keterangan | |
|---------------------------|-----------------------|
| Test Piece Identification | C3 |
| Shielding Gas | CO ₂ 100 % |
| Flow Rate | 10 L/min |
| Ampere | 250 A |
| Fusion | OK |
| Weld Metal | OK |
| Defect Size | - |
| Result | ACCEPT |

Dari semua gambar dalam tabel dengan *shielding gas* CO₂ 100% dapat dilihat adanya perbedaan hasil lasan pada masing masing spesimen. Pada tabel 8 sampai tabel 10 dengan gas pelindung CO₂ 100% dapat dilihat semua sambungan mengalami fusi dengan baik dan tidak ditemukan adanya cacat pada *weld metal*.

3. Analisis Pengujian Radiografi

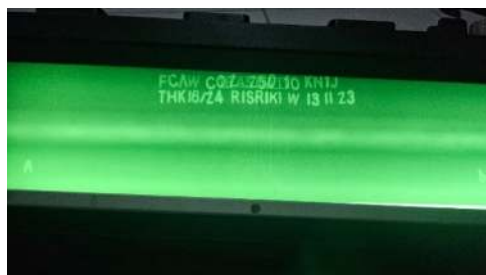
Pengujian radiografi digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas dibawah permukaan benda uji menggunakan radiasi sinar X atau sinar gamma. Pada pengujian radiografi dalam penelitian ini menggunakan Teknik *exposure* yaitu *single wall exposure single viewing* (SWSV). Hasil pengujian radiografi dapat dilihat pada gambar 11, 12 dan 13.



Gambar 10. Foto Hasil Radiografi Spesimen C1



Gambar 11. Foto Hasil Radiografi Spesimen C2



Gambar 12. Foto Hasil Radiografi Spesimen C3

Tabel 11. Hasil Pengujian Radiografi

| Part or Weld identification | Thickness | Type of Indication | Remark |
|-----------------------------|-----------|--------------------|--------|
| C1 | 16/24 | – | ACC |
| C2 | 16/24 | – | ACC |
| C3 | 16/24 | – | ACC |

Hasil interpretasi pengujian radiografi pada hasil pengelasan FCAW pada spesimen C1 sampai C3 dengan *shielding gas* CO₂ 100% tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Semua spesimen dinyatakan memenuhi standar berketerimaan ASME *section IX* paragraf QW 191.1.2.

4. Analisis Pengujian Kuat Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menguji kekuatan (*tensile strength*) suatu material secara lambat dengan diberikan beban gaya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan hasil pengelasan antara material baja *Grade* EH36 dengan material baja *Grade* A. Berikut ini kriteria keberterimaan pengujian tarik (*Acceptance Criteria*) yang dijelaskan dalam ASME *section IX*:

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan spesimen patah pada daerah logam dasar (*base metal*).
2. Kekuatan tarik minimum dari material baja yang berbeda kuat tariknya ditetapkan dari logam dasar yang terlemah.
3. Kekuatan tarik dari logam lasan, bila standar yang digunakan menentukan logam lasan dengan kekuatan tarik yang lebih rendah dari pada logam dasar (*base metal*).

4. Apabila spesimen uji putus pada logam dasar diluar zona lasan atau fusi maka kuat tarik tidak boleh lebih dari 5% dibawah nilai kekuatan tarik minimal logam dasar (*base metal*).

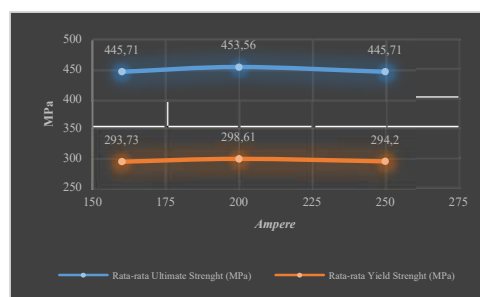
Tabel 12. Hasil Pengujian Tarik

| Spesimen | | Yield Strength (Kgf/mm ²) | Tensile Strength (Kgf/mm ²) | Breaking |
|----------|-----|---------------------------------------|---|--------------------|
| C1 | TP1 | 30,0 | 46,0 | Base Metal Grade A |
| | TP2 | 29,7 | 44,9 | Base Metal Grade A |
| C2 | TP1 | 30,9 | 46,3 | Base Metal Grade A |
| | TP2 | 30,0 | 46,2 | Base Metal Grade A |
| C3 | TP1 | 30,2 | 45,4 | Base Metal Grade A |
| | TP2 | 29,8 | 45,5 | Base Metal Grade A |

Tabel 13. Nilai rata-rata Kekuatan Luluh dan Kekuatan Tarik

| Spesimen | Nilai rata-rata Uji Tarik | |
|----------|---------------------------|------------------------|
| | Yield Strength (MPa) | Tensile Strength (MPa) |
| C1 | 293,73 | 445,71 |
| C2 | 298,61 | 453,56 |
| C3 | 294,20 | 445,71 |

1 Kilogram-force per square millimeter (Kgf/mm²) = 9,8066 Megapascal (MPa)



Grafik 2. Kekuatan Luluh dan Tarik VS Ampere Spesimen C1, C2 dan C3

Berdasarkan nilai rata-rata pengujian tarik spesimen dengan *shielding gas* CO₂ 100% dapat diterima sesuai dengan standar ASME *section IX*, dimana nilai kekuatan tarik pada hasil pengelasan material *Grade* EH36 dengan *Grade* A melebihi nilai kekuatan tarik logam induk yang dipergunakan sebagai acuan yaitu nilai kekuatan tarik dari material *Grade* A. Hasil uji tarik hasil pengelasan material *Grade* EH36 dengan *Grade* A menghasilkan patahan pada *base metal Grade* A pada semua spesimen uji.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian terhadap variasi *ampere* pada pengelasan FCAW pada material *Grade* EH36 ketebalan 24 mm dengan material *Grade* A ketebalan 16 mm dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis *heat input* hasil pengelasan FCAW variasi arus 160 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,57 KJ/mm, variasi arus 200 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,60 KJ/mm dan variasi arus 250 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,67 KJ/mm.
2. Hasil analisis pengujian struktur makro hasil pengelasan FCAW tidak ditemukan cacat dipermukaan (*surface*) dan cacat dibawah permukaan (*sub surface*) pada variasi arus 160 A, 200 A dan 250 A.
3. Hasil analisis pengujian radiografi hasil pengelasan FCAW tidak ditemukan cacat dibawah permukaan (*sub surface*) pada variasi arus 160 A, 200 A dan 250 A.
4. Hasil pengujian tarik pada hasil pengelasan FCAW menghasilkan rata-rata nilai kekuatan tarik (*tensile strenght*) pada variasi arus 160 A sebesar 445,71 MPa, variasi arus 200 A sebesar 453,56 MPa dan variasi arus 250 A sebesar 445,71 MPa sehingga kekuatan tarik melebihi nilai kekuatan tarik logam induk (*base metal*) terlemah *Grade* A sesuai ASME Section IX.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan kepada PT. PAL Indonesia dan pihak-pihak terkait yang telah membantu kelancaran proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. S. Sindhu and S. S. Chatha, "Role of shielded metal arc welding consumables on pipe weld joint," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 2, pp. 746-750, 2012.
- [2] T. Kannan and N. Murugan, "Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 176, no. 1-3, pp. 230-239, 2006.
- [3] H. R. Ghazvinloo and A. H. Raouf, "Effect of gas-shielded flux cored arc welding parameters on weld width and tensile properties of weld metal in a low carbon steel," *J. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 8, pp. 658-663, 2010.
- [4] Wiryosumarto, Harsono, and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [5] A. Sadek, R. N. Ibrahim. J. W. H. Price, T. Shehata, and M. Ushio, "Effect of welding parameters of FCAW process and shielding gas type on weld bead geometry and hardness distribution (materials, metallurgy & weldability)," *Trans. JWRI*, vol. 30, no. 2, pp. 45-52, 2001.
- [6] ASME Section IX, *Qualification Standard for Welders, Brazers, and Fusing Operators*, vol. 9. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York, 2015.
- [7] TWI CSWIP 3.1-Welding Inspector WIS5.