



TUGAS AKHIR - MO234801

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR
METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI *HEAT
INPUT* DAN *GROOVE ANGLE***

ARYADANTA NUGRAHANJAYA
NRP 5020211080

Dosen Pembimbing
Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
NIP 197304152000031001
Dr. Ir. Hasan Ikhwan M.Sc
NIP 196901211993031002

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2025



TUGAS AKHIR - MO234801

**ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR
METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI *HEAT
INPUT* DAN *GROOVE ANGLE***

ARYADANTA NUGRAHANJAYA
NRP 5020211080

Dosen Pembimbing
Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
NIP 197304152000031001
Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc
NIP 196901211993031002

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2025



FINAL PROJECT - MO234801

***ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH AND
METALLOGRAPHIC STRUCTURE IN SMAW
WELDING OF ASTM A36 JOINTS
WITH VARIATIONS IN HEAT INPUT AND GROOVE
ANGLE***

ARYADANTA NUGRAHANJAYA

NRP 5020211080

Advisor

Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

NIP 197304152000031001

Dr. Ir. Hasan Ikhwan M.Sc

NIP 196901211993031002

Undergraduate Study Program of Ocean Engineering

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI *HEAT INPUT* DAN *GROOVE ANGLE*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik di
Program Analisis Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ARYADANTA NUGRAHANJAYA**

NRP. 5020211080

Disetujui oleh Tim Penguji Proposal Tugas Akhir:

1. Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc. (Pembimbing II)
3. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji I)
4. Ferdita Syalsabila, S.T., M.T. (Penguji II)



SURABAYA

MARET, 2025

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH AND METALLOGRAPHIC STRUCTURE IN SMAW WELDING OF ASTM A36 JOINTS WITH VARIATIONS IN HEAT INPUT AND GROOVE ANGLE

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree in Ocean Engineering at
Undergraduate Study Program of Ocean Engineering
Department of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **ARYADANTA NUGRAHANJAYA**

NRP. 5020211080

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Advisor I)
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc. (Advisor II)
3. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T. (Examiner I)
4. Ferdita Syalsabila, S.T., M.T. (Examiner II)



SURABAYA

MARCH, 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Aryadanta Nugrahanjaya / 5020211080

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen pembimbing / NIP : Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D /
197304152000031001

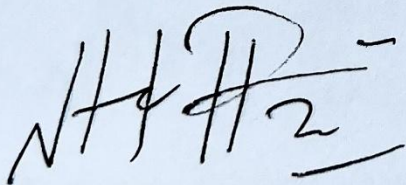
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI *HEAT INPUT* DAN *GROOVE ANGLE*”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Maret 2025

Mengetahui

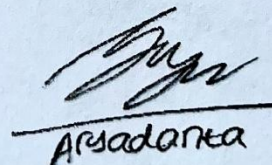
Dosen Pembimbing



(Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D)

NIP. 197304152000031001

Mahasiswa,



(Aryadanta Nugrahanjaya)

NRP. 5020211080

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Aryadanta Nugrahanjaya / 5020211080

Department : Ocean Engineering

Advisor / NIP : Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D /
197304152000031001

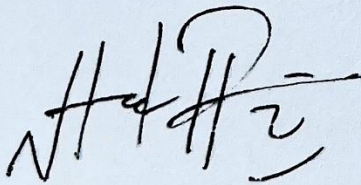
Hereby declare that the Final Project with the title of "***ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH AND METALLOGRAPHIC STRUCTURE IN SMAW WELDING OF ASTM A36 JOINTS WITH VARIATIONS IN HEAT INPUT AND GROOVE ANGLE***" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, March 2025

Acknowledged

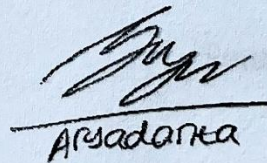
Advisor



(Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D)

NIP. 197304152000031001

Student,


Aryadanta

(Aryadanta Nugrahanjaya)

NRP. 5020211080

ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI *HEAT INPUT* DAN *GROOVE ANGLE*

Nama / NRP : Aryadanta Nugrahanjaya / 5020211080
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc

ABSTRAK

Industri maritim menggunakan material logam yang kuat karenanya diperlukan dalam aplikasi struktur lepas pantai. Salah satu contoh materialnya adalah baja ASTM A36. Baja ASTM A36 banyak digunakan dalam struktur lepas pantai karena kekuatan dan ketahannya terhadap beban, namun sifat material logam ini rentan terkena kelelahan atau fatigue akibat dari lingkungan di lepas pantai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi heat input dan groove angle pada kekuatan tarik dan struktur metalografi dari material baja ASTM A36. Pengujian ini akan dilakukan dengan variasi masukan panas batasan arus listrik rendah (90A), sedang (120A), dan tinggi (160A) dikombinasikan dengan variasi sudut umum (60°), lebar (75°), dan eksperimental (90°) pada kampuh pengelasan. Dengan variasi tersebut, akan dilakukan uji kekuatan tarik dan uji struktur metalografi. Hasil penelitian ini dapat memberi pemahaman lebih mendalam tentang optimalisasi teknik pengelasan pada struktur baja di lingkungan maritim, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam aplikasi struktur lepas pantai baik dunia akademisi institusi maupun hasil observasi lapangan.

Kata kunci : ASTM A36, *Heat Input*, *Groove Angle*

***ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH AND METALLOGRAPHIC
STRUCTURE IN SMAW WELDING OF ASTM A36 JOINTS WITH
VARIATIONS IN HEAT INPUT AND GROOVE ANGLE***

Name./ NRP : Aryadanta Nugrahanjaya / 5020211080
Department : Ocean Engineering
Advisor : Dr. Prof. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc

ABSTRACT

The maritime industry uses strong metallic materials hence required in offshore structural applications. One example of the material is ASTM A36 steel. ASTM A36 steel is widely used in offshore structures due to its strength and resistance to loads, but the nature of this metal material is susceptible to fatigue due to the offshore environment. This research aims to analyze the variation of heat input and groove angle on the tensile strength and metallographic structure of ASTM A36 steel material. This test will be conducted with heat input variations of low (90A), medium (120A), and high (160A) electric current limitation combined with generic (60°), wide (75°), and experimental (90°) angle variations on the welding seam. Upon these variations, tensile strength tests and metallographic structure tests will be carried out. The results of this research are to provide a deeper understanding of the optimization of welding techniques on steel structures in the maritime environment, so as to increase efficiency in the application of offshore structures both in the world of academic institutions and field observations.

Keyword : ASTM A36, Heat Input, Groove Angle

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang karena-Nya saya, anda, kita semua senantiasa diberikan rahmat dan karunia-Nya. Saya sebagai penulis dapat menyelesaikan dengan baik Tugas Akhir ini dengan judul: “ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI *HEAT INPUT* DAN *GROOVE ANGLE*”.

Laporan penelitian ini telah saya susun dengan tujuan memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program studi dalam Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Saya sebagai penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna dan dapat ditemukan kekurangan. Kritik serta saran dari anda sebagai pembaca sangat saya harapkan karena dapat menjadi evaluasi berharga bagi saya demi menghasilkan laporan penelitian yang lebih baik.

Surabaya, Maret 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aryadanta', with a horizontal line underneath it.

Aryadanta Nugrahanjaya

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
APPROVAL SHEET	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
STATEMENT OF ORIGINALITY	v
ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR METALOGRAFI PADA PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN ASTM A36 DENGAN VARIASI <i>HEAT INPUT</i> DAN <i>GROOVE ANGLE</i>	vi
<i>ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH AND METALLOGRAPHIC STRUCTURE IN SMAW WELDING OF ASTM A36 JOINTS WITH VARIATIONS IN HEAT INPUT AND GROOVE ANGLE</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	10
1.1 Latar Belakang	10
1.2 Rumusan Masalah	12
1.3 Tujuan	12
1.4 Manfaat	13
1.5 Batasan Masalah	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Tinjauan Pustaka	15
2.2 Dasar Teori	22
2.2.1 ASTM A36	22
2.2.2 <i>Heat Input</i>	24
2.2.3 <i>Groove Angle</i>	24
2.2.4 Pengelasan SMAW	26
2.2.5 Kawat Las Elektroda	28
2.2.6 <i>Multipass</i> Pengelasan	28
2.2.7 Radiografi	29
2.2.8 Kekuatan Tarik	29
2.2.9 Struktur Metalografi	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Diagram Alir	37
3.2 Prosedur Analisis	38
3.2.1 Studi literatur	38
3.2.2 Persiapan material sesuai WPS	38
3.2.3 Pengelasan SMAW Sesuai Variasi	39
3.2.4 Radiografi	39
3.2.5 Pembuatan spesimen	39
3.2.6 Uji Kekuatan Tarik	40
3.2.7 Uji Struktur Metalografi	40
3.2.8 Kesimpulan dan Saran	41
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Analisis Data.....	42
4.1.1 Pengelasan ASTM A36 Sesuai Variasi <i>heat input</i> dan <i>groove angle</i>	42
4.1.2 Radiografi Sambungan ASTM A36 Sesuai Variasi <i>heat input</i> dan <i>groove angle</i>	43
4.1.3 Uji Kekuatan Tarik Sambungan ASTM A36 Sesuai Standar AWS D1.1 (<i>Structural Welding Purposes</i>)	44
4.1.4 Uji Struktur Metalografi Sambungan ASTM A36 Sesuai Standar AWS D1.1 (<i>Structural Welding Purposes</i>) dan ASTM E3-01 (<i>Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens</i>)	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	82
UCAPAN TERIMA KASIH	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Distorsi Pengelasan	25
Gambar 2-2. <i>Groove Angle V Bevel</i>	25
Gambar 2-3. <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	26
Gambar 2-4. Rangkaian Pengelasan Umum SMAW	27
Gambar 2-5. Grafik Deformasi Material	31
Gambar 2-6. Grafik Perbedaan Kepatahan Ulet dan Kepatahan Getas	31
Gambar 2-7. Daerah Pada Kampuh Hasil Pengelasan	33
Gambar 2-8. Diagram Fasa Besi – Besi-Karbida	34
Gambar 3-9. Diagram Alir	37
Gambar 3-10. Diagram Alir (Lanjutan)	38
Gambar 3-11. <i>Plotting</i> pembuatan spesimen dari material	40
Gambar 3-12. Spesimen Uji Kekuatan Tarik	40
Gambar 3-13. Spesimen Uji Struktur Metalografi	40
Gambar 4-14. Variasi Kode 60A (HI Rendah 90 Ampere Sudut Umum 60°)	43
Gambar 4-15. Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A (HI Rendah 90 Ampere Sudut Umum 60°)	43
Gambar 4-16. <i>Tracing</i> Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A (HI Rendah 90 Ampere Sudut Umum 60°)	43
Gambar 4-17. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi <i>HI</i> Rendah	45
Gambar 4-18. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi <i>HI</i> Sedang	46
Gambar 4-19. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi <i>HI</i> Tinggi	46
Gambar 4-20. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi <i>GA</i> Umum	47
Gambar 4-21. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi <i>GA</i> Lebar	47
Gambar 4-22. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi <i>GA</i> Eksperimental	47

Gambar 4-23. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Semua Variasi	48
Gambar 4-24. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi <i>HI</i> Rendah	49
Gambar 4-25. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi <i>HI</i> Sedang	49
Gambar 4-26. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi <i>HI</i> Tinggi	50
Gambar 4-27. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi <i>GA</i> Umum	50
Gambar 4-28. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi <i>GA</i> Lebar	50
Gambar 4-29. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi <i>GA</i> Eksperimental	51
Gambar 4-30. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Semua Variasi	51
Gambar 4-31. Makroetsa 60A	53
Gambar 4-32. Makroetsa 60B	53
Gambar 4-33. Makroetsa 60C	54
Gambar 4-34. Makroetsa 75A	54
Gambar 4-35. Makroetsa 75B	54
Gambar 4-36. Makroetsa 75C	55
Gambar 4-37. Makroetsa 90A	55
Gambar 4-38. Makroetsa 90B	55
Gambar 4-39. Makroetsa 90C	56
Gambar 4-40. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur Antar Variasi <i>HI</i> Rendah	57
Gambar 4-41. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur Antar Variasi <i>HI</i> Sedang	58
Gambar 4-42. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur Antar Variasi <i>HI</i> Tinggi	58
Gambar 4-43. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur Antar Variasi <i>GA</i> Umum	59
Gambar 4-44. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur Antar Variasi <i>GA</i> Lebar	59

Gambar 4-45. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur Antar Variasi <i>GA</i> Eksperimental	60
Gambar 4-46. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur <i>AVG Root Pass</i> Semua Variasi	60
Gambar 4-47. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur <i>AVG Middle Thick</i> Semua Variasi	60
Gambar 4-48. Grafik Perbandingan Lebar <i>HAZ</i> Makrostruktur <i>AVG Cap Pass</i> Semua Variasi	61
Gambar 4-49. <i>BM 60A – Ferrite 52.55% Pearlite 47.45%</i>	62
Gambar 4-50. <i>HAZ 60A – Ferrite 48.30% Pearlite 51.69%</i>	62
Gambar 4-51. <i>WM 60A – Ferrite 59.94% Pearlite 40.06%</i>	62
Gambar 4-52. <i>BM 60B – Ferrite 55.69% Pearlite 44.30%</i>	63
Gambar 4-53. <i>HAZ 60B – Ferrite 51.29% Pearlite 48.70%</i>	63
Gambar 4-54. <i>WM 60B – Ferrite 69.59% Pearlite 30.41%</i>	64
Gambar 4-55. <i>BM 60C – Ferrite 61.02% Pearlite 38.97%</i>	64
Gambar 4-56. <i>HAZ 60C – Ferrite 48.58% Pearlite 51.41%</i>	64
Gambar 4-57. <i>WM 60C – Ferrite 68.69% Pearlite 31.31%</i>	65
Gambar 4-58. <i>BM 75A – Ferrite 68.04% Pearlite 31.96%</i>	65
Gambar 4-59. <i>HAZ 75A – Ferrite 57.38% Pearlite 42.61%</i>	66
Gambar 4-60. <i>WM 75A – Ferrite 68.27% Pearlite 31.73%</i>	66
Gambar 4-61. <i>BM 75B – Ferrite 59.72% Pearlite 40.28%</i>	66
Gambar 4-62. <i>HAZ 75B – Ferrite 47.46% Pearlite 52.53%</i>	67
Gambar 4-63. <i>WM 75B – Ferrite 63.86% Pearlite 36.14%</i>	67
Gambar 4-64. <i>HAZ 75C – Ferrite 46.19% Pearlite 53.80%</i>	68
Gambar 4-65. <i>WM 75C – Ferrite 61.88% Pearlite 38.12%</i>	68
Gambar 4-66. <i>BM 90A – Ferrite 90.61% Pearlite 9.38%</i>	69
Gambar 4-67. <i>HAZ 90A – Ferrite 70.84% Pearlite 29.15%</i>	69

Gambar 4-68. WM 90A – <i>Ferrite 73.05% Pearlite 26.99%</i>	70
Gambar 4-69. BM 90B – <i>Ferrite 61.28% Pearlite 38.72%</i>	70
Gambar 4-70. HAZ 90B – <i>Ferrite 71.50% Pearlite 28.50%</i>	70
Gambar 4-71. WM 90B – <i>Ferrite 66.50% Pearlite 33.49%</i>	71
Gambar 4-72. BM 90C – <i>Ferrite 64.22% Pearlite 35.77%</i>	71
Gambar 4-73. HAZ 90C – <i>Ferrite 56.86% Pearlite 43.10%</i>	72
Gambar 4-74. WM 90C – <i>Ferrite 73.81% Pearlite 26.19%</i>	72
Gambar 4-75. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi <i>HI</i> Rendah	73
Gambar 4-76. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi <i>HI</i> Sedang	74
Gambar 4-77. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi <i>HI</i> Tinggi	74
Gambar 4-78. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi <i>GA</i> Umum	75
Gambar 4-79. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi <i>GA</i> Lebar	75
Gambar 4-80. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi <i>GA</i> Eksperimental	75
Gambar 4-81. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Semua Variasi	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Komposisi Kimia Material Baja ASTM A36	22
Tabel 2.2 Ekivalensi Material Baja ASTM A36	23
Tabel 2.3 Persyaratan Kekuatan Tarik Material Baja ASTM A36	30
Tabel 2.4 Persyaratan Kekuatan Tarik Kawat Elektroda E7016	30
Tabel 2.5 Tabel Kekuatan Ketangguhan Struktur dari Fasa-Fasa Besi – Besi-Karbida	35
Tabel 4.1 Hasil Uji Kekuatan Tarik Semua Variasi	44
Tabel 4.2 Hasil Uji Struktur Metalografi Makroetsa Semua Variasi	56
Tabel 4.3 Hasil Uji Struktur Metalografi Mikroetsa Semua Variasi	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rekayasa industri maritim mengalami perkembangan dan pemutakhiran cepat yang mempengaruhi jangka waktu terhitung mulai dari fabrikasi hingga efektif operasinya. Rekayasa industri maritim sebagian besar komposisinya menggunakan logam baja. Baja dapat diandalkan dalam struktur industri maritim dikarenakan keunggulannya berupa kekuatannya yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan material lain dengan dimensi dan ukuran yang serupa. Menurut Cahyadi & Subiyanto (2023), Baja dikategorikan sebagai material dengan komposisi besi dan karbon sebagai paduan utamanya. Baja memiliki komposisi kimia karbon dalam rentang 0,05 hingga 1,7% dari berat totalnya sebagaimana penambahan unsur karbon (C) tersebut mampu meningkatkan sifat material.

Aplikasi penggunaan logam jenis baja yang semakin umum dan meluas untuk digunakan, berbagai permasalahan pun timbul karena keadaan dan lokasi laut. Karakteristik logam baja sebagaimana halnya seperti material lain yang juga memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri. Logam baja juga terkenal akan perilakunya terhadap beban yang diterapkan. Konsep utama yang diharuskan sesuai adanya berupa kekuatan material mampu menahan dan menopang beban yang akan diterapkan sesuai umur struktur yang direncanakan sedangkan dalam pengoperasiannya material struktur akan mengacu pada beban statis dan dinamisnya secara berulang-ulang (Jaya et al., 1998).

Baja karena sifat kekuatan dan keandalannya untuk dapat digunakan dalam struktur lepas pantai. Dari semua material baja yang terdapat dalam bidang rekayasa, salah satunya merupakan baja rendah karbon dengan nama baja ASTM A36. Baja ASTM A36 seiring berjalannya waktu menjadi opsi umum dalam rekayasa industri maritim karena salah satunya menjadi bahan dasar untuk konstruksi jenis *deck* dalam *jacket platform* ataupun *floating platform* pada struktur lepas pantai. Baja ASTM A36 menjadi bahan sekunder atau tersier sebagai pelengkap pada bagian terluar yang lebih sering terkena lingkungan laut.

Material logam seperti baja ASTM A36 dalam aplikasi fabrikasi struktur juga mengalami proses penyambungan. Penyambungan material-material dengan bahan logam ini menggunakan metode pengelasan. Menurut Wiryosumarto & Okumura (2000), Pengelasan didefinisikan sebagai proses olah bahan dari jenis atau kelas dasar yang sama disatukan

sehingga menyebabkan material bergabung melalui pembentukan ikatan kimia primer dan/atau sekunder di bawah aksi gabungan panas dan tekanan. Menurut Messler Jr. (2004), Pengelasan memiliki artian proses bahan dari jenis atau kelas dasar yang sama disatukan sehingga menyebabkan material bergabung melalui pembentukan ikatan kimia primer dan/atau sekunder di bawah aksi gabungan panas dan tekanan. Pengelasan sendiri memiliki standar kualifikasi dan prosedur yang menurut *WPS (Welding Procedure Specification)* harus memenuhi standar agar mendapat hasil pengelasan yang baik dan dapat menjadi *PQR (Procedure Qualification Record)*. Metode pengelasan dengan berbagai jenisnya hingga mencapai 40 macam atau lebih dengan salah satu contoh paling umum digunakan merupakan metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).

Industri maritim contohnya struktur lepas pantai dan konstruksi kapal menggunakan material yang pastinya telah terkualifikasi oleh pengujian sifat mekanik. Sifat mekanik material tersebut menjadi dasar kuat mengapa logam baja lebih cocok untuk dapat menahan beban dan tetap bertahan dalam kondisi kelelahan atau *fatigue* berulang dari pengaruh lingkungan (seringnya karena lingkungan laut) agar memiliki umur panjang dan dapat digunakan hingga masa berakhirnya. Sifat mekanik tak hanya memiliki satu jenis saja, beberapa contohnya seperti Uji Kekuatan Tarik (*Tensile Strength Testing*), Uji Kekuatan Takik (*Charpy Impact Testing*), Uji Kekuatan Lengkung (*Bending Strength Testing*), Uji Korosi (*Corrosion Testing*), Uji Kekerasan Vickers (*Vickers Hardness Testing*), Uji Kekerasan Brinnel (*Brinnel Hardness Testing*), Uji Kekerasan Rockwell (*Rockwell Hardness Testing*), Uji Kekerasan Knoop (*Knoop Hardness Testing*), Uji Metalografi (*Metallography Testing*) seperti makrostruktur dan mikrostruktur serta metode uji sifat mekanik lainnya.

Dalam penelitian ini, akan digunakan variasi *heat input* dan *groove angle* pada proses pengelasan SMAW. *Heat input* dan *groove angle* sebagai variasi dengan pengaruh besar terhadap kekuatan tarik dan struktur metalografi sebagaimana indikator layaknya material tersebut sebagai bahan fabrikasi struktur. Pengujian-pengujian tersebut akan dilakukan dalam penelitian ini sebagai metode yang akan digunakan dalam penelitian ini. Penelitian-penelitian dalam bentuk jurnal dan prosiding terdahulu sebagai fondasi dasar teori yang menyatakan variasi *heat input* dan *groove angle* akan mempengaruhi kekuatan tarik dan struktur metalografi material.

Penelitian mengenai pengaruh variasi *heat input* dan *groove angle* pada pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 sangat penting dalam konteks industri maritim. Baja ASTM A36,

sebagai material struktural utama, sering digunakan dalam konstruksi struktur lepas pantai dan kapal yang terpapar kondisi lingkungan laut yang ekstrem. Sambungan las pada material ini harus memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi untuk mampu menahan beban statis maupun dinamis yang berulang, serta mengatasi kelelahan dan korosi yang disebabkan oleh siklus pengoperasian yang intens. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh parameter pengelasan seperti *heat input* dan *groove angle* menjadi kunci dalam mengoptimalkan kualitas sambungan las.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan yang berkaitan dengan pengaruh *heat input* dan *groove angle* terhadap kekuatan tarik dan struktur metalografi sambungan las. Dengan memberikan rekomendasi yang lebih tepat bagi industri maritim dalam menentukan parameter pengelasan yang optimal, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi pengelasan. Hasil penelitian juga berpotensi berkontribusi pada pengembangan standar pengelasan yang lebih efektif, sehingga memperpanjang umur operasional struktur baja. Dengan urgensi yang tinggi, penelitian ini dapat memberikan dampak positif signifikan terhadap ketahanan sambungan las dan keselamatan struktur baja dalam menghadapi tantangan lingkungan laut yang keras.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan di atas, berikut rumusan masalah yang akan dianalisis dalam penelitian tugas akhir ini:

1. Bagaimana besar pengaruh *heat input* mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW?
2. Bagaimana besar pengaruh *heat input* mempengaruhi struktur metalografi pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW?
3. Bagaimana besar pengaruh *groove angle* mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW?
4. Bagaimana besar pengaruh *groove angle* mempengaruhi struktur metalografi pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW?

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah yang telah disusun, berikut tujuan penelitian tugas akhir ini:

1. Mengetahui besar pengaruh *heat input* mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW.
2. Mengetahui besar pengaruh *heat input* mempengaruhi struktur metalografi pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW.
3. Mengetahui besar pengaruh *groove angle* mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW.
4. Mengetahui besar pengaruh *groove angle* mempengaruhi struktur metalografi pada sambungan plat material ASTM A36 metode SMAW.

1.4 Manfaat

Dari penelitian ini besar harapan dapat memberi manfaat untuk memahami peran kombinasi variasi *heat input* dan variasi *groove angle* sambungan material plat baja ASTM A36 dalam kekuatan tarik dan struktur metalografi untuk dunia institusi akademisi serta konstruksi industri maritim sektor struktur lepas pantai yang mengedepankan efisiensi dalam aplikasi lapangan.

1.5 Batasan Masalah

Agar analisis dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan dalam tugas akhir ini dengan menentukan batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan dibatasi pada satu metode pengelasan saja yaitu SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) posisi 1G sebagaimana salah satu metode yang paling umum dan hemat biaya serta mudah diaplikasikan dalam fabrikasi dan konstruksi struktur lepas pantai.
2. Elektroda yang digunakan adalah E7016 dengan merk *Familiarc Kobe* dengan spesifikasi
 - a. Kobe LB52U 3.2mm untuk *Root Pass* untuk semua variasi *heat input*.
 - b. Kobe LB52 3.2mm untuk *Hot Pass* untuk semua variasi *heat input*.
 - c. Kobe LB52 4.0mm untuk *Fill Pass* untuk semua variasi *heat input*.
 - d. Kobe LB52 3.2mm untuk *Cap Pass* untuk semua variasi *heat input*.

3. Penelitian ini akan dibatasi dengan divariasikan arus listrik rendah (90 Ampere), sedang (120 Ampere), dan tinggi (160 Ampere) untuk mendapat beragam *heat input* serta tipe sambungan masing-masing spesimen adalah bentuk kampuh v tunggal dengan *groove angle* yang divariasikan umum (60°), lebar (75°), dan eksperimental (90°).
4. Material yang digunakan merupakan ASTM A36 homogen berukuran tebal = 12mm, lebar = 120mm, dan panjang = 200mm.
5. Material ASTM A36 akan mendapat perlakuan *pre-heating* tanpa perlakuan *post-heating* agar mendapatkan hasil pengelasan yang maksimal.
6. Pengujian yang dilakukan adalah Uji Kekuatan Tarik dan Uji Struktur Metalografi yang terdiri dari pengujian makroetsa serta mikroetsa dari material ASTM A36 yang mengacu pada standar AWS D1.1 (*Structural Welding Structure Code – Steel*) dan standar ASTM E3-01 (*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian oleh Fridayan et al. (2017) menghasilkan pernyataan semakin besar bentuk kampuh semakin kecil kekuatan tarik material dan semakin kecil nilai *heat input* semakin besar kekuatan luluh material. Di antara kampuh dengan bentuk *single v*, *double v*, dan *u* menghasilkan kampuh bentuk *double v* dengan kekuatan tarik tertinggi (527,48MPa) dan *u* dengan kekuatan tarik terendah (474,2MPa). Di antara *heat input* senilai 25kJ/mm, 34kJ/mm, dan 57kJ/mm variasi *heat input* 25kJ/mm dengan kekuatan luluh tertinggi (405,97MPa) dan 57kJ/mm dengan kekuatan luluh terendah (362,56MPa). Dengan pengujian korosi yang telah dilakukan menghasilkan *heat input* 25kJ/mm bentuk *u* memiliki laju korosi tertinggi (1,3215mm/year) dan *heat input* 34kJ/mm bentuk *double v* memiliki laju korosi terendah (0,3325mm/year).

Penelitian oleh Yuniarto et al. (2019) menghasilkan pernyataan semakin besar *heat input* semakin besar nilai kekuatan tarik material. Jurnal tersebut membahas metode pengelasan FCAW dengan pengaruhnya terhadap sifat mekanik dari sambungan baja BKI Grade A dengan variasi *heat input* 1,19KJ/mm, 1,32KJ/mm, dan 1,46KJ/mm. Dalam pengujian tarik, suhu input 1,46 KJ/mm menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan *ultimate strength* 453,85MPa, menunjukkan bahwa *heat input* yang lebih tinggi meningkatkan kekuatan tarik. Dalam pengujian metalografi, *heat input* 1,46KJ/mm memiliki lebar *HAZ* terbesar dengan lebar 18mm, dan pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa suhu input ini memiliki presentase struktur *ferrite* terkecil di *weld metal*, yaitu 61,1%.

Penelitian oleh Prameswati et al. (2019) menghasilkan pernyataan *heat input* yang lebih besar maka lebar *HAZ* meningkat pula. Penelitian ini membahas sifat mekanik dan struktur mikro spesimen dipengaruhi oleh komposisi penutup gas pada pengelasan GMAW JIS G30101. Lapisan gas 100% CO₂ membuat las yang lebar dan dalam, sementara lapisan gas 80% CO₂ + 20% Ar membuat las yang runcing dengan penetrasi lebih dalam. Semakin banyak *heat input* yang dimasukkan, semakin banyak *splatter* dan *undercut* yang dihasilkan. Ini karena lebih banyak *heat input* yang dimasukkan meningkatkan ukuran butir pada mikrostruktur. Selain itu, nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan lebar *HAZ* berkorelasi positif dengan *heat input*. Namun, nilai kekuatan *impact* berkorelasi negatif dengan *heat input*.

Penelitian oleh Cahyadi & Subiyanto (2023) menghasilkan pernyataan semakin besar sudut *single v joint* semakin besar volume pengisian logam las yang akan menghasilkan peningkatan butiran pada *HAZ* dan *weld metal* material serta laju korosi meningkat seiring dengan peningkatan *single v joint*, dengan *base metal* memiliki laju korosi paling rendah dan *weld metal* memiliki laju korosi paling tinggi. Dengan variasi sudut *single v joint* sebesar 55, 65, dan 75 menghasilkan laju korosi sebanyak 0,36mm/year, 1,66mm/year, dan 6,55mm/year berturut-turut. Karena patahan terjadi di *base metal*, peningkatan variasi sudut pada sambungan las *single v joint* tidak mempengaruhi hasil uji tarik. Ini menunjukkan bahwa pilihan elektroda dan metode multipass telah sesuai. Adanya anisotropi atau reaksi mekanik yang berbeda dalam berbagai arah yang ditunjukkan oleh fluktuasi nilai uji tarik dengan patahan di *base metal*. Peningkatan variasi sudut *single v joint* juga menyebabkan transformasi ukuran butir mikrostruktur pada daerah *HAZ* dan *weld metal*. Dalam seluruh variasi sudut tidak ditemui transformasi fasa.

Penelitian oleh Randyka et al. (2019) menghasilkan pernyataan semakin besar sudut pada *groove* pengelasan maka elektroda cair yang mengisi juga semakin banyak sehingga menghasilkan kandungan *ferrite* yang lebih dominan dan makin besar *heat input* akibat arus maka kandungan *pearlite* makin dominan. Penelitian ini menghasilkan bahasan bagaimana pada pengujian lengkung didapatkan hasil tertinggi yaitu pada pengelasan GMAW dengan *groove angle* 90° dan arus 120A dengan hasil tidak terjadi *open defect*. Sedangkan pengujian lengkung dengan nilai terendah yaitu pada pengelasan GMAW dengan *groove angle* 50° dan arus 160A. Arus yang diberikan saat pengelasan juga dapat mempengaruhi hasil dari uji lengkung tersebut.

Penelitian oleh Xie et al. (2022) menghasilkan pernyataan semakin besar *heat input* maka semakin besar ukuran butir las yang mempengaruhi *Microstructure Coarse-Grained Heat-affected Zone (CGHAZ)* yang menghasilkan fasa *bainite lath* dan *bainite granular* yang tersusun bergantian pada *heat input* pengelasan 18kJ/cm, dengan mode patahan yang melibatkan fraktur getas dan ulet. Pada *heat input* 24kJ/cm, *CGHAZ* didominasi oleh fasa *bainite* berbentuk *lath* yang tersusun paralel menghasilkan morfologi kepatahan ulet dengan banyak sifat mekanik yang optimal. Dengan input *heat input* 30kJ/cm, terlihat pertumbuhan butir yang besar, fasa *lath martensite* yang lebih rendah, dan karakteristik kepatahan getas. Untuk menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan, pengelasan baja karbon rendah tersebut membutuhkan *heat input* sekitar 24kJ/cm.

Penelitian oleh Shen et al. (2012) menghasilkan analisis pengaruh input panas terhadap geometri *bead* las pada sambungan baja ASTM A709 Grade 50 menggunakan proses las busur terendam (SAW) dengan kawat tunggal dan ganda. Karakteristik utama las, seperti *reinforcement bead*, lebar *bead*, kedalaman penetrasi, *Heat-affected Zone* (HAZ), area deposisi, area penetrasi, dan total area cairan logam dianalisis. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan input panas umumnya meningkatkan ukuran *bead* dan HAZ, tetapi mengurangi sudut kontak *bead*. Efisiensi peleburan elektroda awalnya meningkat seiring dengan peningkatan input panas, tetapi kemudian menurun, sedangkan efisiensi peleburan pelat tetap relatif tidak berubah. Studi ini juga menemukan hubungan linear antara waktu pendinginan ($800\text{--}500^{\circ}\text{C}$) dengan parameter seperti total area *nugget*, panjang batas perpindahan panas, dan parameter *nugget*. Temuan ini berkontribusi dalam optimalisasi parameter pengelasan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi las dalam aplikasi industri.

Penelitian oleh Xie et al. (2015) menghasilkan analisis pengaruh siklus termo-mekanis terhadap *Coarse Grain Heat-affected Zone* (CGHAZ) pada baja rendah karbon berkekuatan tinggi dengan kekuatan luluh 1000 MPa. Menggunakan mikroskop elektron dan difraksi hamburan balik elektron (EBSD), para peneliti menganalisis bagaimana berbagai laju pendinginan ($t_8/5$) memengaruhi evolusi mikrostruktur dan sifat mekanik. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan waktu pendinginan mengubah mikrostruktur dari lath martensit menjadi lath bainit dan akhirnya menjadi bainit granular kasar, yang awalnya meningkatkan ketangguhan impak tetapi kemudian menurun akibat pembentukan konstituen *martensit-austenit* (M–A) yang kasar. Analisis EBSD mengungkapkan bahwa lath bainit mempertahankan orientasi kristalografi yang mirip dengan martensit, sehingga menguntungkan bagi ketangguhan. Namun, konstituen M–A yang lebih besar, terutama di batas butir austenit sebelumnya, menyebabkan penurunan ketangguhan karena konsentrasi tegangan dan patahan kerapatan. Temuan ini membantu memahami bagaimana siklus termal pengelasan memengaruhi kinerja mekanik baja berkekuatan tinggi.

Penelitian oleh Aldalur et al. (2020) menghasilkan analisis bawasannya *Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM) menggunakan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) untuk deposisi baja lunak. WAAM adalah teknik *Additive Manufacturing* (AM) yang berkembang, memungkinkan produksi komponen logam berskala besar dengan biaya lebih rendah dan tingkat deposisi lebih tinggi dibandingkan metode AM lainnya. Penelitian ini berfokus pada perbandingan dua strategi deposisi—osilasi dan tumpang tindih—dalam hal produktivitas,

pertumbuhan lapisan, mikrostruktur, dan sifat mekanik. Studi ini menyoroti peran penting input panas dalam menjaga stabilitas proses serta memengaruhi sifat material. Hasil menunjukkan bahwa strategi osilasi meningkatkan produktivitas, sementara input panas secara signifikan mempengaruhi evolusi mikrostruktur dan kekuatan mekanik. Temuan ini berkontribusi pada optimalisasi WAAM untuk aplikasi industri seperti konstruksi, otomotif, dan energi angin.

Penelitian oleh Zhao et al. (2017) menghasilkan analisis dampak pengelasan terhadap kekuatan sambungan T-stub dari baja berkinerja tinggi, khususnya membandingkan baja S690 yang mengalami proses pemanasan ulang, pendinginan cepat, dan *tempering* (RQT) dengan baja S385 yang diproses secara termo-mekanis terkontrol (TMCP). Eksperimen dilakukan dengan mengelas pelat baja hingga seluruh ketebalannya terpengaruh oleh panas las, kemudian dilakukan uji tarik, analisis mikrostruktur, dan pengukuran kekerasan Vickers. Hasilnya menunjukkan bahwa pengelasan secara signifikan melemahkan zona terpengaruh panas (HAZ) pada baja RQT-S690, sementara baja TMCP-S385 tetap hampir tidak terpengaruh. Sambungan T-stub juga diuji dalam kondisi tarik, dan daya tahan plastisnya dibandingkan dengan prediksi berdasarkan Eurocode 3 (EC3). Studi ini menemukan bahwa persamaan EC3 tidak sepenuhnya memperhitungkan efek pelemahan akibat pengelasan pada sambungan RQT, sehingga menghasilkan prediksi yang berpotensi tidak aman. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini mengusulkan faktor reduksi guna memodifikasi perhitungan EC3 agar lebih konservatif dan akurat dalam memperkirakan kekuatan sambungan. Temuan ini menekankan pentingnya mempertimbangkan efek pengelasan dalam desain struktur baja berkinerja tinggi.

Penelitian oleh Singh et al. (2019) menghasilkan pernyataan bahwa sudut kampuh yang lebih besar menurunkan kekuatan tarik secara linear. Kekuatan tarik maksimum adalah 513,68MPa pada sudut kampuh 50° dan kekuatan tarik minimum adalah 471,29MPa pada sudut kampuh 70°. Persentase elongasi maksimum bernilai 17,4 persen pada sudut 50° dan kekuatan impak minimum adalah 39,15 Joule pada sudut 70°. Sudut kampuh terbaik untuk penurunan kekuatan impak adalah 50°.

Penelitian oleh Ozlati et al. (2025) yang membahas penggunaan *Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM) dalam pembuatan dinding *bimetal* dari *stainless steel* AISI316L dan aluminium AA5183 menggunakan sambungan transisi bi-layer yang dibuat melalui roll bonding. Tujuan utama dari sambungan transisi ini adalah untuk mengurangi kontak langsung antara aluminium cair dan baja guna mencegah pembentukan senyawa intermetalik Al-Fe yang bersifat rapuh. Studi ini menganalisis pengaruh tiga tingkat panas input dalam proses deposisi

aluminium terhadap mikrostruktur dan performa mekanis antarmuka baja/aluminium. Hasilnya menunjukkan bahwa pada panas input minimum, tidak ditemukan cacat maupun senyawa intermetalik, menghasilkan kekuatan tarik tertinggi (42 MPa). Namun, pada panas input yang lebih tinggi, terjadi retakan di antarmuka baja/aluminium akibat pembentukan lapisan IMC yang lebih tebal. Penelitian ini juga mencatat bahwa kandungan silikon (Si) dapat menghambat pertumbuhan IMC, sehingga paduan aluminium dengan kadar Si rendah lebih rentan mengalami pembentukan dan pertumbuhan IMC yang ekstensif. Dibandingkan dengan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) konvensional, proses *Cold Metal Transfer* (CMT) yang digunakan dalam WAAM memiliki laju deposisi lebih rendah (50–80%), biaya peralatan yang relatif mahal, serta memerlukan permukaan logam dasar yang bersih dan bebas oksida untuk menghasilkan sambungan yang optimal.

Penelitian oleh Sharma et al. (2022) meneliti evolusi mikrostruktur dan variasi sifat mekanik melalui ketebalan paduan Al-Fe yang dibuat menggunakan *Friction Stir Alloying* (FSA). Analisis EDS dan TEM mengonfirmasi bahwa $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ merupakan produk reaksi utama dalam sistem paduan ini. Namun, distribusi partikel Fe dan senyawa intermetalik $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ tidak merata di seluruh ketebalan material. Bagian tengah (antara 2-4 mm dari permukaan FSA) diidentifikasi sebagai zona terbaik karena memiliki distribusi partikel yang lebih homogen, ukuran butir yang halus ($\sim 3,6 \mu\text{m}$), serta peningkatan sifat mekanik yang signifikan. Kekerasan mikro di zona pengadukan (stir zone) pada bagian tengah meningkat $\sim 62\%$ dibandingkan dengan logam dasar, sedangkan kekuatan tarik ultimate (UTS) mencapai 134 MPa, lebih tinggi 30% dan 38% dibandingkan bagian atas dan bawah. Studi ini menjelaskan hubungan antara sifat mekanik dengan faktor-faktor seperti dispersi partikel Fe, aliran material, morfologi IMC, dan mekanisme reaksi yang terlibat. FSA menjadi metode yang efisien dalam meningkatkan sifat mekanik paduan Al-Fe tanpa memerlukan perlakuan pasca-pemrosesan seperti rolling atau perlakuan panas.

Penelitian oleh Ye et al. (2015) meneliti pengaruh jenis alur (*groove type*) terhadap distribusi tegangan sisa akibat pengelasan, deformasi, dan lebar daerah sensitasi pada sambungan butt-welded baja tahan karat SUS304. Dengan menggunakan simulasi elemen hingga berbasis ABAQUS, penelitian ini mempertimbangkan efek perpaduan termomekanik, sumber panas bergerak, pengerasan regangan, dan efek anil untuk mensimulasikan profil suhu, medan tegangan, dan deformasi pada sambungan multi-lapisan dengan alur V, K, dan X. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jenis alur memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi

tegangan sisa, distorsi sudut, dan lebar daerah sensitasi. Eksperimen juga dilakukan untuk memverifikasi hasil simulasi dengan mengukur distribusi tegangan sisa dan distorsi sudut, menunjukkan akurasi metode komputasi yang dikembangkan. Selain itu, penelitian ini menyoroti risiko sensitasi pada baja tahan karat austenitik akibat pengikatan kromium (Cr) oleh karbida dalam rentang suhu 500–750°C, yang dapat menyebabkan korosi antarbatas butir dan meningkatkan risiko *Stress Corrosion Cracking* (SCC). Hasil studi ini memberikan wawasan penting dalam desain dan pengelasan struktur baja tahan karat yang digunakan dalam

Penelitian oleh Chen et al. (2015) meneliti pengaruh urutan pengelasan terhadap distorsi dan tegangan sisa pada struktur pelat berpenguaku (*stiffened plate structure*) menggunakan metode elemen hingga (FEM) berbasis *thermal elasto-plastic*. Model numerik yang digunakan mempertimbangkan parameter pengelasan, seperti input panas, kecepatan pengelasan, dan urutan pengelasan. Simulasi dilakukan pada enam urutan pengelasan berbeda, dengan hasil yang menunjukkan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi tegangan sisa dan distorsi struktural. Hasil simulasi dibandingkan dengan eksperimen untuk memverifikasi keakuratannya. Studi ini menyoroti pentingnya prediksi distorsi akibat pengelasan sejak tahap desain dalam konstruksi kapal dan struktur lepas pantai, guna mengurangi biaya produksi dan meningkatkan akurasi dimensi. Selain itu, pendekatan ini memungkinkan optimalisasi urutan pengelasan untuk mengontrol distorsi dan mempertahankan integritas struktural pada aplikasi kelautan dan teknik lainnya.

Penelitian oleh Singh et al. (2025) menyajikan eksperimental yang mengeksplorasi perlakuan busur interlayer dalam manufaktur aditif busur kawat menggunakan TIG (WAAM-TIG) untuk meminimalkan porositas yang berdampak buruk pada sifat mekanik. Tembaga dipilih untuk penelitian ini karena pemanfaatannya yang luas di industri. Deposisi WAAM-TIG bersama dengan perlakuan busur *interlayer* dilakukan dalam mode kontinu (ATC) dan berdenyut (ATP), dan hasilnya dibandingkan dengan sampel as-fabrikasi (AF). Kedua, sampel yang diberi perlakuan busur menunjukkan pengurangan porositas yang signifikan, namun, mode ATP menunjukkan penurunan yang relatif lebih baik dari 16% menjadi 1%. Sampel yang diberi perlakuan busur lebih lanjut juga menunjukkan peningkatan kekerasan yang memastikan peningkatan dalam sifat mekanik.

Penelitian oleh Akbari & Sattari-Far (2009) ini menggunakan teknik elemen hingga untuk menganalisis perilaku termo-mekanik dan tegangan sisa pada pipa yang dilas dengan butt-welded yang berbeda. Tegangan sisa pada permukaan beberapa spesimen las diukur secara eksperimental dengan menggunakan metode pengeboran lubang. Hasil analisis elemen hingga dibandingkan dengan data yang diukur secara eksperimental untuk mengevaluasi keakuratan pemodelan elemen hingga. Berdasarkan penelitian ini, prosedur pemodelan dengan akurasi yang masuk akal dikembangkan. Pemodelan elemen hingga yang dikembangkan digunakan untuk mempelajari efek input panas pengelasan pada besaran dan distribusi tegangan sisa pengelasan pada pipa las *butt-welded* yang terbuat dari baja feritik dan austenitik. Tegangan sisa *hoop* dan aksial pada sambungan pipa yang berbeda dengan tebal 8 mm untuk bentuk *V-groove* dipelajari. Terlihat bahwa input panas pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besaran dan distribusi tegangan sisa pada sisi baja tahan karat pada sambungan yang diteliti.

Penelitian oleh Balaji et al. (2025) menghasilkan pengaruh relaksasi tegangan terhadap peningkatan keuletan telah dipelajari secara ekstensif untuk material logam, terutama melalui uji tarik uniaksial terputus. Namun, komponen dalam proses pembentukan tekan yang khas mengalami kondisi tegangan multiaksial. Jalur beban yang diterapkan diharapkan memiliki pengaruh terhadap regangan kegagalan pasca relaksasi, yang tidak dapat dipelajari di bawah pembebanan uniaksial. Oleh karena itu, uji relaksasi tunggal dilakukan melalui uji tarik biaksial planar terputus pada sampel berbentuk salib dari paduan aluminium. Pengujian dilakukan pada rasio beban yang berbeda untuk menilai ketergantungan jalur beban relaksasi tegangan, yang jika tidak, akan terabaikan.

Penelitian oleh Li et al. (2025) menghasilkan penjelasan mengenai paduan aluminium 7075 adalah jenis material logam ringan dengan sifat mekanik yang tinggi. Karena proses pemadatan yang rumit yang menghasilkan butiran kasar dan retakan, sulit untuk memproduksi paduan aluminium 7075 menggunakan teknik manufaktur aditif seperti laser metal deposition (LMD). Karena struktur kristalnya yang mirip dengan paduan aluminium 7075, serbuk ZrH₂ digunakan dalam penelitian ini sebagai partikel nukleasi selama proses deposisi logam laser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan partikel ZrH₂ memungkinkan butiran menjadi lebih halus, dan kekuatan tarik maksimum di atas 330 MPa, yang menunjukkan kinerja yang menjanjikan di antara paduan Al yang dibuat dengan LMD yang dilaporkan.

Penelitian oleh Veiga et al. (2022) menghasilkan proses manufaktur aditif yang menggunakan metode deposisi energi langsung, salah satunya adalah *Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM), telah mendapatkan banyak perhatian dalam komunitas ilmiah selama dekade terakhir. Penerapan WAAM pada Invar, paduan besi-nikel dan mangan, dengan jumlah karbon kromium yang rendah, yang juga disebut FeNi36 atau Nivarox telah menjadi subjek dari berbagai laporan karena sifatnya yang menantang. Makalah ini memanfaatkan dan menyatukan materi penelitian yang sebelumnya diselidiki dalam teknologi ini, dengan mengambil pendekatan baru berdasarkan studi fenomena simetris yang menjamin kualitas proses. Di satu sisi, metode analisis geometri dinding yang diproduksi disajikan berdasarkan kualitas simetris yang menjamin penggunaan material secara maksimal dan, di sisi lain, pemantauan simetri kolam leleh menggunakan teknik termografi

2.2 Dasar Teori

2.2.1 ASTM A36

Pengertian ASTM A36 merupakan baja karbon rendah sebagaimana difungsikan untuk material produksi yang sering digunakan untuk struktur lepas pantai, konstruksi kapal, dan industri maritim lainnya. Komposisi kimia dan proses produksinya dirancang untuk memberikan keseimbangan yang optimal antara kekuatan mekanik dan keuletan, menjadikannya populer di industri maritim sebagai material sekunder ataupun tersier dalam aplikasi di lapangan. Standar *spec* setiap negara memiliki masing-masing standar yang telah ditetapkan oleh *welding society* yang bersangkutan. Contoh standar *spec* dalam industri maritim jenis baja komposisi *carbon-manganese* adalah JIS (Jepang), ASTM (Amerika), API (Amerika), EN (Eropa), WES (*Japan Welding Engineering Society*), dan standar *spec* lainnya.

Tabel 2.1 Persyaratan Komposisi Kimia Material Baja ASTM A36

(ASTM A36/A36M, 2008)

Product	Shapes	Plates					Bars			
Thickness, in. [mm]	All	To 3/4 [20], inch	Over 3/4 to 1 1/2 [20 to 40], inch	Over 1 1/2 to 2 1/2 [40 to 65], inch	Over 2 1/2 to 4 [65 to 100], inch	Over 4 [100]	To 3/4 [20], inch	Over 3/4 to 1 1/2 [20 to 40], inch	Over 1 1/2 to 4 [100], inch	Over 4 [100]

Carbon, max %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80 - 1.20	0.80 - 1.20	0.85 - 1.20	0.85 - 1.20	...	0.60 - 0.90	0.60 - 0.90	0.60 - 0.90
Phosphorus , max %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15 - 0.40	0.15 - 0.40	0.15 - 0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.2 Ekivalensi Material Baja ASTM A36

(ASTM A36/A36M, 2008)

Type of Steel	JIS	ASTM	API	EN	WES	Ship's Class Standard	JFE Standard
Carbon- Manganese Steel Plates	G3101		API 2H-	EN10025			
	SS330	A36	42	S185		A	
	SS400	A131	2W-42	S235		B	
	G3106						
	SM400	A283		S275		D	
	G3131			EN10113			
	SPHC	A284		S275		E	
	SPHD	A529					
	SPHE	A573Gr.58					
	G3136						
	SN400						JFE-MARIN 400

2.2.2 Heat Input

Heat input (HI) atau masukan panas menunjukkan nilai energi dari sumber panas pengelasan. Energi ini memengaruhi distribusi panas pada proses pengelasan yang berdampak pada besar *peak temperature*, laju pendinginan, serta waktu solidifikasi. *Heat Input* dinyatakan dalam persamaan 2.1:

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{v \times 1000} \quad (2.1)$$

Dengan :

HI : *heat input* (kJ/mm)

V : tegangan (V)

I : arus (A)

v : kecepatan pengelasan (mm/s)

Heat Input memiliki peran dan pengaruh besar dalam pengelasan. Sebagaimana mempengaruhi *penetration*, *dilution*, dan *mechanical properties* dari hasil las tersebut. *Heat Input* juga turut mempengaruhi besar nilai *Heat-Affected Zone (HAZ)* yang memiliki arti daerah di sekitar las yang mengalami perubahan dinamik berlangsung cepat karena proses pengelasan. Peran *Heat Input* dalam pengelasan juga sebagai parameter yang mendukung dikarenakan untuk tenaga las (*welder*) agar dapat mengontrol besar nilai energi panas yang dikenai *base metal* sebagai bahan dari sambungan yaitu *weld metal*.

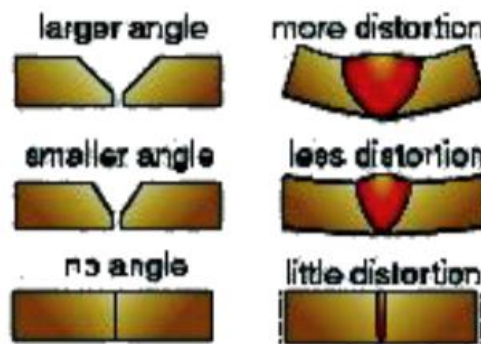
Arus dari mesin las besar pengaruhnya terhadap dilusi atau pencampuran material. Besar nilai arus las maka besar pula dilusi sehingga banyak bagian *base metal* yang mencair. Diameter elektroda juga turut berpengaruh dalam besarnya arus. Besar elektroda maka tinggi pula arus yang digunakan dalam mencairkan elektroda. Pada saat pengelasan, tinggi busur membesar nilai yang dimilikinya maka tegangan akan merangkak naik dan arus las menurun. Kenaikan tegangan akan berlanjut jika tinggi busur semakin besar dan pada akhirnya busur listrik mati (Sonawan & Suratman, 2006).

2.2.3 Groove Angle

Groove Angle (GA) atau sudut kampuh pengelasan menjadi salah satu parameter variasi dalam penelitian ini. Kampuh las memiliki fungsi sebagai penampung bahan isi (*filler metal*) agar lebih merekatkan pada material yang mendapat perlakuan penyambungan metode las.

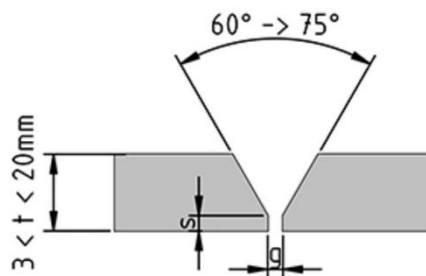
Bentuk kampuh (*groove*) memiliki beragam jenis seperti bentuk V, U, J, dan bentuk lainnya yang kemudian akan diisi dengan filler metal menggunakan busur las seperti elektroda dengan gas pelindung sesuai metode pengelasan yang digunakan. Besar sudut dengan derajat tertentu juga turut diperhatikan sebagaimana sudut mempengaruhi banyaknya filler metal yang akan menjadi weld metal.

Salah satu penyebab kekuatan dan kegagalan dalam teknologi pengelasan tak lain adalah karena faktor distorsi pengelasan. Distorsi pengelasan timbul sebagai efek dari sudut kampuh pengelasan dengan artian perubahan bentuk yang tak diinginkan dari hasil pengelasan sebagaimana akibat dari kontraksi material logam las saat pendinginan. Alhasil dapat menyebabkan sambungan tak sesuai dengan desain awal pengelasan. Sudut kampuh pengelasan berpengaruh langsung terhadap distorsi pengelasan sebagaimana semakin besar sudut kampuh semakin besar distorsi pengelasan yang terjadi.



Gambar 2-1. Distorsi Pengelasan

(Kou, 2002)



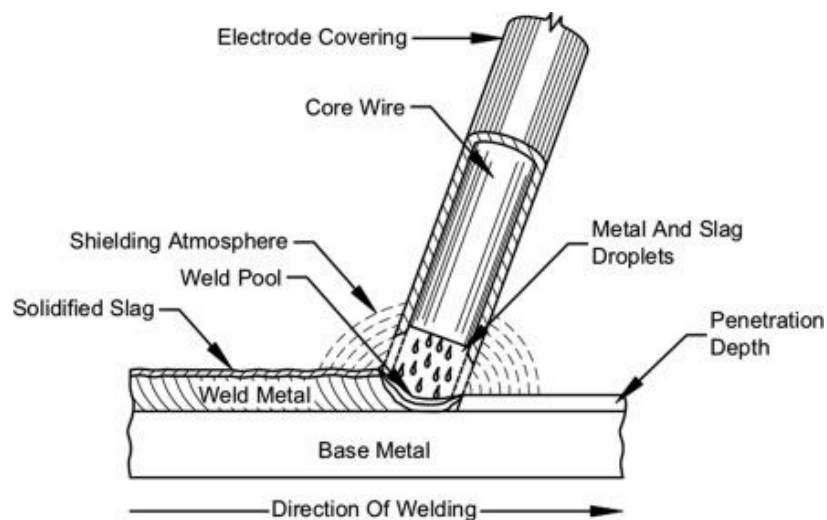
Gambar 2-2. Groove Angle V Bevel

(stevenssae, 2017)

2.2.4 Pengelasan SMAW

Dalam industri maritim seperti perkapalan dan pembangunan struktur lepas pantai, pengelasan merupakan teknologi penting. Sebagaimana dicapai dengan menggunakan panas untuk menggabungkan dua atau lebih material logam, menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama. Pengelasan sering digunakan di lokasi lepas pantai untuk pembangunan dan perawatan platform pengeboran minyak dan gas, serta struktur dasar laut lainnya, hingga untuk pembuatan *deck* berjenis anjungan atau *jacket*. Pengelasan di tempat ini menghadapi masalah seperti tekanan air yang tinggi, suhu yang ekstrim, dan kemungkinan korosi yang disebabkan oleh air laut.

Pengelasan dengan berbagai jenisnya hingga 40 macam atau lebih seperti contoh: *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)/Manual Metal Arc (MMA)*, *Shielded Arc Welding (SAW)/Sub-arc*, *Gas Metal Arc Welding (GMAW)/Metal Active Gas (MAG)*, *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)/Tungsten Inert Gas (TIG)*, dan lainnya. Dalam penelitian ini akan digunakan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* sebagaimana menjadi salah satu metode yang paling umum dan mudah untuk digunakan dalam konstruksi di lapangan atau *on-site* karena tidak memerlukan tabung gas pelindung tambahan ataupun mesin las yang kurang terjangkau.



Gambar 2-3. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

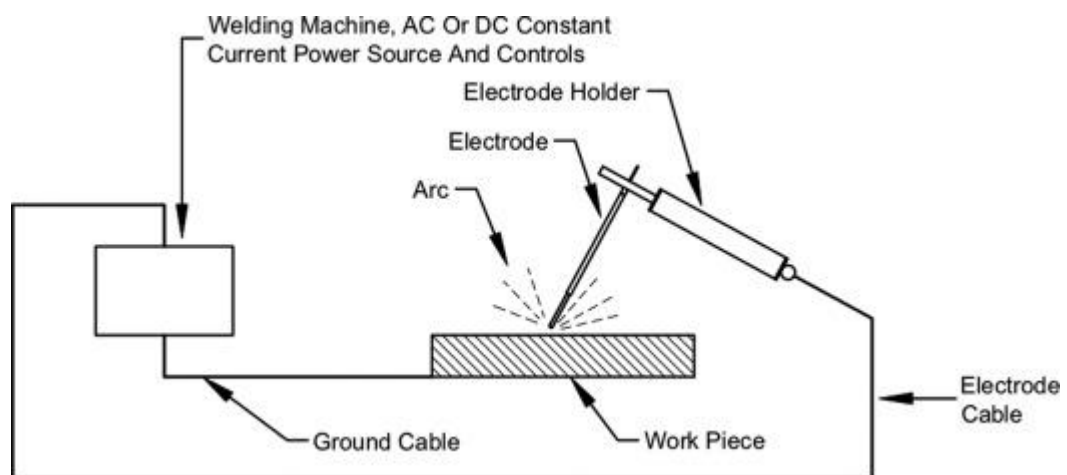
(Stewart, 2021)

SMAW atau *Shielded Metal Arc Welding* sebagaimana salah satu metode pengelasan yang paling umum digunakan karena unsur waktu, tempat, dan biaya, serta pengalaman dan kualifikasinya yang cukup mudah menjadi pilihan utama dalam fabrikasi dan konstruksi baik

di pantai maupun lepas pantai. Adapun dalam aplikasi lokasi lepas pantai yang mengutamakan kecepatan, ketepatan, dan keandalan metode penyambungan material yang minim kegagalan agar segera mendapat kualifikasi dari *Quality Control/Assurance* agar dapat segera digunakan untuk penggabungan untuk konstruksi selanjutnya.

Proses pengelasan ini terjadi karena adanya *arc* atau busur listrik yang melakukan kontak secara langsung dengan material baik besi maupun baja ataupun lainnya sehingga dari kontak tersebut terciptalah percikan arus pendek yang menyebabkan busur listrik tersebut menyala dan meninggalkan *filler* atau pengisi berupa cairan yang juga tertutup oleh gas *shielding*. Pada saat terjadi hubungan pendek welder harus menarik elektroda hingga terbentuk lompatan ion yang menimbulkan panas. Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan *welder* harus menjaga ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama.

Metode pengelasan SMAW diharuskan menggunakan mesin las yang juga memiliki 3 jenis konfigurasi polaritas yakni *Direct Current Reverse Polarity* (DCEP), *Direct Current Straight Polarity* (DCEN), dan *Alternating Current* (AC). Dalam polaritas lurus (DCEN) titik cair bahan induk tinggi dengan kapasitas besar akan dihubungkan dengan kutub negatif sedangkan material yang akan dapat perlakuan pengelasan dihubungkan dengan kutub positif. Adapun polaritas terbalik akan digunakan jika titik cair bahan induk rendah dengan kapasitas kecil akan dihubungkan dengan kutub positif dan sebaliknya.



Gambar 2-4. Rangkaian Pengelasan Umum SMAW

(Stewart, 2021)

2.2.5 Kawat Las Elektroda

Elektroda yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan- bahan fluks yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya (Wiryosumarto, 1996). Jenis-jenis elektroda diklasifikasikan oleh beberapa standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar AWS A5.1 (American Welding Society). Menurut AWS klasifikasi elektroda dengan baja lunak untuk busur las listrik mempunyai kode E XXYZ.

Dengan:

- E : Elektroda busur listrik
- XX: Kekuatan tarik
- Y : Posisi pengelasan
- Z : Jenis arus pengelasan

Elektroda adalah bagian ujung yang berhubungan dengan benda kerja sebagaimana rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Fridayan et al., 2017). Dalam penelitian ini elektroda yang dipakai adalah E7016 dengan spesifikasi berikut:

E : elektroda las listrik dengan diameter 3.2 mm/4.0mm.

70 : Tegangan tarik minimum hasil pengelasan (70 Kpsi/482.65MPa).

1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipakai pada semua posisi pengelasan).

6 : Menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.

2.2.6 *Multipass* Pengelasan

Multipass atau pengelasan berulang yang melibatkan penerapan beberapa lintasan dalam satu sambungan. Sederhananya *multipass* diaplikasikan sebagai perlakuan pengelasan bertahap setelah lintasan las sebelumnya dibiarkan mendingin terlebih dahulu. *Multipass* memiliki beberapa contoh dan fungsi masing-masing dalam mengisi, seperti *root pass*, *hot pass*, *fill pass*, *cap pass*.

Root pass sebagai lapisan pertama pengelasan yang berfungsi sebagai pengisi celah pertama kali yang terletak di antara kedua sambungan material yang akan disambungkan. *Hot pass* sebagai lapisan kedua setelah *root pass* dengan syarat arus listrik yang lebih tinggi dan berfungsi sebagai penguat sambungan dari lapisan pertama. *Fill pass* sebagai lapisan ketiga yang berfungsi melakukan pengisian sisa ruang antara sambungan hingga mencapai permukaan antar material yang disambungkan. Terakhir adalah *Cap pass* sebagai penutup agar hasil pengelasan lolos secara visual dan struktural kelak saat dilakukan pengujian tidak merusak (NDT).

Multipass pengelasan memiliki fungsi yang tak lain menguatkan sambungan material yang memiliki ketentuan berdasar ketebalan material. Sebagai contoh dengan ketebalan <10mm dapat hanya menggunakan 1 hingga 2 lapisan pengelasan saja, sedangkan jika >10mm maka direkomendasikan agar dapat menambah lapisan pengelasan mulai dari 3 hingga 5 ataupun lebih. Dengan adanya *multipass*, *heat input* dapat terkontrol yang memiliki timbal balik pada kekuatan luluh dan tariknya.

2.2.7 Radiografi

Pengujian tidak merusak atau *Non-Destructive Test (NDT)* merupakan pengujian material secara struktural dan visual dalam pengujiannya tidak memerlukan untuk merusak material dari spesimen yang tengah diuji. Sebagaimana pengujian tidak merusak ini digunakan untuk dapat mengetahui secara pasti terdapat atau tidaknya cacat di permukaan maupun di dalam material yang telah dilakukan penyambungan pengelasan. NDT memiliki beberapa jenis pengujian seperti *Radiography Testing (RT)*, *Penetrant Testing (PT)*, *Magnetic Testing (MT)*, dan *Ultrasonic Testing (UT)*, dan lainnya.

Dalam penelitian ini akan digunakan pengujian radiografi atau *Radiography Testing* sebagaimana termasuk dalam pengujian tidak merusak terhadap spesimen yang akan diuji dengan cara penembakan sinar X dan sinar gamma yang dapat menembus material logam tersebut. Selain sinar-sinar tersebut, diwajibkan untuk penggunaan alat bantu penetrometer sebagai parameter penembusan sinar dan kontras meter sebagai parameter ketajaman sinar. Hasil dari pengujian radiografi ini berupa media cetak film.

2.2.8 Kekuatan Tarik

Uji Kekuatan Tarik dapat dilakukan dengan menemukan kemampuan maksimum material pada saat ditarik oleh mesin *Universal Testing Machine* pada umumnya. Nilai minimum beban luluh dan beban maksimum baja ASTM A36 mengacu pada standar ASTM

International A36/A36M, 2008 serta kawat las elektroda E7016 mengacu pada standar AWS A5.1/A5.1M, 2012 sebagai syarat pengujian kekuatan tarik dalam penelitian ini.

Tabel 2.3 Persyaratan Kekuatan Tarik Material Baja ASTM A36

(ASTM A36/A36M, 2008)

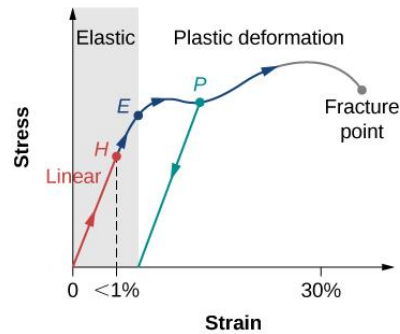
Plates, Shapes, and Bars	Value
Tensile strength, ksi [Mpa]	58 - 80 [400 - 550]
Yield point, min, ksi [Mpa]	36 [250]
Plates and Bars	Value
Elongation in 8 in. [200 mm], min %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min %	23

Tabel 2.4 Persyaratan Kekuatan Tarik Kawat Elektroda E7016

(AWS A5.1/A5.1M, 2012)

Plates, Shapes, and Bars	Value
Tensile strength, ksi [Mpa]	70 - 83 [490 - 570]
Yield point, min, ksi [Mpa]	58 [400]
Plates and Bars	Value
Elongation in 8 in. [200 mm], min %	22
Elongation in 2 in. [50 mm], min %	24

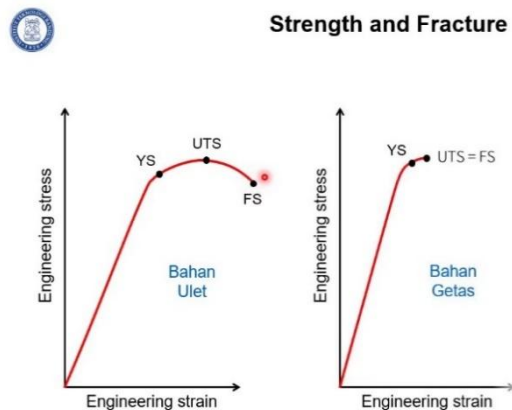
Kekuatan Tarik memiliki artian kemampuan maksimal material dalam menahan beban tarik sebelum mengalami kegagalan atau kepatahan (*Fracture*). Uji Kekuatan Tarik menjadi penyebab semua material yang teruji memiliki deformasi yaitu Deformasi Elastis (*Elastic Deformation*) dengan artian kemampuan material untuk dapat kembali menjadi bentuk semula saat mengalami perubahan bentuk, Deformasi Plastis (*Plastic Deformation*) dengan artian material tak dapat kembali menjadi bentuk semula saat mengalami perubahan bentuk, dan Titik Kepatahan (*Fracture Point*) dengan artian titik material mengalami kerusakan. Pada saat pengujian dapat meninjau jenis deformasi berdasar dari contoh grafik yang disajikan seperti berikut:



Gambar 2-5. Grafik Deformasi Material

(voliro.com, 2025)

Uji Kekuatan Tarik tak hanya memiliki nilai Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*) saja, tetapi juga memiliki nilai Kekuatan Luluh (*Yield Strength*) dengan artian kemampuan material menahan beban tarik sebelum deformasi permanen dan Elongasi (*Elongation*) dengan artian persentase material mengalami pertambahan panjang sebelum terjadi kepatahan. Kepatahan (*Fracture*) terbagi menjadi 2 jenis, yakni Kepatahan Ulet (*Ductile Fracture*) dengan artian kepatahan seiring kekuatan luluh yang tinggi dan Kepatahan Getas (*Brittle Fracture*) dengan artian kepatahan seiring dengan hampir tak ada kekuatan luluh sama sekali. Perbedaan kepatahan tersebut dapat ditinjau dari contoh grafik berikut:



Gambar 2-6. Grafik Perbedaan Kepatahan Ulet dan Kepatahan Getas

(Institut Teknologi Bandung, 2020)

Perhitungan sifat mekanis material setelah dilakukan pengujian dengan mesin *Universal Testing Machine (UTM)* dapat menggunakan rumus:

$$\sigma \text{ Tarik} = \frac{P \text{ Maksimum}}{A} \quad (2.2)$$

$$\sigma \text{ Luluh} = \frac{P \text{ Luluh}}{A} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ (konstan)} \quad (2.5)$$

Dengan :

σ = Tegangan atau *Stress*

ε = Regangan atau *Elongation*

σ Tarik = Tegangan tarik maksimum (N/mm^2)

σ Luluh = Tegangan luluh maksimum (N/mm^2)

E = Modulus elastisitas atau *Young's Modulus*

P Maksimum = Beban maksimum (N)

P Luluh = Beban luluh (N)

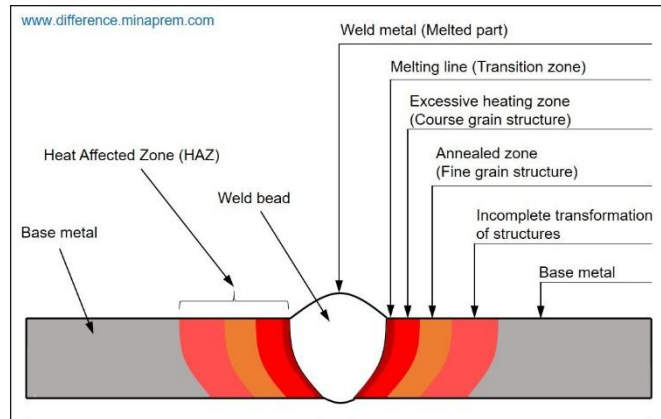
A = Luas penampang sebelum diberi beban (mm^2)

2.2.9 Struktur Metalografi

Struktur metalografi sebagai salah satu metode pengujian merusak atau *Destructive Testing (DT)* memiliki dua jenis pengujian. Uji struktur metalografi terbagi menjadi 2 dengan makroetsa yaitu pengambilan gambar dengan perbesaran hingga 7x dengan alat bantu kamera DSLR dan mikroetsa dengan perbesaran hingga 500x dengan alat bantu mikroskop. Sebelum ditinjau dengan menggunakan mikroskop tersebut perlu dilakukan pengujian material merusak dengan bantuan cairan etsa atau *etching*.

Metalografi secara makrostruktur ditinjau dengan melihat daerah *base metal*, *Heat-Affected Zone (HAZ)*, dan *weld metal*. *Base metal* sebagai logam induk material dasar yang mengalami perlakuan penyambungan saat proses pengelasan berlangsung. *Weld metal* sebagai daerah bentukan dari material pengisi atau *filler* yang mencair kemudian membeku kembali. *HAZ* sebagai daerah di sekitar *weld metal* yang mengalami perubahan akibat panas dari proses pengelasan akan tetapi tidak sampai mencair. Secara skematik, proses pertumbuhan kristal *weld metal* berbentuk pilar yang tumbuh searah dengan sumber panas dan menjadi garis lebur.

Pada garis lebur, sebagian *base metal* mencair dan selama proses pembekuan logam tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama (Wiryosumarto & Okumura, 2000).



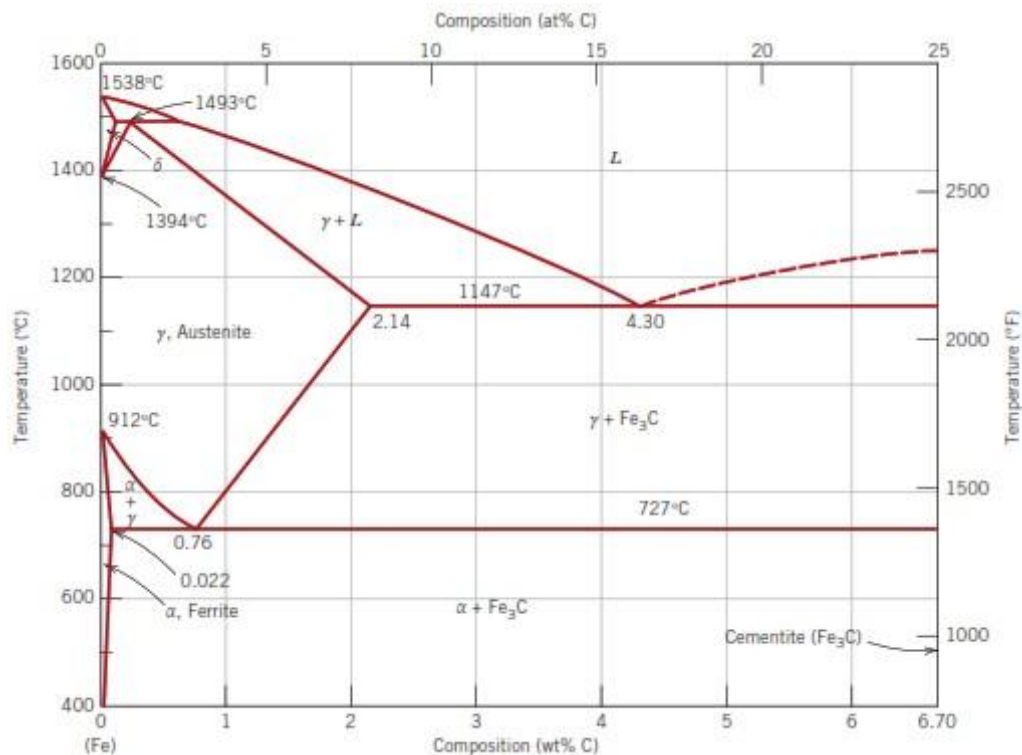
Gambar 2-7. Daerah Pada Kampuh Hasil Pengelasan

(difference.minaprem.com, 2025)

Metalografi secara mikrostruktur ditinjau dengan melihat fasa-fasa yang terjadi di dalam material yang ditinjau. Semua jenis baja karbon termasuk baja ASTM A36 memiliki fasa-fasa perubahan bentuk material berdasar suhu yang akan terealisasi pada saat proses pengelasan. Fasa-fasa tersebut seperti:

1. Fasa *Ferrite* (α -*Ferrite*) akan tercapai pada suhu 727°C dengan struktur kristal *Body Center Cubic* (*BCC*) yang memiliki sifat lunak, ulet, dan nilai kekerasan $< 80 \text{ HRB}$ (*Hardness Rockwell B Scale*).
2. Fasa *Austenite* (γ -*Austenite*) akan tercapai pada suhu 1147°C dengan struktur kristal *Face Center Cubic* (*FCC*) yang memiliki sifat tangguh, mudah dibentuk dan nilai kekerasan $85 < \text{HRB} < 95$.
3. Fasa *Cementite* (Fe_3C) akan tercapai pada saat batas kelarutan karbon terlewati yaitu suhu 1000°C dengan struktur kristal *Orthorhombic* yang memiliki sifat keras tetapi getas (*brittle*). Nilai kekerasan yang dimiliki senilai $60 - 65 \text{ HRC}$ (*Hardness Rockwell C Scale*).
4. Fasa *Pearlite* ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) akan tercapai pada campuran *Ferrite* dan *Cementite* atau dengan nama lain *Eutectoid Reaction* dalam suhu 727°C dengan kandungan karbon hingga $0,83\%$ yang memiliki sifat kuat dan nilai kekerasan $90 - 100 \text{ HRB}$.

5. Fasa *Ledeburite* ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) akan tercapai pada campuran *Austenite* dan *Cementite* atau dengan nama lain *Eutectic Reaction* dalam suhu 1147°C dengan kandungan karbon 4,3% yang memiliki sifat halus tetapi getas (*brittle*) dan nilai kekerasan $< 65 \text{ HRC}$.
6. (Tambahan karena tidak terdapat dalam diagram fasa) Fasa *Martensite* akan tercapai melalui proses pendinginan cepat dari *Austenite* dalam suhu di bawah 200°C setelah pendinginan yang memiliki sifat keras dan kuat tetapi merupakan pembawa sifat getas (*brittle*) tertinggi dalam seluruh tingkatan fasa karbon. Terdapat 2 jenis *Martensite* dengan nama *Plate Martensite* untuk kadar karbon tinggi dan *Lath Martensite* untuk kadar karbon rendah. Fasa *Martensite* memiliki nilai kekerasan $50 - 65 \text{ HRC}$.
7. (Tambahan karena tidak terdapat dalam diagram fasa) Fasa *Bainite* akan tercapai melalui proses pendinginan cepat dari campuran *Ferrite* dan *Cementite* yang tersebar seragam dalam suhu $250 - 550^\circ\text{C}$. *Bainite* berbeda sedikit dengan *Martensite* yang dalam pendinginannya lebih lambat dari *Martensite* akan tetapi lebih cepat dari *Pearlite*. *Bainite* pun terbagi menjadi 2 jenis yaitu *Upper Bainite* yang terbentuk pada suhu lebih tinggi dengan mikrostruktur karbida berada di antara lapisan *Lath Ferrite* serta *Lower Bainite* yang terbentuk pada suhu lebih rendah dengan mikrostruktur karbida berada di dalam *Lath Ferrite*. Fasa *Bainite* memiliki nilai kekerasan $30 - 50 \text{ HRC}$.



Gambar 2-8. Diagram Fasa Besi – Besi-Karbida

(Callister et al., 2018)

Tabel 2.5 Tabel Kekuatan Ketangguhan Struktur dari Fasa-Fasa Besi – Besi-Karbida

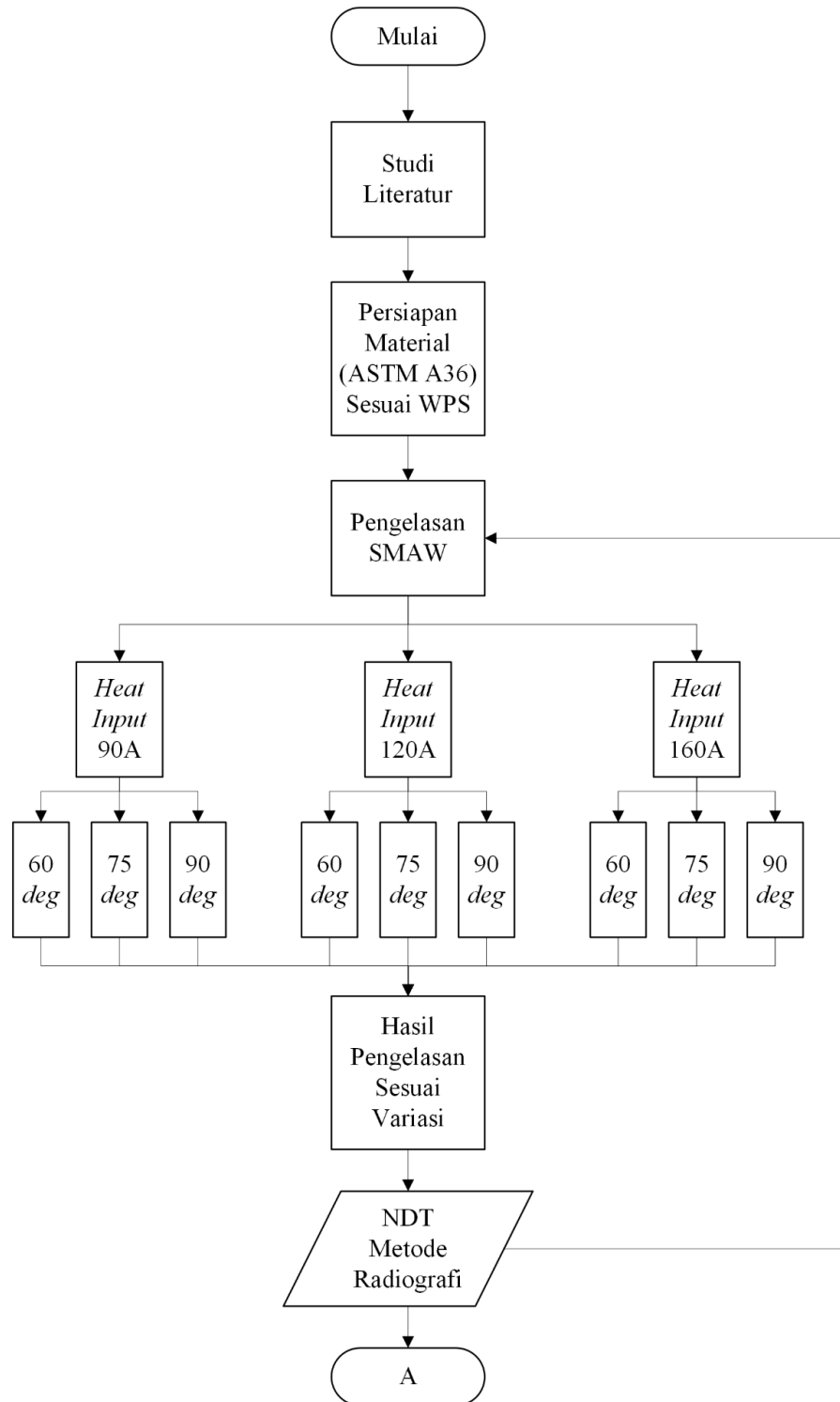
Fase	Kekuatan	Ketangguhan	Struktur	Sumber
<i>Ferrite</i>	Rendah	Tinggi	Struktur BCC yang lembut dan sangat ulet	(Callister et al., 2018)
<i>Austenite</i>	Sedang	Sangat Tinggi	Struktur FCC yang stabil pada suhu tinggi, sangat ulet, dan tahan retak	(Ashby & Jones, 2012)
<i>Pearlite</i>	Sedang hingga tinggi	Sedang	Struktur berlapis dengan kekuatan dan ketangguhan sedang	(Hertzberg, 1996)

<i>Ledeburite</i>	Sangat Tinggi	Rendah	Struktur keras dan rapuh, Contoh: besi cor dengan karbon tinggi	(Callister et al., 2018)
<i>Martensite</i>	Sangat Tinggi	Rendah	Struktur keras dan rapuh, Contoh: alat potong	(Ashby & Jones, 2012)
<i>Bainite</i>	Tinggi (lebih rendah dari <i>Martensite</i>)	Sedang hingga tinggi	Struktur lebih kuat dari <i>Pearlite</i> dan lebih ulet dari <i>Martensite</i> , Contoh: Gigi Transmisi Otomotif	(Hertzberg, 1996)

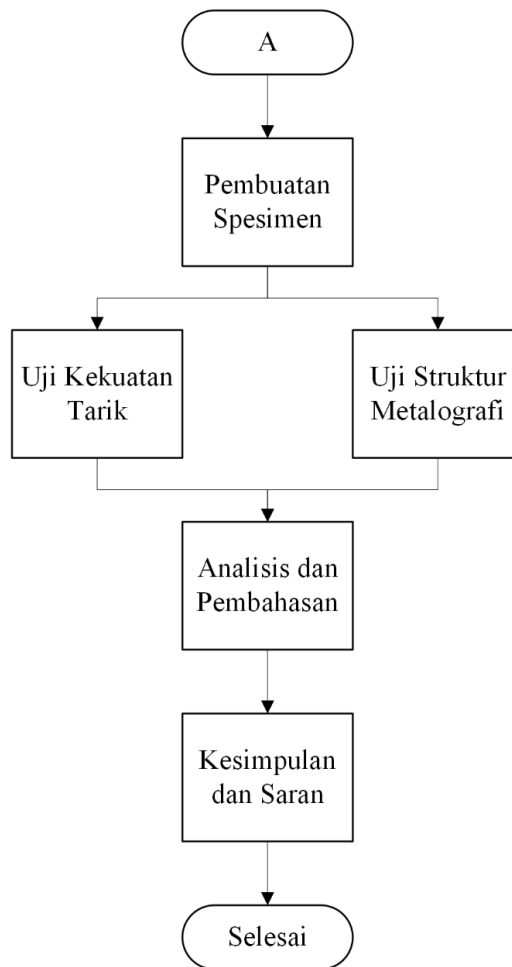
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3-9. Diagram Alir



Gambar 3-10. Diagram Alir (Lanjutan)

3.2 Prosedur Analisis

3.2.1 Studi literatur

Untuk dapat menemukan hasil yang bermanfaat dan berkualitas dalam analisis ini diperlukan studi literatur berupa mencari dasar teori baik dalam jurnal, laporan penelitian, *proceeding*, dan sumber-sumber lainnya yang sesuai standar dan spesifikasi internasional baik dalam prosedur institusi akademisi maupun lapangan hasil observasi secara langsung.

3.2.2 Persiapan material sesuai WPS

Penelitian ini akan menggunakan ketentuan WPS yang telah sesuai dengan standar AWS D1.1 (*Structural Welding Code – Steel*) dan juga akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Material dan Produksi Bangunan Laut Teknik Kelautan FTK ITS, Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK ITS, dan PT ROBUTECH Surabaya.

3.2.3 Pengelasan SMAW Sesuai Variasi

Setelah material baja ASTM A36 disiapkan dan WPS telah ditentukan, proses pengelasan akan dimulai dengan divariasikan arus listrik rendah (90 Ampere), sedang (120 Ampere), dan tinggi (160 Ampere) untuk mendapat beragam *heat input* serta tipe sambungan masing-masing spesimen adalah V *butt joint* dengan *groove angle* yang divariasikan umum (60°), lebar (75°), dan eksperimental (90°).

Perhitungan besar nilai *heat input* masing-masing variasi adalah dengan persamaan (2.1)

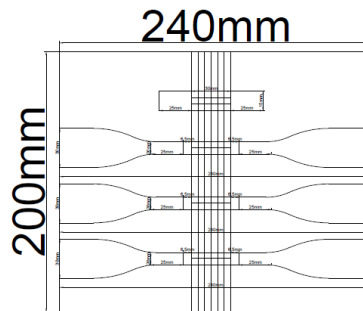
- 90 Ampere dengan 1,19kJ/mm melalui perhitungan $HI = \frac{20,75 \times 82,50 \times 60}{86,25 \times 1000}$
- 120 Ampere dengan 1,66kJ/mm melalui perhitungan $HI = \frac{20,75 \times 114,38 \times 60}{86,25 \times 1000}$
- 160 Ampere dengan 2,10kJ/mm melalui perhitungan $HI = \frac{20,75 \times 145,63 \times 60}{86,25 \times 1000}$

3.2.4 Radiografi

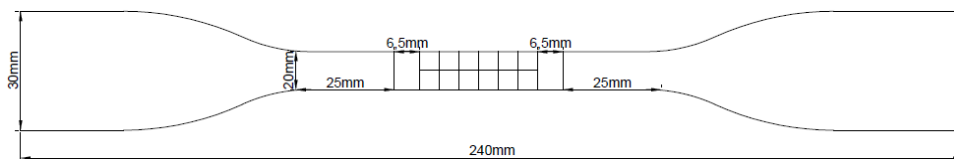
Pengujian tidak merusak atau NDT dapat dilakukan untuk mengetahui hasil pengelasan sesuai variasi yang telah ditentukan tersebut untuk dapat lolos pengecekan visual dan struktural tanpa merusak material. Pengujian radiografi akan menggunakan sinar X pada hasil pengelasan sambungan material baja ASTM A36 tersebut dan akan dilanjutkan dengan uji kekuatan tarik dan uji struktur metalografi.

3.2.5 Pembuatan spesimen

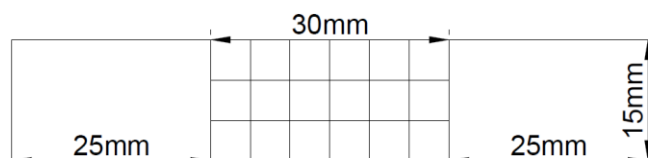
Pembuatan spesimen sesuai pengujian yang akan dilakukan dengan cara dibuat menjadi material uji bentuk batang untuk uji kekuatan tarik. *Plotting* spesimen uji kekuatan tarik akan dibuat berdasarkan ketentuan dari standar AWS D1.1 (*Structural Welding Structure Code – Steel*) sebanyak 3 buah material uji bentuk batang agar dapat menemukan rerata dari masing-masing variasi yang telah ditentukan dan diperlakukan. Spesimen uji struktur metalografi makrostruktur akan dibuat berdasarkan ketentuan dari standar AWS D1.1 (*Structural Welding Structure Code – Steel*)(AWS D1.1, 2020) agar dapat mengenali daerah-daerah berbeda hasil pengelasan, yakni *base metal*, *Heat-Affected Zone (HAZ)*, dan *weld metal* serta mikrostruktur dibuat berdasarkan ketentuan dari standar ASTM E3-01 (*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*) (ASTM E3-01, 2002) agar dapat mengenali fasa-fasa yang dialami oleh material di sekitar *HAZ* hasil dari pengelasan.



Gambar 3-11. Plotting pembuatan spesimen dari material



Gambar 3-12. Spesimen Uji Kekuatan Tarik



Gambar 3-13. Spesimen Uji Struktur Metalografi

3.2.6 Uji Kekuatan Tarik

Uji kekuatan tarik dilakukan agar dapat menemukan nilai kekuatan tarik maksimum dan nilai kekuatan luluh dari sambungan material baja ASTM A36 yang telah dibuat. Standar kekuatan tarik baja ASTM A36 mengacu pada ASTM International A36/A36M, 2008 dan untuk kawat las elektroda E7016 mengacu pada standar AWS A5.1, 2012 akan dilakukan pengujian kekuatan tarik mengacu pada standar AWS D1.1 (*Structural Welding Code – Steel*).

3.2.7 Uji Struktur Metalografi

Uji Struktur metalografi berupa makroetsa dan mikroetsa bertujuan agar dapat melihat hasil pengelasan secara mendetail mengenai daerah panas berupa *base metal*, *Heat-Affected Zone (HAZ)*, dan *weld metal*. Dengan mengikuti standar AWS D1.1 (*Structural Welding Code – Steel*) (AWS D1.1, 2020) untuk pengujian makroetsa dan ASTM E3-01 (*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*) (ASTM E3-01, 2002) untuk pengujian mikroetsa agar dapat tampak daerah-daerah dari material baja ASTM A36 setelah dilakukan pengelasan dan butir-butir komposisi logam setelah proses pengelasan. Makroetsa yaitu

pengambilan gambar dengan perbesaran hingga 7x dengan alat bantu kamera DSLR dan mikroetsa dengan perbesaran hingga 500x dengan alat bantu mikroskop.

3.2.8 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilakukan analisis dan pembahasan sesuai dengan standar-standar yang telah ditetapkan AWS yang berlaku untuk pengujian hasil pengelasan yang telah dilakukan dan diharapkan agar menjawab rumusan masalah yang telah dibuat sebelumnya.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Pengelasan ASTM A36 Sesuai Variasi *heat input* dan *groove angle*

Pengelasan dilakukan di Laboratorium Struktur, Material dan Produksi Bangunan Laut Departemen Teknik Kelautan FTK ITS Surabaya. Pengelasan dilakukan pada material ASTM A36 dengan ukuran panjang 200mm, lebar 120mm, dan tebal 12mm. Terdapat 9 buah sambungan baja ASTM A36 dengan bentuk kampuh v tunggal dengan masing-masing sambungan memiliki variasi *heat input* dan *groove angle* berbeda. Kawat las elektroda yang digunakan adalah tipe E7016 dengan diameter 3.2mm dan 4.0mm. Variasi pengelasan pada sambungan ASTM A36 adalah seperti berikut:

1. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) kode 60A
2. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* sedang (120 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) kode 60B
3. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) kode 60C
4. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) kode 75A
5. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* sedang (120 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) kode 75B
6. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) kode 75C
7. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) kode 90A
8. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* sedang (120 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) kode 90B
9. ASTM A36 ke ASTM A36 dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) kode 90C

Semua detil proses pengelasan dilakukan sesuai dengan *Welding Procedure Specification* (WPS) yang dapat dilihat di lampiran. Berikut adalah contoh hasil pengelasan

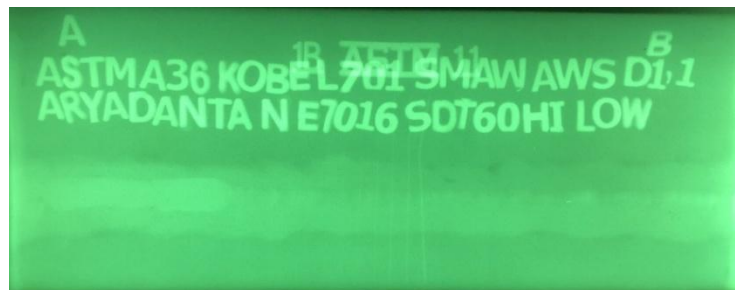
pada kode 60A dengan variasi *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°), hasil lainnya dapat dilihat di lampiran.



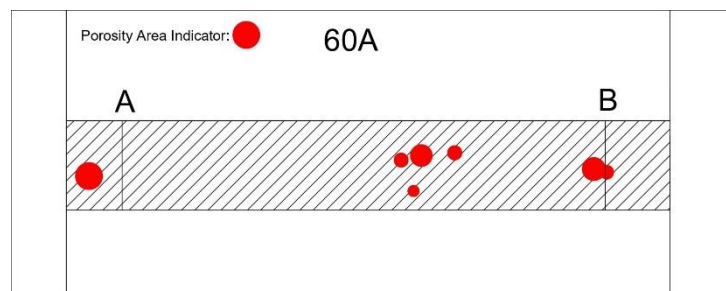
Gambar 4-14. Variasi Kode 60A (HI Rendah 90 Ampere Sudut Umum 60°)

4.1.2 Radiografi Sambungan ASTM A36 Sesuai Variasi *heat input* dan *groove angle*

Non-Destructive Test (NDT) adalah pengujian untuk mengetahui adanya cacat las pada material tanpa merusak material. Dengan menggunakan sinar radioaktif yang disalurkan kepada daerah pengelasan material dan hasilnya akan dipantulkan kedalam film fotografi. Pengujian NDT radiografi dilakukan di PT. ROBUTECH Surabaya. Gambar berikut merupakan contoh film hasil uji NDT pada kode 60A dengan variasi *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°), film lainnya dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4-15. Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A (HI Rendah 90 Ampere Sudut Umum 60°)



Gambar 4-16. Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A (HI Rendah 90 Ampere Sudut Umum 60°)

4.1.3 Uji Kekuatan Tarik Sambungan ASTM A36 Sesuai Standar AWS D1.1 (*Structural Welding Purposes*)

Uji kekuatan tarik merupakan sebuah pengujian yang berfungsi untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap gaya statis. Uji ini sangat dibutuhkan untuk menentukan material yang tepat dalam fabrikasi rekayasa konstruksi bangunan laut berjenis lepas pantai. Uji kekuatan tarik menggunakan standar AWS D1.1 dan dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik berkekuatan 20 Ton bertempat di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS Surabaya. Gambar spesimen sebelum diuji dan sesudah di uji dapat dilihat pada lampiran

Setelah dilakukan uji kekuatan tarik sambungan material ASTM A36 metode pengelasan SMAW menggunakan variasi *heat input* dan *groove angle* maka akan didapatkan data uji tarik yang berupa beban luluh (*yield stress*) dan beban tarik (*ultimate stress*) serta setelah dilakukan analisis perhitungan dapat diketahui kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (*ultimate strength*) yang dapat dilakukan pembagian dengan luas dari spesimen uji kekuatan tarik tersebut *Cross Sectional Area (CSA)* yang disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

4.1.3.1 Hasil Uji Kekuatan Tarik Semua Variasi

Tabel 4.1 Hasil Uji Kekuatan Tarik Semua Variasi

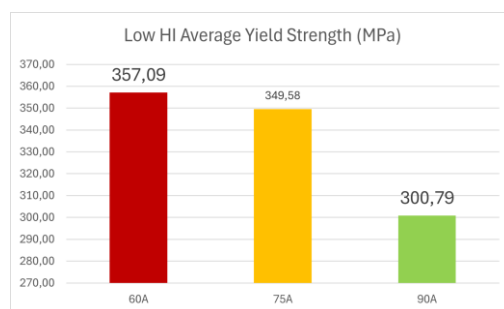
No	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE			F. YIELD		F. ULTIMATE		TENSILE TEST RESULTS		REMARK
		WIDTH	THICK	CSA	kN	N	kN	N	YIELD STRENGTH	ULTIMATE STRENGTH	
		(mm)	(mm)	(mm ²)					(MPa)	(MPa)	
1	60A	19,65	11,61	228,13	73	73000	106,5	106500	364,86	494,84	BM
2	60A	19,65	11,62	228,33	75	75000	107	107000	354,41	494,79	BM
3	60A	19,26	11,53	222,06	73	73000	106	106000	352	471,55	BM
1	60B	19,75	11,37	224,55	67	67000	100	100000	298,37	445,33	BM
2	60B	19,56	11,22	219,46	67	67000	98	98000	305,29	446,55	BM
3	60B	19,27	11,43	220,25	66	66000	97	97000	299,65	440,4	BM
1	60C	19,48	11,49	228,82	72	72000	99	99000	322,5	470,32	BM
2	60C	19,72	11,53	227,37	72	72000	97	97000	335,84	467,93	BM
3	60C	18,25	11,55	210,78	68	68000	97	97000	325,84	447,48	BM

1	75A	19,56	11,54	225,72	57	57000	100	100000	351,6	455,78	BM
2	75A	19,63	11,4	223,78	55	55000	98	98000	348,69	448	BM
3	75A	19,34	11,6	224,34	55	55000	99	99000	348,46	453,22	BM
1	75B	19,38	11,52	223,25	72	72000	101,5	101500	314,65	432,65	BM
2	75B	19,47	11,47	223,32	75	75000	104,5	104500	316,66	426,61	BM
3	75B	19,69	11,69	230,17	75	75000	103	103000	322,61	460,19	BM
1	75C	19,21	11,38	218,6	76	76000	104	104000	347,66	475,75	WM
2	75C	19,01	11,16	212,15	75	75000	97,5	97500	353,52	459,58	WM
3	75C	19,08	11,43	218,08	81	81000	105	105000	371,42	481,47	BM
1	90A	18,23	11,48	209,28	63	63000	94	94000	301,03	449,15	BM
2	90A	19,56	11,57	226,3	68	68000	98	98000	300,48	433,05	BM
3	90A	19,5	11,42	222,69	67	67000	98,5	98500	300,86	442,31	BM
1	90B	19,49	11,25	219,26	80	80000	108,5	108500	319,99	466,83	BM
2	90B	19,21	11,31	217,26	77	77000	107,5	107500	328,47	468,61	BM
3	90B	20,04	11,27	225,85	79,5	79500	106,5	106500	328,73	477,34	BM
1	90C	19,86	11,6	230,37	81	81000	105	105000	252,52	443,02	BM
2	90C	19,77	11,46	226,56	79	79000	101,5	101500	245,77	437,93	BM
3	90C	20,18	11,59	233,56	81,5	81500	106	106000	254,18	441,29	BM

Setelah mengetahui data lengkap dari hasil uji kekuatan tarik yang tersaji dalam bentuk tabel, dapat dianalisis dan dilakukan perbandingan baik dari sesama variasi *heat input* atau *groove angle* maupun antar variasi.

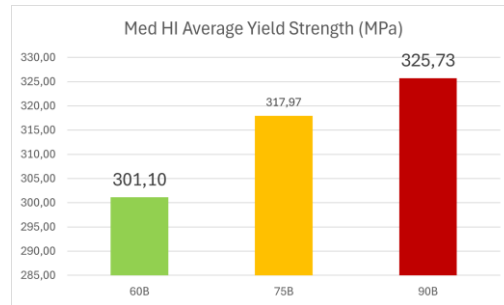
4.1.3.2 Kekuatan Luluh

Kekuatan luluh material berdasar dari kemampuan material menahan beban yang diberikan sebelum mengalami deformasi plastis. Hasil analisis dan perbandingan kekuatan luluh disajikan dalam bentuk grafik-grafik berikut:



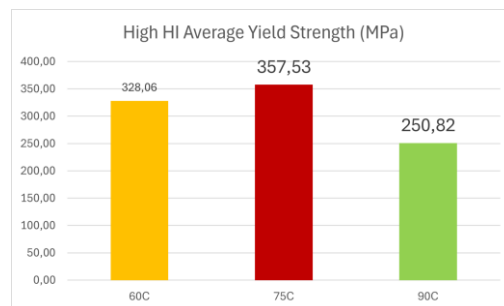
Gambar 4-17. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi *HI* Rendah

Dari **Gambar 4-4**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh sesama variasi *heat input* rendah (90 Ampere). Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *groove angle* umum (60°), sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 90A dengan *groove angle* eksperimental (90°).



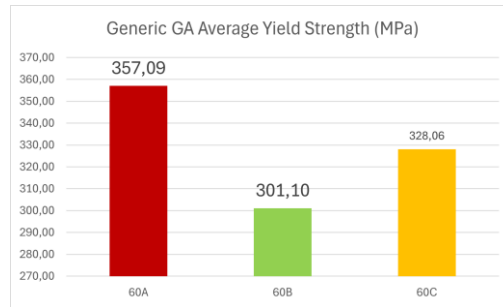
Gambar 4-18. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi *HI* Sedang

Dari **Gambar 4-5**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh sesama variasi *heat input* sedang (120 Ampere). Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 90B dengan *groove angle* eksperimental (90°), sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 60B dengan *groove angle* umum (60°).



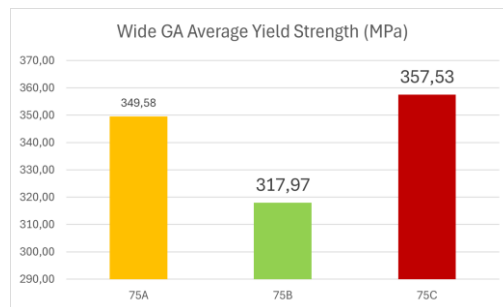
Gambar 4-19. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi *HI* Tinggi

Dari **Gambar 4-6**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh sesama variasi *heat input* tinggi (160 Ampere). Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C dengan *groove angle* lebar (75°), sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh *groove angle* eksperimental (90°).



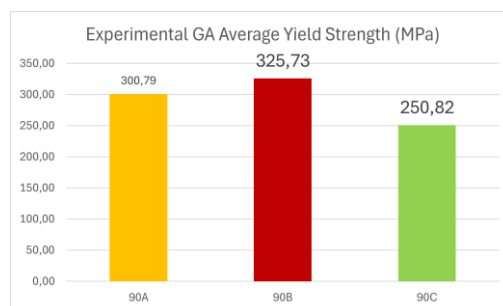
Gambar 4-20. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi *GA* Umum

Dari **Gambar 4-7**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh sesama variasi *groove angle* umum (60°). Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere), sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 60B dengan *heat input* tinggi (160 Ampere).



Gambar 4-21. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi *GA* Lebar

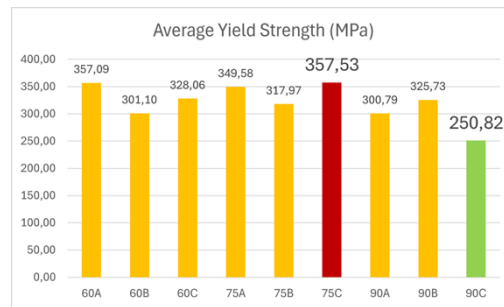
Dari **Gambar 4-8**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh sesama variasi *groove angle* lebar (75°). Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere), sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 75B dengan *heat input* sedang (120 Ampere).



Gambar 4-22. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Antar Variasi *GA* Eksperimental

Dari **Gambar 4-9**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh sesama variasi *groove angle* eksperimental (90°). Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 90B dengan *heat input* sedang (120 Ampere), sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere).

4.1.3.3 Analisis Kekuatan Luluh Semua Variasi

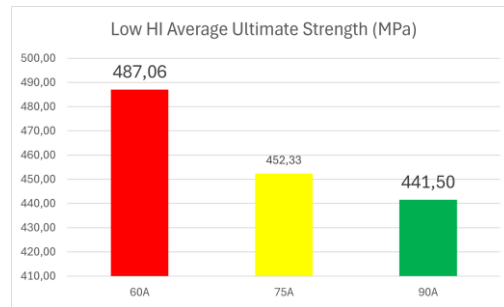


Gambar 4-23. Grafik Perbandingan Kekuatan Luluh Semua Variasi

Dari **Gambar 4-10**, didapatkan perbandingan kekuatan luluh semua variasi *heat input* dan *groove angle*. Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) [357,53MPa], sedangkan kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) [250,82MPa].

Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa *heat input* dan *groove angle* memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan luluh material. Semakin besar *heat input*, semakin tinggi energi panas yang diberikan, yang menyebabkan perubahan mikrostruktur berupa pertumbuhan butir yang lebih besar dan peningkatan fase yang lebih lunak seperti ferrite, sehingga kekuatan luluh menurun. Selain itu, semakin besar *groove angle*, semakin luas daerah yang mengalami pemanasan selama proses pengelasan, sehingga memperlambat pendinginan dan meningkatkan proporsi ferrite yang lebih besar dan kasar. Kombinasi *heat input* dan *groove angle* yang tidak tepat dapat menyebabkan penurunan signifikan dalam kekuatan luluh, yang pada akhirnya dapat menurunkan performa mekanik material. Selain itu, perubahan mikrostruktur ini juga berpengaruh pada elongasi material. Peningkatan *heat input* dan *groove angle* yang berlebihan cenderung meningkatkan kandungan ferrite yang lebih besar dan kasar, yang mengurangi sifat deformasi plastis material. Hal ini dapat menyebabkan elongasi material menurun, karena mikrostruktur yang lebih kasar cenderung lebih mudah mengalami retak atau deformasi sebelum mencapai regangan maksimum.

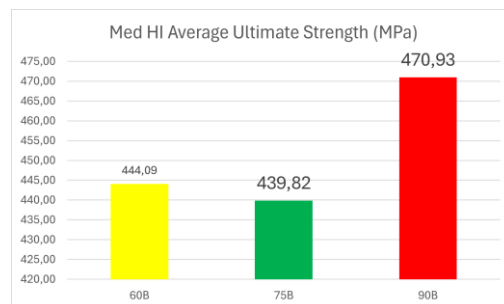
4.1.3.4 Kekuatan Tarik



Gambar 4-24. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi *HI* Rendah

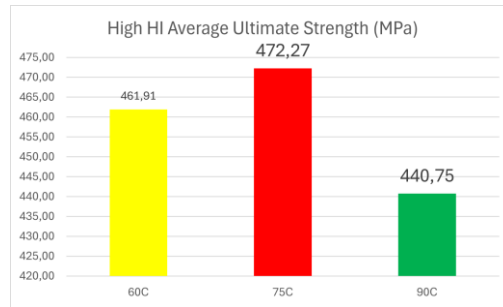
Dari **Gambar 4-11**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi *heat input* rendah (90 Ampere). Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *groove angle* umum (60°), sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *groove angle* eksperimental (90°).

Kekuatan tarik material berdasar dari kemampuan material menahan beban yang diberikan sebelum mengalami *fracture*. Hasil analisis dan perbandingan kekuatan tarik disajikan dalam bentuk grafik-grafik berikut:



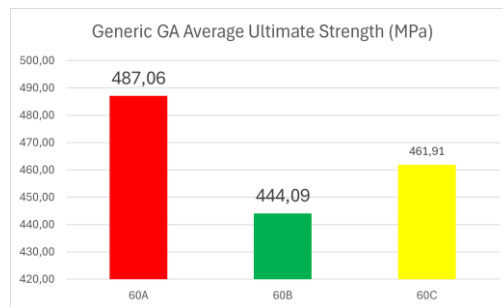
Gambar 4-25. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi *HI* Sedang

Dari **Gambar 4-12**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi *heat input* sedang (120 Ampere). Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 90B dengan *groove angle* umum (60°), sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *groove angle* eksperimental (90°).



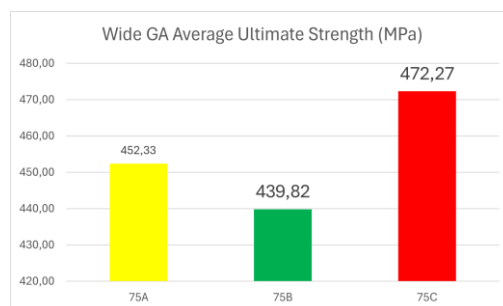
Gambar 4-26. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi *HI* Tinggi

Dari **Gambar 4-13**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi *heat input* tinggi (160 Ampere). Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 60C dengan *groove angle* umum (60°), sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *groove angle* eksperimental (90°),.



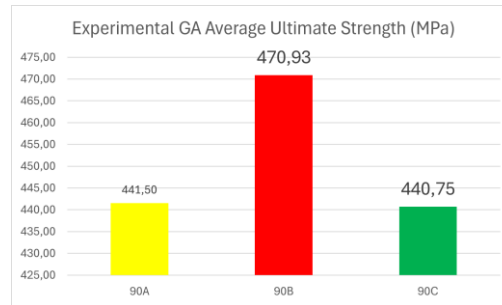
Gambar 4-27. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi *GA* Umum

Dari **Gambar 4-14**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi *groove angle* umum (60°). Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere), sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 60C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere),.



Gambar 4-28. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi *GA* Lebar

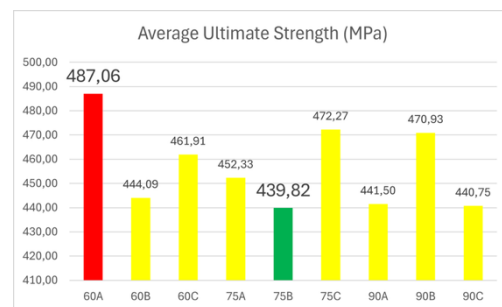
Dari **Gambar 4-15**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi *groove angle* lebar (75°). Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere), sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 75B dengan *heat input* sedang (120 Ampere).



Gambar 4-29. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Antar Variasi GA Eksperimental

Dari **Gambar 4-16**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi *groove angle* eksperimental (90°). Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 90B dengan *heat input* sedang (120 Ampere), sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere).

4.1.3.5 Analisis Kekuatan Tarik Semua Variasi



Gambar 4-30. Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Semua Variasi

Dari **Gambar 4-17**, didapatkan perbandingan kekuatan tarik semua variasi *heat input* dan *groove angle*. Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) [487,06MPa], sedangkan kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 75B dengan *heat input* sedang (120 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) [439,82MPa].

Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa *heat input* dan *groove angle* juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik material. Semakin besar *heat input*, semakin lambat laju pendinginan

setelah proses pengelasan, yang menyebabkan butir *ferrite* tumbuh lebih besar dan mengurangi jumlah *pearlite* yang lebih kecil dan lebih kuat (Singh et al., 2019). Akibatnya, kekuatan tarik menurun karena *ferrite* memiliki sifat mekanik yang lebih lemah dibanding *pearlite*. Selain itu, semakin besar *groove angle*, semakin besar volume logam pengisi yang dibutuhkan, sehingga memperlambat pendinginan dan semakin memperbesar struktur *ferrite* yang kasar. Dengan demikian, *heat input* tinggi dan *groove angle* besar dapat memperburuk sifat mekanik material dengan meningkatkan jumlah *ferrite* dan menurunkan kekuatan tariknya.

4.1.4 Uji Struktur Metalografi Sambungan ASTM A36 Sesuai Standar AWS D1.1

(*Structural Welding Purposes*) dan ASTM E3-01 (*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*)

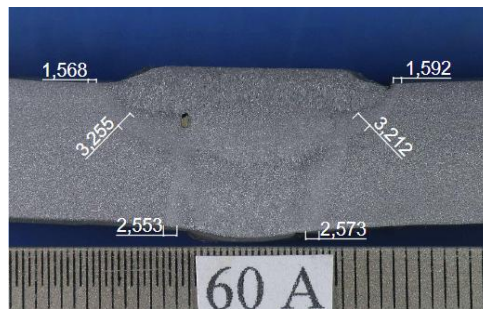
Uji Struktur metalografi adalah struktur dari logam yang terlihat secara makroetsa dan mikroetsa pada permukaan yang di etsa dari spesimen yang telah dipoles. Proses pemolesan (*polishing*) pada proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pemotongan secara berulang-ulang. Pada beberapa proses, partikel-partikel tersebut disatukan sehingga berbentuk blok di permukaan yang ditonjolkan adalah permukaan kerja. Partikel itu dilengkapi dengan partikel abrasif yang menonjol untuk membentuk titik tajam yang sangat banyak.

Proses pemolesan untuk makroetsa menggunakan *abrasive paper* dari *grade* 80, 100, 120, 150, 240, 300, 400, 600 dan pemolesan untuk mikroetsa menggunakan *abrasive paper* pula yang bermula dari *grade* 80, 100, 120, 150, 240, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000. Jikalau permukaan spesimen telah halus dan mengkilap maka selanjutnya dilakukan proses pengetsaan yaitu proses *scrubbing* menggunakan asam kuat yaitu HNO₃ dan Alkohol dengan perbandingan 1 : 10 untuk makroetsa dan HNO₃ dan Alkohol pula dengan perbandingan 1 : 5 untuk mikroetsa. Uji struktur metalografi dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS. Uji struktur metalografi terbagi menjadi dua yaitu makroetsa dan mikroetsa.

4.1.4.1 Uji Struktur Metalografi Makroetsa

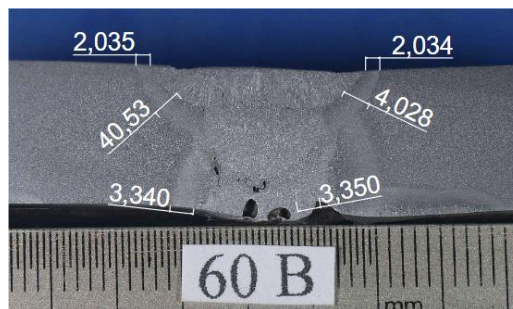
Uji struktur metalografi makroetsa dilakukan perbesaran sebesar 7x menggunakan kamera DSLR, kemudian akan dapat diketahui lebar *HAZ* dari masing-masing lapisan (*pass*). Untuk laporan detil mengenai hasil pengelasan dapat dilihat di lampiran sebagaimana gambar-

gambar berikut merupakan hasil uji struktur metalografi makroetsa dengan masing-masing kode seperti:



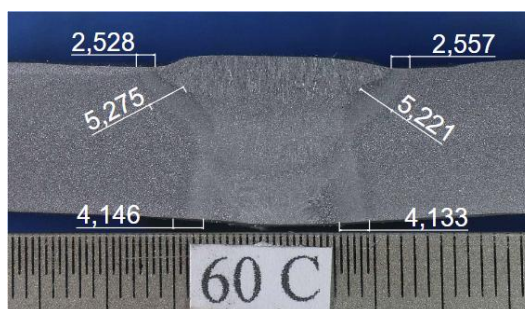
Gambar 4-31. Makroetsa 60A

Dari **Gambar 4-18**, foto makrostruktur spesimen kode 60A merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las *undercut* dan *inclusion* yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 1,58mm, *middle thick* 3,23mm, dan *root pass* 2,56mm.



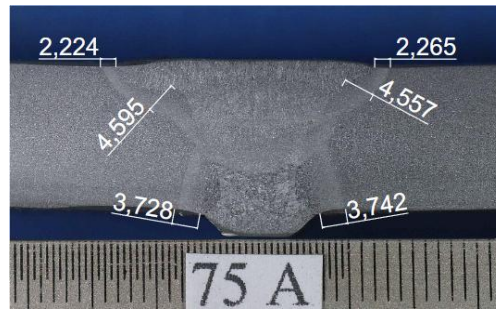
Gambar 4-32. Makroetsa 60B

Dari **Gambar 4-19**, foto makrostruktur spesimen kode 60B merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las *porosity* dan *worm hole* yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 2,03mm, *middle thick* 4,04mm, dan *root pass* 3,35mm.



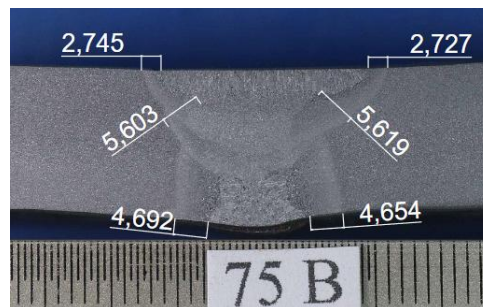
Gambar 4-33. Makroetsa 60C

Dari **Gambar 4-20**, foto makrostruktur spesimen kode 60C merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa tidak terdapat cacat las yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 2,57mm, *middle thick* 5,25mm, dan *root pass* 4,14mm.



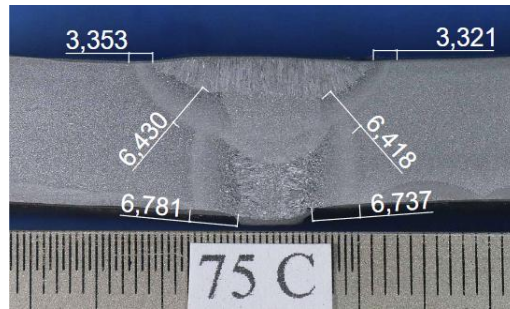
Gambar 4-34. Makroetsa 75A

Dari **Gambar 4-21**, foto makrostruktur spesimen kode 75A merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa tidak terdapat cacat las yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 2,24mm, *middle thick* 4,58mm, dan *root pass* 3,74mm.



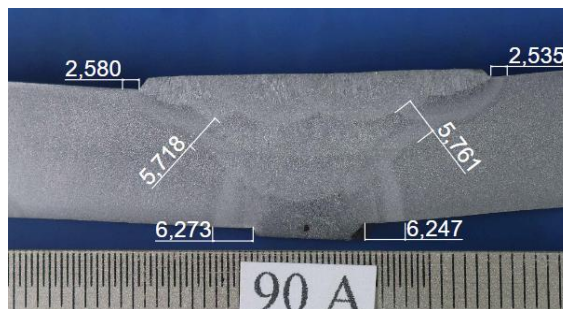
Gambar 4-35. Makroetsa 75B

Dari **Gambar 4-22**, foto makrostruktur spesimen kode 75B merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa tidak terdapat cacat las yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 2,74mm, *middle thick* 5,61mm, dan *root pass* 4,67mm.



Gambar 4-36. Makroetsa 75C

Dari **Gambar 4-23**, foto makrostruktur spesimen kode 75C merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa tidak terdapat cacat las yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 3,34mm, *middle thick* 6,42mm, dan *root pass* 6,76mm.



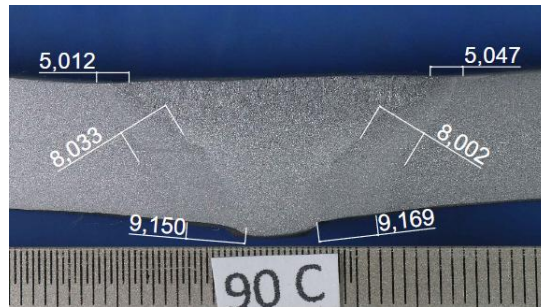
Gambar 4-37. Makroetsa 90A

Dari **Gambar 4-24**, foto makrostruktur spesimen kode 90A merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las *porosity* yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 2,56mm, *middle thick* 5,74mm, dan *root pass* 6,26mm.



Gambar 4-38. Makroetsa 90B

Dari **Gambar 4-25**, foto makrostruktur spesimen kode 90B merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las *porosity* yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 3,03mm, *middle thick* 6,37mm, dan *root pass* 7,54mm.



Gambar 4-39. Makroetsa 90C

Dari **Gambar 4-26**, foto makrostruktur spesimen kode 90C merupakan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x. Dapat dilihat pada gambar bahwa tidak terdapat cacat las yang terjadi. Nilai lebar *HAZ* di *cap pass* 5,03mm, *middle thick* 8,02mm, dan *root pass* 9,16mm.

Dari foto makrostruktur hasil pengujian makroetsa yang menunjukkan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 7x memiliki detail lebar daerah *HAZ* dapat diukur dari 3 lapisan (*pass*) yang terdiri dari kanan dan kiri pada spesimen uji struktur metalografi hasil pengelasan, yaitu: *cap pass/capping* bagian atas spesimen, *middle thick* bagian tengah spesimen, dan *root pass/root weld* bagian bawah spesimen. Dari gambar tersebut juga dapat dihasilkan analisis bahwa semakin tinggi *heat input* dan semakin besar *groove angle* maka semakin lebar daerah *HAZ*. Adapun perbandingan dari masing-masing variasi dengan kode-kode yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik seperti berikut:

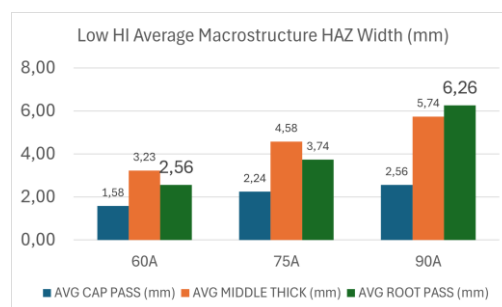
4.1.4.2 Hasil Uji Struktur Metalografi Makroetsa Semua Variasi

Tabel 4.2 Hasil Uji Struktur Metalografi Makroetsa Semua Variasi

CODE MATERIAL	CAP PASS (mm)	MIDDLE THICK (mm)	ROOT PASS (mm)	REMARK	AVG CAP PASS (mm)	AVG MIDDLE THICK (mm)	AVG ROOT PASS (mm)
60A	1,568	3,255	2,553	LEFT	1,58	3,23	2,56

	1,592	3,212	2,573	RIGHT			
60B	2,035	4,053	3,340	LEFT	2,03	4,04	3,35
	2,034	4,028	3,350	RIGHT			
60C	2,582	5,275	4,146	LEFT	2,57	5,25	4,14
	2,557	5,221	4,133	RIGHT			
75A	2,224	4,595	3,728	LEFT	2,24	4,58	3,74
	2,265	4,557	3,742	RIGHT			
75B	2,745	5,603	4,692	LEFT	2,74	5,61	4,67
	2,727	5,619	4,654	RIGHT			
75C	3,353	6,430	6,781	LEFT	3,34	6,42	6,76
	3,321	6,418	6,737	RIGHT			
90A	2,580	5,718	6,273	LEFT	2,56	5,74	6,26
	2,535	5,761	6,247	RIGHT			
90B	3,014	6,370	7,543	LEFT	3,03	6,37	7,54
	3,040	6,367	7,528	RIGHT			
90C	5,012	8,033	9,150	LEFT	5,03	8,02	9,16
	5,047	8,002	9,169	RIGHT			

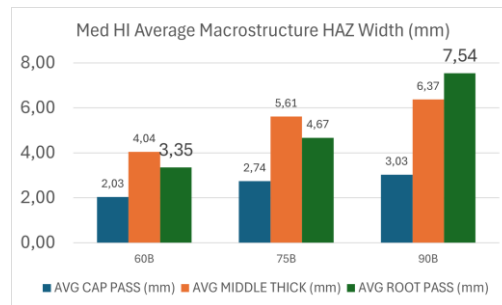
Setelah mengetahui data lengkap dari hasil uji metalografi makroetsa yang tersaji dalam bentuk tabel, dapat dianalisis dan dilakukan perbandingan baik dari sesama variasi *heat input* atau *groove angle* maupun antar variasi.



Gambar 4-40. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur Antar Variasi *HI* Rendah

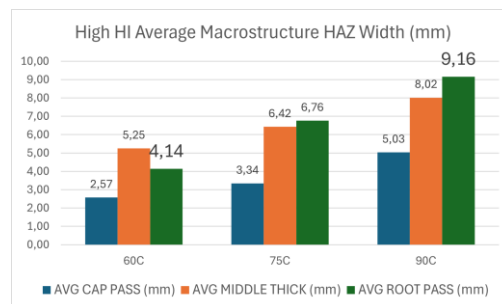
Dari **Gambar 4-27**, didapatkan perbandingan lebar *HAZ* makrostruktur antar variasi *heat input* rendah (90 Ampere). Lebar *HAZ* terbesar dimiliki oleh variasi kode 90A dengan

groove angle eksperimental (90°), sedangkan Lebar *HAZ* terkecil dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *groove angle* umum (60°).



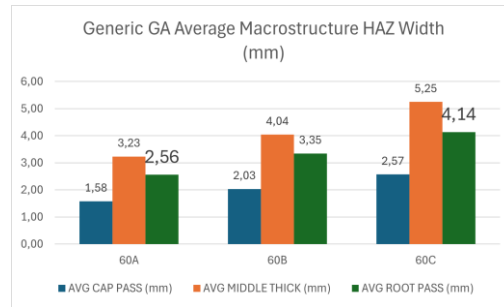
Gambar 4-41. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur Antar Variasi *HI* Sedang

Dari **Gambar IV-28**, didapatkan perbandingan lebar *HAZ* makrostruktur antar variasi *heat input* sedang (120 Ampere). Lebar *HAZ* terbesar dimiliki oleh variasi kode 90B dengan *groove angle* eksperimental (90°), sedangkan Lebar *HAZ* terkecil dimiliki oleh variasi kode 60B dengan *groove angle* umum (60°).



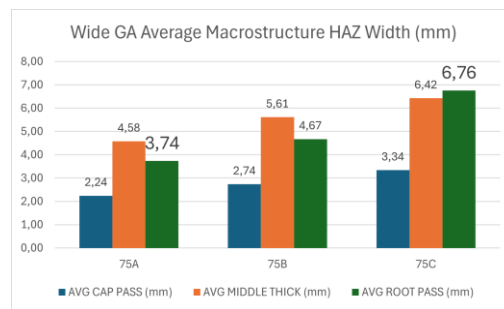
Gambar 4-42. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur Antar Variasi *HI* Tinggi

Dari **Gambar 4-29**, didapatkan perbandingan lebar *HAZ* makrostruktur antar variasi *heat input* tinggi (160 Ampere). Lebar *HAZ* terbesar dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *groove angle* eksperimental (90°), sedangkan Lebar *HAZ* terkecil dimiliki oleh variasi kode 60C dengan *groove angle* umum (60°).



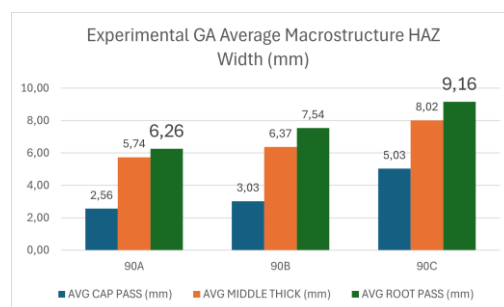
Gambar 4-43. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur Antar Variasi *GA* Umum

Dari **Gambar 4-30**, didapatkan perbandingan lebar *HAZ* makrostruktur antar variasi *groove angle* umum (60°). Lebar *HAZ* terbesar dimiliki oleh variasi kode 60C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere), sedangkan Lebar *HAZ* terkecil dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere).



Gambar 4-44. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur Antar Variasi *GA* Lebar

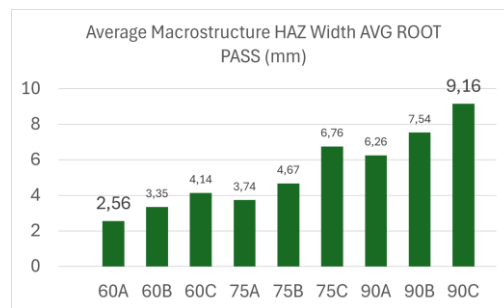
Dari **Gambar 4-31**, didapatkan perbandingan lebar *HAZ* makrostruktur antar variasi *groove angle* lebar (75°). Lebar *HAZ* terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere), sedangkan Lebar *HAZ* terkecil dimiliki oleh variasi kode 75A dengan *heat input* rendah (90 Ampere).



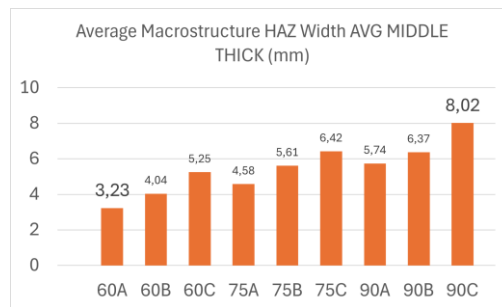
Gambar 4-45. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur Antar Variasi *GA* Eksperimental

Dari **Gambar 4-32**, didapatkan perbandingan lebar *HAZ* makrostruktur antar variasi *groove angle* eksperimental (90°). Lebar *HAZ* terbesar dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere), sedangkan Lebar *HAZ* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90A dengan *heat input* rendah (90 Ampere).

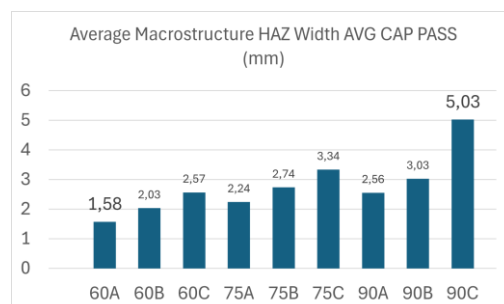
4.1.4.3 Analisis Uji Struktur Metalografi Makroetsa Semua Variasi



Gambar 4-46. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur *AVG Root Pass* Semua Variasi



Gambar 4-47. Grafik Perbandingan Lebar *HAZ* Makrostruktur *AVG Middle Thick* Semua Variasi



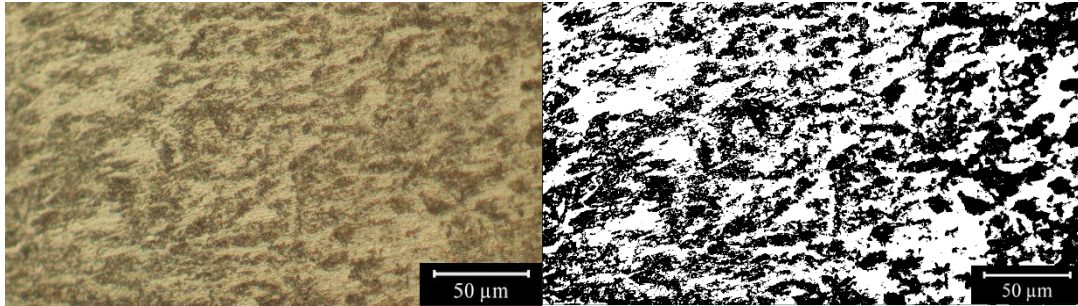
Gambar 4-48. Grafik Perbandingan Lebar HAZ Makrostruktur AVG Cap Pass Semua Variasi

Dari **Gambar 4-33**, **Gambar 4-34**, dan **Gambar 4-35** didapatkan perbandingan lebar HAZ makrostruktur semua variasi *heat input* dan *groove angle*. Lebar HAZ terbesar dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) [*Root Pass* 9,16mm, *Middle Thick* 8,02mm, *Cap Pass* 5,03mm], sedangkan Lebar HAZ terkecil dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) [*Root Pass* 2,56mm, *Middle Thick* 3,23mm, *Cap Pass* 1,58mm].

Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa *heat input* dan *groove angle* berpengaruh pada struktur metalografi makroetsa, terutama dalam pembentukan *heat-affected zone* (HAZ). Semakin besar *heat input*, semakin besar energi panas yang ditransfer ke material, sehingga menyebabkan lebar HAZ bertambah akibat peningkatan durasi pemanasan dan pendinginan yang lebih lambat (Yuniarto et al., 2019; Prameswati et al., 2019). Selain itu, semakin besar *groove angle*, semakin banyak volume logam yang harus diisi dalam proses pengelasan, yang menyebabkan waktu pemanasan lebih lama dan memperlebar HAZ akibat akumulasi panas berlebih. Dengan demikian, peningkatan *heat input* dan *groove angle* yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pelebaran HAZ yang berpengaruh pada sifat mekanik dan daya tahan material.

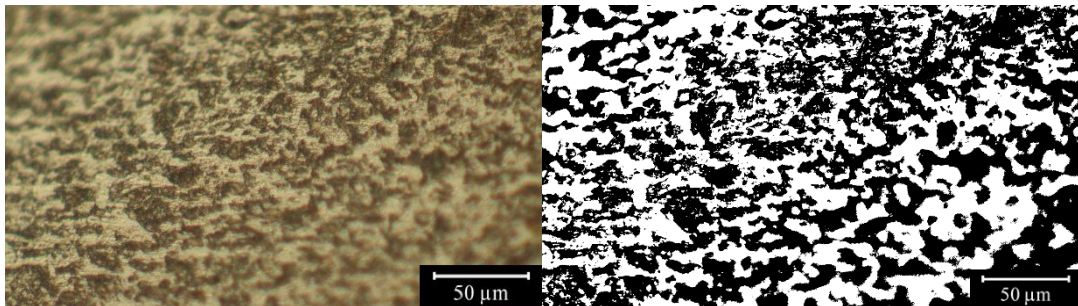
4.1.4.4 Uji Struktur Metalografi Mikroetsa

Uji struktur metalografi mikroetsa dapat menentukan apakah material tersebut memiliki sifat yang getas (*brittle*) atau ulet (*ductile*). Terdapat dua fasa yaitu *ferrite* dan *pearlite*, *ferrite* sebagai indikasi material tersebut bersifat ulet sedangkan fasa *pearlite* memiliki sifat getas. Dilakukan 3 penembakan lokasi tangkapan gambar meliputi *base metal* HAZ, dan *weld metal*. Foto mikro dilakukan perbesaran sebesar 500x menggunakan mikroskop. Setelah dilakukan pengujian maka foto hasil dari proses mikroetsa tersebut akan dilakukan perhitungan *point counting* menggunakan perangkat lunak *ImageJ* (tangkapan layar penggunaan perangkat lunak *ImageJ* dapat dilihat di lampiran).



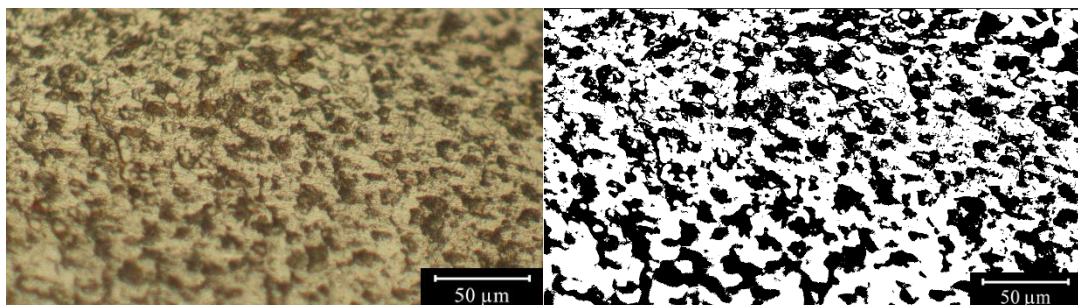
Gambar 4-49. BM 60A – Ferrite 52.55% Pearlite 47.45%

Dari **Gambar 4-36**, foto mikrostruktur spesimen kode 60A merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 52.55% dan *pearlite* 47.45%.



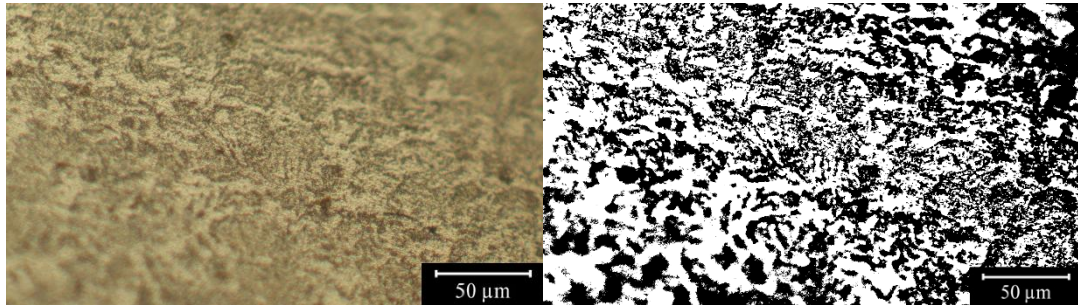
Gambar 4-50. HAZ 60A – Ferrite 48.30% Pearlite 51.69%

Dari **Gambar 4-37**, foto mikrostruktur spesimen kode 60A merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 48.30% dan *pearlite* 51.69%.



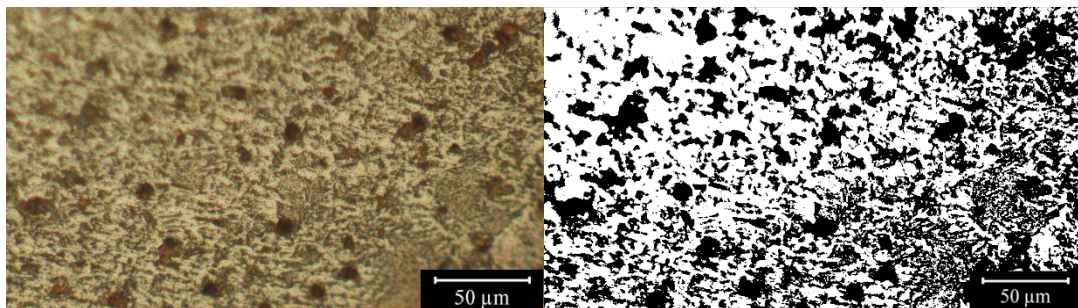
Gambar 4-51. WM 60A – Ferrite 59.94% Pearlite 40.06%

Dari **Gambar 4-38**, foto mikrostruktur spesimen kode 60A merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 59.94% dan *pearlite* 40.06%.



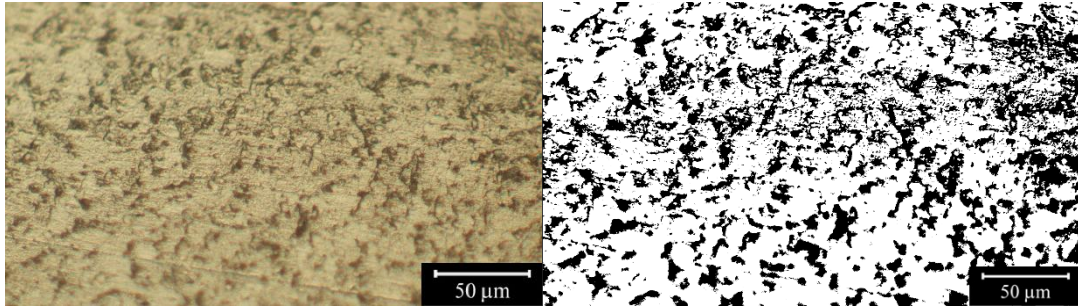
Gambar 4-52. BM 60B – Ferrite 55.69% Pearlite 44.30%

Dari **Gambar 4-39**, foto mikrostruktur spesimen kode 60B merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 55.69% dan *pearlite* 44.30%.



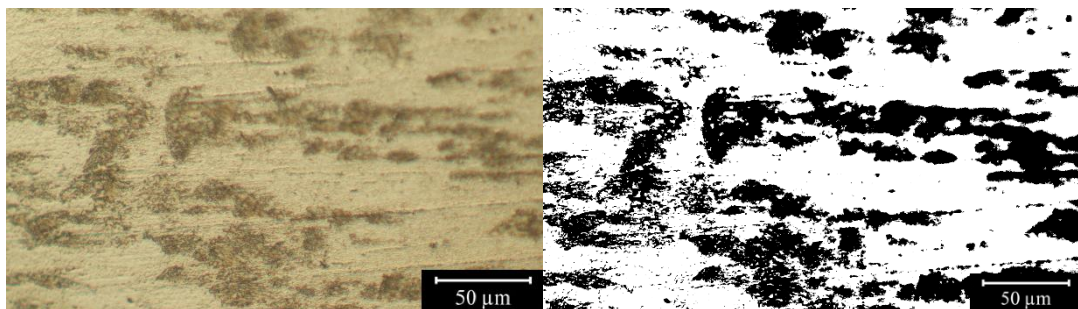
Gambar 4-53. HAZ 60B – Ferrite 51.29% Pearlite 48.70%

Dari **Gambar 4-40**, foto mikrostruktur spesimen kode 60B merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 51.29% dan *pearlite* 48.70%.



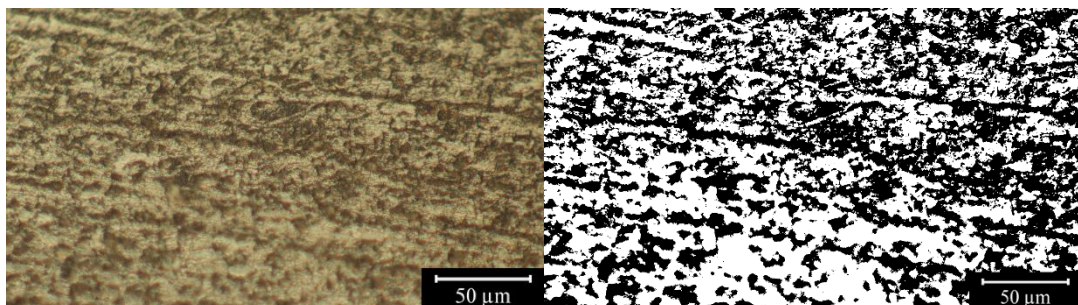
Gambar 4-54. WM 60B – Ferrite 69.59% Pearlite 30.41%

Dari **Gambar 4-41**, foto mikrostruktur spesimen kode 60B merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 69.59% dan *pearlite* 30.41%.



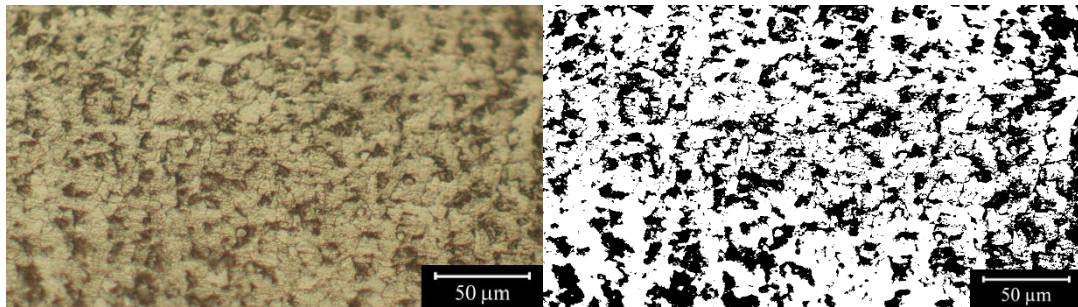
Gambar 4-55. BM 60C – Ferrite 61.02% Pearlite 38.97%

Dari **Gambar 4-42**, foto mikrostruktur spesimen kode 60C merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 61.02% dan *pearlite* 38.97%.



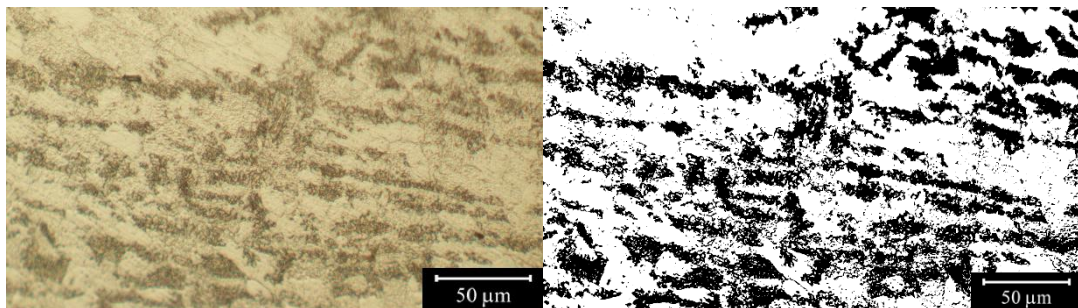
Gambar 4-56. HAZ 60C – Ferrite 48.58% Pearlite 51.41%

Dari **Gambar 4-43**, foto mikrostruktur spesimen kode 60C merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 48.58% dan *pearlite* 51.41%.



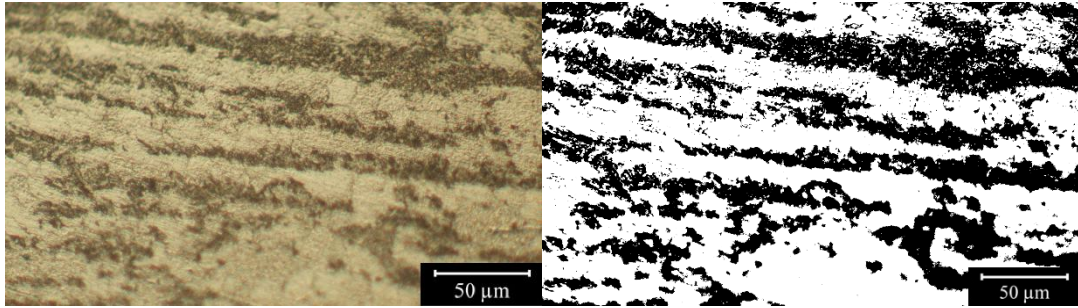
Gambar 4-57. WM 60C – Ferrite 68.69% Pearlite 31.31%

Dari **Gambar 4-44**, foto mikrostruktur spesimen kode 60C merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 68.69% dan *pearlite* 31.31%.



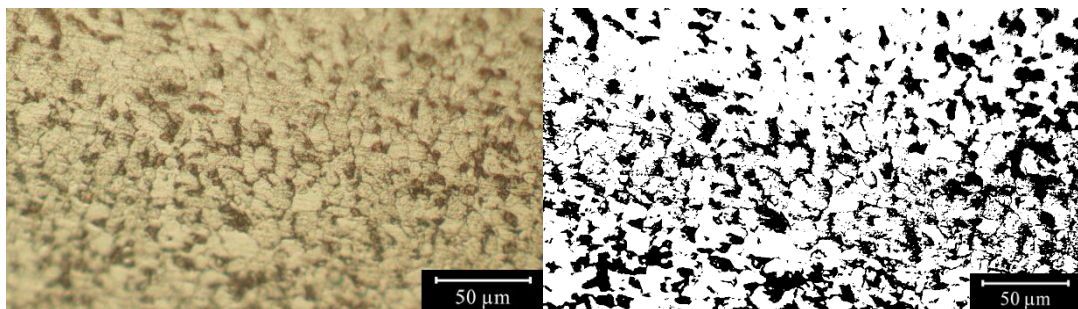
Gambar 4-58. BM 75A – Ferrite 68.04% Pearlite 31.96%

Dari **Gambar 4-45**, foto mikrostruktur spesimen kode 75A merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 68.04% dan *pearlite* 31.96%.



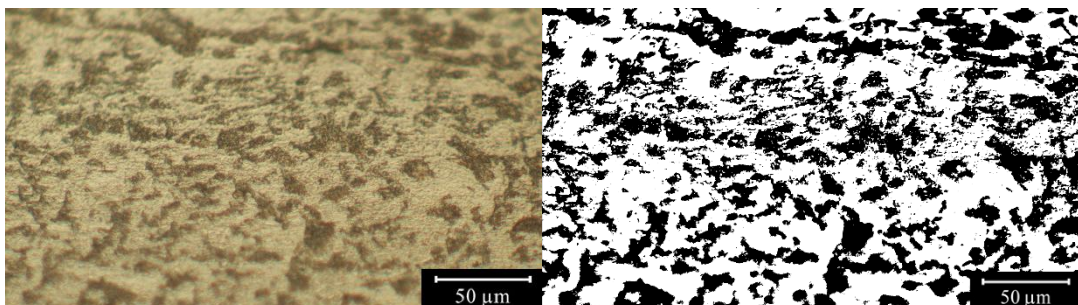
Gambar 4-59. HAZ 75A – Ferrite 57.38% Pearlite 42.61%

Dari **Gambar 4-46**, foto mikrostruktur spesimen kode 75A merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 57.38% dan *pearlite* 42.61%.



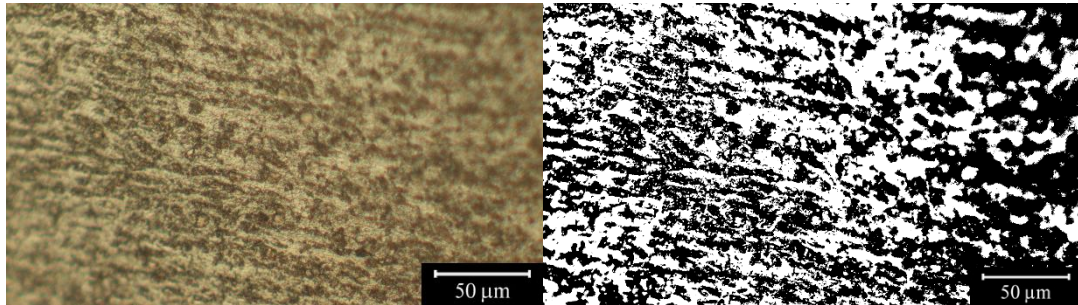
Gambar 4-60. WM 75A – Ferrite 68.27% Pearlite 31.73%

Dari **Gambar 4-47**, foto mikrostruktur spesimen kode 75A merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 68.27% dan *pearlite* 31.73%.



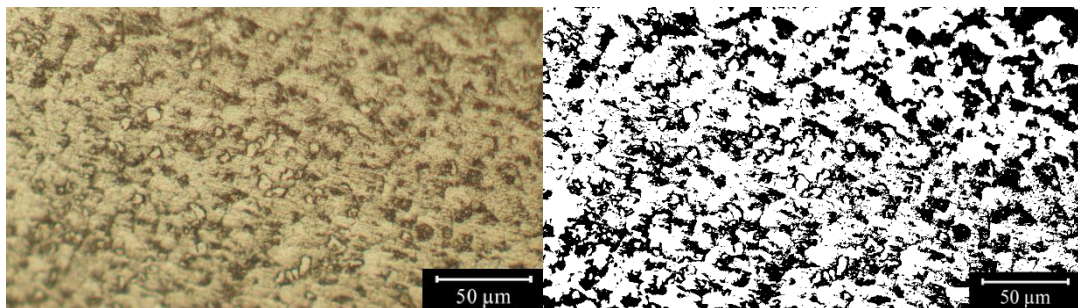
Gambar 4-61. BM 75B – Ferrite 59.72% Pearlite 40.28%

Dari **Gambar 4-48**, foto mikrostruktur spesimen kode 75B merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 59.72% dan *pearlite* 31.73%.



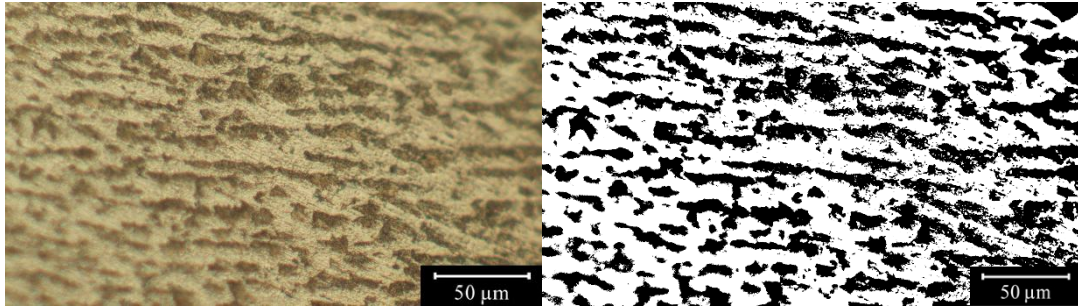
Gambar 4-62. HAZ 75B – Ferrite 47.46% Pearlite 52.53%

Dari **Gambar 4-49**, foto mikrostruktur spesimen kode 75B merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 47.46% dan *pearlite* 52.53%.



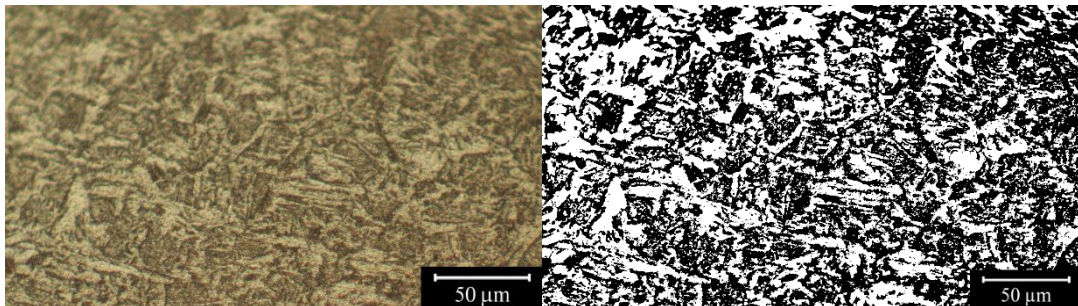
Gambar 4-63. WM 75B – Ferrite 63.86% Pearlite 36.14%

Dari **Gambar 4-50**, foto mikrostruktur spesimen kode 75B merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 63.86% dan *pearlite* 36.14%.



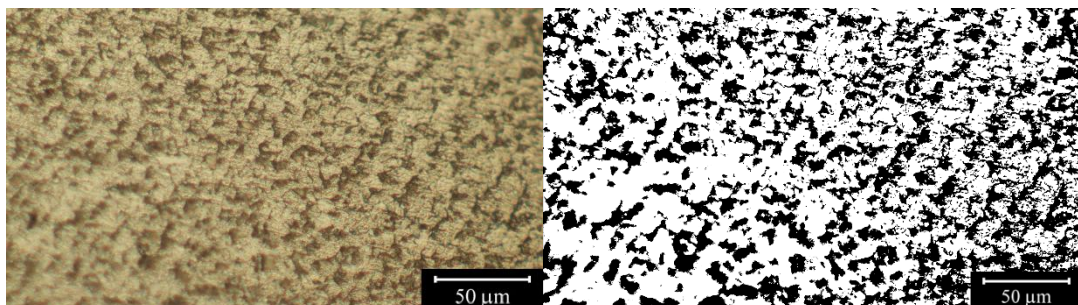
Gambar IV-4. BM 75C – Ferrite 59.73% Pearlite 40.26%

Dari **Gambar 4-51**, foto mikrostruktur spesimen kode 75C merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 59.73% dan *pearlite* 40.26%.



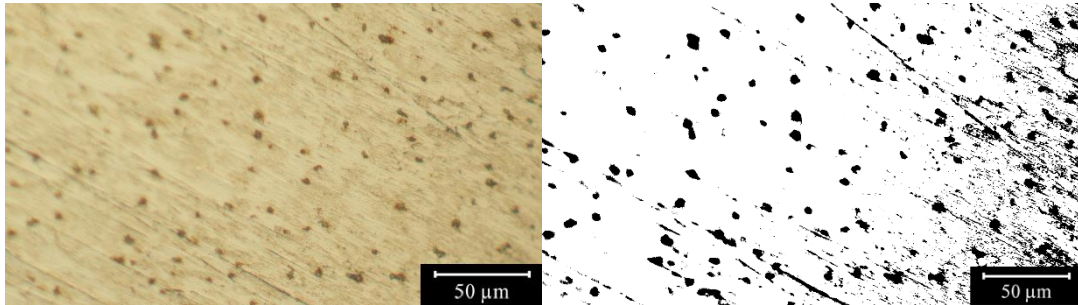
Gambar 4-64. HAZ 75C – Ferrite 46.19% Pearlite 53.80%

Dari **Gambar 4-52**, foto mikrostruktur spesimen kode 75C merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 46.19% dan *pearlite* 53.80%.



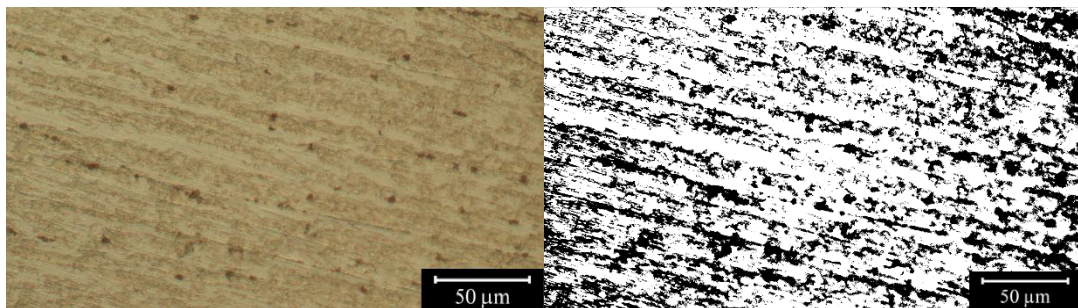
Gambar 4-65. WM 75C – Ferrite 61.88% Pearlite 38.12%

Dari **Gambar 4-53**, foto mikrostruktur spesimen kode 75C merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 61.88% dan *pearlite* 38.12%.



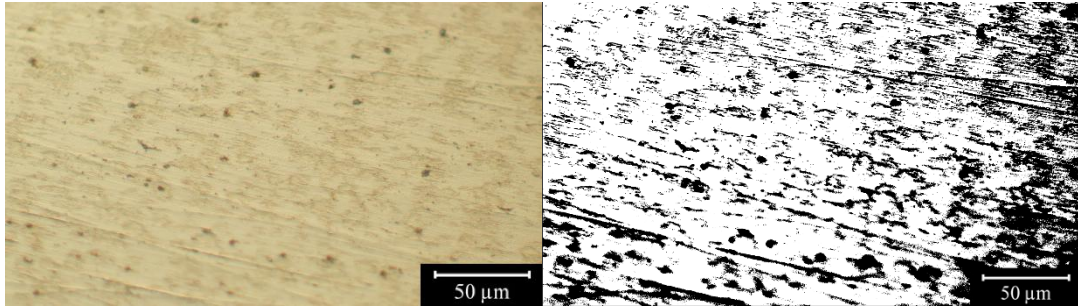
Gambar 4-66. BM 90A – Ferrite 90.61% Pearlite 9.38%

Dari **Gambar 4-54**, foto mikrostruktur spesimen kode 90A merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 90.61% dan *pearlite* 9.38%.



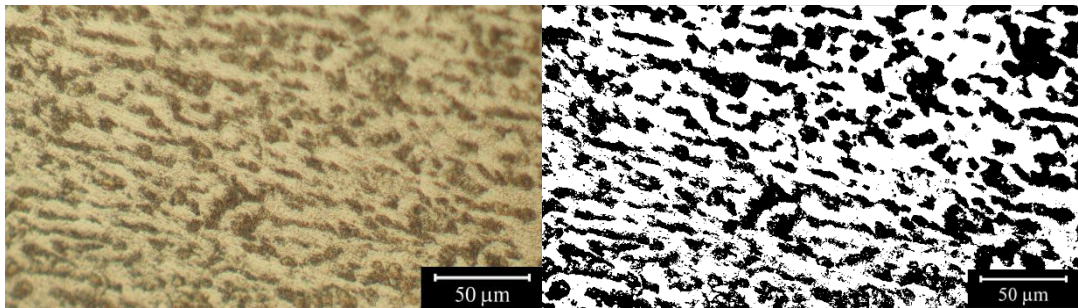
Gambar 4-67. HAZ 90A – Ferrite 70.84% Pearlite 29.15%

Dari **Gambar 4-55**, foto mikrostruktur spesimen kode 90A merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 70.84% dan *pearlite* 29.15%.



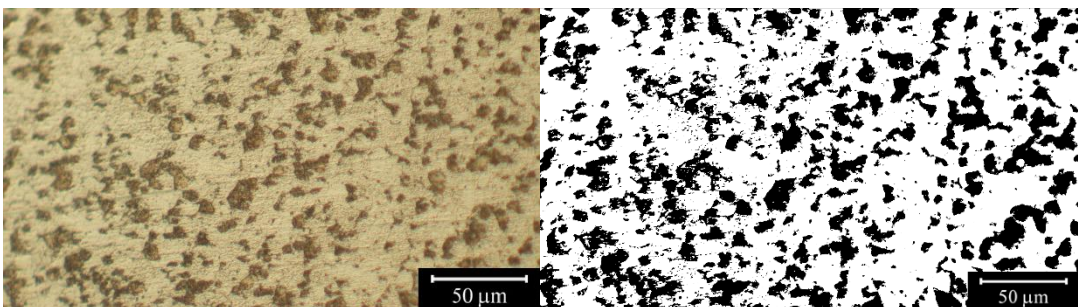
Gambar 4-68. WM 90A – Ferrite 73.05% Pearlite 26.99%

Dari **Gambar 4-57**, foto mikrostruktur spesimen kode 90A merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 73.05% dan *pearlite* 26.99%.



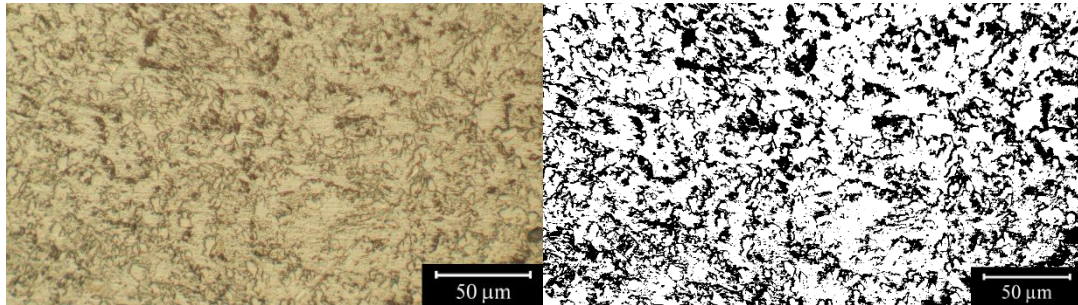
Gambar 4-69. BM 90B – Ferrite 61.28% Pearlite 38.72%

Dari **Gambar 4-57**, foto mikrostruktur spesimen kode 90B merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 61.28% dan *pearlite* 38.72%.



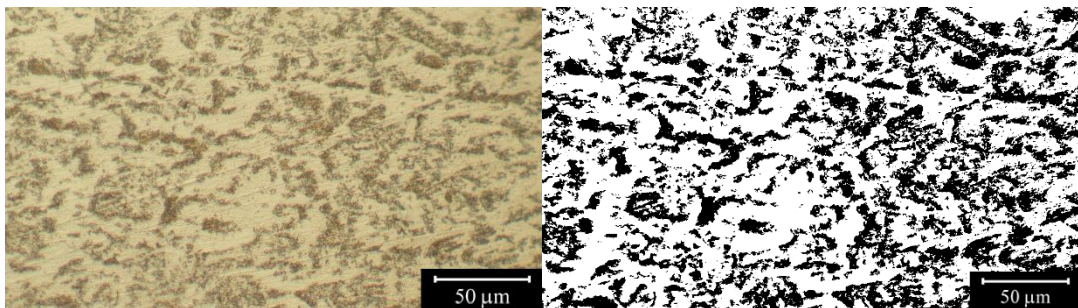
Gambar 4-70. HAZ 90B – Ferrite 71.50% Pearlite 28.50%

Dari **Gambar 4-58**, foto mikrostruktur spesimen kode 90B merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 71.50% dan *pearlite* 28.50%.



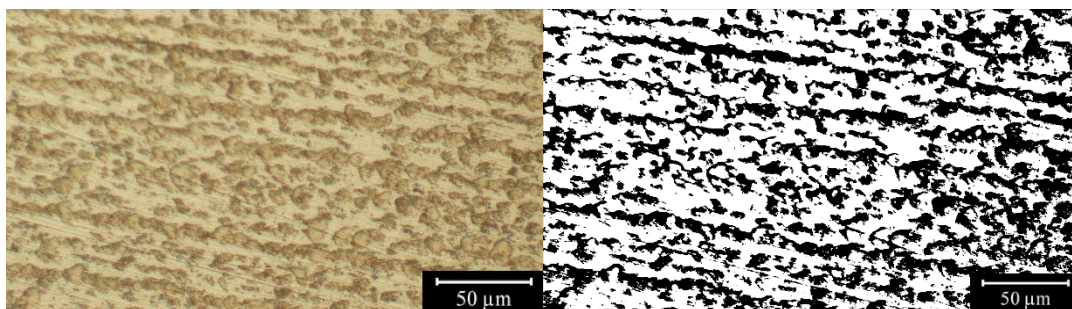
Gambar 4-71. WM 90B – Ferrite 66.50% Pearlite 33.49%

Dari **Gambar 4-59**, foto mikrostruktur spesimen kode 90B merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 66.50% dan *pearlite* 33.49%.



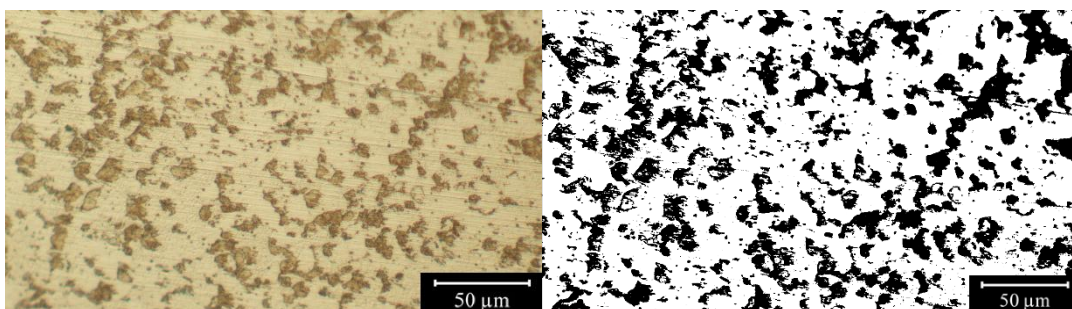
Gambar 4-72. BM 90C – Ferrite 64.22% Pearlite 35.77%

Dari **Gambar 4-60**, foto mikrostruktur spesimen kode 90C merupakan daerah *base metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 64.22% dan *pearlite* 35.77%.



Gambar 4-73. HAZ 90C – Ferrite 56.86% Pearlite 43.10%

Dari **Gambar 4-61**, foto mikrostruktur spesimen kode 90C merupakan daerah *HAZ* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 56.86% dan *pearlite* 43.10%.



Gambar 4-74. WM 90C – Ferrite 73.81% Pearlite 26.19%

Dari **Gambar 4-62**, foto mikrostruktur spesimen kode 90C merupakan daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan *ferrite* 73.81% dan *pearlite* 26.19%.

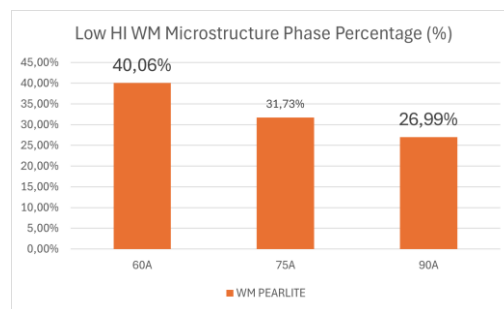
Dari foto mikrostruktur hasil pengujian mikroetsa yang menunjukkan daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dengan perbesaran 500x dengan skala 1:50 µm sehingga memiliki detail butiran fasa yang dapat dihitung dari spesimen. Dari gambar tersebut juga dapat dihasilkan analisis bahwa semakin tinggi *heat input* semakin banyak persentase *pearlite*. Adapun perbandingan dari masing-masing variasi dengan kode-kode yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik seperti berikut:

4.1.4.5 Hasil Uji Struktur Metalografi Mikroetsa Semua Variasi

Tabel 4.3 Hasil Uji Struktur Metalografi Mikroetsa Semua Variasi

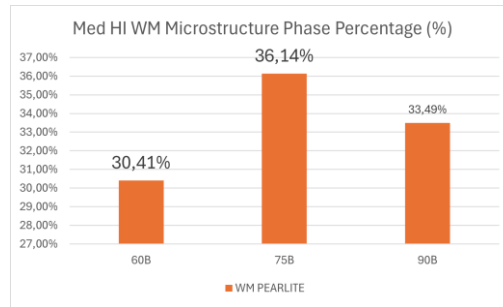
CODE	BM		HAZ		WM	
MATERIAL	FERRITE	PEARLITE	FERRITE	PEARLITE	FERRITE	PEARLITE
60A	52,55%	47,45%	48,30%	51,69%	59,94%	40,06%
60B	55,69%	44,30%	51,29%	48,70%	69,59%	30,41%
60C	61,02%	38,97%	48,58%	51,41%	68,69%	31,31%
75A	68,04%	31,96%	57,38%	42,61%	68,27%	31,73%
75B	59,72%	31,73%	47,46%	52,53%	63,86%	36,14%
75C	59,73%	40,26%	46,19%	53,80%	61,88%	38,12%
90A	90,61%	9,38%	70,84%	29,15%	73,05%	26,99%
90B	61,28%	38,72%	71,50%	28,50%	66,50%	33,49%
90C	64,22%	35,77%	58,86%	43,10%	73,81%	26,19%

Setelah mengetahui data lengkap dari hasil uji metalografi mikroetsa yang tersaji dalam bentuk tabel, dapat dianalisis dan dilakukan perbandingan baik dari sesama variasi *heat input* atau *groove angle* maupun antar variasi.



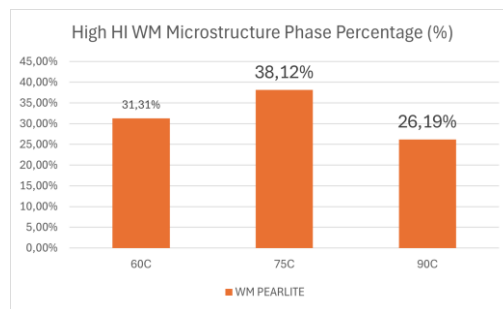
Gambar 4-75. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi *HI* Rendah

Dari **Gambar 4-63**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur antar variasi *heat input* rendah (90 Ampere). Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A pada *WM* dengan *groove angle* umum (60°), sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90A pada *WM* dengan *groove angle* eksperimental (90°).



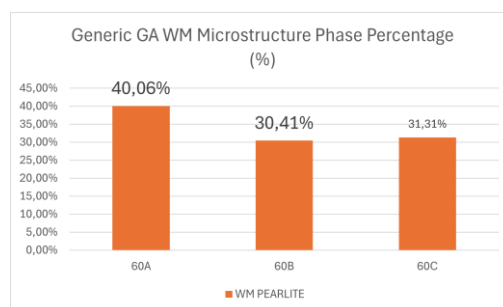
Gambar 4-76. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi *HI* Sedang

Dari **Gambar 4-64**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur antar variasi *heat input* sedang (120 Ampere). Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 75B pada *WM* dengan *groove angle* lebar (75°), sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90B pada *WM* dengan *groove angle* umum (60°).



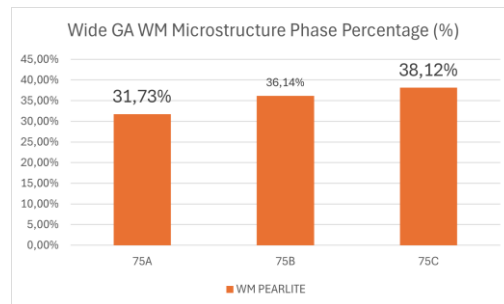
Gambar 4-77. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi *HI* Tinggi

Dari **Gambar 4-65**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur antar variasi *heat input* tinggi (160 Ampere). Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C pada *WM* dengan *groove angle* lebar (75°), sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C pada *WM* dengan *groove angle* umum (90°).



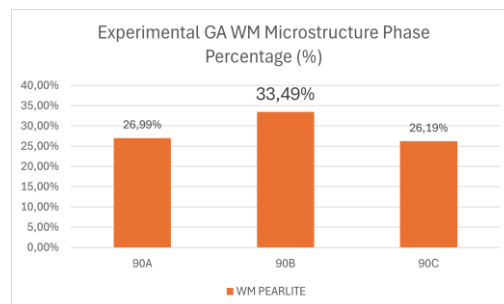
Gambar 4-78. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi *GA* Umum

Dari **Gambar 4-66**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur antar variasi *groove angle* umum (60°). Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A pada *WM* dengan *heat input* rendah (90 Ampere), sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 60C pada *WM* dengan *heat input* tinggi (160 Ampere).



Gambar 4-79. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi *GA* Lebar

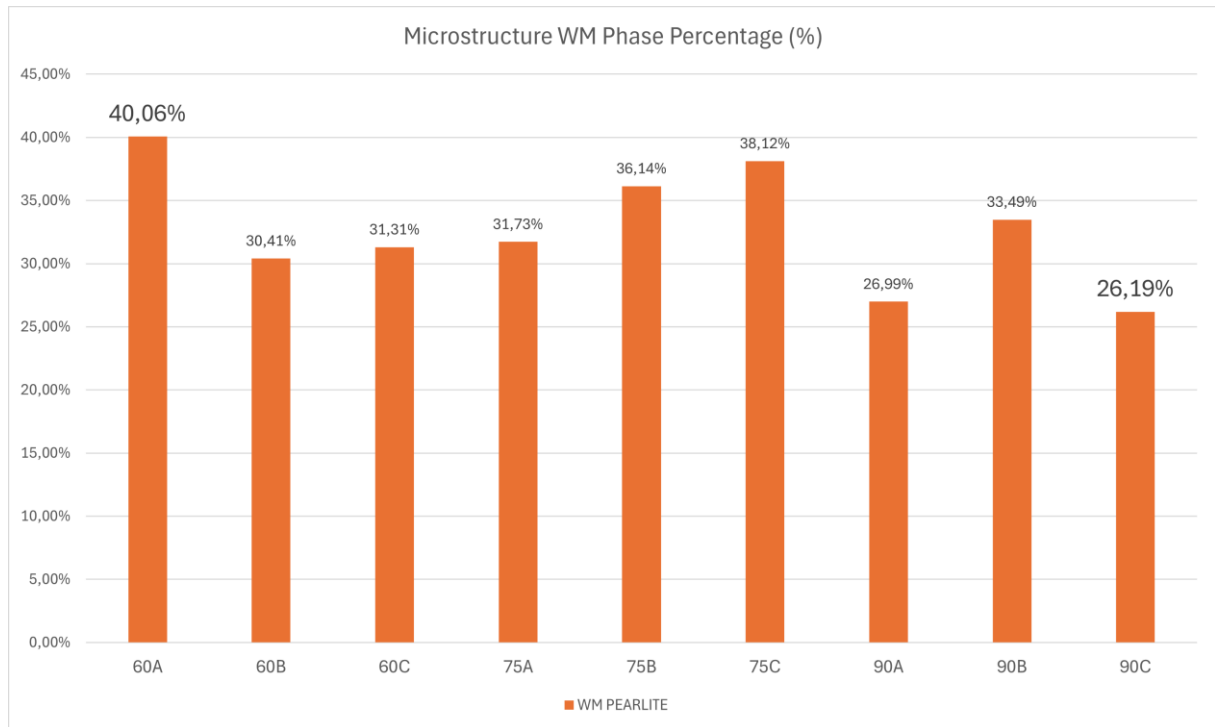
Dari **Gambar 4-67**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur antar variasi *groove angle* lebar (75°). Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C pada *WM* dengan *heat input* tinggi (160 Ampere), sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 75A pada *WM* dengan *heat input* rendah (90 Ampere).



Gambar 4-80. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Antar Variasi *GA* Eksperimental

Dari **Gambar 4-68**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur antar variasi *groove angle* eksperimental (90°). Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 90B pada *WM* dengan *heat input* sedang (120 Ampere), sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C pada *WM* dengan *heat input* tinggi (160 Ampere).

4.1.4.6 Analisis Uji Struktur Metalografi Mikroetsa Semua Variasi



Gambar 4-81. Grafik Perbandingan Persentase Fase Mikrostruktur Semua Variasi

Dari **Gambar 4-69**, didapatkan perbandingan persentase fase mikrostruktur semua variasi *heat input* dan *groove angle*. Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A pada *WM* dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) [40,06%], sedangkan persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C pada *WM* dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) [26,19%].

Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa *heat input* dan *groove angle* memengaruhi struktur metalografi mikroetsa, terutama pada fase mikrostruktur *ferrite* dan *pearlite*. Semakin besar *heat input*, semakin lambat laju pendinginan, sehingga mengurangi jumlah *pearlite* dan meningkatkan jumlah *ferrite* yang lebih besar dan kasar (Yuniarto et al., 2019; Randyka et al., 2019). Hal yang sama terjadi pada *groove angle* yang lebih besar dikarenakan peningkatan volume logam pengisi menyebabkan panas lebih lama tertahan dalam material, sehingga jumlah *ferrite* semakin dominan dibanding *pearlite* (Cahyadi & Subiyanto, 2023; Randyka et al., 2019).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian tugas akhir ini tentang pengelasan SMAW menggunakan elektroda E7016 pada sambungan material baja ASTM A36 dengan variasi *heat input* dan *groove angle* dapat dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan luluh terbesar dimiliki oleh variasi kode 75C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) sebesar 357,53MPa. Kekuatan luluh terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) sebesar 250,82MPa. Peningkatan *heat input* dan *groove angle* menyebabkan pertumbuhan butir yang lebih besar serta peningkatan kandungan *ferrite* yang lebih lunak, sehingga menurunkan kekuatan luluh material. Selain itu, struktur mikro yang lebih kasar akibat kombinasi kedua parameter ini juga berdampak pada penurunan elongasi material, karena material menjadi lebih rentan terhadap deformasi dan retak sebelum mencapai regangan maksimum.
2. Kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) sebesar 487,06MPa. Kekuatan tarik terkecil dimiliki oleh variasi kode 75B dengan *heat input* sedang (120 Ampere) dan *groove angle* lebar (75°) sebesar 439,82MPa. Semakin besar *heat input* dan *groove angle*, semakin lambat laju pendinginan setelah proses pengelasan, yang menyebabkan peningkatan proporsi *ferrite* dan pengurangan jumlah *pearlite* yang lebih kuat. Akibatnya, kekuatan tarik material menurun karena dominasi *ferrite* yang memiliki sifat mekanik lebih lemah dibanding *pearlite*.
3. Lebar HAZ terbesar dimiliki oleh variasi kode 90C dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) dengan *Root Pass* 9,16mm, *Middle Thick* 8,02mm, *Cap Pass* 5,03mm. Lebar HAZ terkecil dimiliki oleh variasi kode 60A dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) dengan *Root Pass* 2,56mm, *Middle Thick* 3,23mm, *Cap Pass* 1,58mm. *Heat input* dan *groove angle* yang tinggi menyebabkan peningkatan lebar HAZ akibat akumulasi panas berlebih dan pendinginan yang lebih lambat. Pelebaran HAZ ini berpotensi menurunkan daya tahan material karena perubahan mikrostruktur yang lebih luas di sekitar daerah las.

4. Persentase *pearlite* terbesar dimiliki oleh variasi kode 60A pada *WM* dengan *heat input* rendah (90 Ampere) dan *groove angle* umum (60°) sebesar 40,06%. Persentase *pearlite* terkecil dimiliki oleh variasi kode 90C pada *WM* dengan *heat input* tinggi (160 Ampere) dan *groove angle* eksperimental (90°) sebesar 26,19%. Peningkatan *heat input* dan *groove angle* mengakibatkan dominasi *ferrite* yang lebih besar dan kasar dalam struktur mikro, sementara jumlah *pearlite* berkurang. Karena *ferrite* memiliki kekuatan lebih rendah dibanding *pearlite*, hal ini menyebabkan penurunan sifat mekanik material secara keseluruhan, membuatnya lebih rentan terhadap kegagalan mekanik.

5.2 Saran

Terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variasi uji kekuatan tarik secara *transversal* dan perbandingan dengan material murni *base metal*.
- Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan uji lengkung, uji kekerasan, dan uji laju korosi sebagaimana diperlukan dalam kriteria kualifikasi konstruksi bangunan laut.
- Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan uji NDT lain seperti *electromagnetic testing* dan *ultrasonic testing* dikarenakan lebih akurat dalam penempatan dan posisi baik *defect* maupun *acceptance criteria*.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, D., Sattari-Far, I., 2009. Effect of the welding heat input on residual stresses in butt-welds of dissimilar pipe joints. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 86, 769–776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2009.07.005>
- Aldalur, E., Veiga, F., Suárez, A., Bilbao, J., Lamikiz, A., 2020. High deposition wire arc additive manufacturing of mild steel: Strategies and heat input effect on microstructure and mechanical properties. *J Manuf Process* 58, 615–626. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.08.060>
- Ashby, M.F., Jones, D.R.H., 2012. *Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications, and Design*, 4th ed. Butterworth-Heinemann.
- ASTM A36/A36M, 2008. *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. ASTM International.
- ASTM E3-01, 2002. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM International.
- AWS A5.1/A5.1M, 2012. *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. American Welding Society.
- AWS D1.1, 2020. *Structural Welding Code - Steel*. American Welding Society.
- Balaji, V., Dongarwar, R., Krishnaswamy, H., Mishra, S., 2025. Experimental investigations on the ductility improvement due to stress relaxation in aluminium alloy 5083 under biaxial loading conditions. *Manuf Lett* 43, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.11.007>
- Cahyadi, F.P., Subiyanto, H., 2023. Pengaruh Sudut Single V Joint Terhadap Laju Korosi, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pelat Baja A36 dengan Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda E7018 pada Lingkungan Laut. Surabaya.
- Callister, William D. Jr, Rethwisch, 2018. *Materials Science and Engineering An Introduction*, 10th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Chen, Zhen, Chen, Zhechao, Shenoi, R.A., 2015. Influence of welding sequence on welding deformation and residual stress of a stiffened plate structure. *Ocean Engineering* 106, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.013>
- Fridayan, R.N., Pratikno, H., Hasan Ikhwan, I., 2017. Analisis Pengaruh Variasi Heat Input dan Bentuk Kampuh pada Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Weld Joint Pelat Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Laut. Surabaya.
- Hertzberg, R.W., 1996. *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc.

- Jaya, D.I., Sutomo, J., Soeweify, 1998. Studi Eksperimental Peningkatan Kekuatan Fatigue Butt Joint pada Material ASTM A516 Grade 70 dengan TIG Dressing. Surabaya.
- Kou, S., 2002. *Welding Metallurgy*, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Li, Y., Tang, J., Liu, X., Guan, X., Dong, S., Ren, X., 2025. The effect of adding ZrH₂ particles on grain refinement and tensile strength during laser metal deposition of 7075 aluminum alloy. *Manuf Lett* 43, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.11.003>
- Messler Jr., R.W., 2004. *Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*. Singapore.
- Ozlati, A., Movahedi, M., Ramezani, H., 2025. Wire arc additive manufacturing of stainless steel/aluminum bi-metal using roll-bonded transition joint. *Manuf Lett* 43, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.11.004>
- Prameswati, A., Jatimurti, W., Wibisono, A.T., 2019. Pengaruh Variasi Komposisi Shielding Gas Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Sambungan Baja Karbon Rendah JIS G3101 Hasil Gas Metal Arc Welding (GMAW) Sebagai Aplikasi ARM Excavator di PT. X. Surabaya.
- Randyka, M.F., Pratikno, H., Ikhwan, H., 2019. Analisis Pengaruh Sudut Groove Pengelasan GMAW Baja ASTM A36 Terhadap Sifat Mekanik dan Prediksi Laju Korosi. Surabaya.
- Sharma, A., Morisada, Y., Fujii, H., 2022. Investigation of through-thickness microstructural evolution and mechanical properties variation in friction stir alloyed Al-Fe alloy system. *J Alloys Compd* 921. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166154>
- Shen, S., Oguocha, I.N.A., Yannacopoulos, S., 2012. Effect of heat input on weld bead geometry of submerged arc welded ASTM A709 Grade 50 steel joints. *J Mater Process Technol* 212, 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.09.013>
- Singh, A.K., Sadhya, S., Chorma, S., Singh, I., Madhukar, Y.K., 2025. Effect of interlayer TIG arc treatment on porosity of wire arc additive manufactured copper. *Manuf Lett* 43, 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.01.002>
- Singh, T., Singh, A., Saini, S., 2019. Effect of Groove Design on the Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded Joints. *Indian J Sci Technol* 12, 1–8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i2/139920>
- Sonawan, H., Suratman, R., 2006. *Pengantar untuk Memahami Pengelasan Logam*, 2nd ed. CV. Alfabeta.
- Stewart, M., 2021. *Surface Production Operations*.
- Veiga, F., Suarez, A., Aldalur, E., Artaza, T., 2022. Wire arc additive manufacturing of invar parts: Bead geometry and melt pool monitoring. *Measurement (Lond)* 189. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110452>
- Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000. Teknologi Pengelasan Logam. In PT Pradnya Paramita Jakarta (Vol. 8). PT Pradnya Paramita Jakarta, Jakarta.

- Xie, H., Du, L.X., Hu, J., Sun, G.S., Wu, H.Y., Misra, R.D.K., 2015. Effect of thermo-mechanical cycling on the microstructure and toughness in the weld CGHAZ of a novel high strength low carbon steel. *Materials Science and Engineering: A* 639, 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.05.033>
- Xie, S., Xu, C., Wang, X., Feng, X., Xiao, K., Liu, P., 2022. Effect of welding heat input on microstructure and properties of coarse grain zone in heat affected zone of ultra-low carbon bainitic steel. *Materials Research* 25. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0180>
- Ye, Y., Cai, J., Jiang, X., Dai, D., Deng, D., 2015. Influence of groove type on welding-induced residual stress, deformation and width of sensitization region in a SUS304 steel butt welded joint. *Advances in Engineering Software* 86, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.04.001>
- Yuniarto, M.I.R.Y., Pratikno, H., Chamelia, D.M., 2019. Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BKI Grade A Terhadap Sifat Mekanik.
- Zhao, M.S., Lee, C.K., Fung, T.C., Chiew, S.P., 2017. Impact of welding on the strength of high performance steel T-stub joints. *J Constr Steel Res* 131, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.12.023>

LAMPIRAN



Pelaksanaan Uji Kualifikasi Juru Las Welder Performance Qualification Test

1. Data Sampel Las Record of Weld Test

Nama perusahaan / Company name		No. WPS / WPS no.		Supervisor las / Welding supervisor	
PT. KAMPUH INDONESIA		-		RIRIK HARIASA	
Nama juru las / Welder name		Kode juru las / Welder stamp		Tanggal pengelasan / date of welding	
NUR KHAFIDHON ARDIANSYAH		14		04 NOPEMBER 2015	
Proses las / Welding process		Mode transfer logam las / Mode of metal transfer		Posisi las / Welding position	
FCAW		Short circuit/DCEP		3G UP	
Material dasar / Base material		Tebal material / Material thickness		Diameter luar pipa / outside diameter	
MILD STEEL GRADE A		10 mm		None	
Tipe sambungan / Joint type		Material penahan / Backing material		Gouging balik / Back gouging	
Butt Joint Single V Groove		Backing Ceramic		No	
Klasifikasi kawat las (sesuai ISO atau AWS) / Filler metal class: (acc. to ISO or AWS)		Tipe / merek kawat las / Brand name		Pembuat / Manufacturer	
AWS A 5.20 (m) E71T-1		Weld 71T-1		CHOSUN WELDING WIRE	
Tipe gas pelindung & komposisi / Type of shielding gas & composition				Kec. alir gas / Gas flow rate	
CO2				15	
Klasifikasi fluks (sesuai ISO atau AWS) / Flux class: (acc. to ISO or AWS)		Tipe / merek fluks / Brand name		Pembuat / Manufacturer	
None		None		None	
Temperatur pemanasan awal / Preheat temperature				Temperatur antar pass / Interpass temperature	
None				-	
Perlakuan panas pasca las / Postweld heat treatment					
Temperatur / Temperature		Waktu tahan / Holding time		Kec. pemanasan dan pendinginan / Heating and cooling rate	
None		None		None	

Alur Run	Proses las Welding process	Diameter kawat las Size of filler metal [mm]	Tipe arus / polaritas Type of current / Polarity	Arus las Current [A]	Tegangan Voltage [V]	Kec. umpan kawat Wire feed speed [cm/min]	Kec. las Travel speed [cm/min]	Detail sambungan Joint design
1	FCAW	1.2	DC EP	100 - 110	20	-	20.5	
2	FCAW	1.2	DC EP	120 - 130	22	-	17.7	
3	FCAW	1.2	DC EP	120 - 150	25	-	15.2	

2. Hasil Uji¹⁾ Test Results

Pemeriksaan visual / Visual inspection	Uji radiografi / Radiographic test	Uji ultrasonik / Ultrasonic test	Uji lengkung / Bending test
Passed	Not Passed	Not Tested	Passed
Uji makro / Macro examination	Uji tarik dgn. tekak / Notched tensile test	Uji patah / Fracture test	
Not Tested	Not Tested	Not Tested	

¹⁾ Hasil uji dinyatakan dengan "passed"; "not passed" atau "not tested".

 RIRIK HARIASA Nama, tanda tangan, tanggal	 MUSHAWWIB RAZAK Nama, tanda tangan, tanggal
--	--



Sertifikat

Nomor : 13081 /PUSDIKLAT INDUSTRI/PK/XI/2015

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2000 serta ketentuan - ketentuan pelaksanaannya dan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor : 105/M-IND/PER/10/2010 menyatakan bahwa :

Nama : Nur Khafidhon Ardiansyah
Tempat, Tanggal Lahir : Mojokerto, 1 April 1991
Jabatan : Juru Las

TELAH MENGIKUTI

Pendidikan dan Pengembangan SDM Industri melalui Diklat Three-In-One Bidang Pengelasan Kapal Tahun 2015 yang diselenggarakan oleh Pusdiklat Industri Kementerian Perindustrian bekerja sama dengan Kampus Indonesia Welding School-Surabaya, sejak tanggal 01 Oktober s/d 09 November 2015 selama 35 (Tiga Puluh Lima) hari kerja di Kampus Indonesia Welding School-Surabaya.



Jakarta, 09 November 2015
KEPALA PUSDIKLAT INDUSTRI



Drs. MUJIYONO, MM
NIP. 19680611 198003 1 001



Member of :



Sertifikat

Dengan ini menerangkan bahwa :

Mur Khafidhon Ardiansyah

Mojokerto, 01 April 1991

Telah mengikuti dan berhasil dengan baik **Pelatihan Pengelasan Plat Baja** sesuai kompetensi tercantum di balik sertifikat ini.

Dilaksanakan di Lembaga Pelatihan Kerja Swasta (LPKS) **KAMPUH INDONESIA WELDING SCHOOL**
Angkatan ke - 5 (Lima) dari 01 Oktober s/d 07 November 2015



101505097



Surabaya, 09 November 2015

Ir/Mochammad Moenir
Direktur

Sertifikat Welder



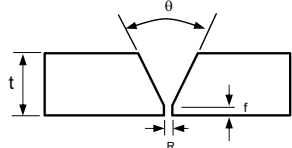
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS	: pWPS-STR-1001	Rev.	: 0
PQR No	: STR-1001	Page	: 1 of 1
Welding Process	: SMAW	Date	: 25-Oct-24
Application	: Secondary Steel Structure Welding (Low Heat Input, Generic Groove)		

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED		POSITION	
Joint Type	: Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)	
Joint Groove	: Single (☒) Double ()	Vertical Progression: Up () Down ()	
Backing	: Yes () No (☒)	Fillet : N/A	
Backing Material	: N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Root opening (R)	: 3.2 (+1.0, - 0mm)	Current	: AC () DCEP (☒)
Root Face (f)	: 1.0 (± 1.0mm)		: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ)	: 60° (+5°, -0°)		
Back gouging	: Yes () No (☒)		
Method	: N/A		
BASE METAL		TECHNIQUE	
Material Spec.	: ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead	: Both
	: AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side)	: Multiple Pass
As delivery condition	: Hot Rolled	Number of Electrodes	: Single
C/Ceq/Pcm (Max)	: 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal	: N/A
Diameter (D)	: 610mm and over or Plate	Lateral	: N/A
Thickness (t)	: 6.0 ~ 18.0mm	Angle	: N/A
Delivery Mill	: Any	Contact Tube to work Distance	: N/A
		Peening	: Not Allowed
		Interpass Cleaning	: Power brush and /or grinding
FILLER METALS		POSTWELD HEAT TREATMENT	
AWS Specification	: A5.1	Temp	: N/A
AWS Classification	: E 7016	Time	: N/A
F-no.	: 4		
Manufacturer	: Kobe	Note:	
SHIELDING		a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant	
Flux	: N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.	
Electrode-Flux (Class)	: N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.	
Gas	: N/A Composition : N/A	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.	
PREHEAT		e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.	
Preheat Temperature : 52° C (Min.)			
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)			
Preheat Method : Heating Torch			

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details 
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52				
Filler Metals Size	2.6mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90 65	90 70	110 85	105 75	
Amperage (A)	75 55	95 75	110 90	90 70	
Volts (V)	23 18	23 18	25 18	23 18	
Heat Input (kJ/mm)	1,15 0,91	1,46 1,16	1,50 1,14	1,18 1,01	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 60A (Heat Input Rendah & Groove Angle Umum 60)



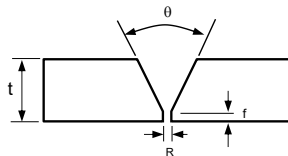
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS : pWPS-STR-1002	Rev. : 0
PQR No : STR-1002	Page : 1 of 1
Welding Process : SMAW	Date : 25-Oct-24
Application : Secondary Steel Structure Welding (Medium Heat Input, Generic Groove)	

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (☒) Double ()	Vertical Progression : Up () Down ()
Backing : Yes () No (☒)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, -0mm)	Current : AC () DCEP (☒)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 60° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (☒)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details 
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52U	LB 52A			
Filler Metals Size	3.2mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90	90	110	105	
	65	70	85	75	
Amperage (A)	105	125	140	120	
	90	115	120	100	
Volts (V)	23	23	25	23	
	18	18	18	18	
Heat Input (kJ/mm)	1,61	1,92	1,91	1,58	
	1,50	1,77	1,52	1,44	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 60B (Heat Input Sedang & Groove Angle Umum 60)



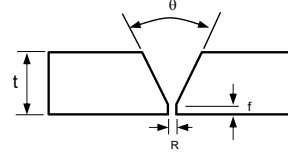
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS : pWPS-STR-1003	Rev. : 0
PQR No : STR-1003	Page : 1 of 1
Welding Process : SMAW	Date : 25-Oct-24
Application : Secondary Steel Structure Welding (High Heat Input, Generic Groove)	

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (☒) Double ()	Vertical Progression : Up () Down ()
Backing : Yes () No (☒)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, -0mm)	Current : AC () DCEP (☒)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 60° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (☒)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details 
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52U	LB 52A			
Filler Metals Size	3.2mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90	90	110	105	
	65	70	85	75	
Amperage (A)	130	150	180	160	
	115	130	160	140	
Volts (V)	23	23	25	23	
	18	18	18	18	
Heat Input (kJ/mm)	1,99	2,30	2,45	2,10	
	1,91	2,01	2,03	2,02	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 60C (Heat Input Tinggi & Groove Angle Umum 60)



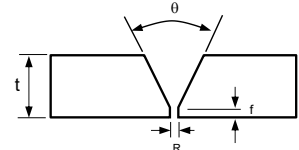
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS : pWPS-STR-1004	Rev. : 0
PQR No : STR-1004	Page : 1 of 1
Welding Process : SMAW	Date : 25-Oct-24
Application : Secondary Steel Structure Welding (Low Heat Input, Wide Groove)	

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (X) Double ()	Vertical Progression : Up () Down ()
Backing : Yes () No (X)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, -0mm)	Current : AC () DCEP (X)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 75° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (X)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details 
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52				
Filler Metals Size	2.6mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90 65	90 70	110 85	105 75	
Amperage (A)	75 55	95 75	110 90	90 70	
Volts (V)	23 18	23 18	25 18	23 18	
Heat Input (kJ/mm)	1,15 0,91	1,46 1,16	1,50 1,14	1,18 1,01	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 75A (Heat Input Rendah & Groove Angle Lebar 75)



PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS : pWPS-STR-1005	Rev. : 0
PQR No : STR-1005	Page : 1 of 1
Welding Process : SMAW	Date : 25-Oct-24
Application : Secondary Steel Structure Welding (Medium Heat Input, Wide Groove)	

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (☒) Double ()	Vertical Progression : Up () Down ()
Backing : Yes () No (☒)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, -0mm)	Current : AC () DCEP (☒)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 75° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (☒)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52U	LB 52A			
Filler Metals Size	3.2mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90	90	110	105	
	65	70	85	75	
Amperage (A)	105	125	140	120	
	90	115	120	100	
Volts (V)	23	23	25	23	
	18	18	18	18	
Heat Input (kJ/mm)	1,61	1,92	1,91	1,58	
	1,50	1,77	1,52	1,44	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 75B (Heat Input Sedang & Groove Angle Lebar 75)



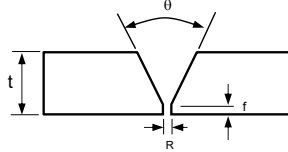
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS	: pWPS-STR-1007	Rev.	: 0
PQR No	: STR-1007	Page	: 1 of 1
Welding Process	: SMAW	Date	: 25-Oct-24
Application	: Secondary Steel Structure Welding (Low Heat Input, Experimental Groove)		

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (☒) Double ()	Vertical Progression: Up () Down ()
Backing : Yes () No (☒)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, -0mm)	Current : AC () DCEP (☒)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 90° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (☒)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details 
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52				
Filler Metals Size	2.6mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90	90	110	105	
Amperage (A)	65	70	85	75	
Volts (V)	23	23	25	23	
Heat Input (kJ/mm)	1,15	1,46	1,50	1,18	
	0,91	1,16	1,14	1,01	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 90A (Heat Input Rendah & Groove Angle Eksperimental 90)



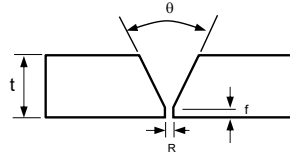
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS : pWPS-STR-1008	Rev. : 0
PQR No : STR-1008	Page : 1 of 1
Welding Process : SMAW	Date : 25-Oct-24
Application : Secondary Steel Structure Welding (Medium Heat Input, Experimental Groove)	

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (☒) Double ()	Vertical Progression : Up () Down ()
Backing : Yes () No (☒)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, -0mm)	Current : AC () DCEP (☒)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 90° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (☒)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

WELDING PARAMETERS

Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details 
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52U	LB 52A			
Filler Metals Size	3.2mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90	90	110	105	
	65	70	85	75	
Amperage (A)	105	125	140	120	
	90	115	120	100	
Volts (V)	23	23	25	23	
	18	18	18	18	
Heat Input (kJ/mm)	1,61	1,92	1,91	1,58	
	1,50	1,77	1,52	1,44	

	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

WPS Variasi Kode 90B (Heat Input Sedang & Groove Angle Eksperimental 90)



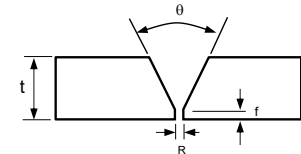
PROPOSED WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

WPS	: pWPS-STR-1009	Rev.	: 0
PQR No	: STR-1009	Page	: 1 of 1
Welding Process	: SMAW	Date	: 25-Oct-24
Application	: Secondary Steel Structure Welding (High Heat Input, Experimental Groove)		

Client : **NA**
 Project : **Analysis Study**
 Spec : NA
 : NA
 Code : **ANSI/AWS D1.1 - 2020 Structural Welding Code - Steel** Discipline : **Structural**

JOINT DESIGN USED	POSITION
Joint Type : Single V Butt Joint	Position of Groove : 1G (Flat)
Joint Groove : Single (X) Double ()	Vertical Progression: Up () Down ()
Backing : Yes () No (X)	Fillet : N/A
Backing Material : N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Root opening (R) : 3.2 (+1.0, - 0mm)	Current : AC () DCEP (X)
Root Face (f) : 1.0 (± 1.0mm)	: DCEN () Pulsed ()
Groove Angle (θ) : 90° (+5°, -0°)	
Back gouging : Yes () No (X)	
Method : N/A	
BASE METAL	TECHNIQUE
Material Spec. : ASTM A36 to ASTM A36	Stringer or Weave Bead : Both
AWS Group I or Lower Quality	Multi-pass or Single Pass (per side) : Multiple Pass
As delivery condition : Hot Rolled	Number of Electrodes : Single
C/Ceq/Pcm (Max) : 0.17% / 0.29% / 0.20%	Electrode Spacing Longitudinal : N/A
Diameter (D) : 610mm and over or Plate	Lateral : N/A
Thickness (t) : 6.0 ~ 18.0mm	Angle : N/A
Delivery Mill : Any	Contact Tube to work Distance : N/A
	Peening : Not Allowed
	Interpass Cleaning : Power brush and /or grinding
FILLER METALS	POSTWELD HEAT TREATMENT
AWS Specification : A5.1	Temp : N/A
AWS Classification : E 7016	Time : N/A
F-no. : 4	
Manufacturer : Kobe	
SHIELDING	Note:
Flux : N/A	a. Bevel surface shall be free from rust, oil, paint and other contaminant
Electrode-Flux (Class) : N/A	b. Preheat method by Heating Torch and preheat check by Digital Thermometer or Temperature Indicating Crayon.
Gas : N/A Composition : N/A	c. Maximum weaving of electrode shall be 2.5 x diameter.
PREHEAT	d. Welding shall not carried out when the weather conditions are unsatisfactory and likely to impair the quality of welds.
Preheat Temperature : 52° C (Min.)	e. Arc strike shall not be permitted outside the weld area.
Interpass Temperatur : 200° C (Max.)	
Preheat Method : Heating Torch	

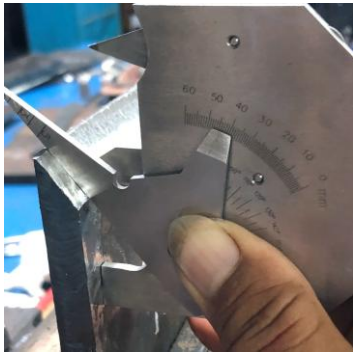
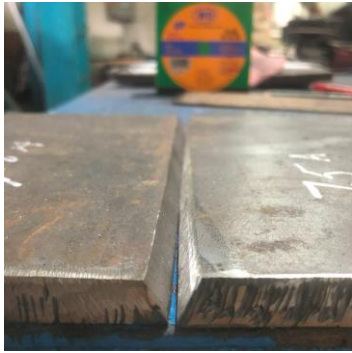
WELDING PARAMETERS

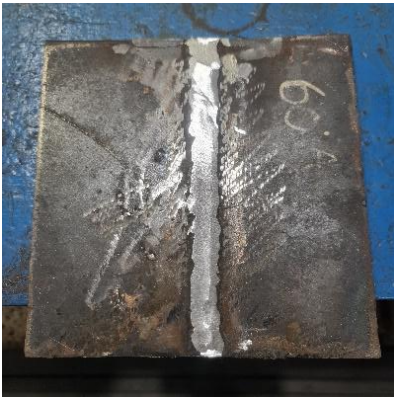
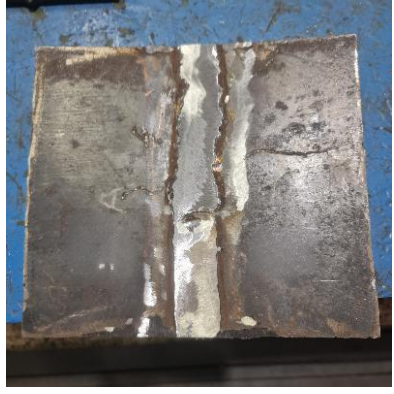
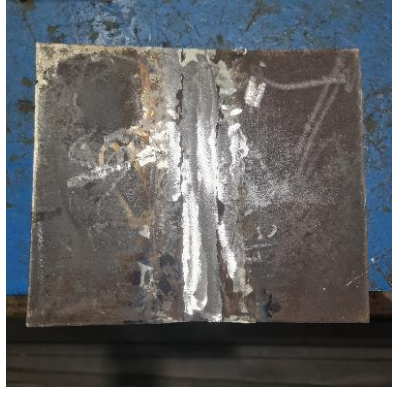
Weld Pass	Root	Hot	Fill	Cap	Joint Details
Filler Metals Class	E7016				
Filler Metals Trade Name	LB 52U	LB 52A			
Filler Metals Size	3.2mm	3.2mm	4.0mm	3.2mm	
Current Type	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	
Travel Speed (mm/min)	90 65	90 70	110 85	105 75	
Amperage (A)	130 115	150 130	180 160	160 140	
Volts (V)	23 18	23 18	25 18	23 18	
Heat Input (kJ/mm)	1,99 1,91	2,30 2,01	2,45 2,03	2,10 2,02	

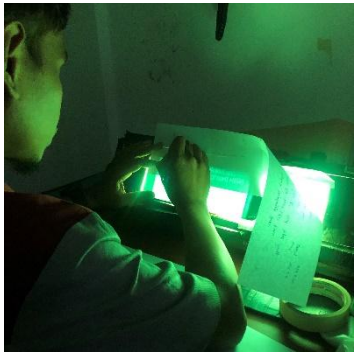
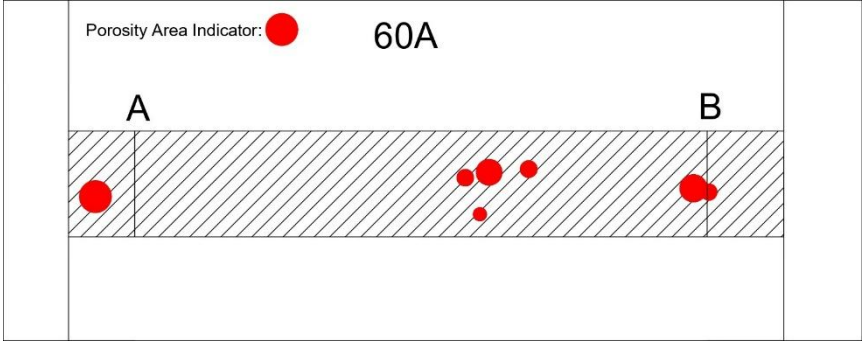
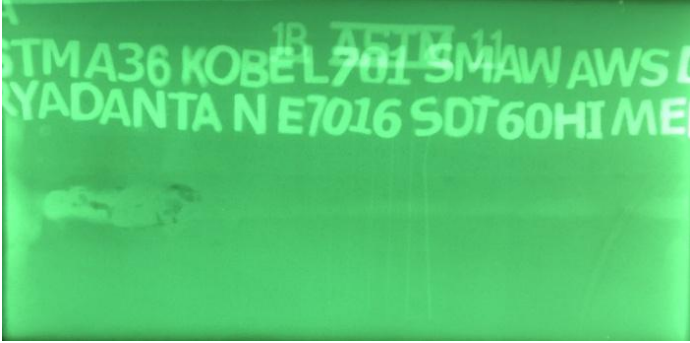
	Prepared by :	Approved by :	Approved by :
Name			
Signature			
Date			

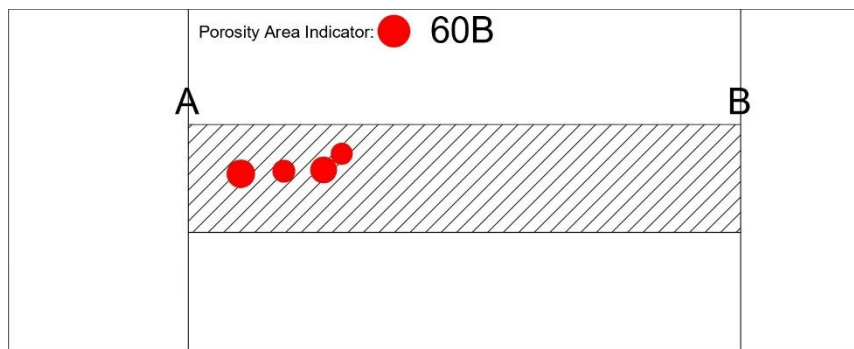
WPS Variasi Kode 90C (Heat Input Tinggi & Groove Angle Eksperimental 90)

		
Baja ASTM A36	<i>Hand Torch</i>	<i>Heat Thermal Gun</i>
		
Busur Material	Mata Gerinda Kasar	Gerinda Tangan
		
Mata Gerinda Potong	Mata Gerinda Poles	Mata Gerinda Halus
		
Kawat Las Elektroda	<i>Electrode Baking Oven</i>	Mesin Las SMAW

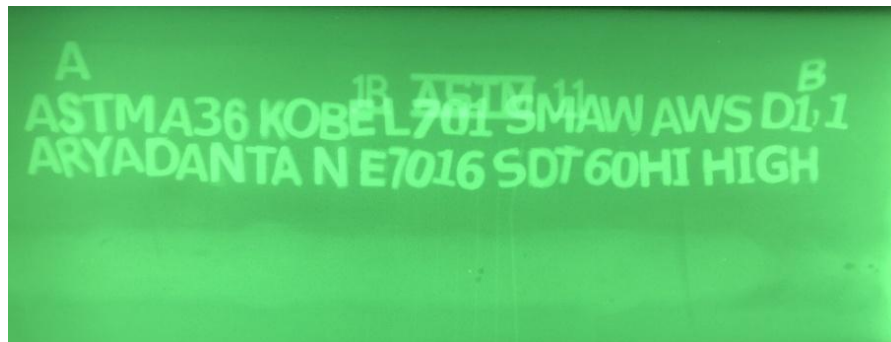
		
Busur 60	Busur 75	Busur 90
		
Groove Angle Umum 60	Groove Angle Lebar 75	Groove Angle Eksperimen 90
		
Proses Pengelasan	Proses Pengelasan	Proses Pengelasan
		
Heat Input Rendah	Heat Input Sedang	Heat Input Tinggi

		
Hasil Pengelasan Variasi Kode 60A (HI Rendah GA Umum 60)	Hasil Pengelasan Variasi Kode 60B (HI Sedang GA Umum 60)	Hasil Pengelasan Variasi Kode 60C (HI Tinggi GA Umum 60)
		
Hasil Pengelasan Variasi Kode 75A (HI Rendah GA Lebar 75)	Hasil Pengelasan Variasi Kode 75B (HI Sedang GA Lebar 75)	Hasil Pengelasan Variasi Kode 75C (HI Tinggi GA Lebar 75)
		
Hasil Pengelasan Variasi Kode 90A (HI Rendah GA Eksperimental 90)	Hasil Pengelasan Variasi Kode 90C (HI Sedang GA Eksperimental 90)	Hasil Pengelasan Variasi Kode 90C (HI Tinggi GA Eksperimental 90)

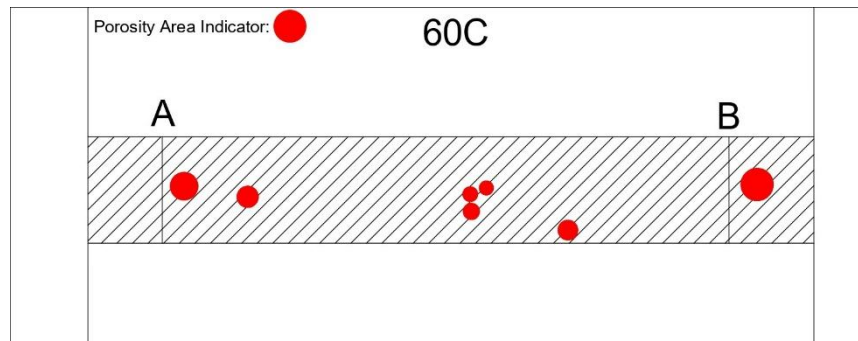
		
Proses Radiografi	Proses Radiografi	Proses Radiografi
		
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A (HI Rendah Sudut Umum 60)		
		
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A (HI Rendah Sudut Umum 60)		
		
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60B (HI Sedang Sudut Umum 60)		



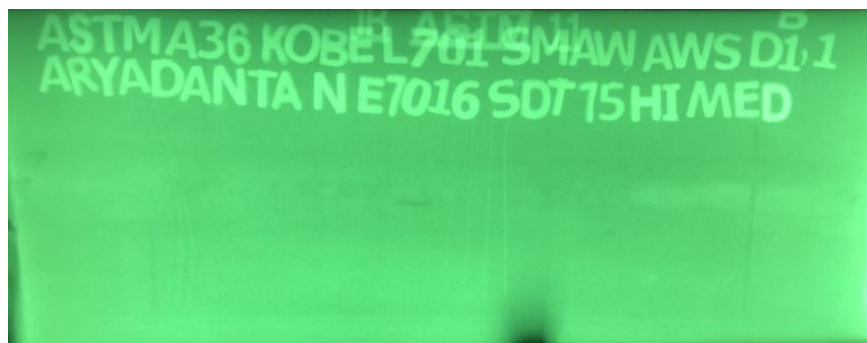
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60B (HI Sedang Sudut Umum 60)



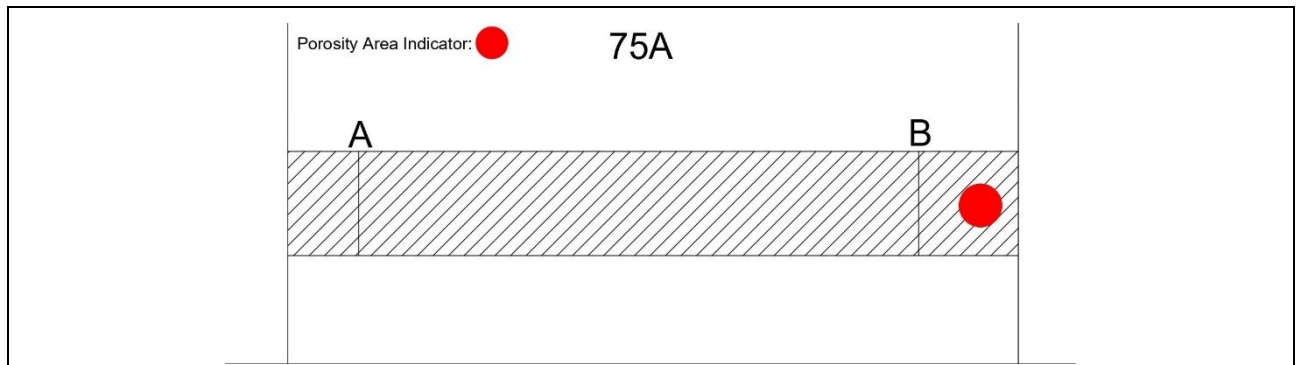
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60C (HI Tinggi Sudut Umum 60)



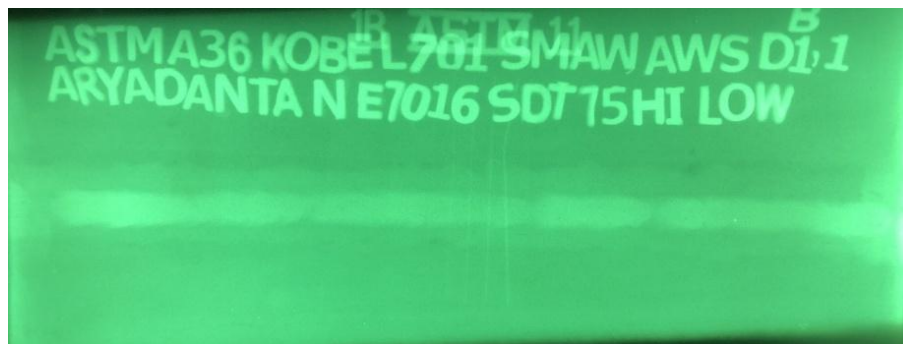
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60C (HI Tinggi Sudut Umum 60)



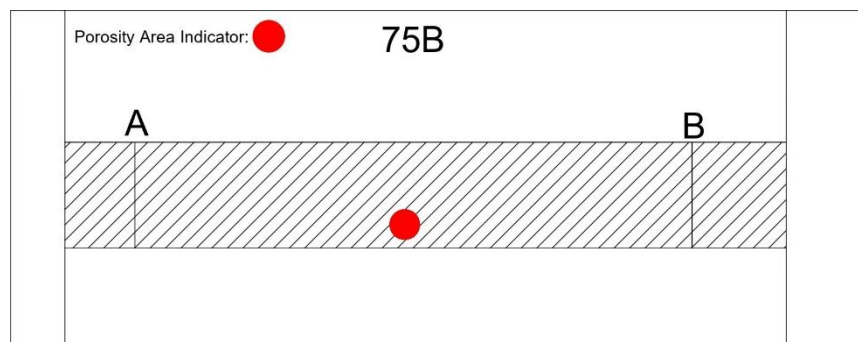
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 75A (HI Rendah Sudut Lebar 75)



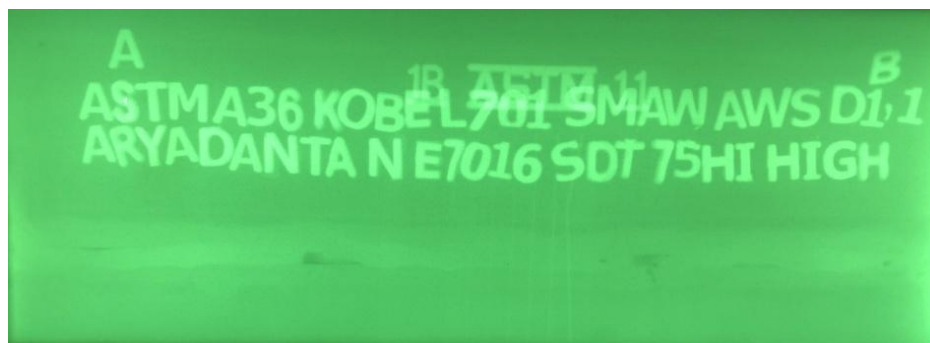
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 75A (HI Rendah Sudut Lebar 75)



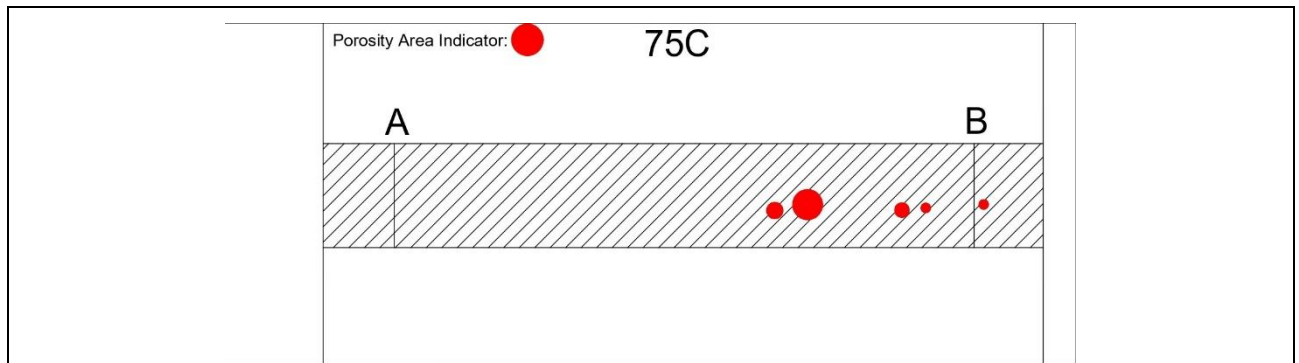
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 75B (HI Sedang Sudut Lebar 75)



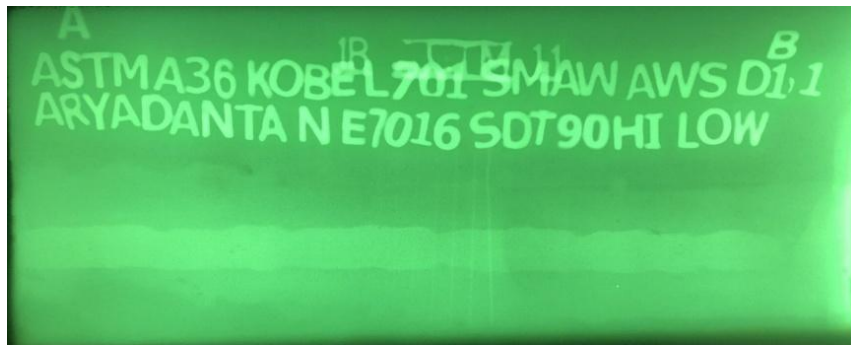
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 75B (HI Sedang Sudut Lebar 75)



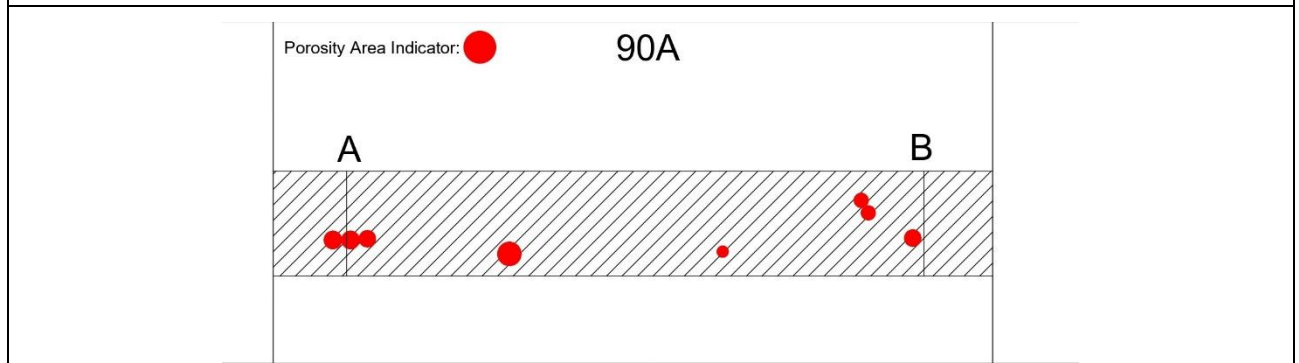
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 75C (HI Tinggi Sudut Lebar 75)



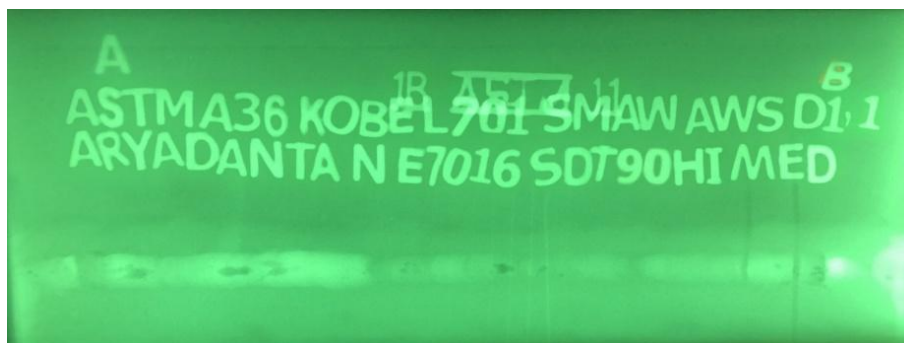
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 75C (HI Tinggi Sudut Lebar 75)



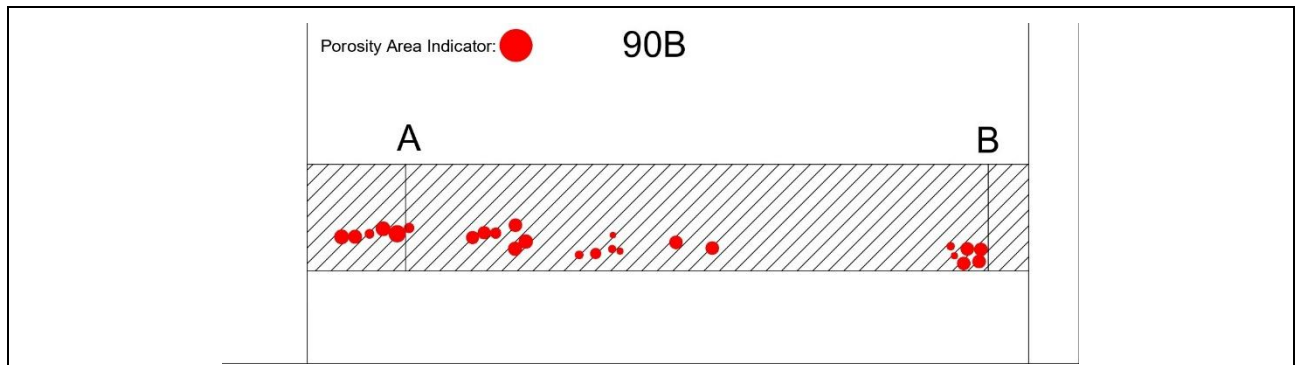
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 90A (HI Rendah Sudut Eksperimental 90)



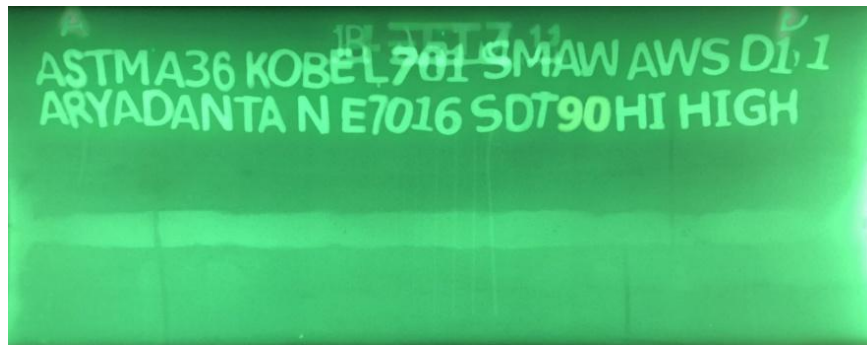
Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 90A (HI Rendah Sudut Eksperimental 90)



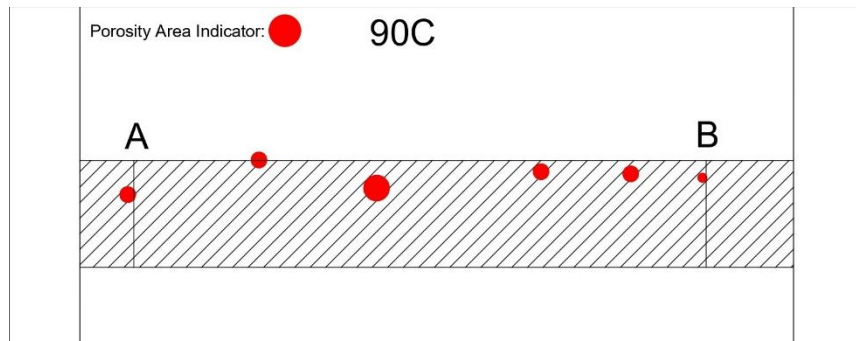
Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 90B (HI Sedang Sudut Eksperimental 90)



Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 90B (HI Sedang Sudut Eksperimental 90)



Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 90C (HI Tinggi Sudut Eksperimental 90)



Tracing Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 90C (HI Tinggi Sudut Eksperimental 90)

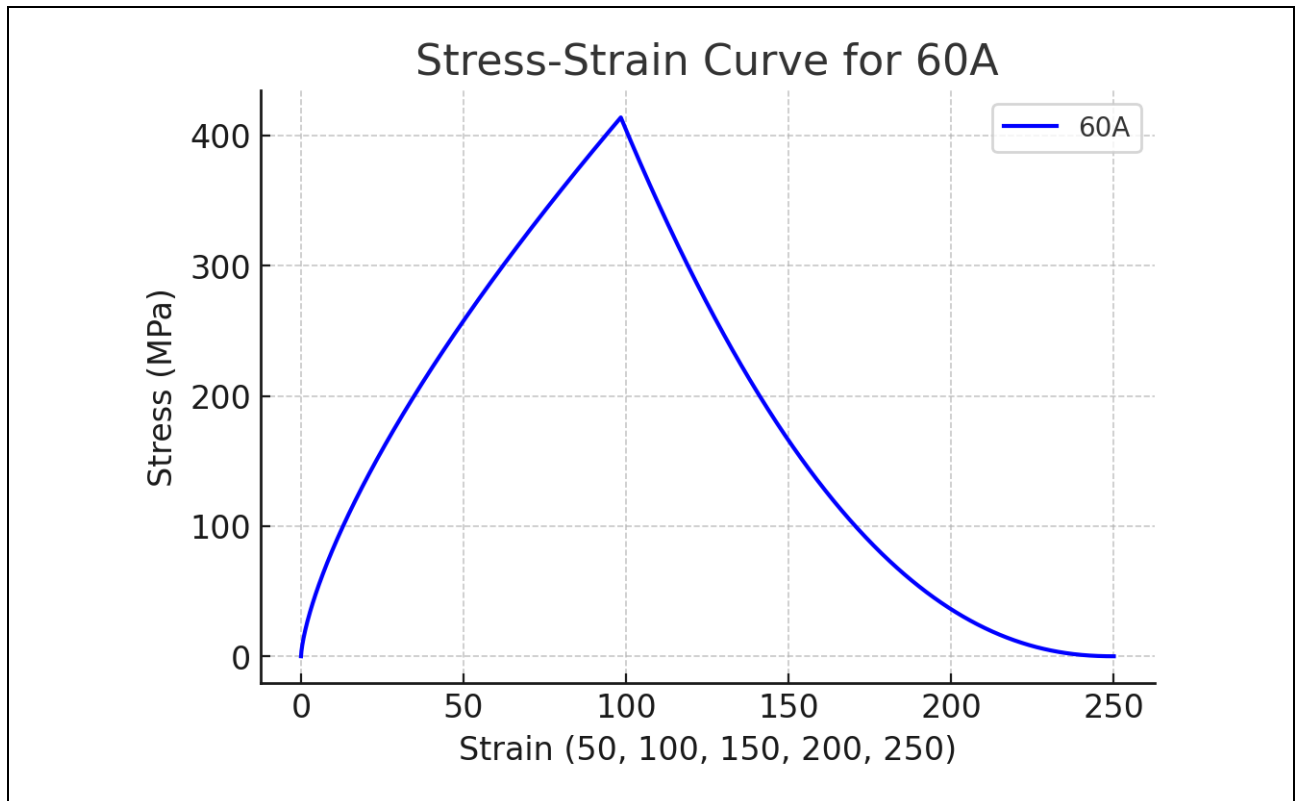
RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT		Sheet 1 of 1															
Name : Aryadanta Nugrahanjaya Project Name : Tugas Akhir Location : Surabaya Work Order No. : -		Report No. : 001-RT/RBT-AN/I/2025 Item. : - Procedure No. : RBT - P - 10 Applicable Code : AWS D1.1															
PART Name : Plate OD : - Base Mat'l Type : ASTM 36 Base Mat'l Thk. : 12 mm Reinforcement : 2 mm Backing : Yes ☐ No ☒		RADIATION SOURCE Isotope Type : Ir-192 Activity : 42 X-ray Equipment : - Voltage : - Current : - Source Size (mm) : 2 x 3															
		RADIOGRAPHIC FILM Brand : AGFA Film Type : D7 Dimension : 4x10 No. of Film in a Cassette : 1 Lead letter "B" used : Yes ☒ No ☐															
		LEAD SCREEN Thickness : 0.125 mm Placement : ☒ Front ☒ Back															
		MARKER Placement : Source Side ☒ Film Side ☐															
TECHNIQUE Exposure : Single Wall ☒ Double Wall ☐ Viewing : Single View ☒ Double View ☐ Exposure Time : 90 Scnd Ug : 0.5 mm SOD : 15" SSOF : 12mm		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH Note for sketch: 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 2. DWSV: Double Wall Single Viewing 3. Other than listed (Please Sketch)															
		IMAGE QUALITY INDICATOR Wire Set : 1B Wire ID: 8 Dia. : 0.41 mm Hole Designation : - Visible Hole : 1T ☐ 2T ☐ 4T ☐ Placement : Source Side ☒ Film Side ☐ DENSITY : Min : 2 Max : 4															
Date of RT : 31-01-25 Angle : 90°		Identification Heat Input : Low Interest Area : A - B Sensitivity : 6 Wire															
		Discontinuity <table border="1" style="width: 100%; font-size: x-small;"> <tr> <th>IF</th> <th>IP</th> <th>RC</th> <th>UC</th> <th>P</th> <th>INC</th> <th>CR</th> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>-</td> </tr> </table>		IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	-	-	-	✓	✓	✓	-
IF	IP	RC	UC	P	INC	CR											
-	-	-	✓	✓	✓	-											
		Result <table border="1" style="width: 100%; font-size: x-small;"> <tr> <th>Acc</th> <th>Rep</th> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>		Acc	Rep	-	-										
Acc	Rep																
-	-																
		Remark / Comment UC = 3mm , Slag = 3mm P= 0.5 mm UC = 3mm , SI = 3mm UC = 3mm , P = 0.5mm Cluster Porosity= 5 mm															
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack Welding Process(es) : SMAW Total Film/s : 4" x 10" = 3 Sheet/s 4" x 15" = - Sheet/s																	
Examined By, NDT Level II No. 4201013 Date: 31-01-25		Reviewed/Witnessed By, Date:															
		Reviewed/Witnessed By, Date:															
		Reviewed/Witnessed By, Date:															

Laporan Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60A 75A 90A

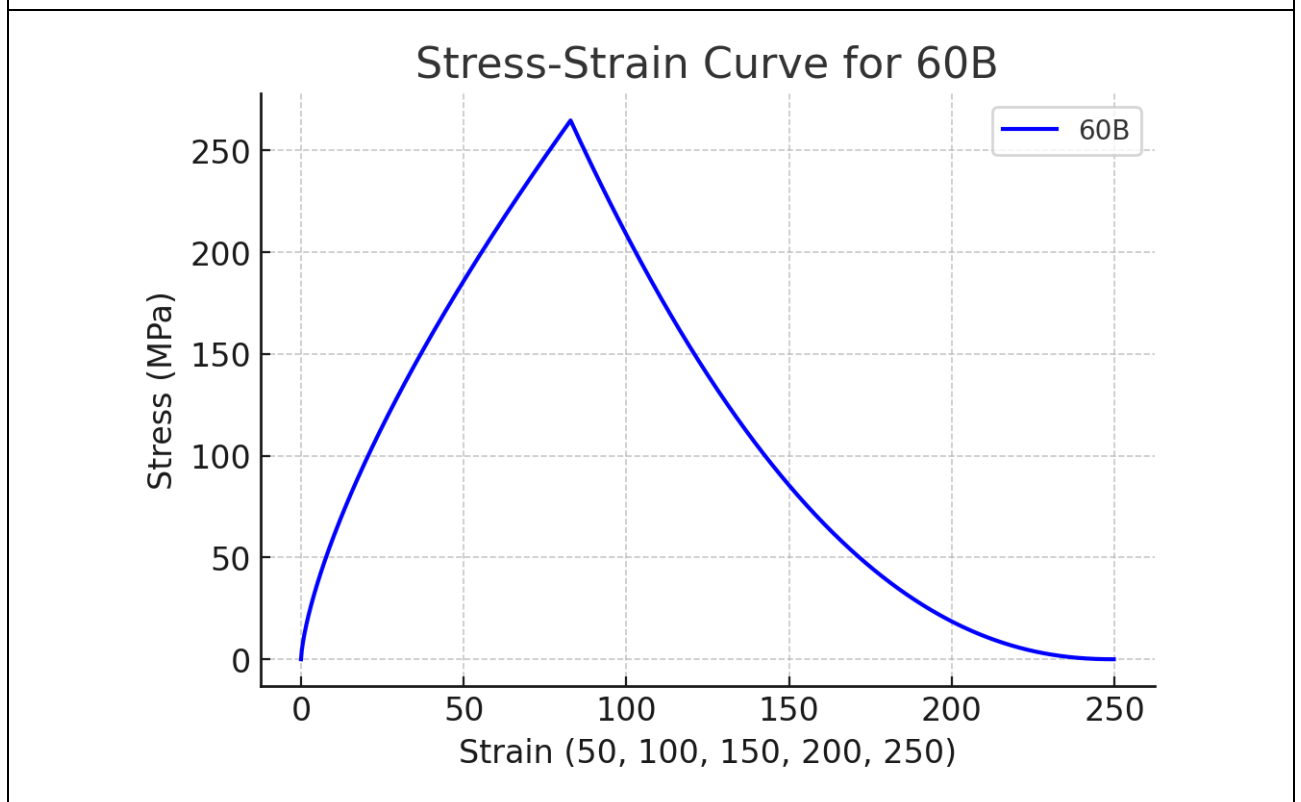
Laporan Hasil NDT Radiografi Variasi Kode 60B 75B 90B

		
Proses Pemotongan	Proses Frais	Proses Gerinda
		
3 Spesimen Uji Tarik 60A	3 Spesimen Uji Tarik 60B	3 Spesimen Uji Tarik 60C
		
3 Spesimen Uji Tarik 75A	3 Spesimen Uji Tarik 75B	3 Spesimen Uji Tarik 75C
		
3 Spesimen Uji Tarik 90A	3 Spesimen Uji Tarik 90B	3 Spesimen Uji Tarik 90C

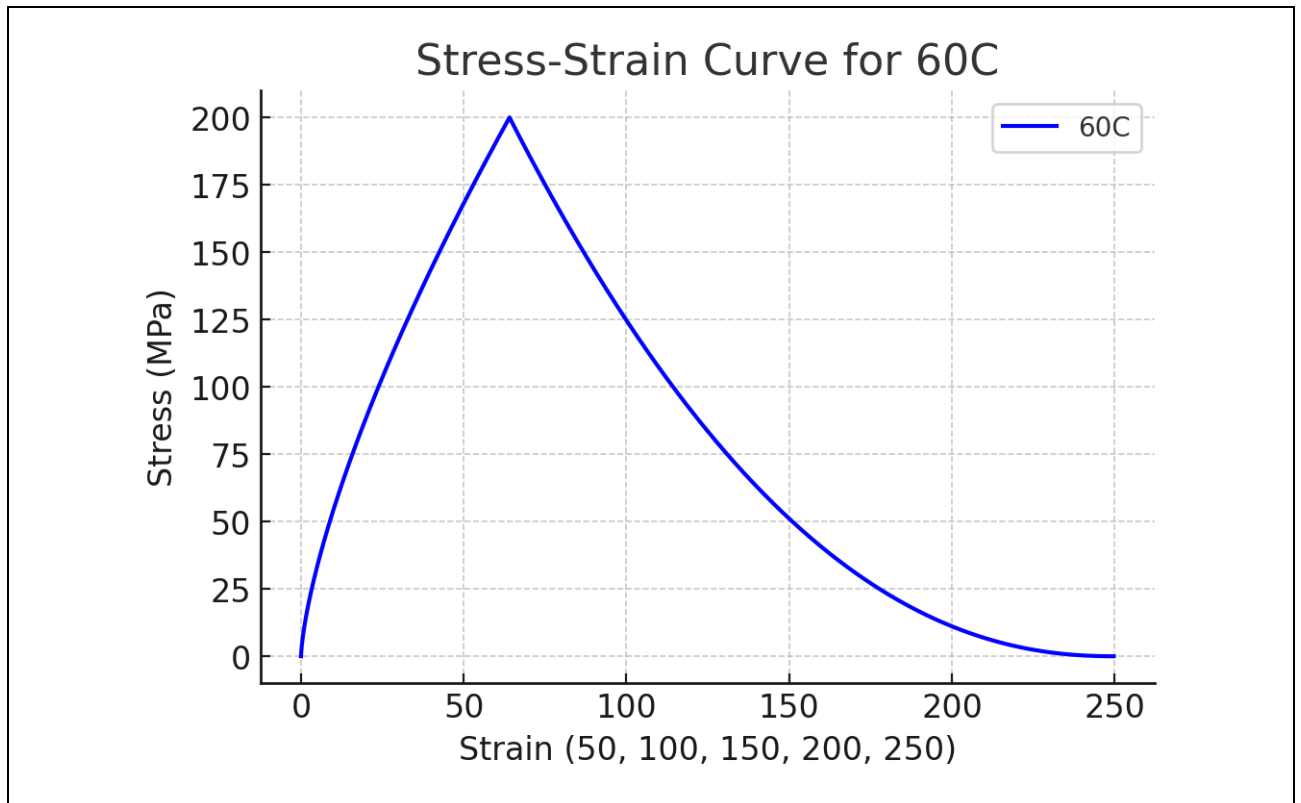
		
Setelah Uji Tarik 60A	Setelah Uji Tarik 60B	Setelah Uji Tarik 60C
		
Setelah Uji Tarik 75A	Setelah Uji Tarik 75B	Setelah Uji Tarik 75C
		
Setelah Uji Tarik 90A	Setelah Uji Tarik 90B	Setelah Uji Tarik 90C



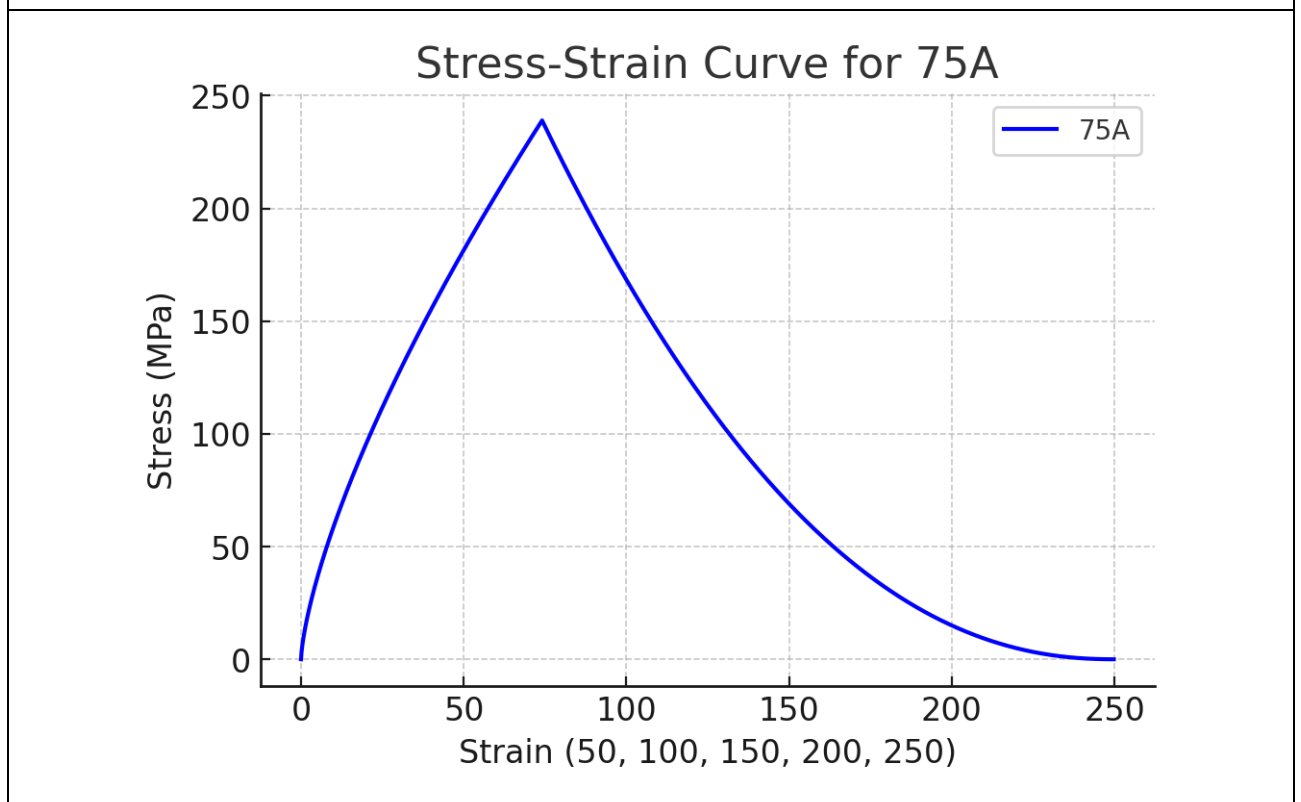
Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 60A



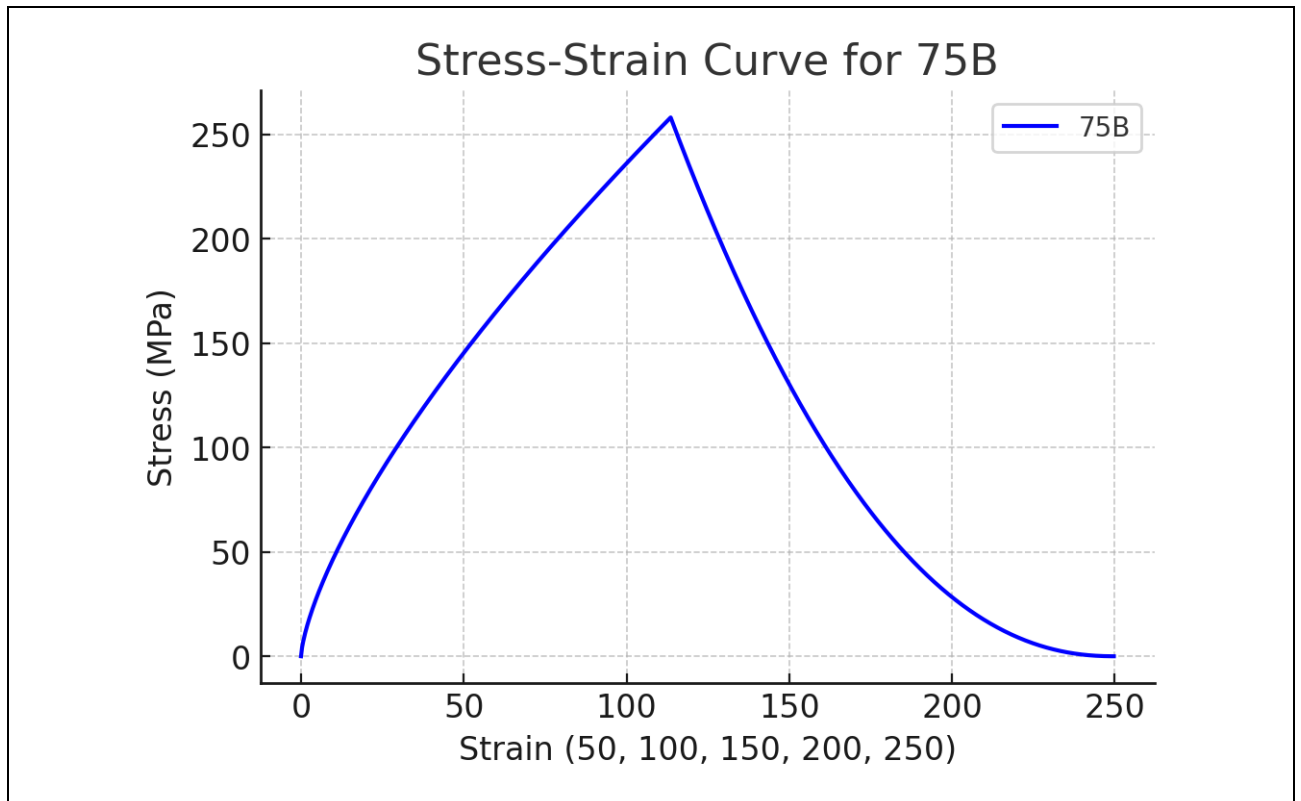
Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 60B



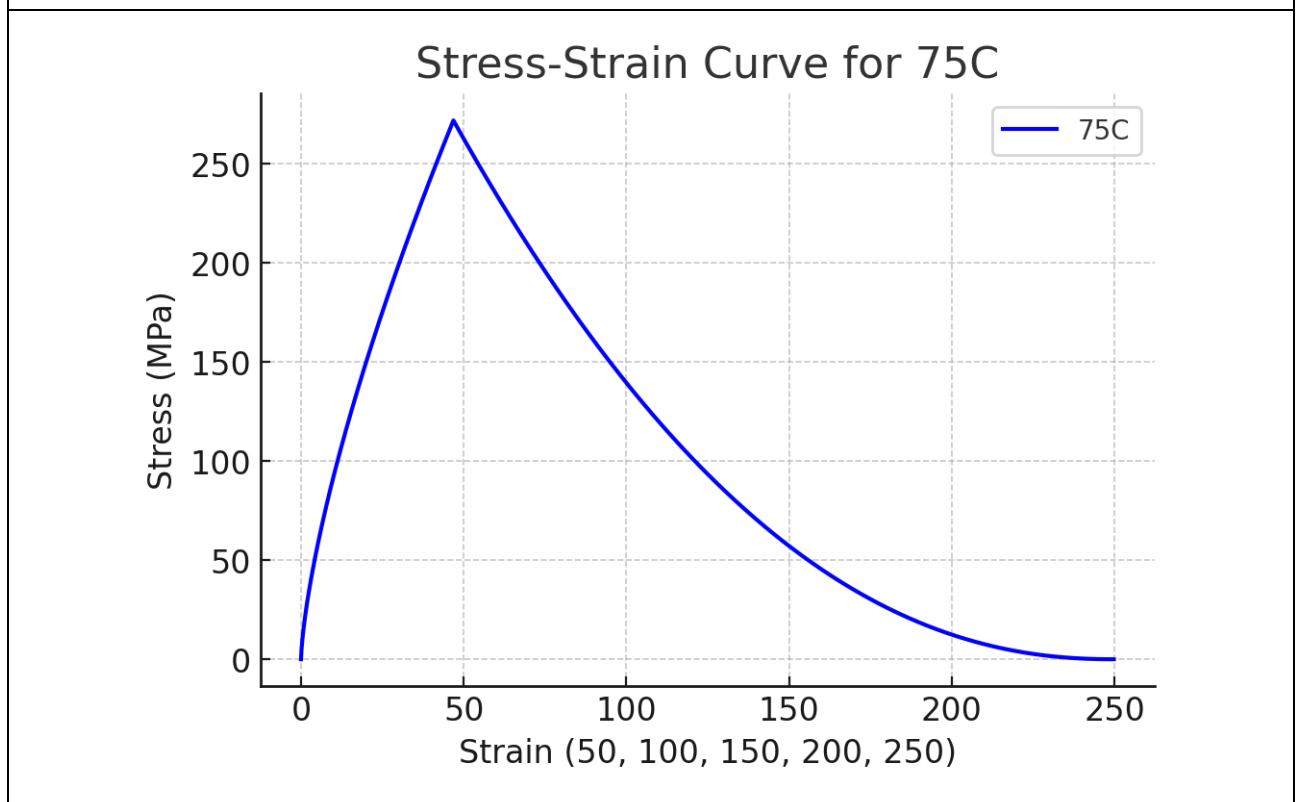
Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 60C



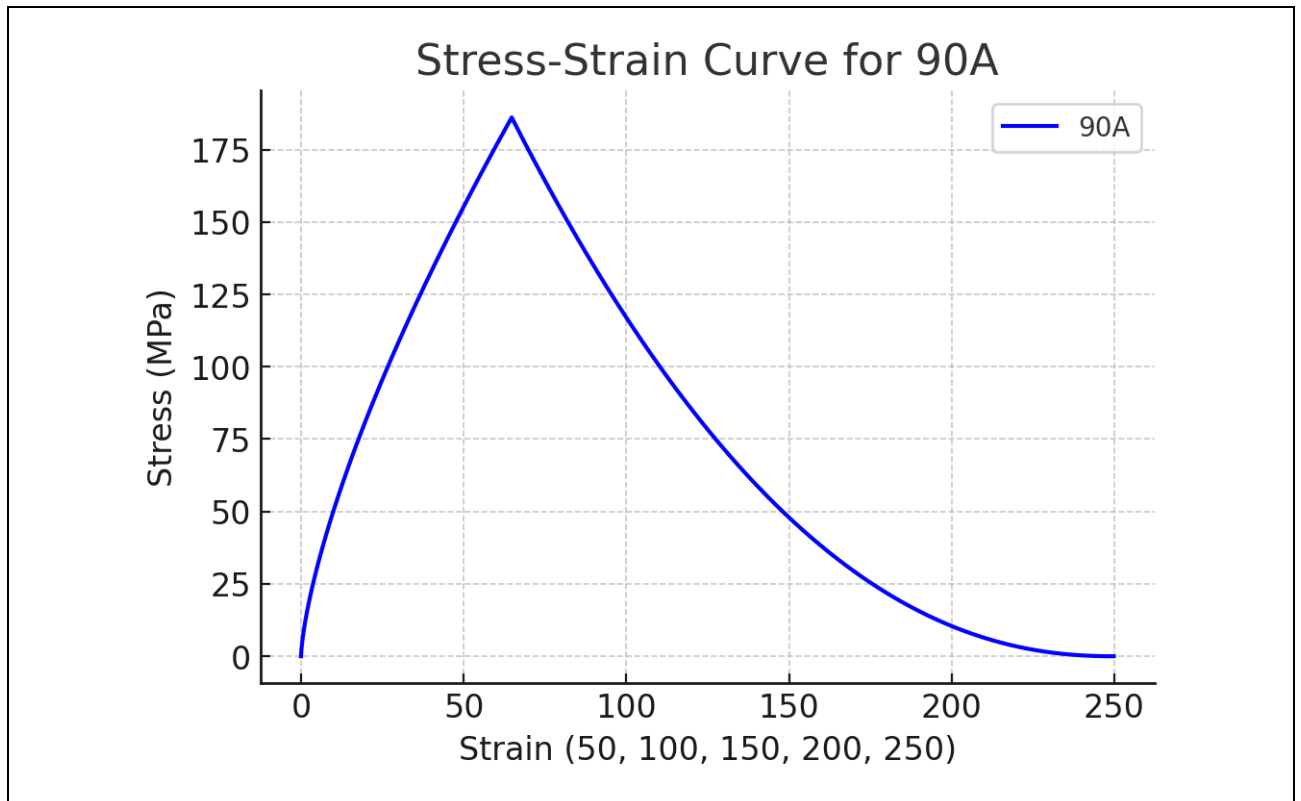
Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 75A



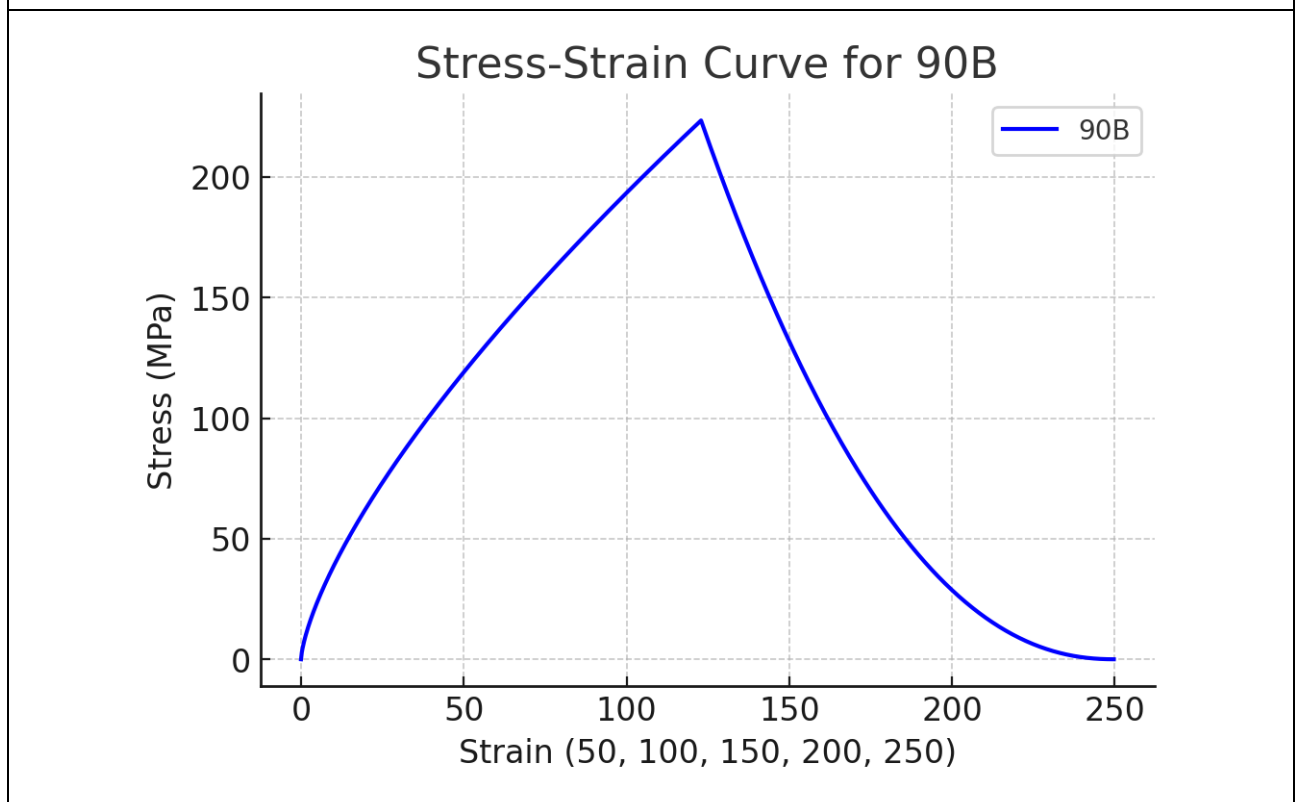
Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 75B



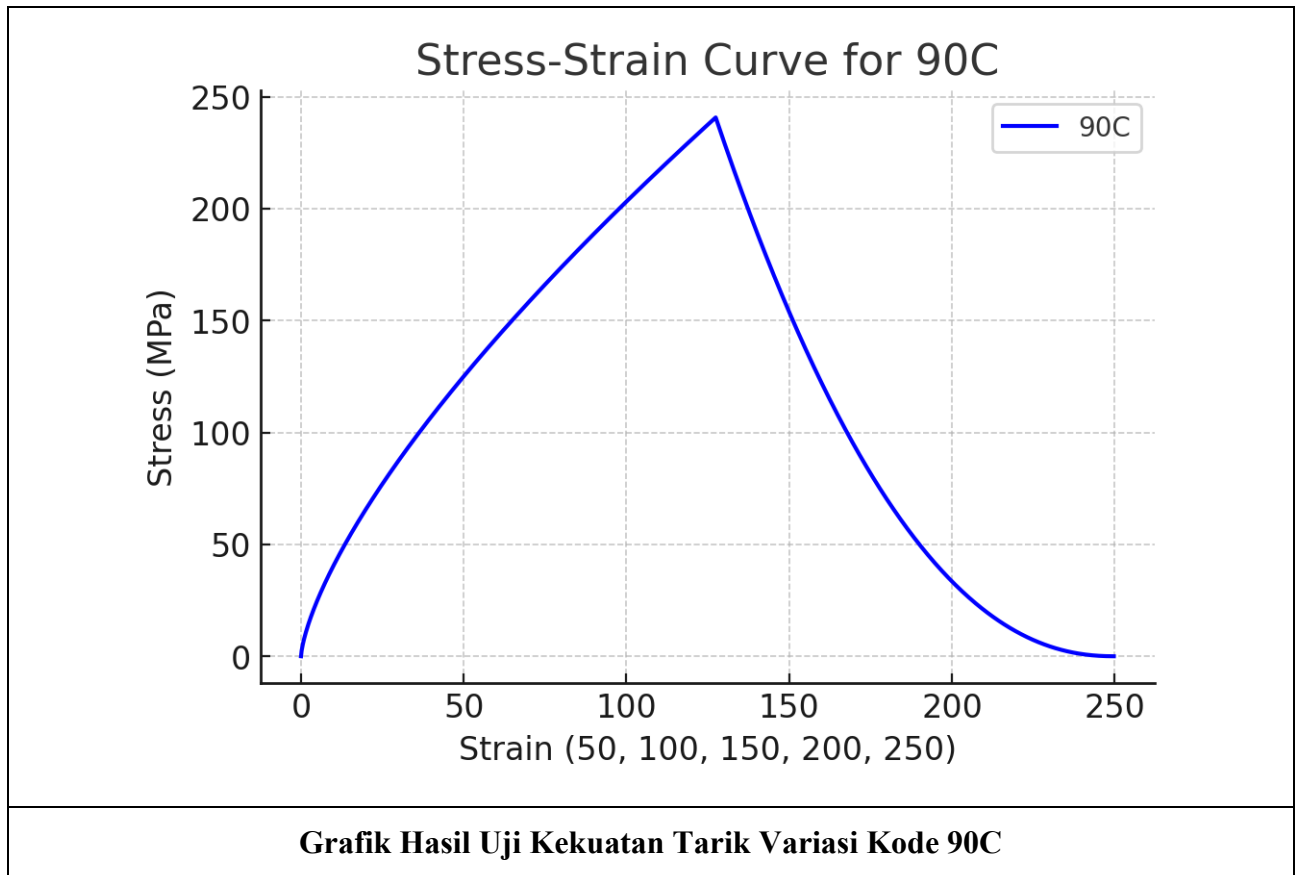
Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 75C



Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 90A



Grafik Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 90B





ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM STRUKTUR KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Email: strukturkapal.lab.its@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 21 Februari 2025
ORDER FROM : Aryadanta Nugrahansaya
TEST STANDARD : AWS D1.1 - 2010 structural welding code - steel
MATERIAL SPECS. : ASTM A36 to ASTM A36
varied Groove Angle - Generic (60°) - wide (75°) - experimental (90°)
varied Heat Input - Low (90A) - medium (120A) - High (160A)
PROJECT : Final Project - Analysis study

1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1	90°A	18,23	11,48	-	209,28	301,03	449,15			BM
2	90°A	19,56	11,57	-	226,30	300,48	433,05			BM
3	90°A	19,50	11,42	-	222,69	300,86	442,31			BM
1	60°A	19,65	11,61	-	228,13	319,99	466,83			BM
2	60°A	19,65	11,62	-	228,33	328,47	468,61			BM
3	60°A	19,26	11,53	-	222,06	328,73	477,34			BM
1	75°A	19,56	11,54	-	225,72	252,52	443,02			BM
2	75°A	19,63	11,40	-	223,78	245,77	437,93			BM
3	75°A	19,34	11,60	-	224,34	245,18	441,29			BM
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1	63	63000	94	94000						
2	68	68000	98	98000						
3	67	67000	98,5	98500						
1	73	73000	106,5	106500						
2	75	75000	107	107000						
3	73	73000	106	106000						
1	57	57000	100	100000						
2	55	55000	98	98000						
3	55	55000	99	99000						
Witnessed by :						The Laboratory Of Ships Structure FT. Kelautan ITS				
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										

Laporan Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 60A 75A 90A

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 21 Februari 2025
ORDER FROM : Aryadanta Nugrahanjaya
TEST STANDARD : AWS D1.1 - 2020 structural welding code - Steel
MATERIAL SPECS. : ASTM A36 to ASTM A36
varied Groove Angle - Generic (60°) - wide (75°) - experimental (90°)
varied Heat Input - Low (90A) - medium (120A) - High (160A)
PROJECT : Final Project - Analysis study

1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	DIA. (mm)	CSA (mm ²)	YIELD STRESS (MPa)	ULTIMATE STRESS (MPa)	ELONGATION (%)	REDUCT. of AREA (%)	
1	90°B	19,49	11,25	—	219,26	364,86	494,84			BM
2	90°B	19,21	11,31	—	217,26	354,41	494,79			BM
3	90°B	20,04	11,27	—	225,85	352,00	471,55			BM
1	60°B	19,73	11,37	—	224,55	298,37	445,33			BM
2	60°B	19,56	11,22	—	219,46	305,29	446,55			BM
3	60°B	19,27	11,43	—	220,25	299,65	440,40			BM
1	75°B	19,38	11,52	—	223,25	322,50	470,32			BM
2	75°B	19,47	11,47	—	223,32	335,84	467,93			BM
3	75°B	19,69	11,69	—	230,17	325,84	447,48			BM
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1	80	80000	108,5	108 500						
2	77	77000	107,5	107 500						
3	79,5	79500	106,5	106 500						
1	67	67000	100	100 000						
2	67	67000	98	98 000						
3	66	66000	97	97 000						
1	72	72000	101,5	101 500						
2	75	75000	104,5	104 500						
3	75	75000	103	103 000						
Witnessed by :						The Laboratory Of Ships Structure FT Kelautan ITS				
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										

Laporan Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 60B 75B 90B

REPORT ON TEST RESULT NO. :

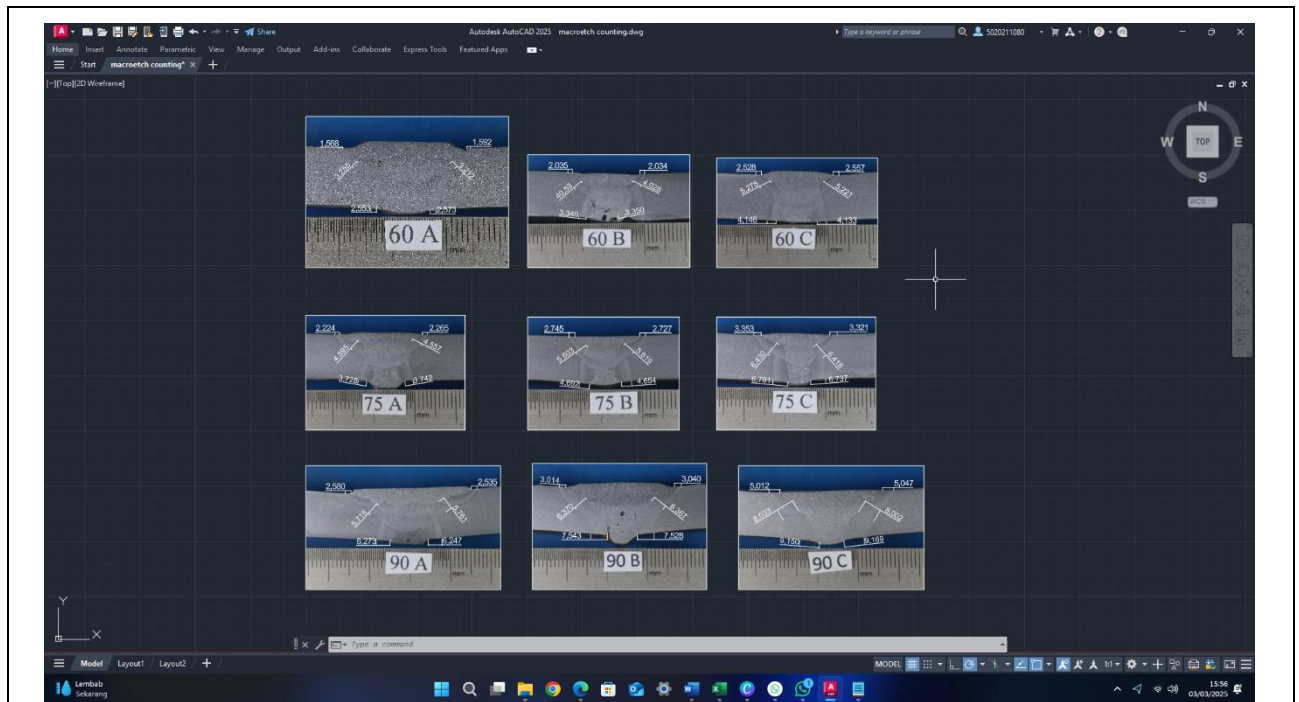
/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 21 Februari 2025
ORDER FROM : Aryadanta Nugrahanisaya
TEST STANDARD : AWS D1.1 - 2020 structural welding code - steel
MATERIAL SPECS. : ASTM A36 to ASTM A36
Varied Groove Angle - Generic (60°) - wide (75°) - experimental (90°)
Varied Heat Input - Low (90 A) - medium (120 A) - High (160 A)
PROJECT : Final Project - Analysis Study

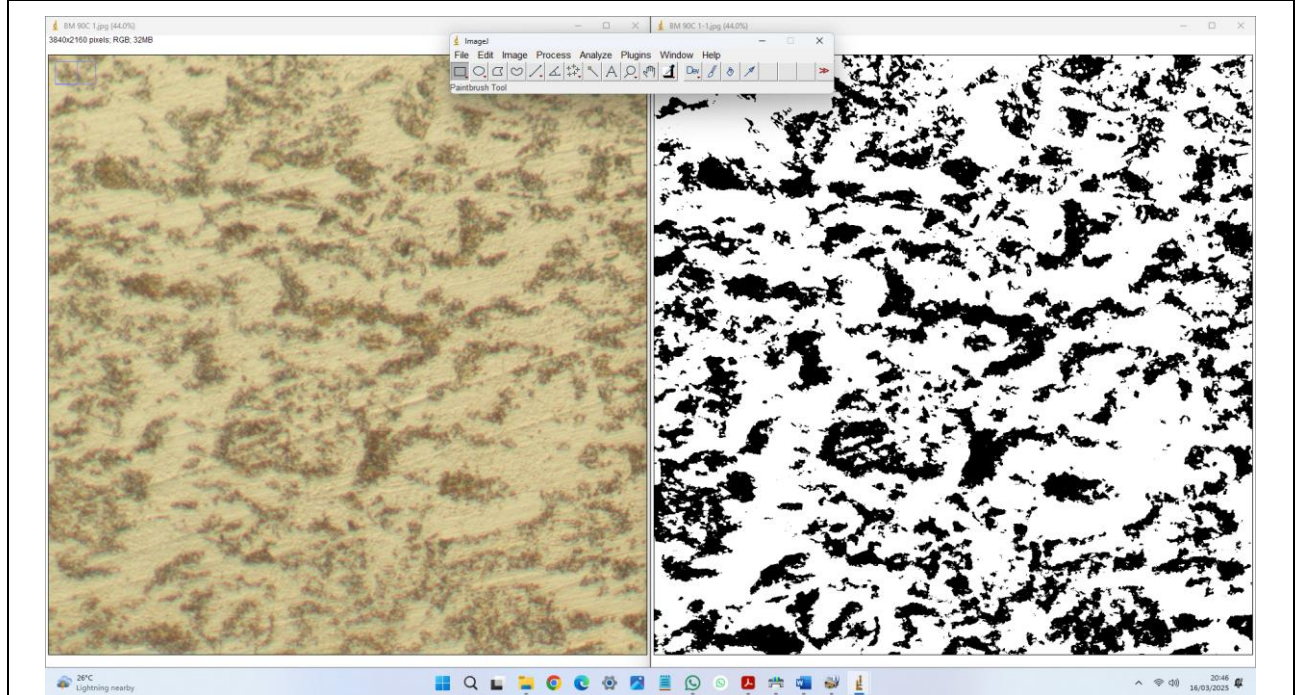
1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	DIA. (mm)	CSA (mm ²)	YIELD STRESS (MPa)	ULTIMATE STRESS (MPa)	ELONGATION (%)	REDUCT. of AREA (%)	REMARK
1	90°C	19,86	11,60	—	230,37	351,60	455,78			BM
2	90°C	19,77	11,46	—	226,56	348,69	448,00			BM
3	90°C	20,18	11,59	—	233,88	348,46	453,22			BM
1	60°C	19,48	11,49	—	228,82	314,65	432,65			BM
2	60°C	19,72	11,53	—	227,37	316,66	426,61			BM
3	60°C	18,25	11,55	—	210,78	322,61	460,19			BM
1	75°C	19,21	11,38	—	218,60	347,60	475,75			BM
2	75°C	19,01	11,16	—	212,15	353,52	459,58			WM
3	75°C	19,08	11,43	—	218,08	371,42	481,47			WM
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1	81	81000	105	105000						
2	79	79000	101,5	101500						
3	81,5	81500	106	106000						
1	72	72000	99	99000						
2	72	72000	97	97000						
3	68	68000	97	97000						
1	76	76000	104	104000						
2	75	75000	97,5	97500						
3	81	81000	105	105000						
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Structure FT. Kelautan ITS					
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										

Laporan Hasil Uji Kekuatan Tarik Variasi Kode 60C 75C 90C

		
Proses Poles Spesimen Uji Struktur Metalografi	Proses Poles Spesimen Uji Struktur Metalografi	Proses Etsa Spesimen Uji Struktur Metalografi
		
Proses Etsa Spesimen Uji Struktur Metalografi	Proses Pengambilan Gambar Uji Struktur Metalografi Makroetsa	Proses Pengambilan Gambar Uji Struktur Metalografi Mikroetsa
		
Spesimen Uji Struktur Metalografi Makroetsa dan Mikroetsa Kode 60A 60B 60C	Spesimen Uji Struktur Metalografi Makroetsa dan Mikroetsa Kode 75A 75B 75C	Spesimen Uji Struktur Metalografi Makroetsa dan Mikroetsa Kode 90A 90B 90C



Perhitungan Lebar HAZ Logam dengan Perangkat Lunak Autodesk AutoCAD 2025



Perhitungan Butir-Butir Fasa Logam dengan Perangkat Lunak ImageJ

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah saya ucapkan kepada Allah SWT karena-Nya tulisan ini dapat terselesaikan dan tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Papa Dani Ivan Jaya dan Mama Endyah Pratiwi Nugrahaeni selaku orang tua saya dan Rafie Arista Nugrahanjaya selaku adik saya yang selalu memberi dukungan dan doa kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Prof. Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama saya dan Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwan M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua saya dalam tugas akhir yang telah memberikan arahan, dukungan, nasihat, bimbingan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Terima kasih kepada para dosen penguji diantaranya yaitu Prof. Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D., Pak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Bu Ferdita Syalsabila S.T., M.T.
4. Pak Yatiran, Pak Doni, Pak Slamet, dan juga seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama masa perkuliahan dan masa penelitian tugas akhir.
5. Pak Pardi, Pak Dimas, Pak Yasir, dan Pak Didik dari Laboratorium Konstruksi Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya dalam mengerjakan penelitian tugas akhir.
6. Teman-teman satu laboratorium Rayhan Naufal, Yanuar Ugra, Ahmad Muzakki yang selalu memberikan semangat dan bantuan kepada saya.
7. Teman-teman Nirtasena yang selalu memberikan semangat serta doanya.
8. Untuk juitaku terindah Retno Nisrina Febianti yang senantiasa memberikan dukungan dan semangatnya untukku..
9. Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satupersatu.

Terima kasih atas bantuan, motivasi, dan doa sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas akhir ini. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-nya kepada kita semua.



Aryadanta Nugrahanjaya lahir di Jember pada tanggal 26 Juli 2003. Ia merupakan mahasiswa Program Studi Teknik Kelautan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan, Aryadanta aktif dalam berbagai kegiatan akademik maupun organisasi kemahasiswaan, serta memiliki minat yang besar terhadap pengembangan diri di bidang teknik kelautan dan data science.

Pengalaman profesionalnya mencakup peran sebagai **Junior Inspection Engineer** dan **Junior Laboratory Technician** di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dalam pengujian destruktif dan non-destruktif terhadap material baja seperti SS400, SM490YA, dan ASTM A325. Selain itu, ia juga pernah mengikuti program Bangkit Academy yang diselenggarakan oleh Google, Tokopedia, Gojek, dan Traveloka,

sebagai salah satu bentuk upaya pengembangan kompetensi di bidang *machine learning* dan *data-driven decision making*.

Aryadanta juga aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan, seperti menjadi *Liaison Officer* pada beberapa acara wisuda Teknik Kelautan, serta menjabat sebagai *Event Secretary* dalam OCEAN E-GAMES 2021. Dalam berbagai perannya, ia menunjukkan keterampilan komunikasi, koordinasi, serta pengelolaan alat dan perlengkapan yang baik.

Dengan latar belakang akademik dan pengalaman tersebut, Aryadanta menunjukkan dedikasi dan komitmen tinggi dalam mengejar keunggulan di bidang teknik kelautan dan teknologi, yang diharapkan dapat menjadi kontribusi positif di dunia profesional setelah menyelesaikan studi sarjananya.

Ditetapkan di Surabaya

REKTOR INSTITUT TEKNOLOGI

SEPULUH NOPEMBER,

ARYADANTA NUGRAHANJAYA

NRP 5020211080