



TUGAS AKHIR (WE40050)

ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN *RESIDUAL COATING* PADA PERMUKAAN BAJA BKI *GRADE A* DALAM PROSES PENGELASAN SMAW TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, STRUKTUR MAKRO DAN MIKRO

BINTANG SHISHYA WAHYOU RAMADHANIE
NRP. 0722040020

DOSEN PEMBIMBING:
BACHTIAR, S.T., M.T.
ADRISTI NISAZARIFA, ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGELASAN
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WE40050)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN
RESIDUAL COATING PADA PERMUKAAN BAJA BKI
GRADE A DALAM PROSES PENGELASAN SMAW
TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN,
STRUKTUR MAKRO DAN MIKRO**

**BINTANG SHISHYA WAHYOU RAMADHANIE
NRP. 0722040020**

**DOSEN PEMBIMBING:
BACHTIAR, S.T.,M.T.
ADRISTI NISAZARIFA, ST., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGELASAN
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN *RESIDUAL COATING*
PADA PERMUKAAN BAJA BKI *GRADE A* DALAM PROSES
PENGELASAN SMAW TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN,
STRUKTUR MAKRO DAN MIKRO**

Disusun Oleh:
Bintang Shishya Wahyu Ramadhanie
0722040020

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Pengelasan
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 27 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Bachtiar, S.T., M.T.	(0004127002)	(.....)
2. Hendri Budi Kurniyanto, S.ST., M.T.	(0007039003)	(.....)
3. Alvalo Toto Wibowo, S.ST., M.T.	(0005039501)	(.....)
4. Mudzakkir Dioktyanto, S.T., M.T.	(4340774675130263)	(.....)

Dosen Pembimbing	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Bachtiar, S.T., M.T.	(0004127002)	(.....)
2. Adristi Nisazarifa, S.T., M.T.	(2738777678230092)	(.....)

Menyetujui Ketua
Jurusan,


Biyambodo Nur Ardi N., S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198103242014041001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,


Moh. Syaiful Amri, S.ST., M.T.
NIP. 199101072019031016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

 PPNS	PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	No. : F WD 1.021
		Date : 3 Nopember 2015
		Rev : 01
		Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawahn ini :

Nama : Bintang Shishya Wahyou Ramadhanie
 NRP. : 0722040020
 Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal/D4-Teknik Pengelasan

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang saya kerjakan dengan judul :

**ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN *RESIDUAL COATING*
 PADA PERMUKAAN BAJA BKI *GRADE A* DALAM PROSES PENGELASAN
 SMAW TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, STRUKTUR MAKRO
 DAN MIKRO**

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dan karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya penuh tanggung jawab.

Surabaya, 28 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Bintang Shishya Wahyou R.
 NRP. 0722040020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, ridho, dan kemudahan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus dan *Residual Coating* Pada Permukaan Baja BKI *Grade A* Dalam Proses Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Struktur Makro dan Mikro”. Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Diploma Empat (D4) pada Program Studi Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Perjalanan dalam menyusun Tugas Akhir ini bukanlah proses yang mudah. Ada banyak waktu, tenaga, pikiran, serta perasaan yang terlibat di dalamnya. Namun, melalui setiap proses tersebut, penulis belajar bahwa penyelesaian Tugas Akhir ini tidak hanya bergantung pada kemampuan diri sendiri, tetapi juga pada doa, dukungan, arahan, dan kehadiran banyak pihak yang selalu menguatkan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. atas limpahan rahmat, hidayah, kekuatan, dan kemudahan yang senantiasa menyertai penulis dalam setiap langkah, serta Nabi Muhammad SAW. sebagai teladan dalam kesabaran, keteguhan hati, dan keikhlasan yang menjadi pengingat bagi penulis untuk terus berusaha, bersabar, dan bersyukur dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa menjadi sumber doa, kekuatan, dan alasan bagi penulis untuk terus berusaha. Terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan, pengorbanan, serta kepercayaan yang tidak pernah berhenti diberikan kepada penulis.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Ir. Priyambodo Nur Ardi N., S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Moh. Syaiful Amri. S. ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pengelasan.

6. Bapak Bachtiar, S.T., M.T. serta Ibu Adristi Nisazarifa, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, serta kesabaran selama proses penyusunan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak Sangin yang telah memberikan dukungan secara materi dalam pengerjaan awal tugas akhir hingga pengujian terselesaikan.
8. Teman-teman RSSG yang senantiasa menemani penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir.
9. Saudari Nabilla Andi Algadhiyah yang memberi dukungan pada penulis seiring malam berganti, memberi dukungan lebih pada penulis dan meyakinkan penulis bahwa tertinggal boleh asal selesai, karena tiap orang punya garis *start* dan *finish* masing-masing.

ANALISIS PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN *RESIDUAL COATING* PADA PERMUKAAN BAJA BKI GRADE A DALAM PROSES PENGELASAN SMAW TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, STRUKTUR MAKRO DAN MIKRO

Nama Mahasiswa
NRP
Dosen Pembimbing

: Bintang Shishya Wahyou Ramadhania
0722040020
: 1. Bachtiar, S.T., M.T.
2. Adristi Nisazarifa, S.T., M.T.

ABSTRAK

Proses *re-plating* pelat kapal sering dilakukan pada permukaan yang masih memiliki sisa *coating*, sehingga berpotensi memengaruhi kualitas sambungan las. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kuat arus dan *residual coating* terhadap kekuatan tarik, kekerasan, serta struktur makro dan mikro sambungan las baja BKI Grade A. Pengelasan dilakukan menggunakan proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan variasi arus 80 A, 100 A, dan 120 A serta kondisi permukaan tanpa *coating*, dua lapis *coating*, dan tiga lapis *coating*. Pengujian meliputi inspeksi visual, uji tarik, uji kekerasan Vickers, pengamatan makro, dan pengamatan mikro. Data kekerasan dianalisis menggunakan *Two-Way ANOVA*. Hasil pengujian tarik menunjukkan kekuatan tarik sebesar 252,35–489,76 MPa, dengan rata-rata tertinggi pada spesimen dengan dua *layer coating* yang menggunakan arus 80A sebesar 487,82 MPa. Penambahan jumlah *coating* tidak menunjukkan peningkatan kekuatan tarik secara linear karena hasilnya juga dipengaruhi oleh cacat dan kualitas sambungan. Nilai kekerasan menunjukkan bahwa kuat arus mempengaruhi kekerasan, dimana rata-rata kekerasan pada *weld metal* sebesar 191,37 HVN, diikuti HAZ sebesar 159,76 HVN dan. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa kuat arus dan *residual coating* tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan *weld metal*. Pada *base metal*, *residual coating* dan interaksinya dengan kuat arus memberikan pengaruh signifikan, sedangkan pada HAZ kedua variabel dan interaksinya memberikan pengaruh signifikan. Pengamatan makro menunjukkan adanya perbedaan penetrasi, lebar HAZ, dan porositas, terutama pada material dengan *coating*. Struktur mikro *base metal* dan HAZ didominasi ferrite dan pearlite, sedangkan pada *weld metal* ditemukan struktur yang diduga sebagai *acicular ferrite*. Dengan demikian, kuat arus dan *residual coating* memberikan pengaruh berbeda pada setiap daerah sambungan, seperti kesulitan melelehkan logam induk karena lapisan *coating* terbakar dan berimbas pada uji mekanik pada sambungan, sehingga pembersihan permukaan dan pemilihan arus yang tepat diperlukan untuk menghasilkan kualitas las yang optimal.

Kata Kunci: BKI Grade A, Kekuatan Tarik, Kekerasan, *Residual Coating*, SMAW, Struktur Makro, Struktur Mikro.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATIONS IN CURRENT INTENSITY AND RESIDUAL COATING ON THE SURFACE OF GRADE A BKI STEEL DURING THE SMAW WELDING PROCESS TOWARDS TENSILE STRENGTH, HARDNESS, AND MACRO- AND MICROSTRUCTURE

Nama Mahasiswa
NRP
Dosen Pembimbing

: Bintang Shishya Wahyou Ramadhania
0722040020
: 1. Bachtiar, S.T., M.T.
2. Adristi Nisazarifa, S.T., M.T.

ABSTRACT

Ship plate replating is often performed on surfaces with residual coating, which may affect the quality of welded joints. This study investigates the effects of welding current and residual coating on the tensile strength, hardness, macrostructure, and microstructure of BKI Grade A steel welded joints. Welding was performed using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process at currents of 80 A, 100 A, and 120 A. The specimens were either uncoated or coated with up to three layers. The tests included visual inspection, tensile testing, Vickers hardness testing, and macrostructural and microstructural examinations. Hardness data were analyzed using two-way ANOVA. The tensile strength ranged from 252.35 to 489.76 MPa. The Highest average tensile strength, 487.82 MPa, was obtained from specimens with two coating layers welded at 80 A. Increasing the number of coating layers did not produce a linear increase in tensile strength. The average hardness values were 191.37 HVN in the weld metal and 159.76 HVN in the Heat-Affected Zone (HAZ). The two-way ANOVA showed that welding current and residual coating did not significantly affect weld metal hardness. In the base metal, residual coating and its interaction with welding current significantly affected hardness. In the HAZ, welding current, residual coating, and their interaction significantly affected hardness. Macrostructural examination revealed differences in weld penetration, HAZ width, and porosity, particularly in coated specimens. Microstructural examination showed that the base metal and HAZ were mainly composed of ferrite and pearlite, whereas the weld metal appeared to contain acicular ferrite. Overall, welding current and residual coating produced different effects across the welded joint regions. Residual coating may interfere with base metal melting during welding, thereby influencing the mechanical properties of the welded joints. Therefore, proper surface cleaning and an appropriate welding current are essential for achieving optimal weld quality.

Keywords: BKI Grade A Steel, Hardness, Macrostructure, Microstructure, Residual Coating, SMAW, Tensile Strength.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Shielded Metal Arc Welding</i>	5
2.2 Parameter Pengelasan.....	6
2.3 Filler Metal.....	7
2.4 <i>Residual Coating</i>	8
2.5 BKI Grade A.....	9
2.6 Pengujian Kekerasan.....	10
2.6.1 Pengujian kekerasan <i>brinell</i>	10
2.6.2 Pengujian kekerasan <i>rockwell</i>	12
2.6.3 Pengujian kekerasan <i>vickers</i>	14
2.7 Metalografi	15

2.8 Pengujian Tarik.....	16
2.9 Pengujian ANOVA (<i>Two Ways ANOVA</i>)	18
2.10 Penelitian Terdahulu	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Diagram Alir Penelitian	35
3.2 Studi Literatur	36
3.3 Studi Lapangan	37
3.4 Pengumpulan Data	37
3.5 Persiapan Alat dan Bahan	37
3.5.1 Persiapan alat	37
3.5.2 Persiapan Material.....	38
3.5 Proses Pengecatan.....	39
3.6 Proses Pengelasan	39
3.7 Pengujian Spesimen.....	40
3.7.1 Uji Visual	41
3.7.2 Uji Kekerasan.....	41
3.7.3 Uji Tarik.....	42
3.7.4 Pengujian Makro.....	43
3.7.5 Pengujian Mikro.....	43
3.8 Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	44
3.9 Analisis dan Pembahasan (<i>Anova Two-Ways</i>).....	44
BAB 4.....	47
HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Parameter Pengelasan.....	47
4.2 Uji Visual.....	48
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan	50
4.3.1 Nilai Kekerasan Pada <i>Base Metal</i>	50
4.3.2 Nilai Kekerasan Pada Daerah <i>HAZ</i>	51

4.3.3 Nilai Kekerasan Pada Daerah <i>Weld Metal</i>	52
4.4 Hasil Pengujian Mikro	53
4.4.1 <i>Base Metal</i>	53
4.4.2 <i>Heat Affected Zone</i>	55
4.4.3 <i>Weld Metal</i>	56
4.4.4 <i>Fusion Line</i>	58
4.5 Hasil Pengujian Struktur Makro	59
4.6 Hasil Pengujian Tarik	61
4.7 Hasil Uji ANOVA <i>Two-Ways</i>	63
4.8 Pembahasan	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN 1	77
MILL CERTIFICATE	77
LAMPIRAN 2	78
DOKUMENTASI PERSIAPAN DAN PROSES PENGELASAN.....	78
LAMPIRAN 3	83
PENGUJIAN	83
BIODATA PENULIS	111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Elektroda E6013	7
Tabel 2.2 <i>Mechanical properties</i> BKI Grade A.....	10
Tabel 2.3 <i>Chemical Composition</i> BKI Grade A.....	10
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 4. 1 Penamaan Spesimen.	47
Tabel 4. 2 Parameter Pengelasan	47
Tabel 4. 3 <i>Visual Test Report</i>	49
Tabel 4. 4 Hasil <i>Hardness Base Metal</i>	50
Tabel 4. 5 Hasil Uji <i>Hardness</i> Pada <i>Weld Metal</i>	52
Tabel 4. 6 Hasil Uji <i>Tensile</i>	62
Tabel 4. 7 Hasil Uji Normalitas <i>Hardness</i> WM	88
Tabel 4. 8 Hasil Uji Normalitas <i>Hardness</i> BM	88
Tabel 4. 9 Hasil Uji Normalitas <i>Hardness</i> HAZ.....	88
Tabel 4. 10 Hasil Uji Homogenitas <i>Hardness</i> WM.....	89
Tabel 4. 11 Hasil Uji Homogenitas <i>Hardness</i> BM.....	89
Tabel 4. 12 Hasil Uji Homogenitas <i>Hardness</i> HAZ	89
Tabel 4. 13 Hasil Uji ANOVA <i>Two-Ways</i> Pada Wm.....	90
Tabel 4. 14 Hasil Uji ANOVA <i>Two-Ways</i> Pada BM.....	90
Tabel 4. 15 Hasil Uji ANOVA <i>Two-Ways</i> Pada HAZ.....	91

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelasan SMAW	5
Gambar 2.2 Elektroda E6013.....	8
Gambar 2.3 Prinsip Uji Brinell	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.2 Dimensi Plat BKI Grade A	38
Gambar 3.3 Joint Design Pengelasan.....	40
Gambar 3.4 Cutting Plan Spesimen Uji.....	41
Gambar 4. 1 Hasil Visual Test.....	49
Gambar 4. 2 Grafik Rata-Rata Hardness Base Metal	51
Gambar 4. 3 Grafik Rata-Rata Hardness Pada HAZ	52
Gambar 4. 4 Grafik Rata-Rata Nilai Hardness Pada Weld Metal.....	53
Gambar 4. 5 Hasil Mikro Pada Base Metal	55
Gambar 4. 6 Hasil Mikro Daerah HAZ	56
Gambar 4. 7 Hasil Mikro Daerah Weld Metal.....	58
Gambar 4. 8 Hasil Uji Mikro Fusion Line.....	59
Gambar 4. 9 Hasil Uji Makro	61
Gambar 4. 10 Grafik Uji Tensile	63
Gambar 4. 11 Perbandingan Hardness HAZ dan WM	72

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang perkapalan, terkhususnya jasa logistik dan *dry docking*. Salah satu pekerjaan yang dilakukan saat ini adalah proses *dry docking* kapal pandu atau *tugboat* untuk mereparasi kapal yang sudah terdampak kerusakan atau cacat akibat pemakaian kapal. Proses ini harus *on schedule* dengan rencana awal. Salah satu proses *docking* yang paling memakan banyak waktu yaitu proses *re-plating* pada bagian kapal, dimana di dalam proses tersebut akan dilakukan peninjauan awal, pengukuran dimensi plat baru, pemotongan plat lama, dan pemasangan plat baru. Metode pengelasan yang dipakai yaitu *Shielded Metal Arc Welding* atau SMAW, dengan material *re-plating* menggunakan BKI Grade A.

Dalam proses pengelasan, ada beberapa parameter yang mempengaruhi hasil pengelasan yang salah satunya adalah kuat arus. Perbedaan kuat arus dapat mempengaruhi hasil pengelasan dimana kuat arus juga diatur sesuai dengan kebutuhan dan ketebalan material. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik pada spesimen *raw material* yang tidak mengalami pengelasan memiliki nilai kuat tarik berbeda dengan spesimen yang mengalami pengelasan, bahwa nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada arus 100 A yaitu sebesar 44.08 kgf/mm², selanjutnya diikuti oleh arus 80 A yaitu sebesar 43.14 kgf/mm², selanjutnya diikuti oleh nilai kekuatan tarik dari *raw material* yaitu sebesar 41.88 kgf/mm², dan yang terakhir adalah arus 90 A yang nilainya sebesar 40.07 kgf/mm². Nilai pengujian kekerasan material pada arus 80 A, 90 A, dan 100 A menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yaitu pada kelompok spesimen arus 80 A sebesar 96.5 HRC (Jalil et al., 2017). Apabila arus pengelasan terlalu rendah, penetrasi logam cair ke dalam logam dasar menjadi kurang optimal sehingga mengakibatkan sambungan lemah. Sebaliknya, arus yang terlalu tinggi dapat menimbulkan cacat las seperti *undercut*, *porosity*, atau bahkan mengalami *burn through* karena masukan panas yang berlebihan (Jalil et al., 2017). Oleh sebab itu, diperlukan optimasi variasi kuat arus untuk menghasilkan sambungan dengan kualitas yang baik dan sifat mekanik yang optimal.

Selain parameter arus, kondisi permukaan baja sebelum dilakukan pengelasan juga berperan penting terhadap hasil akhir sambungan. Keberadaan *residual coating* seperti sisa cat, minyak, karat, atau lapisan pelindung lain yang belum dibersihkan dapat mengganggu kestabilan busur listrik, memperburuk peleburan antara logam dasar dan logam pengisi, serta menimbulkan cacat internal pada daerah las (Hussin et al., 2020). Kajian *Weld Bead Surface Defects Formation and Its Implications* yang dilakukan oleh Hussin et al., (2020) menunjukkan bahwa kondisi permukaan dan kontaminasi pada logam sangat berpengaruh terhadap terbentuknya porositas, *slag inclusion*, dan cacat permukaan lain yang berdampak langsung pada penurunan performa mekanik sambungan las. Dengan demikian, kebersihan permukaan logam, termasuk pengendalian *residual coating* sebelum pengelasan, menjadi salah satu faktor kunci untuk memastikan kualitas sambungan yang baik dan meminimalkan terjadinya cacat las.

Permasalahan yang sering dijumpai galangan kapal PT. X adalah tidak ada proses pembersihan yang maksimal pada proses *re-plating* pada bagian kapal di galangan kapal, yang dimana hal tersebut menyebabkan terjadinya kontaminasi *coating* pada hasil pengelasan yang berakibat pada ketahanan dan ketangguhan hasil pengelasan pada lambung kapal. Selain itu, mengingat bahwa proses *re-plating* tidak hanya dilakukan pada bagian kapal yang tidak tercelup air, melainkan juga dilakukan pada bagian lambung kapal yang tercelup air sehingga meningkatkan resiko akan terjadinya kebocoran saat *floating test* yang pernah terjadi pada KT MPI-S 045, dimana saat dilakukan uji apung pada galangan, bagian yang telah di *re-plating* mengalami kebocoran. Dari masalah tersebut dilakukanlah penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus dan *Residual Coating* Pada Permukaan Baja BKI Grade A Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Struktur Makro dan Mikro”. Penelitian ini menjadi penting dilakukan untuk mengetahui sejauh mana faktor tersebut memengaruhi kualitas hasil las, terutama dari sifat mekanik dari material, pengaruh dari residual coating, dan pentingnya melakukan *surface preparation*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan solusi dalam penentuan parameter pengelasan dan prosedur pembersihan permukaan baja sebelum proses pengelasan agar diperoleh sambungan yang memenuhi standar kekuatan dan keamanan industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Bagaimana hasil kuat tarik sambungan dengan menggunakan variasi kuat arus dan *residual coating*?
- 2 Bagaimana pengaruh variasi kuat arus pengelasan dan residu *coating* terhadap kekerasan sambungan?
- 3 Bagaimana hasil struktur makro dan mikro yang terbentuk pada sambungan dengan menggunakan variasi kuat arus dan *residual coating*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil kuat tarik sambungan dengan menggunakan variasi kuat arus dan *residual coating*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus pengelasan dan *residual coating* terhadap kekerasan sambungan.
3. Untuk mengetahui hasil struktur makro dan mikro yang terbentuk pada sambungan dengan menggunakan variasi kuat arus dan *residual coating*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi Mahasiswa

Manfaat penelitian ini yaitu menambah pengetahuan dan referensi ilmiah tentang pengaruh residu coating terhadap kualitas sambungan las dan ketahanan korosi, terkhusus pada lambung kapal.

2. Bagi Institusi

PPNS mendapatkan informasi mengenai faktor yang dapat menghambat tentang proses pengelasan dimana salah satu faktor yaitu adanya kontaminasi *chemical* lain dalam proses pengelasan.

3. Bagi Perusahaan

Penelitian ini dapat menjadi pertimbangan bagi galangan kapal dalam menentukan prosedur persiapan permukaan sebelum pengelasan pada proses *re-plating* lambung kapal, terutama dalam hal manajemen waktu saat kapal melakukan *docking* dan *undocking*.

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak berkembang terlalu jauh, penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah *Plate BKI Grade A* dengan ketebalan 10 mm dan dimensi 300 mm x 300 mm.
2. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*.
3. Posisi pengelasan 1G.
4. Sambungan yang digunakan adalah *Butt Joint*.
5. Prosedur yang digunakan berdasarkan standart dan jurnal.
6. Polaritas yang digunakan yaitu DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*).
7. Elektroda yang digunakan adalah E6013.
8. Menggunakan 2 sampai 3 *layer coating* (ketebalan cat primer 75 μm , 100-150 μm untuk *sealer*, dan 75 μm untuk *anti fouling*).
9. Menggunakan 12 plat, dengan 6 *joint*.
10. Proses pengelasan menggunakan 3 arus yang berbeda yaitu 80A, 100A, dan 120A.
11. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, uji tarik, struktur makro, dan struktur mikro.

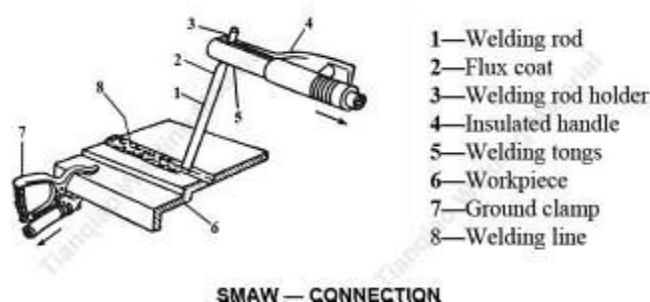
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Shielded Metal Arc Welding*

Menurut Afriansyah (2020), *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan proses pengelasan busur listrik manual yang menggunakan elektroda logam berlapis *flux* sebagai logam pengisi dan pelindung, sehingga dua logam atau lebih dapat dilas melalui pelelehan pada daerah sambungan. SMAW diklasifikasikan sebagai proses pengelasan yang paling sering digunakan karena peralatannya relatif sederhana, biaya operasional terjangkau, dan dapat diaplikasikan di berbagai posisi sehingga memudahkan *welder* dalam melakukan proses pengelasan ini, tidak hanya itu, jenis pengelasan ini juga mampu mengelas berbagai jenis baja hanya dengan mengganti jenis elektrodanya (Sarifudin et al., 2024).

Dalam proses pengelasan SMAW, busur listrik dibangkitkan dengan ujung elektroda berlapis *flux* dan logam dasar, sehingga ujung elektroda sebagai logam pengisi meleleh atau mencair sehingga terbentuklah logam las, sementara lelehnya atau dekomposisi *flux* akan menghasilkan gas pelindung dan membentuk lapisan slag yang berperan menutupi kolam las agar terlindungi dari oksidasi dan kontaminasi oksigen dan nitrogen (Firman Edi et al., 2022). Dapat dilihat pada Gambar 2.1 adalah pengelasan SMAW.



Gambar 2.1 Pengelasan SMAW
(Tianqiao Welding., 2021)

2.2 Parameter Pengelasan

Terdapat beberapa parameter yang ada dalam pengelasan, dan tiap parameternya mempengaruhi hasil pengelasan. Beberapa parameter pengelasan adalah sebagai berikut :

1. Arus pengelasan

Arus pengelasan merupakan salah satu parameter utama yang menentukan besar energi panas busur, sehingga sangat mempengaruhi kedalaman penetrasi, lebar daerah las, dan kualitas sambungan. Semakin besar arus yang digunakan, umumnya penetrasi menjadi lebih dalam dan kekuatan sambungan meningkat, tetapi arus yang terlalu tinggi dapat menimbulkan cacat seperti *undercut*, porositas, atau distorsi berlebih. Hal ini selaras dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa variasi arus SMAW pada baja karbon rendah berpengaruh signifikan terhadap kekerasan, struktur mikro, dan kualitas hasil las (Salsabila Yasmin et al., 2025).

2. Kecepatan Pengelasan (*Travel Speed*)

Pada dasarnya kecepatan pengelasan dapat mempengaruhi lebar kolam las dan kedalaman penetrasi, dan juga dapat berpengaruh terhadap biaya, karena semakin lama proses pengelasan SMAW maka elektroda yang digunakan akan semakin banyak. Pada beberapa aplikasi kecepatan pengelasan dipandang sebagai objektif dengan variabel lainnya untuk mendapatkan konfigurasi atau setelan yang dikehendaki pada kecepatan tertentu.

3. Tegangan (*Voltage*)

Voltage atau tegangan busur juga berperan penting dalam pengelasan, dimana tegangan yang tepat bisa memastikan stabilitas busur dan membantu untuk mendapatkan penetrasi serta lebar hasil las yang diinginkan.

4. Polaritas

Polaritas arus (misalnya DCRP/DCEP dan DCSP/DCEN) mempengaruhi distribusi panas antara elektroda dan benda kerja, sehingga berdampak pada kedalaman penetrasi las dan bentuk manik las. Pada pengelasan SMAW baja karbon ASTM A36 dengan elektroda E7018, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*) menghasilkan penetrasi las yang lebih dalam dibanding DCSP (*Dirrect Current Straight Polarity*) pada arus yang sama karena lebih banyak panas terdistribusi

ke benda kerja. Hasil uji makro oleh Achmad dkk. Menjelaskan bahwa pada semua variasi arus pengelasan (90-130 A), kedalaman penetrasi dengan polaritas DCRP lebih besar daripada DCSP (Hidayat et al., 2021).

5. Heat Input

Heat input atau masukan panas adalah jumlah energi panas per satuan Panjang lasan selama proses pengelasan. *Heat input* mempengaruhi suhu material saat di las dan dapat menentukan sifat mekanik dari sambungan las. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini adalah hasil perpaduan dari arus, tegangan dan kecepatan pengelasan, dimana tiga parameter tersebut saling berhubungan dan menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut dengan *heat input*. Pada (ASME Section IX) pada persamaan (2.1) dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Heat input [J/in.(J/mm)]} = \frac{\text{voltage} \times \text{ampere} \times 60}{\text{travel speed in./min(mm/min)}} \quad (2.1)$$

Dimana :

Voltage = Tegangan

Ampere = Arus

Waktu = 60

Travel Speed = Kecepatan pengelasan (mm/min)

2.3 Filler Metal

Adapun pengelasan yang dipakai pada penelitian ini adalah *Shielded Metal Arc Welding* atau SMAW dengan *filler* metal E6013 untuk pengelasan *root*, *hotpass*, *fillpas*, dan *capping*. Komposisi kimia untuk elektroda E6013 dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Elektroda E6013

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
0.20	1.20	1.00	0.30	0.20	0.30	0.08

Sumber : ASTM International, 2025

Pada Gambar 2.2 diperlihatkan contoh elektroda E6013.



Gambar 2.2 Elektroda E6013
(Monotaro., 2020)

2.4 *Residual Coating*

Residual coating merupakan sisa lapisan pelindung berupa cat atau *coating* yang masih tertinggal pada permukaan material sebelum dilakukan proses pengelasan. Pada konstruksi kapal, *coating* umumnya diaplikasikan pada permukaan pelat baja untuk mencegah terjadinya korosi akibat paparan lingkungan laut yang memiliki tingkat kelembapan dan kadar garam tinggi. Namun, pada proses reparasi atau *re-plating*, penghilangan *coating* sering kali tidak dilakukan secara sempurna sehingga sebagian lapisan masih tertinggal dan dapat memengaruhi kualitas sambungan las.

Keberadaan *residual coating* pada area pengelasan dapat menyebabkan perubahan kondisi permukaan material akibat adanya kandungan unsur organik maupun anorganik dalam lapisan *coating*. Saat proses pengelasan berlangsung, panas dari busur listrik dapat menyebabkan *coating* mengalami degradasi termal, menghasilkan gas hasil pembakaran atau dekomposisi yang berpotensi terperangkap dalam logam las. Kondisi tersebut dapat meningkatkan kemungkinan terbentuknya cacat las seperti porositas, *lack of fusion*, maupun ketidaksempurnaan penetrasi. Selain itu, sisa *coating* juga dapat menghambat proses pencairan dan penyatuan antara logam induk dengan logam pengisi sehingga memengaruhi karakteristik sambungan. *Residual coating* seperti sisa cat, minyak, karat, atau lapisan pelindung lain yang belum dibersihkan dapat mengganggu kestabilan busur listrik, memperburuk peleburan antara logam dasar dan logam pengisi, serta menimbulkan cacat internal pada daerah las (Hussin et al ., 2020).

2.5 BKI Grade A

Material BKI *grade A* adalah material baja karbon rendah yang umumnya dipakai pada lingkungan perkapalan. Kelebihan plat kapal terkandung unsur selain baja sebagai unsur utama. Material ini cenderung lebih tahan korosi karena pengaplikasiannya digunakan pada air laut yang lebih korosif jika dibandingkan dengan air tawar biasa. Campuran unsur pada plat ini berpengaruh terhadap laju korosi pada kapal, dimana nantinya unsur campuran tersebut akan menambah kualitas dari plat tersebut. Kandungan dalam plat 92-97% merupakan besi, sisanya terdapat kandungan *carbon*, *silicon*, mangan, belerang, dan *fosfor*.

Baja untuk konstruksi lambung kapal pada umumnya mengandung 0,15-0,23% kandungan unsur karbon. Sedangkan untuk kandungan *fosfor* dan sulfur kurang dari 0,5%. Jika kandungan *fosfor* dan sulfur terlalu tinggi akan merugikan proses pengelasan baja dan dapat terjadi keretakan. Baja untuk kapal digolongkan oleh badan klasifikasi. Semua plat dengan sertifikat diberi tanda dan keterangan sesuai aturan. Selain itu, material BKI *grade A* adalah baja kapal kuat normal yang telah disertifikasi oleh Biro Klasifikasi Indonesia sebagai struktur utama untuk pembuatan kapal terutama untuk lambung dan konstruksi dasar dengan beban kerja umum. Baja ini memiliki kekuatan luluh minimum sekitar 235 MPa dan kekuatan tarik 400-520 MPa yang menjadikan baja ini cukup ulet dan mempunyai *weldability* yang cukup untuk konstruksi kapal (Biro Klasifikasi Indonesia, 2020).

Pemakaian plat baja untuk bangunan memiliki resiko kerusakan tinggi, terutama terjadi korosi pada plat baja kapal yang diakibatkan oleh pengaruh air laut yang memiliki resistifitas yang sangat rendah. Posisi plat pada lambung kapal terbagi menjadi tiga bagian yaitu :

- 1 Bagian yang tercelup air (plat lajur alas, plat lajur *bilge*, dan plat kapal lajur kiri sampai syarat minimal).
- 2 Keluar masuk air (plat lajur sisi kapal dari syarat minimal sampai maksimal).
- 3 Tidak tercelup air (plat lajur sisi mulai dari syarat maksimal sampai *main deck* kapal).

Bagian badan kapal yang mempunyai lengkungan plat kapal yang signifikan yaitu pada jalur bilga dari haluan sampai buritan kapal, mengikuti bentuk badan kapal pada rencana garis. Hal ini bertujuan untuk memberikan efek tahanan kapal sekecil mungkin, sehingga daya mesin induk yang digunakan pada kapal dapat lebih efisien.

Mechanical properties dan *chemical composition* material BKI grade A ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.2 *Mechanical properties* BKI Grade A

<i>Yield strength</i> (N/ mm²)	<i>Tensile strength</i> (N/mm²)	<i>Elongation</i> (%)
235	400-520 ²⁾	22

Sumber : BKI Vol V Rules For Classification And Construction, 2022

Tabel 2.3 *Chemical Composition* BKI Grade A

<i>C_{max}</i>	<i>Si_{max}</i>	<i>Mn_{min}</i>	<i>P_{max}</i>	<i>S_{max}</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
0,20	0,60	1,0 – 1,7	0,030	0,025	0,30	0,30

Sumber : BKI Vol V Rules For Classification And Construction, 2022

2.6 Pengujian Kekerasan

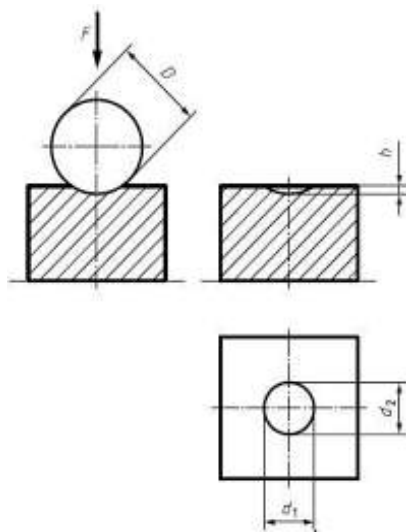
Uji Kekerasan adalah pengujian untuk melihat nilai kekerasan dari suatu material dari suatu material pada daerah HAZ, *Base Metal*, dan *Weld Metal* dengan metode pengukuran dilakukan pada titik atau daerah tertentu. Dalam *engineering* yang menyangkut logam kekerasan dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan indentasi, penetrasi, abrasi atau dengan definisi lain adalah ketahanan logam terhadap deformasi plastis (M.M. Munir et al., 2019). Pada pengujian *Hardness* terdapat 3 pengujian kekerasan yang dapat digunakan untuk mengukur nilai kekerasan suatu material :

1. Metode *Rockwell*.
2. Metode *Brinell*.
3. Metode *Vickers*.

2.6.1 Pengujian kekerasan *brinell*

Pengujian Brinell merupakan pengujian kekerasan dengan cara menusuk atau menekan spesimen menggunakan indenter berbentuk bola yang terbuat dari baja yang sudah dikeraskan atau karbida tungsten. Indenter bola baja digunakan untuk material

yang memiliki kekerasan Brinell hingga 450 BHN. Indenter bola karbida tungsten harus digunakan apabila material yang di uji memiliki kekerasan Brinell antara 451-650 BHN. Pengujian yang standar dilakukan dengan menggunakan diameter 10 mm bola baja atau karbida tungsten dengan beban 3000 kgf untuk logam keras, beban 1500 kgf untuk logam pertengahan, dan beban 500 kgf serta lebih rendah untuk material lunak (M.M. Munir et al., 2019).



Gambar 2.3 Prinsip Uji *Brinell*
(M.M. Munir et al., 2019)

Nilai kekerasan *Brinell* (BHN/HBW/HBS) dapat diketahui dari persamaan 2.2 berikut ini.

$$HBW = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.2)$$

Dimana :

F = gaya tekan (kgf)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter indentasi (mm)

HBW berarti hardness *brinell* dengan indenter karbida tungsten. Jika indenter yang digunakan bola baja maka kekerasan dinyatakan dengan HBS. Atau secara umum biasanya dinyatakan dengan BHN. Penulisan nilai kekerasan *brinell* harus diikuti dengan simbol HBW atau HBS. dan jika diameter indenter dan beban yang digunakan tidak standar maka harus diikuti oleh kondisi pengujian yang meliputi diameter indenter yang

digunakan, beban dan *dwell time*, jika waktu yang digunakan saat pembebanan di luar 10-15 detik (ASTM International, 2023a). Disisi lain, uji kekerasan *brinell* juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya :

- a. Mengukur material yang sangat keras. Indenter bola dapat mengalami deformasi yang berlebihan.
- b. Mengukur kekerasan spesimen tipis. Indentasi lebih besar dari tebal spesimen.
- c. Mengukur material yang dikeraskan permukaan. Indentasi dapat menusuk lebih dalam dari pada tebal permukaan yang dikeraskan sehingga pengukuran menjadi tidak valid sebab mengakibatkan pengukuran bagian dalam yang lunak juga.

Pada Gambar 2.4 diperlihatkan *Brinell Hardness Tester*.



Gambar 2.4 Brinell Hardness Tester
(M.M. Munir et al., 2019)

2.6.2 Pengujian kekerasan *rockwell*

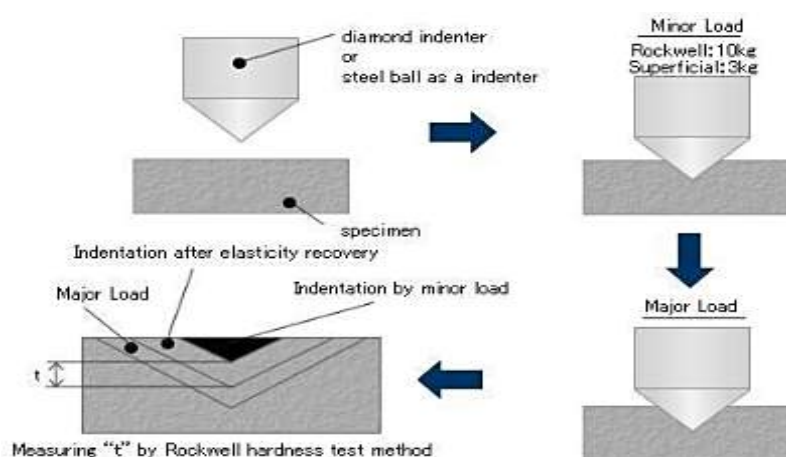
Pengujian kekerasan *rockwell* berbeda dengan *brinell* dan *vickers*. Pada uji kekerasan Rockwell tidak melakukan pengukuran tapak tekan secara manual, pengukuran langsung dilakukan oleh mesin dan langsung menunjukkan nilai kekerasan dari bahan yang diuji, nilai ini dapat dilihat pada *dial indicator*. Nilai kekerasan yang diperoleh berhubungan terbalik dengan kedalaman indentasi (ASTM International, 2022).

Indenter yang digunakan adalah bola baja yang diperkeras berukuran 1/16 in dan 1/8 in serta kerucut intan bersudut 120° dengan ujung bulat diberi nama *brale*. Pada operasi pengujian, beban minor diterapkan sebesar 10 kgf yang menyebabkan indentasi awal dan menempatkan identer pada posisi yang akurat untuk penekanan. Dial

ditempatkan pada skala tanda set nol. Selanjutnya, pemberian beban utama (*major*) yang berbeda besarnya tergantung pada skala rockwell yang digunakan. *Rockwell* skala A digunakan untuk logam yang sangat keras. *Rockwell* skala B digunakan untuk menguji material dengan kekerasan medium. Skala B memiliki nilai 0 – 100. Nilai kekerasan diatas 100 memberikan hasil pengujian yang kurang valid sebab kemungkinan indenter telah menjadi rata. *Rockwell* skala C digunakan untuk menguji material dengan kekerasan tinggi yaitu diatas B100. Baja paling keras memiliki nilai C70. Skala C digunakan pada C20 ke atas. Gambar 2.5 menjelaskan tentang Skala *Rockwell* dan pada Gambar 2.6 diperlihatkan Prinsip Pengujian *Rockwell*.

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100.
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Gambar 2.5 Skala *Rockwell*
(M.M. Munir et al., 2019)



Gambar 2.6 Prinsip Uji *Rockwell*
(M.M. Munir et al., 2019)

Skala Rockwell dibagi atas 100 bagian dijelaskan pada Gambar 2.7 yaitu Dial Indikator Mesin *Rockwell*. Setiap bagian atau nilai kekerasan setara dengan 0,002 mm indentasi. Angka B55 dan B60 memiliki perbedaan kedalaman indentasi sebesar $5 \times 0,002$ mm atau 0,01 mm. Pada Gambar 2.8 diperlihatkan *Universal Hardness Tester*.



Gambar 2.7 Dial Indikator Mesin *Rockwell*
(M.M. Munir et al., 2019)



Gambar 2.8 Universal Hardness Tester
(M.M. Munir et al., 2019)

2.6.3 Pengujian kekerasan *vickers*

Prinsip dasar pengujian *vickers* sama dengan uji *brinell*, perbedaannya penggunaan indenter intan yang berbentuk piramid beraturan dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136° . Pengukuran diagonal segi empat lebih akurat dibandingkan pengukuran pada lingkaran. Pengujian ini dapat dilakukan untuk spesimen tipis hingga

0,006 inci. Nilai kekerasan yang diperoleh akurat hingga nilai 1300 (setara dengan Brinell 850). Indenter relatif tidak menjadi rata seperti pada Brinell. Beban yang digunakan pada uji vickers antara 1 hingga 120 kgf. Perubahan beban relatif tidak mempengaruhi hasil pengujian, penggunaan beban yang berbeda akan tetap menghasilkan nilai kekerasan yang sama untuk material yang sama (ASTM International, 2023b). Nilai kekerasan *vickers* dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut :

$$HV = 2P \sin(a/2)/d^2 = 1.8544P/d^2 \quad (2.3)$$

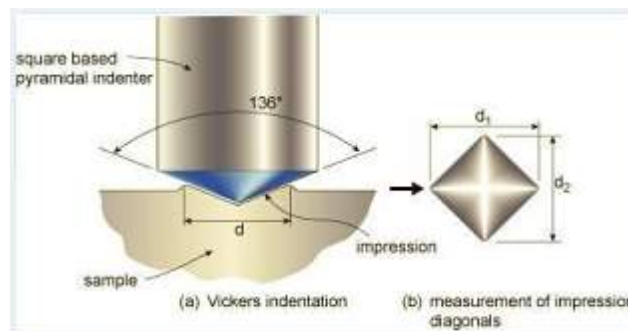
Dimana :

P = Beban (kgf)

a = sudut 2 sisi yang berhadapan pada indenter

d = diagonal indentasi rata-rata

Pada Gambar 2.9 dijelaskan Prinsip Uji Vickers.



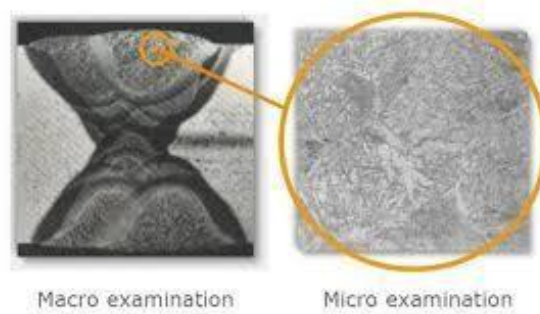
Gambar 2.9 Prinsip Uji Vickers
(M.M. Munir et al., 2019)



Gambar 3.0 Vickers Hardness Tester
(M.M. Munir et al., 2019)

2.7 Metalografi

Metalografi adalah pengujian yang mempelajari karakteristik dan struktur logam dalam skala mikro. Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan atau logam yang keberadaannya tidak dapat dilihat dengan mata, tetapi bisa dilihat menggunakan alat pengamat struktur mikro. Kinerja dan sifat mekanik logam dapat ditentukan oleh struktur mikro, pembesaran struktur mikro tergantung dengan jenis mikroskop yang digunakan. Ada dua istilah pengujian, yaitu *macroscopic examination* dan *microscopic examination*. *Macroscopic examination* didefinisikan sebagai pengujian dengan *mata* telanjang atau dengan pembesaran rendah biasanya kurang dari 50x dengan atau tanpa proses etsa, sedangkan *microscopic examination* didefinisikan sebagai pengujian menggunakan mikroskop dengan pembesaran 50x sampai dengan 500x dengan atau tanpa proses etsa (M.M. Munir et al., 2019).



Gambar 3.1 Perbedaan Uji Mikro dan Makro
(M.M. Munir et al., 2019)

Pada gambar 3.1 dapat dilihat perbedaan uji makro dan uji mikro yang dilakukan, pada pengujian mikro bertujuan untuk melihat struktur mikro yang terjadi didalamnya. Dan pada Gambar 3.2 diperlihatkan alat pengujian metalografi.



Gambar 3.2 *Microscope Optic*
(M.M. Munir et al., 2019)

2.8 Pengujian Tarik

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam setelah proses pengelasan, pengujian bisa dilakukan dengan menggunakan pengujian merusak dan tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mencari nilai kekuatan sambungan logam hasil pengelasan yang dapat menggunakan uji tarik yang telah dilakukan standarisasi. Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah (M.M. Munir et al., 2019).

Kekuatan tarik sambungan las kebanyakan dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah *Heat Affected Zone*, sifat logam las, dan distribusi tegangan dalam sambungan. Uji tarik merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari material. Uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji, gaya tarik terhadap spesimen diberikan melalui mesin uji tarik yang menyebabkan spesimen uji memanjang sebelum akhirnya patah. Kemudian sifat tariknya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Tegangan} = \frac{F}{A_o} \text{ (kgf/mm}^2\text{)}. \quad (2.4)$$

Dimana : F = Gaya Tekan/Tarik (kgf).

A_o = luas mula dari penampang batang uji (mm²).

$$\text{Regangan} = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (2.5)$$

Dimana : ΔL = pertambahan panjang batang uji (mm).

L_o = panjang mula dari batang uji (mm).

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.6)$$

Dimana : E = Modulus Elastisitas (Mpa)

σ = tegangan maksimum (kN/mm²)

e = Regangan

Uji tarik suatu material dapat dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine*. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikkan secara

bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan dan regangan yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh, tegangan ultimate, modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik. Pada Gambar 3.3 diperlihatkan contoh Mesin Uji Tarik UTM Shimadzu.



Gambar 3.3 Mesin Uji Tarik UTM Shimadzu
(M.M. Munir et al., 2019)

2.9 Pengujian ANOVA (*Two Ways ANOVA*)

Uji ANOVA atau *Analysis of Variance* Adalah Teknik statistik parametrik yang digunakan untuk menguji rata-rata dua atau lebih kelompok berbeda secara signifikan dalam suatu penelitian. Dalam kerangka hipotesis, ANOVA menguji hipotesis nol bahwa semua kelompok memiliki rata-rata yang sama, sedangkan hipotesis alternatif menjelaskan bahwa setidaknya ada satu jenis atau kelompok dengan rata-rata yang berbeda.

Secara prinsip, ANOVA memecah total variasi data menjadi variasi antar kelompok antara level perlakuan dan variasi didalam kelompok (*error*), kemudian menghitung dua rasio tersebut dalam bentuk statistik F. Nilai F yang besar menunjukkan variasi antar nilai rata-rata kelompok lebih besar daripada variasi acak didalam kelompok. (Lestari et al., 2025) menjelaskan bahwa penggunaan uji parametrik termasuk ANOVA digunakan untuk menganalisis perbedaan rata-rata antar kelompok dalam studi laboratorium.

Penggunaan ANOVA sebagai pengujian dalam bidang rekayasa sering berkaitan dengan eksperimen untuk melihat pengaruh beberapa faktor proses terhadap sifat mekanik, (Zedan et al., 2022) menerapkan metode *design of experiments* (DOE) dan analisis dari ANOVA untuk mengevaluasi pengaruh variasi kandungan Cu, Fe, dan Sr terhadap kekerasan, tegangan luluh, tegangan tarik maksimum, serta kemampuan pemesinan paduan AI-11% Si, dan ditemukanlah bahwa kombinasi unsur paduan tertentu dapat memberikan peningkatan sifat mekanik yang signifikan secara statistik.

(Achamyeh et al., 2022) menggunakan *one-way* ANOVA untuk menganalisis variasi kekuatan mekanik baja tulangan *Grade* 60 dari dua lot produksi yang berbeda, dan hasilnya adalah perbedaan rata-rata kuat tarik yang terdeteksi secara statistik penting untuk dievaluasi terhadap persyaratan standar desain dan keselamatan struktur.

Two-way ANOVA termasuk dalam desain faktorial, yaitu desain di mana setiap level faktor pertama dikombinasikan dengan setiap level faktor kedua, sehingga bisa dianalisis pengaruh masing-masing faktor dan kombinasi keduanya. Uji ini menghasilkan tiga jenis hasil utama: efek utama faktor A, efek utama faktor B, dan efek interaksi $A \times B$ yang menunjukkan apakah pengaruh faktor A bergantung pada level faktor B, atau sebaliknya. Jika interaksi signifikan, maka interpretasi efek utama diperlukan kehati-hatian, karena respon tidak hanya dipengaruhi faktor secara terpisah, tetapi oleh kombinasi keduanya.

Dalam penelitian pengelasan, *Two-Way* ANOVA dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh parameter proses terhadap sifat mekanik sambungan las. Pada penelitian ini, faktor yang dianalisis terdiri dari variasi kuat arus pengelasan dan residual coating, sedangkan variabel respon yang diamati adalah nilai kekerasan sambungan las. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah perubahan kuat arus, jumlah residual coating, serta kombinasi keduanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai kekerasan.

Pengujian *Two-Way* ANOVA dilakukan melalui pengujian hipotesis dengan membandingkan nilai p-value terhadap tingkat signifikansi yang digunakan. Apabila nilai p-value lebih kecil dari tingkat signifikansi ($\alpha = 0,05$), maka faktor tersebut dinyatakan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon. Sebaliknya, apabila nilai p-value lebih besar dari $\alpha = 0,05$, maka faktor tersebut dianggap tidak memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik.

Dalam penelitian ini, hasil analisis Two-Way ANOVA digunakan untuk memperkuat interpretasi hasil pengujian kekerasan, sehingga dapat diketahui apakah perubahan nilai kekerasan yang terjadi disebabkan oleh pengaruh kuat arus, residual coating, atau interaksi antara kedua faktor tersebut. Dengan demikian, analisis statistik ini dapat memberikan dasar objektif dalam menentukan parameter pengelasan yang optimal pada proses re-plating pelat kapal.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memerlukan beberapa referensi dari beberapa penelitian lain yang memiliki kemiripan variabel. Dibawah ini ditunjukkan Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Sumber Referensi	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Isworo, Annas Dwi (2024)	ANALISIS KUAT ARUS DAN WELDING TIME TERHADAP METALOGRAFI, NILAI KEKERASAN, DAN UJI TORSI DALAM PROSES ARC STUD WELDING BAJA KARBON A36	1. Pada hasil uji makro menunjukkan bahwa tidak ada cacat dan sesuai dengan syarat berterimaan ASME Sec IX. 2. Pada hasil uji makro tidak menunjukkan hasil yang cukup signifikan.
2	(Çetinkaya, 2022)	<i>Effect of Shop-Primer Coating on S235JR Steel on MAG Weldability</i>	Pada baja S235JR, spesimen tanpa coating, sandblasting saja, dan sandblasting + shop primer 25, 50, 75 µm dilas dengan proses MAG lalu diuji radiografi, struktur mikro, dan mekanik (tarik, bending, impak, kekerasan). Peningkatan ketebalan shop primer terbukti menambah cacat di zona las dan menurunkan hasil uji tarik, bending, dan impak terutama

			pada ketebalan 75 μm , sedangkan nilai kekerasan tertinggi tetap berada di daerah logam las untuk semua variasi.
3	Phipps, Russell A (2020)	<i>The effect of weldable primer Paint thickness on weld quality and geometry</i>	Penelitian ini mengkaji pengaruh ketebalan <i>weldable primer paint</i> terhadap geometri <i>fillet weld</i> , luas HAZ, kekerasan HAZ, dan porositas pada pengelasan MIG/MAG T-joint baja konstruksi. Variasi ketebalan primer terbukti mengubah luas HAZ, penetrasi, dan volume porositas; ketebalan tertentu masih dapat diterima, tetapi primer yang terlalu tebal meningkatkan porositas internal dan mengurangi kualitas sambungan.

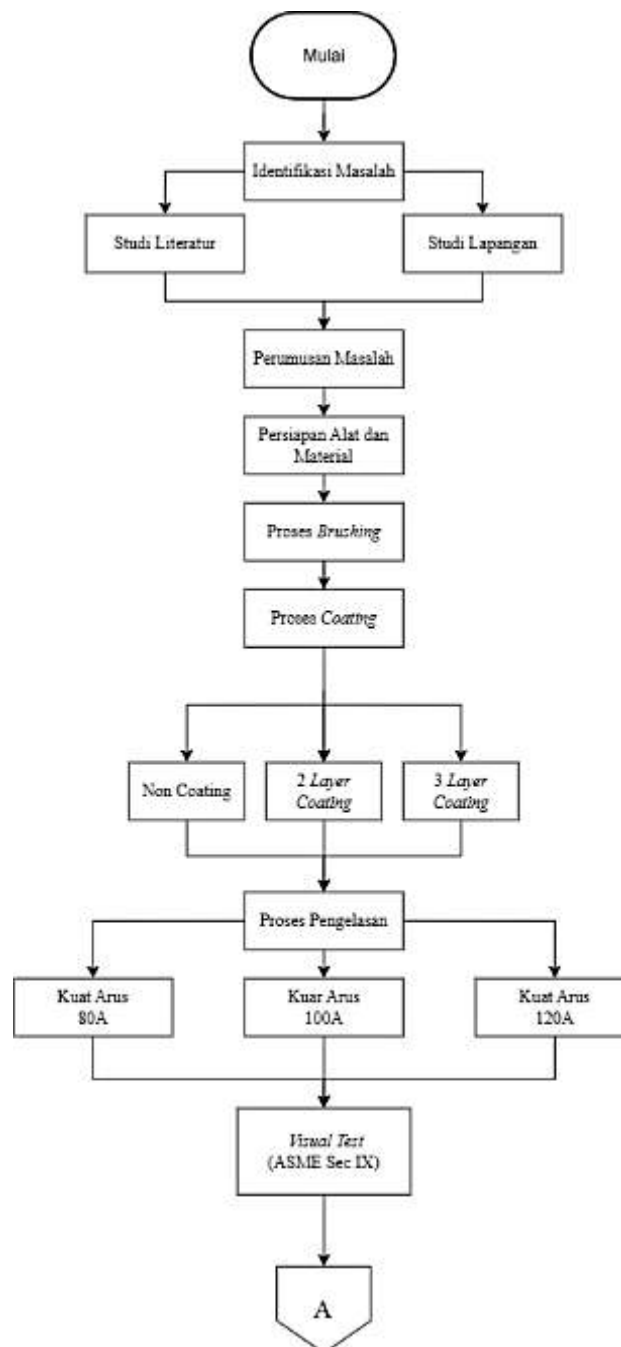
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

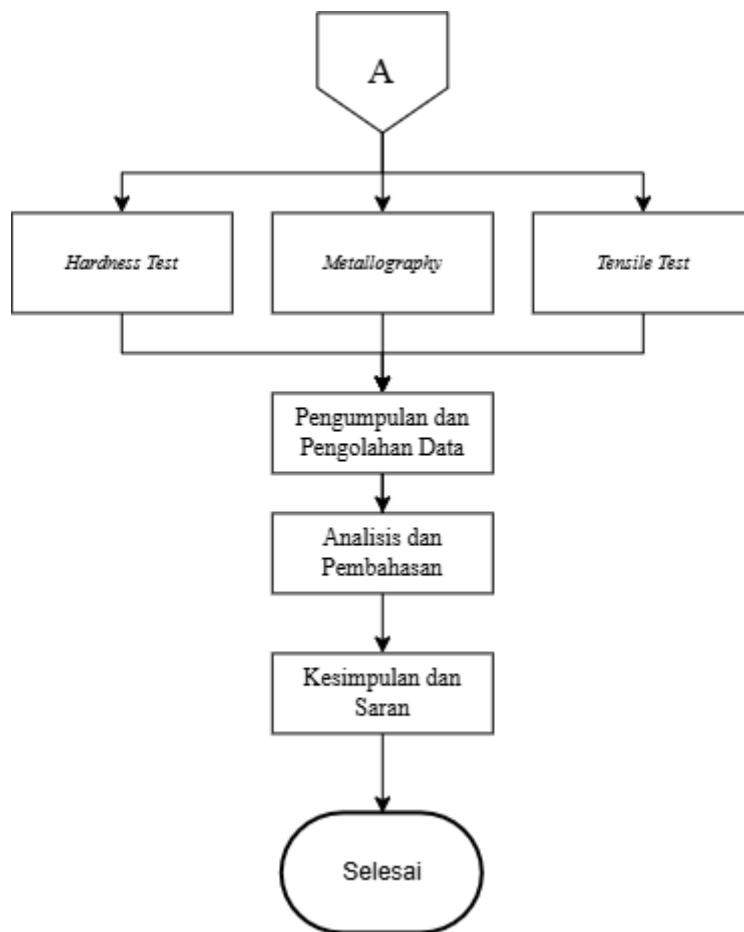
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Di bawah ini merupakan diagram alir tahapan proses pengerjaan tugas akhir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Tujuan dari studi literatur adalah untuk menemukan referensi dan data yang berkaitan dengan variasi kuat arus dan *residual coating* yang dapat digunakan untuk menambah wawasan dan sumber terkait untuk mengerjakan tugas akhir, yang bertujuan untuk memecahkan masalah. Literatur yang digunakan adalah *handbook*, *code*, standart, jurnal, dan penelitian terdahulu.

3.3 Studi Lapangan

Peneliti menemukan masalah yang terjadi selama proses *re-plating* lambung kapal pada PT. X, yaitu dimana tidak diterapkannya prosedur *surface preparation* dan tetap melakukan pengelasan meskipun masih ada sisa cat pada lambung kapal, sehingga hasil las tidak maksimal dan terkontaminasi sisa cat pada lambung kapal.

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa informasi guna menjawab permasalahan penelitian dan mencapai tujuan yang ditetapkan. Data dikumpulkan dari *mill certificate* BKI *Grade A*, spesifikasi elektroda E6013, *code*, *standart*, *handbook*, dan jurnal, selain itu peneliti mengumpulkan data yang berkaitan dengan kuat arus dan *residual coating*.

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan diperlukan agar penulis melakukan penelitian dengan mudah. Alat dan bahan yang diperlukan sebagai berikut :

3.5.1 Persiapan alat

Peralatan yang diperlukan sebagai penunjang adalah :

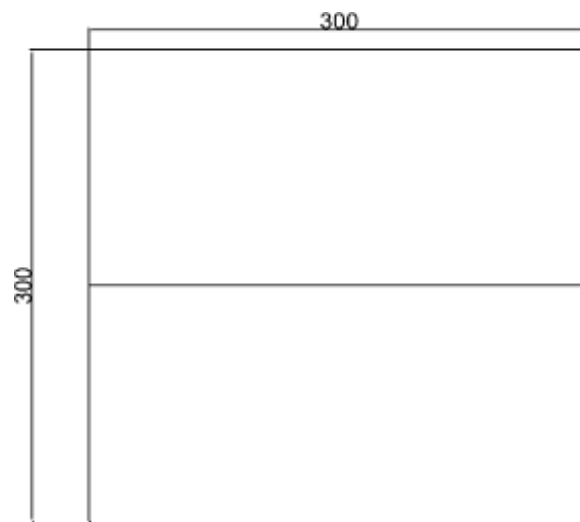
1. Mesin Las SMAW.
2. Peralatan pengelasan SMAW.
3. Elektroda E6013.
4. Cat.
5. Alat Pelindung Diri.
 - a. Helm Las.
 - b. Sarung Tangan Las.
 - c. *Wearpack*.
 - d. Apron Kulit.
 - e. *Safety Shoes*.
6. Peralatan ukur.
 - a. *Welding gauge*.
 - b. Penggaris besi.

- c. Jangka Sorong.
- 7. Peralatan Bantu.
 - a. Gerinda tangan.
 - b. Palu *Chipping*.

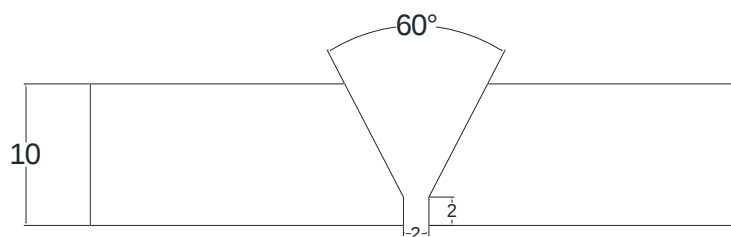
3.5.2 Persiapan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah BKI *Grade A* dengan ukuran sebagai berikut. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan Gambar Dimensi Plat BKI *Grade A* dengan panjang 300 mm, lebar 300 mm, tebal material 10 mm, menggunakan jenis bevel *single v groove* dengan sudut : 60°

a.



b.



Gambar 3.2 Dimensi Plat BKI *Grade A*

Dijelaskan pada gambar A yaitu dimensi panjang dan lebar material (tampak atas) yang digunakan. Sementara itu pada gambar B menjelaskan tentang *root face*, *root gap* dan sudut bevel (tampak samping).

3.5 Proses Pengecatan

Setelah melakukan persiapan alat dan bahan yang diperlukan, selanjutnya dilakukan proses pengecatan (*coating*) sebelum dilakukan proses pengelasan. Proses pengecatan menggunakan 2 dan 3 layer *coating*. Pada spesimen 2 layer *coating* memiliki tebal 260 sampai 290 mikron dan untuk lapisan ketiga menggunakan ketebalan sebesar 340 sampai 380 mikron.

3.6 Proses Pengelasan

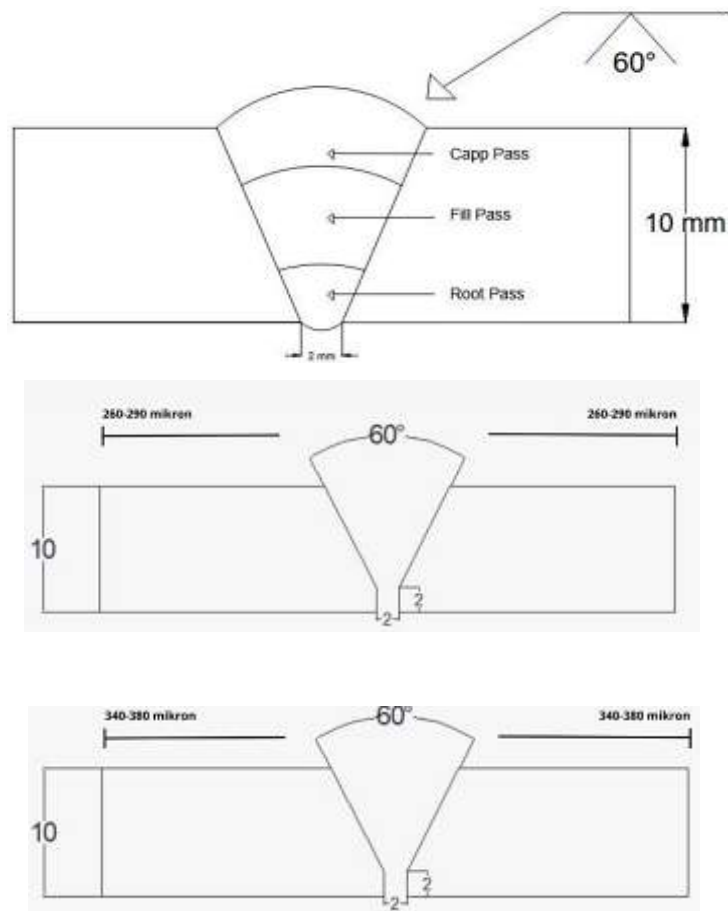
Setelah persiapan alat dan bahan dan proses pengecatan yang ditentukan, selanjutnya ditentukan joint design pengelasan menggunakan proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Berikut Jumlah variasi kuat arus pada 3 sambungan pengelasan diperlihatkan pada tabel 3.1 berikut :

Keterangan Sambungan	Arus	Layer Coating
GC 1	80A	Tanpa Coating
GC 2	100A	Tanpa Coating
GC 3	120A	Tanpa Coating
AC 1	80A	2
AC 2	100A	2
AC 3	120A	2
DC 1	80A	3
DC 2	100A	3
DC 3	120A	3

Pengelasan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan material yang akan dilakukan proses pengelasan yang sudah dilakukan proses pengecatan.
2. Mempersiapkan *filler metal* E6013.
3. Mempersiapkan mesin las SMAW.
4. Mempersiapkan parameter pengelasan.
5. Proses pengelasan.

Pada Gambar 3.3 ditunjukkan *Joint Design* Pengelasan.

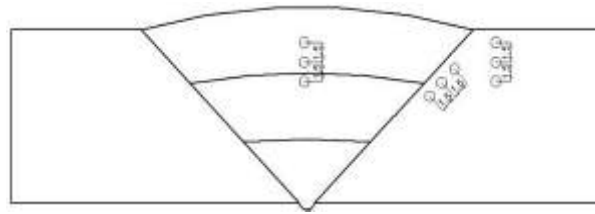


Gambar 3.3 *Joint Design* Pengelasan

Selanjutnya dilakukan proses pengelasan menggunakan proses *shielded metal arc welding* (SMAW) oleh juru las yang berpengalaman.

3.7 Pengujian Spesimen

Setelah proses, dilakukan proses pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing*) dan pengujian merusak (*Destrutive Test*) pada daerah pengelasan meliputi *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ), dan pada *base metal*. Sebelum dilakukan uji NDT, maka harus ditentukan rencana pemotongan (*cutting plan*) agar material dapat dipotong sesuai dengan ukuran spesimen uji berdasarkan standart yang digunakan. Pengujian yang dilakukan setelah dilakukan pemotongan adalah *hardness*, *tensile*, *macro*, dan *micro*. Pada Gambar 3.4 ditunjukkan *Cutting Plan* Spesimen Uji.



Gambar 3.5 Titik Indentasi Uji Kekerasan

Lokasi penitikan kekerasan *Vickers* pada penelitian ini dilakukan pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal* dengan masing-masing 3 titik. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak dapat ditentukan dengan persamaan 2.3 pada Tinjauan Pustaka.

Langkah-langkah dari pengujian kekerasan *vickers* yaitu :

1. Poles spesimen uji kekerasan menggunakan mesin poles dan kertas gosok dengan grit 220, 400, 600 diikuti dengan pemolesan menggunakan kain dan serbuk alumina hingga mengkilap.
2. Bersihkan material dari debu dan minyak, kemudian keringkan dengan tisu.
3. Siapkan cairan etsa nital yang terdiri dari larutan 2% HNO_3 dan 98% alkohol etil dan celupkan permukaan mengkilap spesimen untuk menunjukkan daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*.
4. Letakan spesimen pada ragum alat uji *vickers* dan kencangkan ragum.
5. Tentukan besar pembebanan indenter dan lama waktu pembebanan (*dwell time*).
6. Putar tuas penopang spesimen untuk meletakkan posisi indenter sesuai dengan rancangan penitikan spesimen.
7. Tekan tombol *start* untuk memulai indentasi dan tunggu *dwell time* selesai.
8. Ukur diagonal dari indentasi pada spesimen, pada posisi vertikal dan horizontal.
9. Catat hasil kekerasan yang muncul pada layer.
10. Ulangi langkah nomor 6 hingga langkah nomor 9 pada titik lainnya.

3.7.3 Uji Tarik

Pengujian tarik atau *tensile test* adalah pengujian merusak Dimana specimen uji diberikan tarikan secara bertahap dan *continue* sampai putus. Pengujian ini bertujuan

untuk mengetahui kekuatan tarik material yang menggambarkan elastisitas material. Dalam pengujian spesimen uji dibebani dengan kenaikan tarikan sedikit demi sedikit hingga spesimen patah, kemudian sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan rumus 2.4 , 2.5 , dan 2.6 yang tertera pada tinjauan pustaka.

Langkah-langkah pengujian tarik yaitu :

1. Kikir atau gerinda sudut untuk meratakan manik las.
2. Pengukuran dimensi dan pembuatan *gauge lenght*.
3. Pasang spesimen uji pada mesin uji tarik.
4. Pengujian dilakukan.
5. Pengukuram dimensi setelah patah.

3.7.4 Pengujian Makro

Pengujian ini digunakan untuk memeriksa dan menganalisis struktur material, terutama pada *weld metal*, *base metal*, dan HAZ untuk mengidentifikasi cacat makroskopis seperti *crack*, *porosity*, dan variasi struktur yang mungkin ada pada material. Langkah kerja pengujian makro yaitu :

1. Menghaluskan specimen uji dengan menggunakan mesin polishing dengan grit mulai dari 120, grit 240, dan grit 600.
2. Setelah proses polishing selesai material dikeringkan menggunakan tisu.
3. Celupkan spesimen uji ke dalam cairan etsa (HNO_3 +alkohol max 3%) untuk mengetahui 3 daerah yang berbeda (*weld metal*, *base metal*, dan HAZ).
4. Selanjutnya dilakukan proses pengujian makro dengan perbesaran 10x dan 20x.
5. Identifikasi cacat yang tampak dan analisa hasil pengujian makro.

3.7.5 Pengujian Mikro

Pengujian ini bertujuan memeriksa dan analisis struktur mikro pada material pada skala mikroskopis yang lebih tinggi terutama pada struktur kristal dan fasanya. Memahami bagaimana atom dalam material tersusun dan bagaimana berbagai fase seperti austenite, ferrite, dan lain-lain. Langkah kerja pengujian mikro yaitu

1. Permukaan dihaluskan lagi menggunakan mesin polishing dengan grit mulai dari grit 120, 240, 600, 1000, dan 1500.

2. Setelah proses polishing material dikeringkan dengan tisu.
3. Spesimen dicelupkan ke dalam cairan etsa (HNO_3 +alkohol max 3%) untuk membedakan 3 daerah (*weld metal*, *base metal*, dan HAZ).
4. Dilakukan uji mikro dengan perbesaran 200x dan 500x.
5. Identifikasi hasil pengujian mikro dan melakukan analisa hasil.

3.8 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Setelah menyelesaikan pengujian pada semua sampel, data yang terkumpul terdiri dari data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah pengolahan, perbandingan, dan analisis.

3.9 Analisis dan Pembahasan (Anova Two-Ways)

Pengolahan data pada tugas akhir ini menggunakan aplikasi SPSS dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus dan *residual coating* serta interaksi keduanya terhadap variabel hasil yaitu nilai pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Analisis statistik yang digunakan Adalah ANOVA *two-ways* karena penelitian ini menggunakan dua variabel bebas dan empat variabel terikat. Langkah-langkah penggunaan ANOVA dua arah pada SPSS adalah sebagai berikut:

1. Membuka program SPSS dan masukkan seluruh data penelitian, yaitu data uji kekerasan, beserta data kuat arus dan *residual coating*.
2. Melakukan uji normalitas *residual*, dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Klik *analyze* → *Descriptive Statistics* → *Explore*.
 - b. Masukkan variabel kekuatan tarik ke dalam *Dependent List*.
 - c. Klik *Plots*, centang *Descriptive* dan *Normality plots with test*.
 - d. Klik *Continue*, kemudian *OK*.

Keputusan uji normalitas:

- a. $\text{Sig} > 0.05$ = data *residual* normal.
 - b. $\text{Sig} < 0.05$ = data *residual* tidak normal.
3. Melakukan uji homogenitas varian melalui *Levene Test* yang otomatis muncul pada saat menjalankan ANOVA. Dasar keputusan:

- a. $\text{Sig} > 0.05$ = varians homogen.
 - b. $\text{Sig} < 0.05$ = varians tidak homogen.
4. Melakukan uji ANOVA dua arah, dengan langkah-langkahnya antara lain:
- a. Klik *Analyze* → *General Linear Model* → *Univariate*
 - b. Masukkan data kekuatan tarik ke *Dependent Variable*.
 - c. Masukkan kuat arus dan *residual coating* ke *Fixed Factors*.
 - d. Pada *Model*, pilih *Full Factorial*.
 - e. Pada *Options*, centang *Descriptive statistics*, *Homogeneity test*, dan, *Estimates of effect size*.
 - f. Klik *OK* untuk menjalankan analisis.
5. Mengambil keputusan ANOVA berdasarkan nilai (Sig):
- a. $\text{Sig} > 0.05$ = faktor tidak berpengaruh signifikan.
 - $\text{Sig} < 0.05$ = varians memiliki pengaruh signifikan.

Keputusan ini berlaku untuk interaksi kuat arus dan *residual coating*.

- b. Dilakukan untuk kedua variabel terikat
 - Kekuatan Tarik
 - Kekerasan

Hasil uji ANOVA dua arah tersebut digunakan untuk menentukan apakah variasi parameter pengelasan (kuat arus dan *residual coating*) memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tarik dan kekerasan, serta untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang paling efektif dalam menghasilkan kualitas sambungan terbaik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan

Pengelasan pada penelitian ini dilakukan oleh welder yang berpengalaman dalam pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*). Salah satu parameter pengelasan yang dipakai sebagai variabel dalam penelitian ini adalah kuat arus pengelasan, maka dari itu untuk kuat arus menggunakan 3 arus yang berbeda yaitu 80A, 100A, dan 120A. Penamaan spesimen pada tiap sambungan pengelasan yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Penamaan Spesimen

Stamp	Number	Amphere	Layer Coating
GC	1	80	0
	2	100	0
	3	120	0
AC	1	80	2
	2	100	2
	3	120	2
DC	1	80	3
	2	100	3
	3	120	3

Selama berlangsungnya proses pengelasan, dilakkan pengawasan terhadap parameter pengelasan. Pengambilan data aktual menggunakan alat bantu tang empere untuk mengukur tegangan (V) dan arus (A) dari dari pengelasan SMAW yang dilakukan. Parameter pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4. 2 Parameter Pengelasan

Spesimen	Pass	Tegangan (V)	Arus (A)	Panjang Las (cm)	Waktu (Menit)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj/mm)
GC 1	Root	61	80	10.5	1	100.5	2.9
	Fill	34	80	10	1	100	1.6
	Capping	57	80	9	1	90	3
GC 2	Root	23	100	7	1	70	2
	Fill	43	100	12	1	120	2.1
	Capping	69	100	9	1	90	4.6
GC 3	Root	38	120	9	1	90	3
	Fill	61	120	13	1	130	3.4
	Capping	61	120	6	1	60	7.3
AC 1	Root	107	80	3.5	1	30.5	18.8
	Fill	64	80	7	1	70	4.4
	Capping	59	80	7	1	70	4
AC 2	Root	98	100	3	1	30	19.6

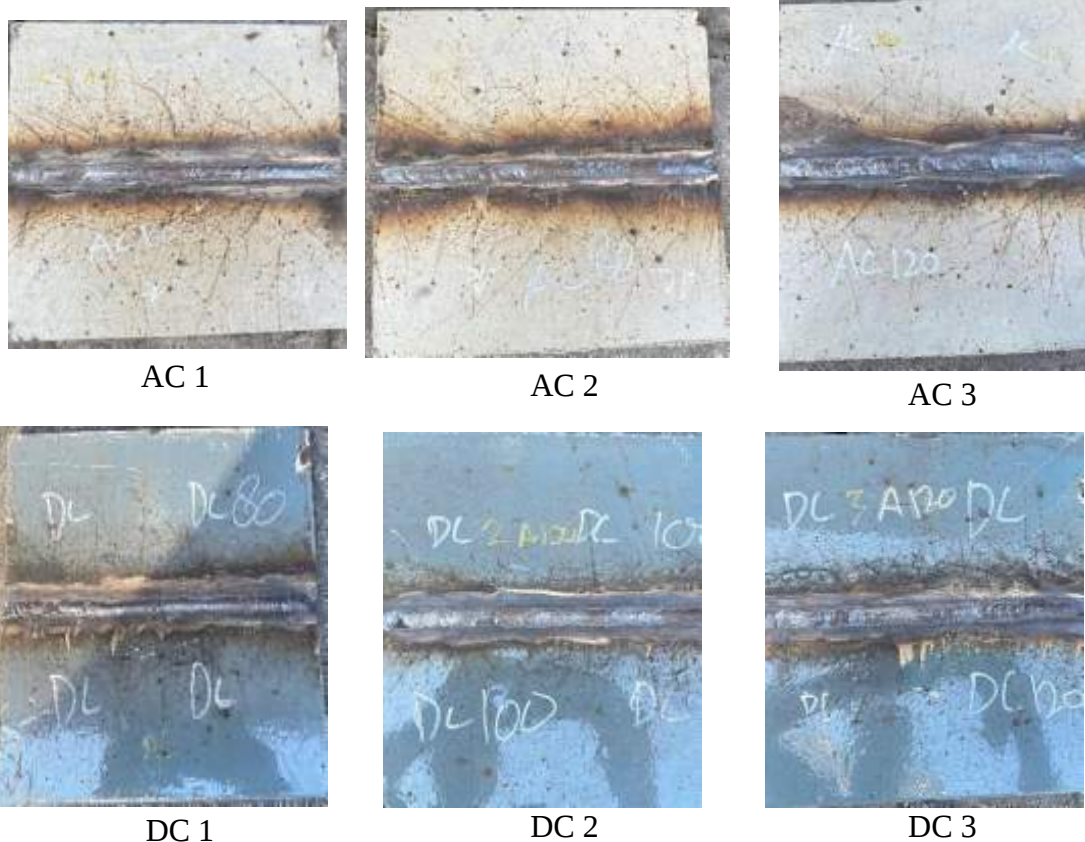
	Fill	84	100	10	1	100	5
	Capping	82	100	7	1	70	7
AC 3	Root	95	120	10	1	100	6.8
	Fill	95	120	13	1	130	5.3
	Capping	86	120	10	1	100	6.2
DC 1	Root	78	80	7	1	70	5.3
	Fill	88	80	9	1	90	4.7
	Capping	76	80	10	1	100	3.6
DC 2	Root	83	100	6.5	1	60.5	8.2
	Fill	80	100	9	1	90	5.3
	Capping	82	100	10	1	100	4.9
DC 3	Root	85	120	6	1	60	10.5
	Fill	80	120	9	1	90	6.4
	Capping	70	120	8	1	80	6.3

Dari Tabel 4.2 di atas dapat dilihat, proses pengelasan SMAW pada material BKI grade A dengan ketebalan 10 mm dengan panjang pengelasan 300 mm.

4.2 Uji Visual

Pengujian *visual* dilakukan untuk mengetahui adanya cacat pada hasil pengelasan yang nampak pada permukaan sebelum dilakukan pengujian berikutnya. Penelitian ini melakukan uji *visual* dengan acuan standar ASME Sec IX, pada QW-194 yaitu "Performance test coupons shall show no cracks and complete joint penetration with complete fusion of weld metal and base metal". Pengujian *visual* pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.





Gambar 4. 1 Hasil Visual Test

Tabel 4. 3 Visual Test Report

STAMP	RESULT			
	Crack	Undercut	Porosity	Incomplete Fusion
GC 1	-	-	-	-
GC 2	-	-	-	-
GC 3	-	-	-	-
AC 1	-	-	-	-
AC 2	-	-	-	-
AC 3	-	-	-	-
DC 1	-	-	-	-
DC 2	-	-	-	-
DC 3	-	-	-	-
Note ✓: Defect -: No Defect				

Pada hasil pengujian visual sesuai dengan Tabel 4.3, hasil yang didapatkan yaitu pada semua hasil pengelasan tidak terdapat adanya cacat visual baik *crack*, *undercut*, *porosity*, dan *incomplete fusion*. Maka dinyatakan semua hasil pengelasan *accepted*.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian merusak (*destructive test*) yang bertujuan untuk mengukur nilai kekerasan suatu material dalam kasus ini pada daerah base metal, HAZ, dan *weld metal*. Pada penelitian ini, pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus dan perbedaan *layer coating* yang dilakukan pada pengelasan material BKI Grade A. Nilai kekerasan acuan pada penelitian ini sebesar 120-150 HBW (*Hardness Brinell Wolfram*) atau sebesar 127-159 HVN (*Hardness Vickers Number*). Pengambilan nilai kekerasan dilakukan pada 9 titik tiap spesimen sebanyak 9 spesimen dengan total titik sebanyak 81 titik. Metode pengujian kekerasan pada penelitian ini adalah Vickers hardness test dengan pembebanan sebesar 10 kgf dan waktu pembebanan 10-15 detik. Titik-titik yang diambil yaitu 3 titik pada *base metal*, 3 titik pada HAZ, dan 3 titik pada *weld metal*. Penamaan spesimen pada pengujian kekerasan Vickers adalah sebagai berikut:

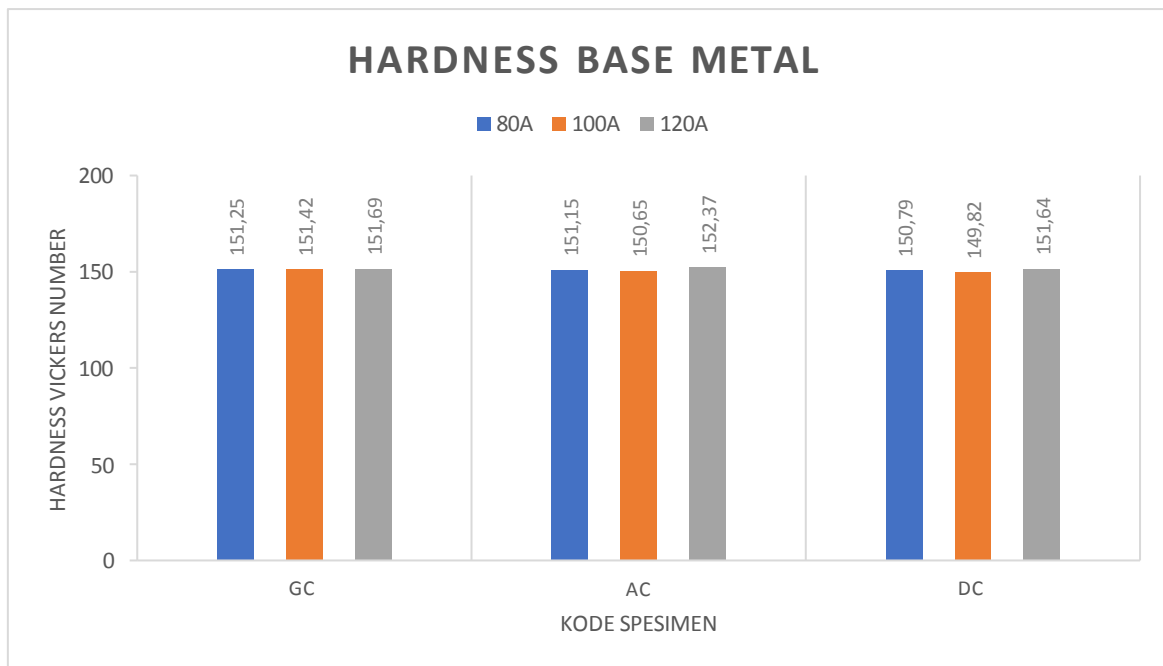
4.3.1 Nilai Kekerasan Pada *Base Metal*

Tabel 4.4 di bawah ini merupakan data hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada daerah *base metal* tiap spesimen.

Tabel 4. 4 Hasil *Hardness Base Metal*

Spesimen	<i>No Coating</i>			<i>2 Layer Coating</i>			<i>3 Layer Coating</i>		
	GC1	GC2	GC3	AC1	AC2	AC3	DC1	DC2	DC3
<i>Raw Material</i> (HVN)	150								
Hasil (HVN)	151.50	152.35	153.71	150.43	149.36	151.17	150.44	148.60	151.13
	150.06	150.10	152.24	150.55	151.17	152.85	150.76	149.80	151.57
	152.20	151.81	149.11	152.48	151.42	153.08	151.18	151.07	152.23
Rata-rata	151.25	151.42	151.69	151.15	150.65	152.37	150.79	149.82	151.64

Hasil pengujian kekerasan pada base metal pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa rata-rata nilai kekerasan tertinggi ada pada spesimen AC 3 dengan variasi kuat arus sebesar 120A dan ketebalan cat 2 layer sebesar 152.37 HVN dan kekerasan terendah pada spesimen DC 2 dengan nilai sebesar sebesar 149.82 HVN. Dari data yang telah diambil di atas, kemudian data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis lebih lanjut pada penelitian. Grafik dari nilai kekerasan rata-rata base metal dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik Rata-Rata Hardness Base Metal

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 perbedaan nilai kekerasan pada *base metal* dimana rata-rata kekerasan terendah terdapat pada material DC 1 dengan kuat arus 80A dengan 3 *layer coating*, sedangkan nilai kekerasan tertinggi ada pada spesimen AC 3 dengan arus 120A.

4.3.2 Nilai Kekerasan Pada Daerah HAZ

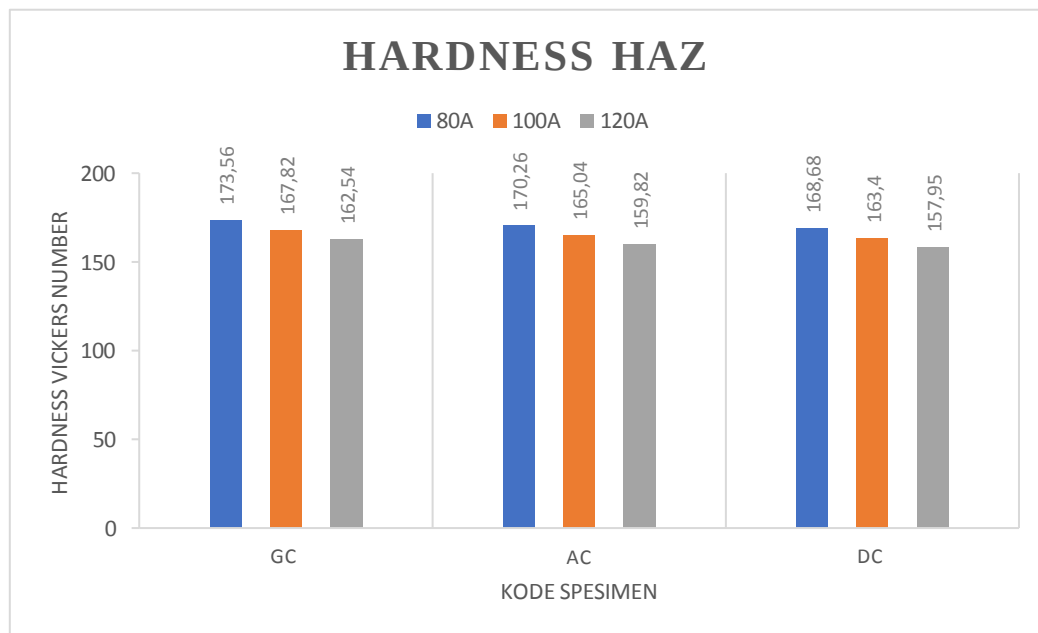
Adapun hasil uji kekerasan pada daerah HAZ dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Pada Daerah HAZ

Spesimen		Holding Time								
		GC1	GC2	GC3	AC1	AC2	AC3	DC1	DC2	DC3
Hasil (HVN)	Raw Material (HVN)	150								
	HAZ	174.55	168.47	163.21	171.36	165.78	160.46	169.28	164.39	158.67
		172.34	167.13	161.84	169.54	164.43	159.17	168.06	162.64	157.24
		173.78	167.86	162.57	169.87	164.91	159.83	168.71	163.18	157.93
	Rata-Rata	173.56	167.82	162.54	170.26	165.04	159.82	168.68	163.40	157.95

Titik indentasi berjumlah 3 titik pada HAZ dengan total sebanyak 9 titik. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen GC 1 dengan nilai 173.56 HVN, dan nilai terendah pada spesimen AC 1 sebesar 157.95 HVN. Pada tabel 4.7 di bawah ini dapat

dilihat hasil uji kekerasan pada daerah HAZ. Dari data yang telah diambil di atas, kemudian data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis lebih lanjut pada penelitian. Grafik dari nilai kekerasan rata-rata HAZ dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 Grafik Rata-Rata Hardness Pada HAZ

4.3.3 Nilai Kekerasan Pada Daerah *Weld Metal*

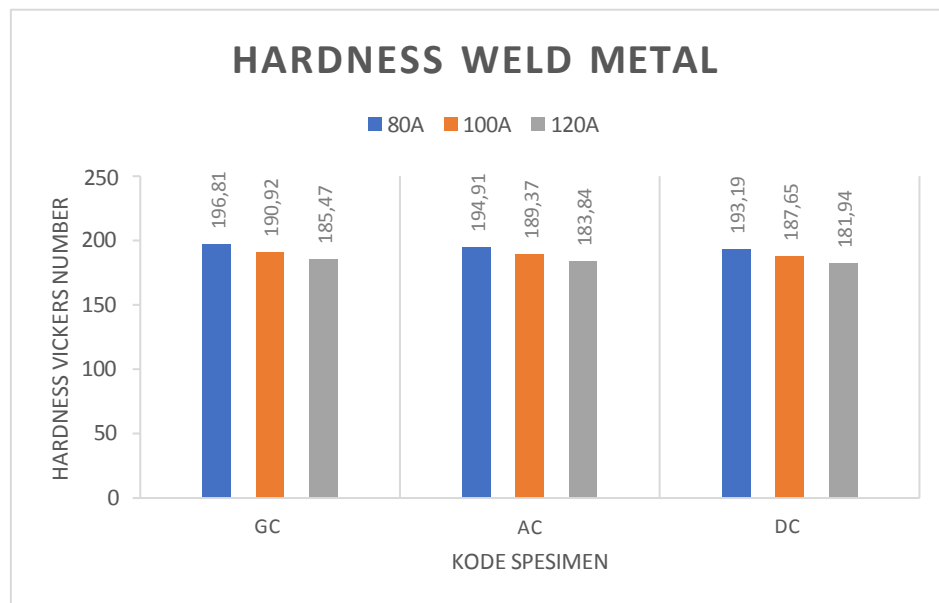
Adapun hasil uji kekerasan pada daerah *weld metal* dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Hardness Pada *Weld Metal*

Spesimen		Holding Time								
		GC1	GC2	GC3	AC1	AC2	AC3	DC1	DC2	DC3
Hasil (HVN)	Raw Material (HVN)	150								
	Weld Metal	197.43	191.58	186.14	195.67	190.07	184.58	194.13	188.46	182.83
		196.17	190.26	184.87	194.21	188.63	183.16	192.47	186.97	181.24
		196.82	190.93	185.39	194.86	189.42	183.79	192.96	187.53	181.76
	Rata-rata	196.81	190.92	185.47	194.91	189.37	183.79	193.19	187.65	181.94

Pada daerah *weld metal*, titik indentasi yang diambil berjumlah 9 titik yang dibagi menjadi 3 titik pada tiap spesimen. Dapat dilihat pada tabel nilai kekerasan tertinggi terdapat pada specimen GC 1 dengan arus 80A sebesar 196.81 HVN, dan terendah pada

spesimen DC 3 dengan arus 120A sebesar 181.94 HVN. Dari data yang telah diambil di atas, kemudian data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis lebih lanjut pada penelitian. Grafik dari nilai kekerasan rata-rata weld metal dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4. 4 Grafik Rata-Rata Nilai Hardness Pada Weld Metal

4.4 Hasil Pengujian Mikro

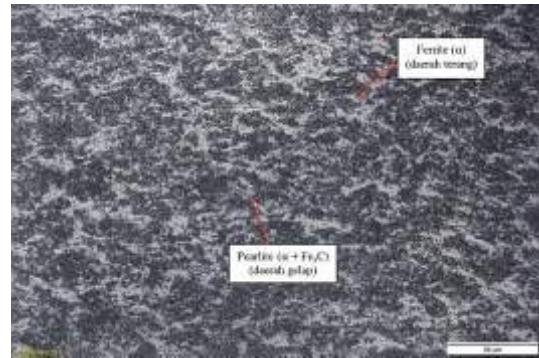
Pengujian mikrostruktur menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500X. Pengambilan titik pengujian mikro dilakukan pada *base metal*, (HAZ), dan pada masing-masing layer pengelasan. Sebelum dilakukan pengujian mikro, dilakukan pemolesan permukaan spesimen hingga mengkilap kemudian dilakukan etsa menggunakan larutan 2% HNO₃ dan 98% alkohol. Hasil pengujian struktur mikro sebagai berikut.

4.4.1 *Base Metal*

Hasil dari pengujian mikro pada daerah *base metal* dengan perbesaran 500X dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini.



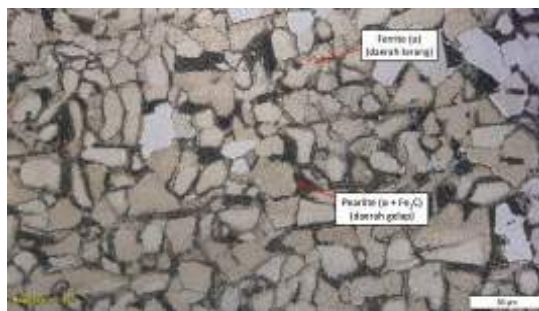
GC 1



GC 2



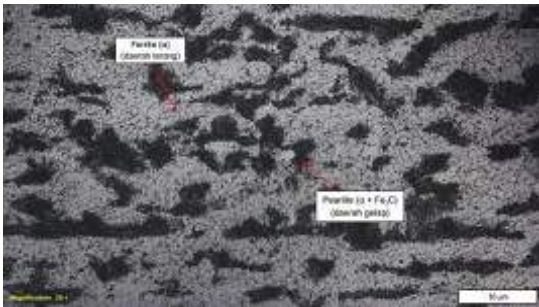
GC 3



AC 1



AC 2



AC 3



DC 1



DC 2



DC 3

Gambar 4. 5 Hasil Mikro Pada *Base Metal*

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat struktur mikro pada daerah *base metal* dari pengelasan BKI Grade A dengan penamaan GC 80, GC 100, GC 120, AC 80, AC 100, AC 120, DC 80, 100, DC 120. Dapat dilihat fasa yang terdapat pada base metal dengan perbesaran 500X berupa fasa *pearlite* berwarna gelap dan *ferrite* dengan warna terang.

4.4.2 *Heat Affected Zone*

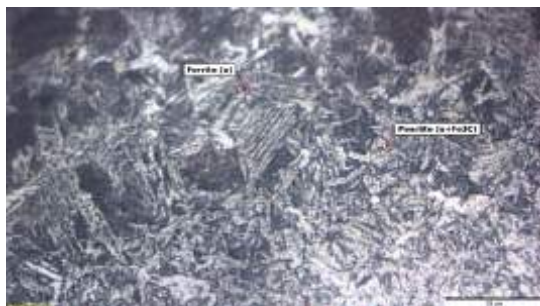
Hasil Pengujian mikro pada daerah HAZ dengan perbesaran 500X dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini.



GC 1



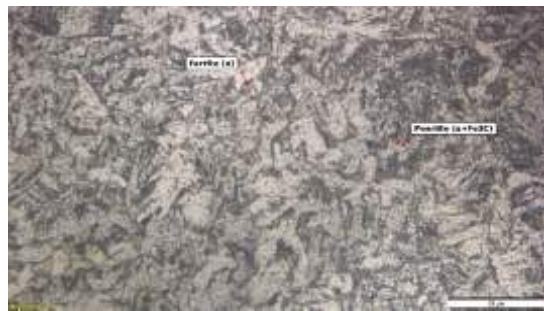
GC 2



GC 3



AC 1



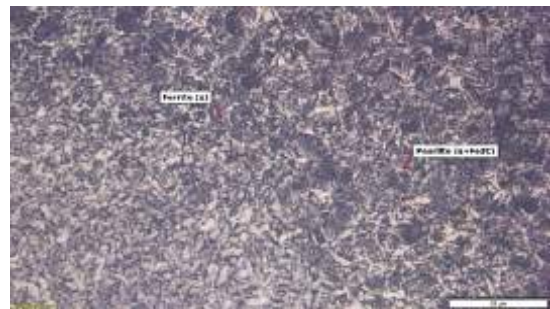
AC 2



AC 3



DC 1



DC 2



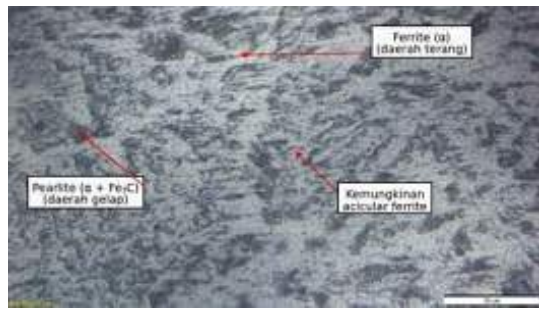
DC 3

Gambar 4. 6 Hasil Mikro Daerah HAZ

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat struktur mikro dari *heat affected zone* (HAZ) dari pengelasan dengan variasi arus 80A, 100A, dan 120A. Fasa yang ditemukan pada HAZ hampir sama dengan yang ditemukan di HAZ yaitu *pearlite* dengan warna gelap dan *ferrite* dengan warna terang.

4.4.3 Weld Metal

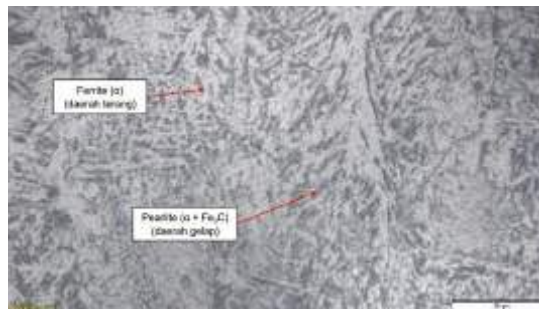
Hasil Pengujian Mikro pada daerah *Weld Metal* dengan perbesaran 500X dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.



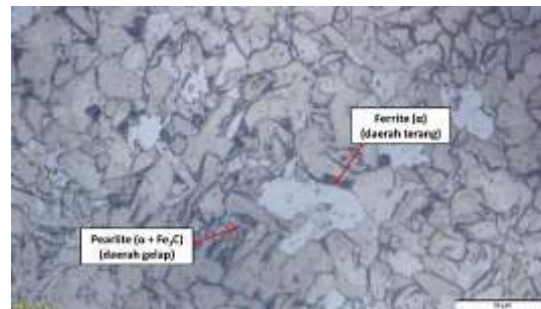
GC 1



GC 2



GC 3



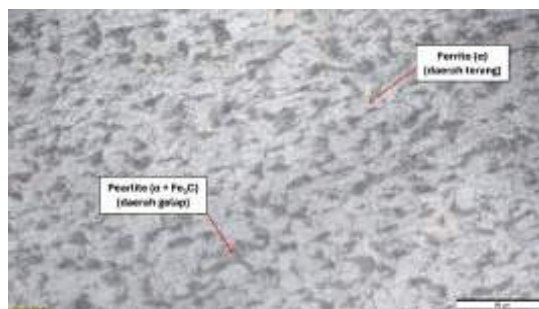
AC 1



AC 2



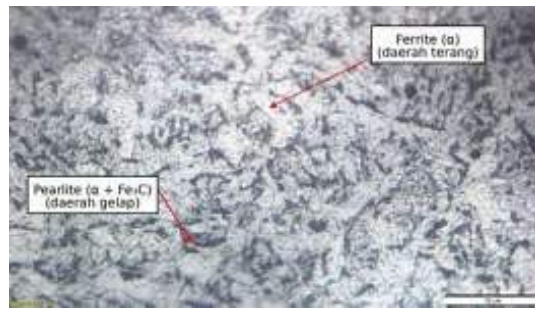
AC 3



DC 1



DC 2



DC 3

Gambar 4. 7 Hasil Mikro Daerah Weld Metal

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat struktur mikro dari *weld metal* dari pengelasan dengan variasi arus 80A, 100A, dan 120A. Fasa yang ditemukan pada *weld metal* hampir sama dengan yang ditemukan di *base metal* yaitu *pearlite* dengan warna gelap dan *ferrite* dengan warna terang. Sementara itu ditemukan indikasi adanya fasa *acicular ferrite* karena pada area struktur terdapat struktur halus berbentuk bilah pendek.

4.4.4 Fusion Line

Hasil Pengujian mikro pada daerah *fusion line* dengan perbesaran 200X dapat dilihat pada Gambar 4.8 dibawah ini.



GC 1



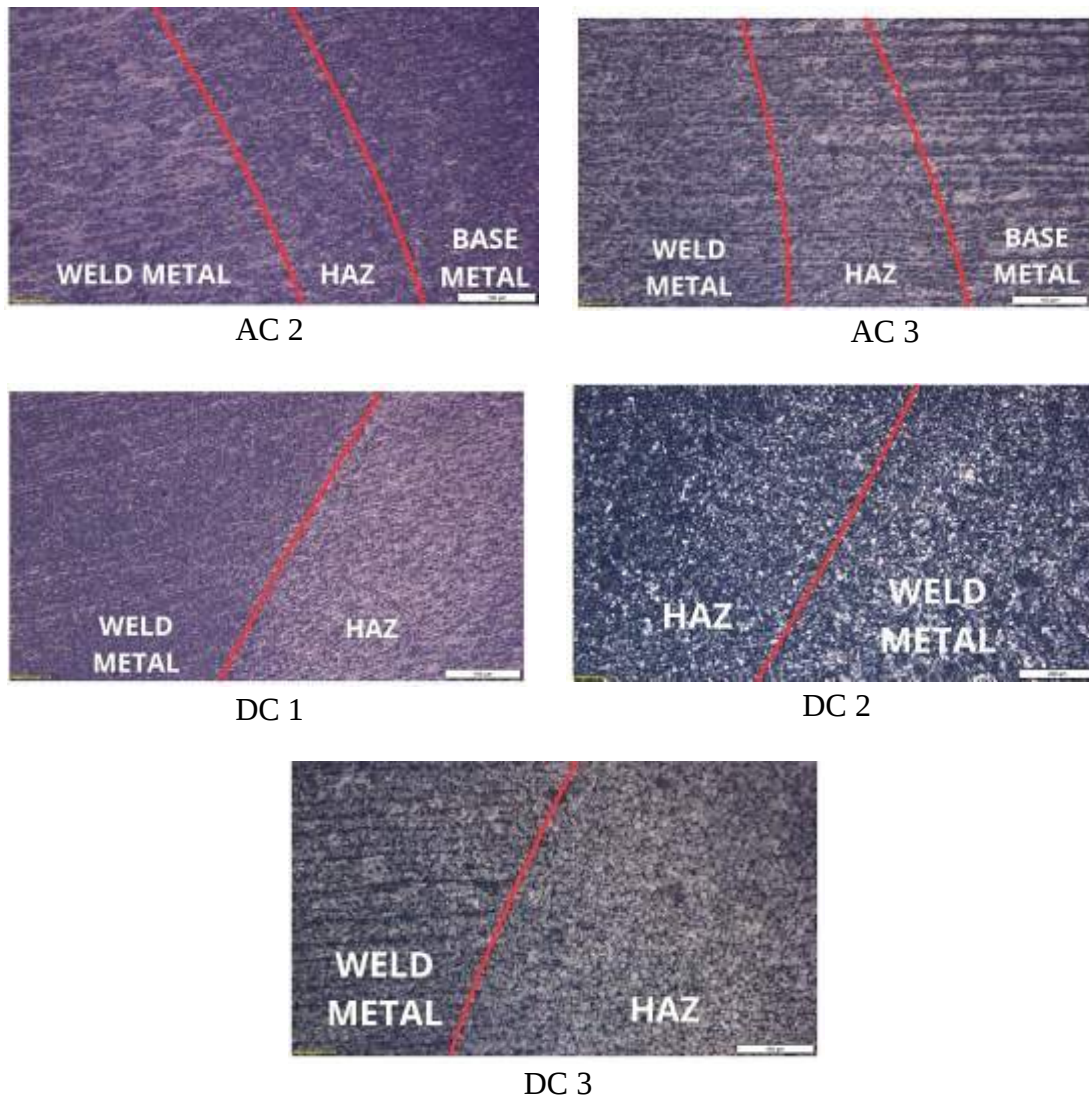
GC 2



GC 3



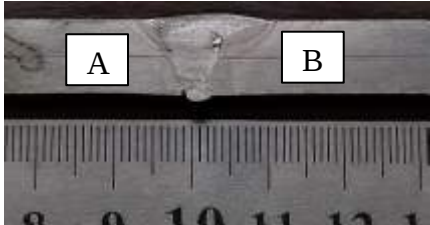
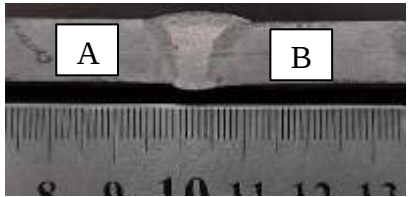
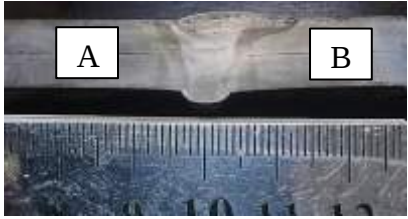
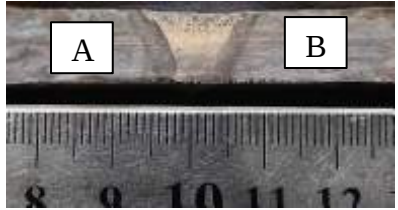
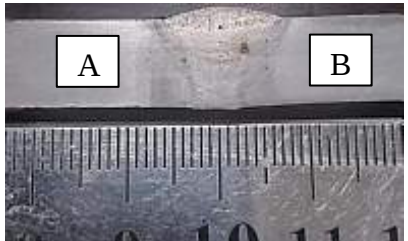
AC 1

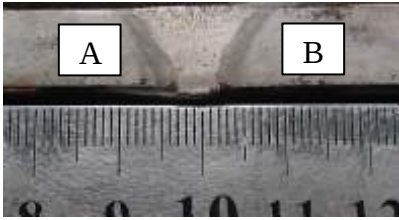
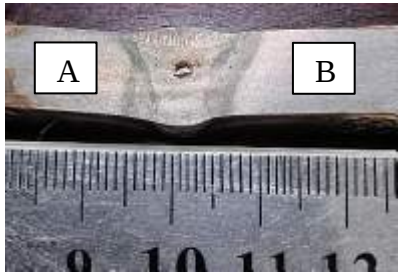
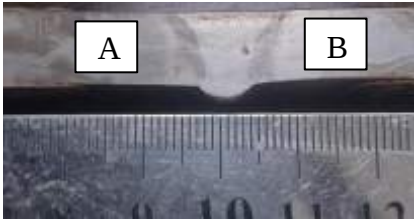
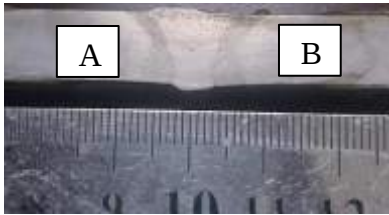


Gambar 4. 8 Hasil Uji Mikro *Fusion Line*

4.5 Hasil Pengujian Struktur Makro

Pengujian makro etsa dilakukan dengan tujuan mengetahui kualitas hasil las yang telah dilakukan pada masing-masing spesimen yang diteliti. Karena nilai variasi kuat arus dan ketebalan cat yang berbeda, sehingga dimungkinkan bahwa terdapat perbedaan pada hasil lasan. Pengujian makro dilakukan untuk melihat perbedaan pada hasil pengelasan. Hasil dari pengujian makro dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.

Kode Spesimen	Hasil Visual	Keterangan
GC 1		Luasan HAZ Daerah A:54.51 Daerah B:57.8 Rata-Rata:56.15
GC 2		Luasan HAZ Daerah A:41.3 Daerah B:39.95 Rata-Rata:40.62
GC 3		Luasan HAZ Daerah A:27.14 Daerah B:37.16 Rata-Rata:32.15
AC 1		Luasan HAZ Daerah A:38.69 Daerah B:44.36 Rata-Rata:41.52
AC 2		Luasan HAZ Daerah A:48.32 Daerah B:42.15 Rata-Rata:45.23

AC 3		Luasan HAZ Daerah A:33.55 Daerah B:45.81 Rata-Rata:39.68
DC 1		Luasan HAZ Daerah A:26.06 Daerah B:32.27 Rata-Rata:29.16
DC 2		Luasan HAZ Daerah A:37.07 Daerah B:34.97 Rata-Rata:36.02
DC 3		Luasan HAZ Daerah A:33.15 Daerah B:33.79 Rata-Rata:33.47

Gambar 4. 9 Hasil Uji Makro

4.6 Hasil Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik ini terdapat total 18 spesimen yang akan diuji mengacu pada standard ASME sec IX mulai dari pembentukan spesimen uji beserta kriteria penerimaan. Adapun kriteria kelulusan pengujian tarik sebagai berikut:

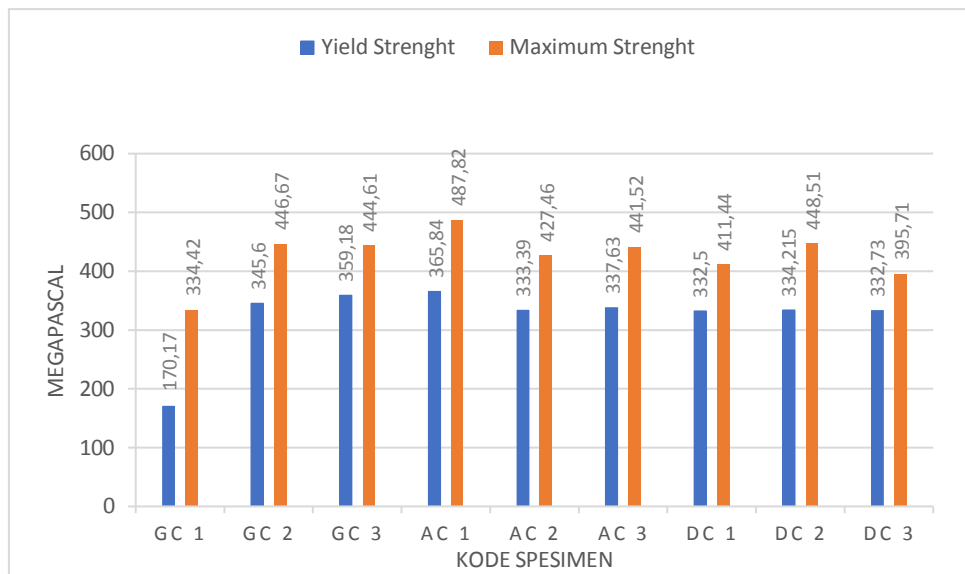
1. Apabila spesimen patah pada bagian base metal maka kekuatan tarik minimumnya tidak boleh kurang dari 5% dari kuat tarik minimum logam induknya
2. Apabila spesimen patah pada bagian weld metal maka kekuatan tarik minimumnya tidak boleh kurang dari kekuatan tarik logam induknya.

Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4. 6 Hasil Uji *Tensile*

Specimen	Dimension		Yield Force (kN)	Yield Strenght (kN)	Maximum Force (kN)	Maximum Strenght (Mpa)	Rata-rata Maximum Strenght (Mpa)	Lokasi Patahan
	Width (mm)	Thickness (mm)						
GC1	19.2	10	-	-	48.45	252,35	334.42	WM
	19.4	10.1	66.69	340.34	81.61	416.49		WM
GC2	19.3	9.7	65.11	347.78	82.39	440.10	446.67	WM
	19.3	9.8	64.95	343.42	85.72	453.24		WM
GC3	19	9.9	69.55	369.76	90.91	483.29	444.61	WM
	19.3	9.5	63.92	348.60	74.43	405.94		WM
AC1	19	9.3	64.28	363.79	85.86	485.89	487.82	BM
	19	9	62.91	367.89	83.75	489.76		WM
AC2	19	10	64.02	336.93	80.52	423.79	427.46	BM
	19.2	10.2	64.60	329.85	84.43	431.14		BM
AC3	19.2	10	63.75	332.05	85	442.70	441.52	BM
	19.3	9.8	64.92	343.22	83.29	440.35		BM
DC1	19.3	10	64.94	336.49	83.84	434.42	411.44	BM
	19.6	9.7	62.46	328.51	73.86	388.47		WM
DC2	19	9.6	66.05	326.13	83.49	457.71	448.51	BM
	19	10	65.04	342.30	83.47	439.32		WM
DC3	19	9.8	61.01	327.63	69	370.59	395.71	WM
	19.5	10	63.93	327.83	82.06	420.83		BM
Notes: WM : <i>Weld Metal</i> BM : <i>Base Metal</i>								

Hasil dari uji tarik menunjukkan bahwa specimen GC 1 dan DC 3 tidak memenuhi syarat, karena nilai kuat tarik minimum material BKI *grade A* sebesar 400 Mpa. Dari data yang telah diambil di atas, kemudian data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis lebih lanjut pada penelitian. Grafik dari nilai uji tarik rata-rata dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini.



Gambar 4. 10 Grafik Uji *Tensile*

4.7 Hasil Uji ANOVA *Two-Ways*

Sebagai upaya untuk memperkuat interpretasi hasil pengujian kekerasan, data penelitian dianalisis menggunakan metode *Two-Way Analysis of Variance* dengan bantuan perangkat lunak IBM SPSS *Statistics*. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kuat arus dan *residual coating* setelah pengelasan, baik secara individual maupun melalui interaksi keduanya, terhadap distribusi nilai kekerasan pada sambungan las. Sebelum dilakukan analisis ANOVA, data terlebih dahulu diuji menggunakan uji normalitas untuk memastikan terpenuhinya asumsi dasar analisis parametrik. Apabila data menunjukkan distribusi normal, maka analisis *Two-Way ANOVA* dapat digunakan untuk menentukan signifikansi pengaruh masing-masing faktor serta interaksi antar faktor terhadap nilai kekerasan. Dasar pengambilan keputusan pada uji normalitas adalah sebagai berikut:

- Jika nilai Sig. > 0,05, maka data berdistribusi normal.
- Jika nilai Sig. ≤ 0,05, maka data tidak berdistribusi normal.

Berdasarkan hasil uji normalitas terhadap *residual* nilai kekerasan, diperoleh nilai signifikansi *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk* pada masing-masing daerah pengujian. Dapat dilihat pada Lampiran 3 pada daerah *Weld Metal* diperoleh nilai signifikansi *Kolmogorov-Smirnov* sebesar 0.200 dan *Shapiro-Wilk* sebesar 0.398. Pada daerah *Base Metal* diperoleh nilai signifikansi *Kolmogorov-Smirnov* sebesar 0.159 dan

Shapiro-Wilk sebesar 0.113, dan pada daerah HAZ diperoleh nilai signifikansi *Kolmogorov-Smirnov* sebesar 0.100 dan *Shapiro-Wilk* sebesar 0.146

Karena jumlah sampel kurang dari 50, maka hasil mengacu pada *Shapiro-Wilk*. Berdasarkan ketiga hasil uji normalitas, seluruh nilainya lebih besar daripada 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa data nilai kekerasan pada *weld metal*, *base metal* dan HAZ memenuhi syarat dan bisa dilanjutkan untuk uji homogenitas.

a. Jika nilai signifikansi > 0.05 maka varian data adalah homogen

b. Jika nilai signifikansi < 0.05 maka varian data adalah tidak homogen

Berdasarkan hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test of Equality of Error Variances*, diperoleh nilai signifikansi pada masing-masing titik pengujian. Pada *Weld Metal* (WM) diperoleh nilai signifikansi 0.212. Pada titik pengujian *Base Metal* (BM) diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.062, sedangkan pada titik pengujian *Heat Affected Zone* (HAZ) diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.40. Pengambilan keputusan pada uji homogenitas didasarkan pada nilai signifikansi, dengan kriteria bahwa data dinyatakan memiliki varians yang homogen apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, data pada ketiga pengujian memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga kelompok data tersebut memiliki varians yang homogen.

Berdasarkan hasil uji, data telah memenuhi normalitas dan homogenitas. Hal ini ditunjukkan oleh nilai signifikansi pada uji normalitas dan uji homogenitas yang lebih besar dari 0,05, sehingga data dinyatakan berdistribusi normal dan memiliki varian yang homogen. Dengan terpenuhinya kedua asumsi tersebut, analisis dapat dilanjutkan menggunakan uji *Two-Way ANOVA*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap variabel hasil, sekaligus mengetahui ada atau interaksi antara kedua faktor tersebut. Uji *Two-Way ANOVA* dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus dan *residual coating*, serta interaksi antara kuat arus dan *residual coating* terhadap nilai kekerasan pada masing-masing titik pengujian, yaitu *Base Metal*, *Wekd Metal*, HAZ. Pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan nilai signifikansi (Sig.) dengan taraf signifikansi Apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 (Sig , $<0,05$), maka variabel tersebut berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan. $\alpha = 0.05$

Pada daerah *weld metal* diperoleh nilai signifikansi untuk variabel kuat arus sebesar 0.624, *residual coating* sebesar 0.086, dan interaksi antara kuat arus dan *residual coating* sebesar 0.622. Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara keseluruhan variasi kuat arus maupun *residual coating* metal tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan pada daerah *Base Metal* karena memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0.05. nilai signifikansinya lebih kecil dari 0,05.

Pada titik pengujian di *base metal* diperoleh nilai signifikansi kuat arus sebesar 0.087, *residual coating* sebesar 0,001, dan interaksi kuat arus dan filler metal sebesar 0.006. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi kuat arus tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan, sedangkan jenis *filler metal* secara individu memberikan pengaruh yang signifikan, dan interaksi antara variasi kuat arus dan jenis *residual coating* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

Pada titik pengujian di HAZ diperoleh nilai signifikansi kuat arus sebesar 0.000, *residual coating* sebesar 0.000, dan interaksi kuat arus dan *residual coating* sebesar 0.000. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kuat arus dan *residual coating* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan pada HAZ. Serta interaksi antara kedua variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

Secara keseluruhan, *residual coating* memiliki pengaruh yang lebih konsisten dibandingkan kuat arus, karena memberikan pengaruh signifikan pada *base metal* dan HAZ, sedangkan kuat arus hanya berpengaruh signifikan pada HAZ. Interaksi antara kuat arus dan *residual coating* juga berpengaruh signifikan pada *base metal* dan HAZ, tetapi tidak pada *weld metal*. Sementara itu, *weld metal* merupakan daerah yang paling sedikit dipengaruhi oleh kedua variabel tersebut berdasarkan hasil uji ANOVA.

4.8 Pembahasan

Pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil pemeriksaan dan pengujian pada spesimen GC 1, GC 2, GC 3 yang tidak menggunakan lapisan *coating*, specimen AC 1, AC 2, AC 3 yang menggunakan dua *layer coating*, dan Spesimen DC 1, DC 2, dan DC 3 menggunakan tiga *coating*. Sedangkan untuk perbedaan kuat arus ditunjukkan pada kode 1 yang memakai arus sebesar 80A, kode 2 menggunakan arus sebesar 100A, dan kode 3 menggunakan arus sebesar 120A. Perbandingan tersebut digunakan untuk melihat

kecenderungan perubahan mutu sambungan, struktur makro, struktur mikro, kekuatan tarik akibat kombinasi parameter pengelasan yang digunakan.

Hasil pemeriksaan visual digunakan untuk memastikan bahwa perbedaan hasil mekanik dan metalografi tidak disertai indikasi permukaan maupun internal yang melampaui kriteria penerimaan. Hasil pengujian makro dan mikro digunakan untuk menjelaskan perubahan pada daerah HAZ dan *weld metal*, sedangkan hasil pengujian tarik digunakan untuk menilai kemampuan logam las dalam menerima beban tarik. Pembahasan disusun berdasarkan pola data aktual dan tidak menggunakan istilah berpengaruh signifikan sebelum hasil analisis statistik tersedia.

4.8.1 Analisa Hasil Uji Visual

Pemeriksaan visual menunjukkan bahwa semua spesimen mempunyai kondisi permukaan sambungan yang memenuhi kriteria penerimaan yang digunakan. Tidak ditemukan *crack* pada *weld face*, tidak teramati *incomplete fusion* maupun *porosity*, kedalaman *undercut* tidak melampaui batas yang ditetapkan. Tetapi pada hasil pengelasan specimen AC dan DC yang memakai lapisan 2 dan 3 layer menghasilkan mahkota las yang rata dikarenakan terjadinya penguraian panas pada *coating* akibat paparan panas tinggi dari busur las.

Ketika proses pengelasan berlangsung, lapisan kimia dari 2 layer coating pada Spesimen AC dan 3 layer *coating* pada spesimen DC terbakar dan melepaskan gas (seperti karbon dan hidrogen) yang sangat tinggi langsung ke dalam kubangan logam cair.

Kontaminasi *coating* secara drastis menurunkan tegangan permukaan dan merusak tingkat kekentalan atau hambatan dari besi dalam fase cair untuk mengalir membentuk mahkota las. Akibatnya, cairan logam las kehilangan kemampuan mekanisnya untuk saling mengikat, sehingga gagal membentuk profil cembung yang ideal pada tahap akhir.

Perbandingan specimen GC, AC dan DC menunjukkan bahwa perubahan *layer coating* dan kuat arus mengubah status penerimaan visual, dimana hasil dari GC tidak terdapat cacat yang signifikan sementara pada AC dan DC memiliki hasil mahkota las yang kurang timbul tetapi tidak kurang dari batas toleransi cekung hasil lasan yang nilainya 0,8 sampai 1 mm.. Dengan demikian, pengaruh variasi parameter terhadap hasil visual tidak terlihat sebagai perubahan diterima atau ditolaknya spesimen.

Keseragaman hasil tersebut juga menunjukkan bahwa proses SMAW mampu digunakan untuk menciptakan lasan yang cukup baik pada material tanpa *coating*, tetapi penambahan *coating* pada material membuat hasil lasan kurang baik dimana pada saat mengelas, lapisan *coating* ikut terbakar sehingga menghambat proses pengelasan dari awal hingga akhir, sementara itu perubahan kuat arus juga berpengaruh pada kemampuan leleh material. Meskipun demikian, pemeriksaan visual hanya menilai kondisi yang dapat diamati dari permukaan. Oleh karena itu, hasil ini tidak digunakan untuk menentukan mutu bagian dalam sambungan maupun nilai sifat mekaniknya.

4.8.2 Pengaruh variasi *residual coating* dan kuat arus terhadap struktur mikro

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro baja BKI Grade A setelah proses etsa Nital, struktur yang terbentuk didominasi oleh *ferrite* (α) dan *pearlite* ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). *Ferrite* terlihat sebagai daerah terang, sedangkan *pearlite* tampak lebih gelap karena memberikan respons yang berbeda terhadap larutan etsa. Struktur *ferrite-pearlite* umum terbentuk pada baja karbon rendah selama proses pendinginan dari daerah *austenite* (Suehiro et al., 1987).

Pada *base metal*, *ferrite* mempunyai warna yang terang dan memiliki sifat relatif ulet, sedangkan Sementara *pearlite* yang berwarna gelap memiliki kontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kekerasan. *Ferrite* terbentuk lebih dahulu selama pendinginan, kemudian sisa *austenite* yang semakin kaya karbon berubah menjadi *pearlite* (Suehiro et al., 1987).

Pada daerah HAZ, *ferrite* dan *pearlite* masih terlihat, tetapi ukuran serta distribusi butirnya mengalami perubahan akibat siklus panas pengelasan. Perbedaan temperatur puncak dan laju pendinginan pada setiap bagian HAZ menyebabkan struktur mikro dan sifat mekaniknya menjadi tidak seragam (Li et al., 2021).

Pada *weld metal*, selain *ferrite* dan *pearlite*, terlihat struktur berbentuk bilah atau jarum yang tidak beraturan dan diduga sebagai *acicular ferrite*. Struktur tersebut terbentuk di dalam butir *austenite* melalui proses nukleasi pada inklusi dan tumbuh ke berbagai arah sehingga menghasilkan susunan yang saling mengunci serta meningkatkan ketangguhan logam las (Yamada et al., 2007; Bhadeshia, 2004).

4.8.3 Pengaruh variasi *residual coating* dan kuat arus terhadap struktur makro

Kuat arus pada proses SMAW berpengaruh terhadap bentuk makro sambungan pelat karena menentukan besarnya energi panas yang masuk ke material. Peningkatan kuat arus cenderung memperbesar volume logam yang mencair sehingga memengaruhi lebar manik las, kedalaman penetrasi, lebar *weld metal*, dan daerah HAZ. Pada pengelasan SMAW dengan material setebal 10 mm menggunakan elektroda E6013, lebar manik las diketahui meningkat seiring dengan meningkatnya kuat arus pengelasan (Pathak et al., 2021). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perbedaan kuat arus pengelasan dan kondisi *residual coating* memberikan pengaruh terhadap lebar (HAZ). Pada penelitian SMAW pelat ASTM A36 dengan ketebalan 4 dan 12 mm, variasi arus 70 dan 80 A juga menghasilkan perbedaan struktur makro. Pelat yang lebih tebal dengan arus lebih tinggi menghasilkan daerah HAZ yang lebih lebar, sedangkan spesimen pelat 12 mm pada arus 80 A mengalami sedikit distorsi angular akibat heat input yang lebih tinggi dan pendinginan yang lebih lambat (Nursyifaulkhair et al., 2026).

Selain kuat arus, keberadaan *residual coating* juga memengaruhi karakteristik perpindahan panas selama proses pengelasan. Material yang masih memiliki lapisan coating cenderung menghambat penghantaran panas secara langsung ke logam dasar, sedangkan coating yang telah dibersihkan memungkinkan panas mengalir lebih efektif ke material. *Coating* yang terpapar suhu tinggi dapat mengalami dekomposisi sehingga menyerap sebagian energi panas serta menghasilkan gas yang memengaruhi kestabilan busur las. Perbedaan mekanisme tersebut menyebabkan distribusi panas pada logam dasar menjadi tidak seragam, sehingga lebar HAZ yang terbentuk pada setiap kondisi residual coating dapat berbeda.

Hasil pengamatan struktur makro specimen GC 1 menunjukkan bahwa logam las telah terbentuk dan penetrasi mencapai akar sambungan. Bentuk manik las terlihat relatif tidak simetris dengan penguatan (*reinforcement*) yang cukup tinggi pada bagian permukaan. Selain itu, pada logam las terdapat beberapa rongga yang mengindikasikan adanya cacat porositas. Cacat tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh parameter pengelasan, khususnya penggunaan kuat arus 80 A. Arus yang relatif rendah

menghasilkan *heat input* yang lebih kecil sehingga kolam las memiliki volume yang lebih sedikit..

Pada hasil pengamatan makro specimen GC 2 menunjukkan hasil makro hanya terlihat satu porositas berukuran kecil di bagian tengah logam las. Dibandingkan dengan spesimen yang dilas menggunakan arus 80 A, jumlah dan ukuran porositas pada spesimen ini tampak lebih sedikit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan arus 100 A menghasilkan *heat input* yang lebih tinggi, sehingga kolam las tetap berada dalam kondisi cair lebih lama. Waktu pembekuan yang lebih lambat memberikan kesempatan bagi gas yang terbentuk selama proses pengelasan untuk keluar dari kolam las sebelum logam membeku, sehingga kemungkinan terbentuknya porositas menjadi lebih kecil.

Sementara itu untuk hasil pengamatan makro specimen GC 3 tidak ditemukan cacat internal yang parah . Permukaan penampang juga menunjukkan hasil etsa yang relatif halus antara logam las dan logam induk, mengindikasikan bahwa distribusi panas selama proses pengelasan berlangsung secara merata. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan arus 120 A menghasilkan *heat input* yang cukup tinggi. Tetapi hasil *capping* pada specimen GC 3 terlihat tidak sejajar dengan akar pengelasan yang diindikasikan karena *human error* dari welder.

Hasil dari specimen AC 1 menunjukkan bahwa *capping* yang terbentuk pada sambungan las memiliki tinggi yang relatif rendah dan cenderung rata. Kondisi ini mengindikasikan bahwa logam las yang terdeposit tidak berlebihan serta penyebaran logam cair selama proses pengelasan berlangsung secara merata. Selain itu tidak ditemukan cacat secara visual dari hasil sambungan dari specimen AC 1. Untuk hasil pengamatan struktur makro specimen AC 2 Dari hasil pengamatan terlihat pada bagian tengah logam las tampak indikasi sebuah titik gelap berukuran kecil yang diduga merupakan porositas. Pada specimen AC 3, Jika dibandingkan dengan spesimen AC 2 yang menggunakan *2 layer coating* dan arus 100 A, spesimen AC 3 menunjukkan kualitas makro yang lebih baik. Pada spesimen AC 2 masih terlihat adanya indikasi titik kecil yang diduga sebagai porositas pada daerah logam las, sedangkan pada spesimen AC 3 indikasi tersebut tidak tampak secara visual. Selain itu, penetrasi las pada AC 3 terlihat lebih sempurna akibat peningkatan arus pengelasan dari 100 A menjadi 120 A yang

menghasilkan heat input lebih besar. Di sisi lain, peningkatan heat input pada spesimen AC 3 menyebabkan daerah HAZ menjadi lebih lebar dibandingkan AC 2.

Berdasarkan hasil pengujian makro pada spesimen DC 1 dengan 3 *layer coating* dan arus pengelasan sebesar 80 A, terlihat Pada bagian tengah logam las tampak adanya cacat berupa porositas yang relatif besar. Keberadaan 3 layer coating pada permukaan material menyebabkan *coating* yang terbakar dan menghasilkan gas yang lebih banyak selama pengelasan. Dengan penggunaan arus sebesar 80 A, energi panas (*heat input*) yang dihasilkan relatif rendah sehingga proses pembakaran residu *coating* dan pelepasan gas tidak berlangsung secara sempurna. Akibatnya, sebagian gas tertahan di dalam logam las dan membentuk porositas. Untuk hasil uji makro pada specimen DC 2 dapat dilihat juga pada bagian tengah logam las masih terlihat adanya porositas berukuran kecil yang ditunjukkan oleh satu titik gelap pada daerah las. Tetapi ukuran cacat specimen DC 2 tidak sebesar DC 1 dimana menunjukkan bahwa perubahan arus sudah dapat mengurangi pembentukan porositas meskipun belum bisa mencegah akan adanya porositas. Pada specimen DC 3, hasil pengamatan makro menunjukkan bahwa penggunaan arus 120 A pada material dengan 3 layer coating menghasilkan kualitas sambungan las yang paling baik dibandingkan variasi arus lainnya. Penetrasi las terbentuk lebih sempurna, peleburan logam berlangsung lebih optimal, serta cacat makro yang teramati lebih sedikit. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan arus mampu mengurangi pengaruh negatif *residu coating* terhadap kualitas sambungan.

4.8.4 Pengaruh Makro terhadap Hasil Uji Tarik

Berdasarkan hasil pengamatan makro, beberapa spesimen menunjukkan cacat berupa porositas pada daerah *weld metal*. Porositas dapat mengurangi luas efektif penampang yang menerima beban dan menimbulkan konsentrasi tegangan di sekitar rongga, sehingga retak lebih mudah terbentuk dan berkembang ketika spesimen menerima beban tarik. Penelitian pada sambungan las menunjukkan adanya hubungan antara luas cacat pengelasan, seperti porositas, *incomplete penetration*, *slag inclusion*, dan *lack of fusion*, dengan penurunan kapasitas maksimum sambungan (Dundu, 2014).

Dari hasil Analisa pengaruh struktur makro, beberapa spesimen menunjukkan adanya cacat pengelasan berupa porositas pada daerah *weld metal*. Porositas menunjukkan bahwa proses pengelasan tidak berlangsung dengan baik karena adanya

faktor seperti rendahnya arus sehingga *heat input* yang diberikan cenderung rendah, atau *human error* yang menyebabkan ketidaksempurnaan pada sambungan las. Pada spesimen GC1 dan DC3, salah satu spesimen uji tarik menghasilkan kekuatan di bawah 400 MPa (BKI Volume V *Rules For Classification And Construction*, 2022) dan mengalami patah pada *weld metal*. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa cacat yang teramati pada pengujian makro menjadi salah satu penyebab melemahnya sambungan. Semakin besar rasio porositas pada weld metal, semakin rendah kekuatan tarik sambungan karena pori mengurangi bagian logam yang dapat menahan beban.

Spesimen yang mengandung porositas juga cenderung mengalami patah pada daerah las, sedangkan sambungan tanpa porositas dapat memiliki kekuatan lebih tinggi dan mengalami patah pada base metal (Shin & Rhee, 2018), sementara pada material AC 1 dapat memiliki nilai tertinggi diindikasikan pada spesimen tersebut dari uji makronya tidak ditemukan cacat yang signifikan yang menyebabkan kelemahan pada uji tarik.

4.8.3 Pengaruh variasi *residual coating* dan kuat arus terhadap kekerasan

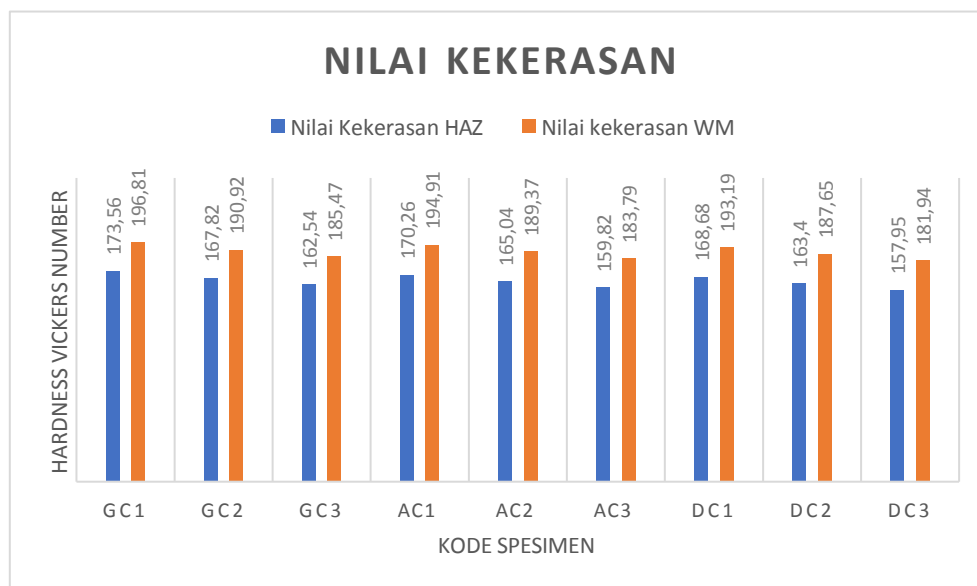
Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *Vickers*, pada daerah base metal, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan relatif stabil pada seluruh variasi spesimen. Nilai rata-rata kekerasan base metal berada pada rentang 149,82–152,37 HVN. Spesimen dengan nilai rata-rata tertinggi diperoleh pada AC3 sebesar 152,37 HVN, sedangkan nilai terendah terdapat pada DC2 sebesar 149,82 HVN. Perubahan nilai kekerasan yang relatif kecil menunjukkan bahwa daerah base metal tidak mengalami pengaruh panas secara langsung dari proses pengelasan, sehingga struktur mikro material masih mendekati kondisi awal. Kekerasan yang relatif rendah juga sesuai dengan struktur baja karbon rendah yang didominasi *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* bersifat lebih lunak dan ulet, sedangkan *pearlite* berkontribusi meningkatkan kekuatan serta kekerasan material (Boumerzoug et al., 2011).

Pada daerah Heat Affected Zone (HAZ), terjadi peningkatan nilai kekerasan dibandingkan dengan base metal. Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata hardness pada daerah HAZ berada pada rentang 157,95–173,56 HVN. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen GC1 dengan nilai rata-rata 173,56 HVN, sedangkan nilai terendah terdapat pada DC3 sebesar 157,95 HVN.. Kekerasan HAZ yang lebih tinggi

dibandingkan *base metal* menunjukkan adanya pengaruh siklus pemanasan dan pendinginan selama pengelasan.

Pada daerah *weld metal*, nilai kekerasan menunjukkan peningkatan paling tinggi dibandingkan daerah lainnya. Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata hardness *weld metal* berada pada rentang 181,94–196,81 HVN. Nilai tertinggi diperoleh pada spesimen GC1 sebesar 196,81 HVN, sedangkan nilai terendah terdapat pada DC3 sebesar 181,94 HVN.. Tingginya kekerasan *weld metal* dipengaruhi oleh proses pencairan, pembekuan kembali, dan pendinginan logam las. Proses tersebut dapat menghasilkan struktur yang lebih halus dan kemungkinan membentuk *ferrite* berbentuk bilah, *acicular ferrite* yang bersifat meningkatkan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan retak pada hasil las.

Berdasarkan hasil uji kekerasan tersebut, kenaikan dan penurunan akan ditunjukkan pada grafik berikut ini:



Gambar 4. 11 Perbandingan *Hardness* HAZ dan WM

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat nilai kekerasan pada HAZ mengalami kenaikan drastic pada spesimen AC 3 yang menggunakan variasi 2 *layer coating* dan menggunakan arus sebesar 120A.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada Bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil kuat tarik sambungan dengan menggunakan variasi kuat dan *residual coating* adalah Berdasarkan hasil uji tarik, kekuatan tarik spesimen berada pada rentang 252,35–489,76 MPa. Nilai tertinggi terdapat pada AC1 dengan rata-rata 487,82 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada salah satu spesimen GC1, yaitu 252,35 MPa. Secara umum, kelompok dua layer *coating* menghasilkan rata-rata kekuatan tarik tertinggi, tetapi penambahan jumlah *coating* tidak menunjukkan peningkatan kekuatan tarik secara linear. Hasil uji tarik juga dipengaruhi oleh kualitas sambungan dan adanya cacat pengelasan.
2. Berdasarkan hasil pengujian hardness pada base metal, Heat Affected Zone (HAZ), dan weld metal dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai kekerasan material. Nilai kekerasan pada base metal relatif stabil dengan nilai rata-rata berada pada rentang 149,82–152,37 HVN. Sementara itu, daerah HAZ mengalami peningkatan nilai kekerasan dengan rentang rata-rata 157,95–173,56 HVN akibat adanya siklus termal. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada daerah weld metal dengan rentang rata-rata 181,94–196,81 HVN karena proses peleburan dan pembekuan ulang menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dibandingkan material awal. Secara umum, distribusi kekerasan menunjukkan bahwa weld metal memiliki nilai kekerasan paling tinggi, diikuti oleh HAZ, sedangkan base metal memiliki nilai kekerasan paling rendah. Oleh karena itu, pengaturan parameter termal selama proses pengelasan menjadi faktor penting dalam menghasilkan sambungan dengan sifat mekanik yang sesuai.
3. Hasil stuktur makro dan mikro yang terbentuk pada sambungan dengan menggunakan variasi kuat arus dan *residual coating* yaitu pada hasil makro, perubahan kuat arus menyebabkan bentuk, lebar *weld metal*, lebar HAZ, serta kemunculan cacat berbeda pada setiap spesimen. Pada hasil mikro, *base metal* relatif

tetap didominasi *ferrite* dan *pearlite*. Di daerah HAZ terjadi perubahan ukuran serta distribusi butir akibat perbedaan temperatur. Sementara itu, *weld metal* mengalami perubahan struktur paling besar karena proses pencairan dan pembekuan kembali, sehingga dapat terbentuk struktur yang lebih halus dan diduga *acicular ferrite*.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan uji radiografi pada sambungan las guna mendeteksi cacat internal yang tidak dapat diamati melalui pemeriksaan visual maupun pengujian makro,
2. Pada saat proses pengelasan menambahkan spesimen sebagai *trial*.
3. Parameter pengelasan harus ditinjau dengan optimal sehingga nilai dari *heat input* tidak terpaut terlalu jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Achamyeleh, T., Çamur, H., Savaş, M. A., & Evcil, A. (2022). Mechanical strength variability of deformed reinforcing steel bars for concrete structures in Ethiopia. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06654-1>
- Afriansyah, & Arifin, A. (2020). Dissimilar metal welding using Shielded metal arc welding: A Review. *Technology Reports of Kansai University*.
- ASME Section IX. (n.d.). *Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators SECTION IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications 2023 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code*. Retrieved www.asme.org/cer
- ASTM International. (2022). *Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0018-22>
- ASTM International. (2023a). *Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0010-23>
- ASTM International. (2023b). *Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0092-23>
- ASTM International. (2025). *SECTION II MATERIALS Part C Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code*. www.asme.org/cer
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2020). *Guidelines for Classification and Construction Guidelines for Naval Ship Materials 2020 Biro Klasifikasi Indonesia*. www.bki.co.id
- Çetinkaya, C., Akay, A., Arabacı, U., & Özdemir, U. (2022). Effect of Shop-Primer Coating on S235JR Steel on MAG Weldability. *Advances in Materials Science*, 22(2), 49–63. <https://doi.org/10.2478/adms-2022-0007>
- Firman Edi, Ambiyar, Waskito, & Danyl Mallisza. (2022). *Welding Training Program Development with Shield Metal Arc Welding (SMAW) Process* (Vol. 12, Number 2).
- Hidayat, M., Febnesia, H., & Ramdani, S. (2021). Effect of DCRP and DCSP Polarity on SMAW Welding on the Depth of Penetration with E7018 Electrodes using Low Carbon

- Steel ASTM A36. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 5(1), 36–46. <https://doi.org/10.17977/um016v5i12021p037>
- Hussin, M. H., & Lah, N. A. C. (2020). Weld bead surface defects formation and its implications-A review. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 72(72), 41–55. <https://doi.org/10.37934/ARFMTS.72.2.4155>
- Jalil, S. A., Husna, A., & Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe Jl Banda Aceh-Medan Km, J. (2017a). *PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW* (Vol. 15, Number 2).
- Jalil, S. A., Husna, A., & Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe Jl Banda Aceh-Medan Km, J. (2017b). *PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW* (Vol. 15, Number 2).
- Lestari, A. W., Marlita, Z., Sefiya, V., & Prasetyo, I. A. (2025). *Analisis Varian (Anova) : Konsep, Langkah-Langkah Dan Penerapannya Dalam Analisis Data Analysis of Variance (ANOVA): Concept, Steps, and Its Application in Data Analysis* (Vol. 6).
- M.M. Munir, ST. ,MM, M. Thoriq Wahyudi, ST. ,MM, Hendri Budi Kurniyanto, S. ST. ,MT, & Dika Anggara, S. ST. ,MT. (2019). *LEMBAR PENGESAHAN MODUL PRAKTIK MODUL PRAKTIK DT NDT*.
- Rules For Classification And Construction*. (2022). www.bki.co.id
- Salsabila Yasmin, D., Paundra, F., Pujiyulianto, E., Muhyi, A., Rajagukguk, K., & Prabowo, I. (2025). EFFECT OF WELDING CURRENT ON LOW CARBON STEEL CHARACTERISTICS IN SMAW CLADDING PROCESS. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 25(1), 1–7.
- Sarifudin, M., & Harmi Tjahjanti, P. (2024). Karakteristik Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) pada Plat Stainless Steel 201 di Tabung Air Minum. *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*. <https://doi.org/10.47134/innovative.v3i1>
- Zedan, Y., Songmene, V., Samuel, A. M., Samuel, F. H., & Doty, H. W. (2022). Assessment of the Influence of Additives on the Mechanical Properties and Machinability of Al-11%Si Cast Alloys: Application of DOE and ANOVA Methods. *Materials*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ma15093297>

LAMPIRAN 1

MILL CERTIFICATE



ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018

PT GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk

Turabaya - Indonesia

MILL TEST CERTIFICATE

Acc. To EN10004 - 3.2

Head Office:
K. M. Gunawan Rd. 186
Sukorejo, Surabaya, Indonesia 60186
Phone: +6231 7885500 (Marketing)
Fax: +6231 7885501
e-mail: info@gunawandsteel.com
Website: www.gunawandsteel.com



Purchaser:

T

Order No.:

I

06/2021/00007

PO NO: POK/25/01/0014

Material:

I

SHIP BUILDING PLATES

Specification:

I

BB GRADE A

Delivery condition:

I

A5, ROLLED

Tolerances:

I

A5 PER CLASS RULES

Certificate No.:

GOS QC 2025 1968

Date:

April 16, 2025

Dispatch Address No.:

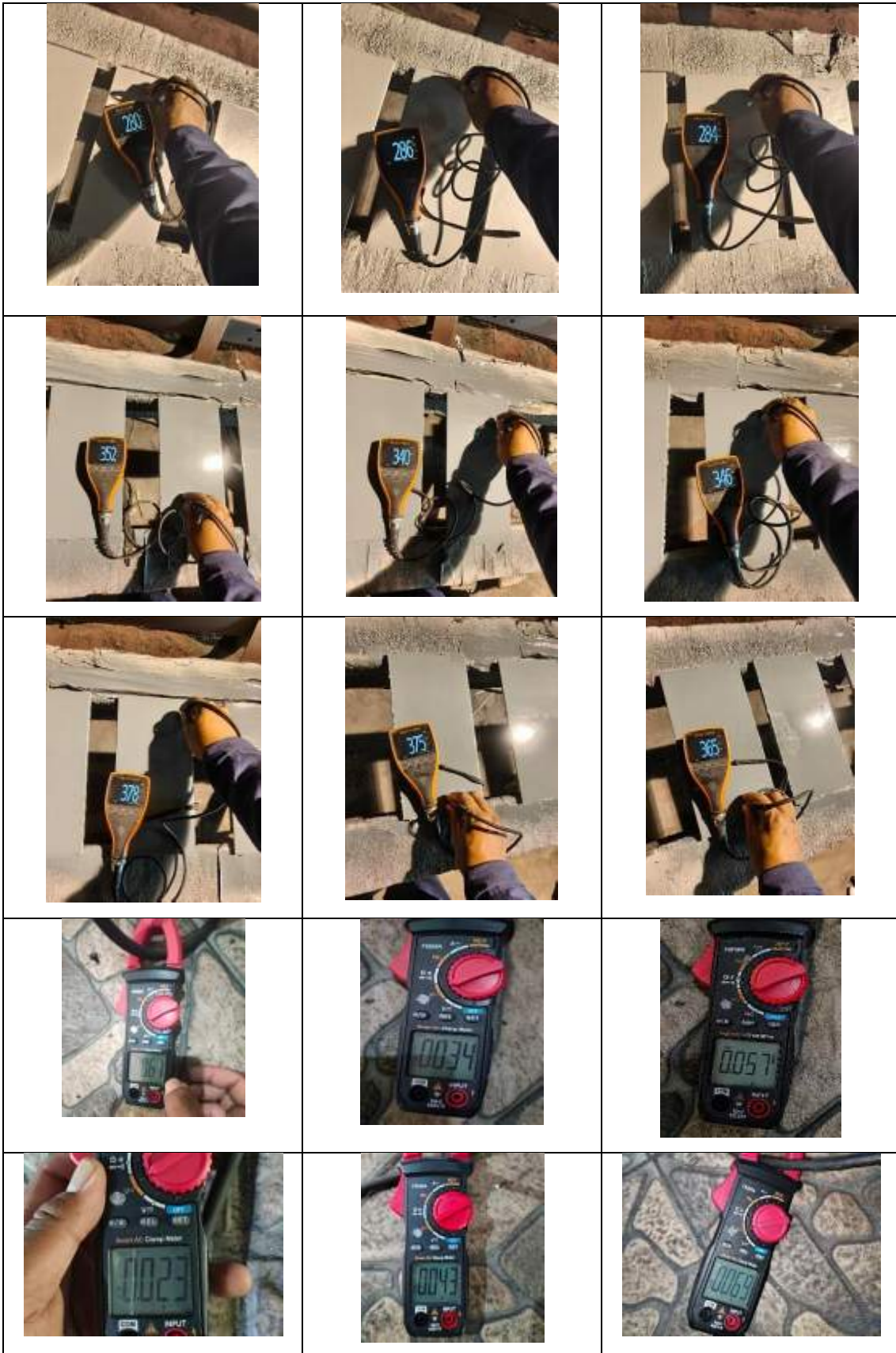
PO 2504 01456-1438

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions (mm)			Weight (MT)	Tensile Analysis (%)														Tensile Test			Impact Value H KWH J C	Remarks				
			T	W	L		F				S				E				Tensile No.	Y (N/mm²)	T (N/mm²)	Elongation (%)							
							a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d											
R 27048	H 31-34	4	10	1829	6096	3.500	12	13	73	32	6	<5	1	2	5	<5	3	40	<2	5	14	288	433	27				16-Apr-25	
	H 41-44	4	"	"	"	3.503																							
R 27067	I 31-34	8	"	"	"	3.500	17	14	77	33	9	<5	1	2	5	<5	4	30	<2	5	14	280	417	29				16-Apr-25	
	I 41-44	4	"	"	"	3.500																							
R 30003	H 13	3	"	"	"	0.875	13	15	71	32	5	<5	1	2	5	<5	3	40	<2	5	14	292	419	26				16-Apr-25	
	H 31-44	4	"	"	"	3.500																							
	H 51-54	8	"	"	"	3.500																							
R 30020	H 41-44	4	"	"	"	3.500	13	16	77	33	9	<5	1	2	5	<5	4	30	<2	4	12	277	413	29				16-Apr-25	
R 30021	I 11-15	5	"	"	"	4.375	12	14	78	31	8	<5	1	2	5	<5	3	30	<2	7	12	305	427	26				16-Apr-25	
	I 31-44	4	"	"	"	3.500																							
	I 51-54	4	"	"	"	3.500																							
R 30031	I 11-15	5	"	"	"	4.375	18	14	78	33	7	<5	1	2	5	<5	4	30	<2	4	11	295	423	25				16-Apr-25	
	I 41-44	4	"	"	"	3.500																							
	I 51-54	4	"	"	"	3.500																							
R 30043	L 52-52	2	"	"	"	1.750																							
	G 31-34	4	"	"	"	3.500	13	16	77	33	11	<5	1	2	5	<5	3	40	<2	4	14	294	422	24				16-Apr-25	
	G 41-44	8	"	"	"	3.500																							
R 30083	H 41	1	"	"	"	0.875	12	14	76	32	5	<5	1	2	5	<5	6	30	<2	5	12	293	413	28				24-Mar-26	
R 30087	H 11-15	5	"	"	"	4.375	12	17	72	32	5	<5	1	3	5	<5	2	30	<2	6	14	304	413	28				16-Apr-25	
	H 41-44	4	"	"	"	3.500																							
R 30088	G 11-15	5	"	"	"	4.375	11	15	72	31	8	<5	1	2	5	<5	4	40	<2	5	13	293	410	25				16-Apr-25	
	L 11-15	5	"	"	"	4.375																							
	L 42-44	3	"	"	"	2.625																							
	L 51-64	4	"	"	"	3.500																							
R 30291	I 21-24	6	"	"	"	3.500	13	13	68	17	5	<5	1	1	5	<5	4	30	<2	6	12	286	414	28				16-Apr-25	

LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI PERSIAPAN DAN PROSES PENGELASAN











LAMPIRAN 3 PENGUJIAN

UJI TARIK



HARDNESS BASE METAL



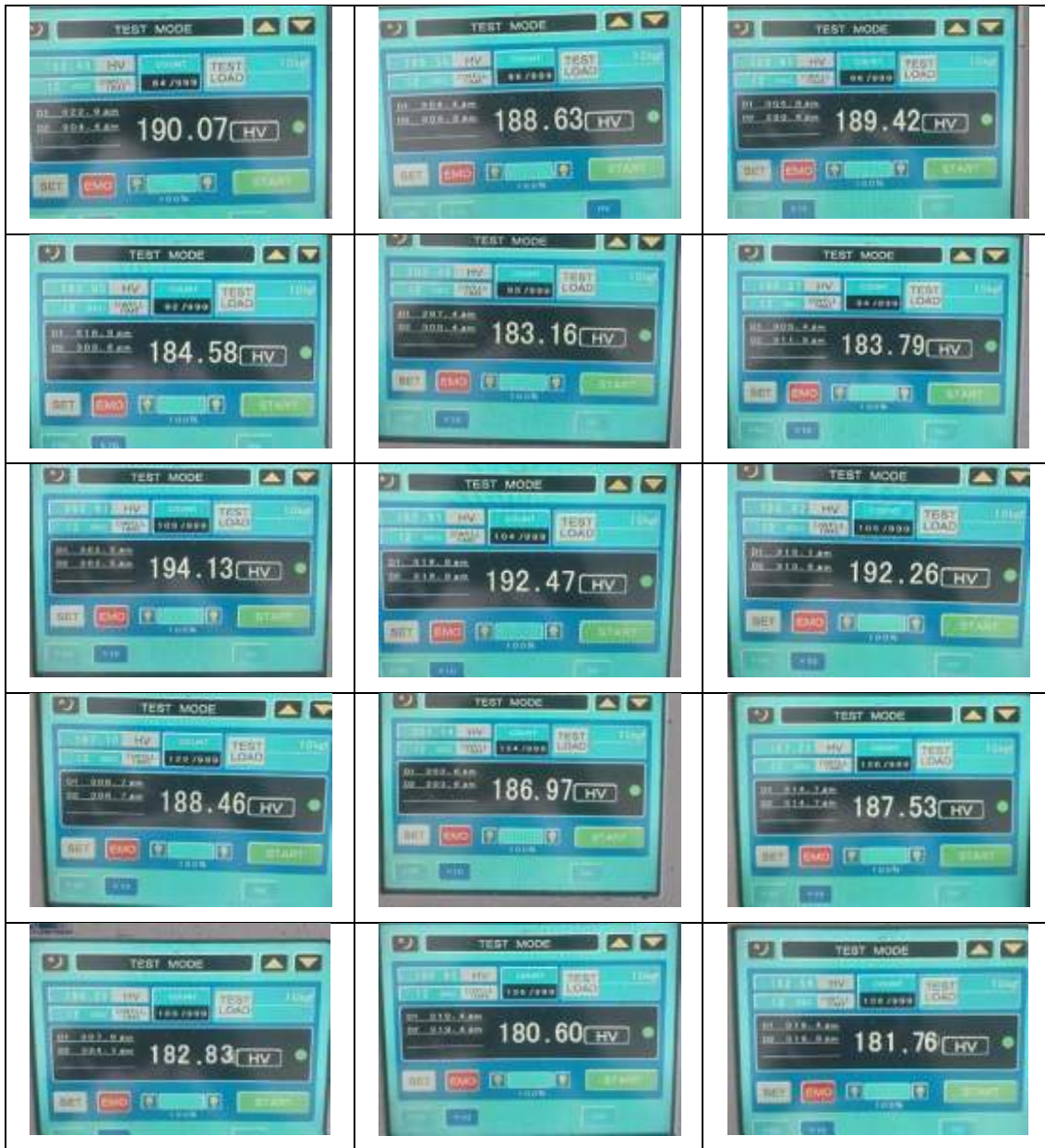
		
		
		
		
		
HARDNESS HAZ		
		





HARDNESS WELD METAL





HASIL UJI NORMALITAS ANOVA TWO-WAYS

Tabel 4. 7 Hasil Uji Normalitas *Hardness* WM

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for HARDNESSWM	.116	27	.200*	.961	27	.398

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

Tabel 4. 8 Hasil Uji Normalitas *Hardness* BM

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for HardnessBM	.144	27	.159	.939	27	.113

a. Lilliefors Significance Correction

Tabel 4. 9 Hasil Uji Normalitas *Hardness* HAZ

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for HardnessHAZ	.154	27	.100	.943	27	.146

a. Lilliefors Significance Correction

HASIL UJI HOMOGENITAS ANOVA TWO-WAYS

Tabel 4. 10 Hasil Uji Homogenitas Hardness WM

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:HARDNESSWM

F	df1	df2	Sig.
1.540	8	18	.212

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Arus + RessCoating + Arus * RessCoating

Tabel 4. 11 Hasil Uji Homogenitas Hardness BM

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:HardnessBM

F	df1	df2	Sig.
2.363	8	18	.062

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Arus + RessCoating + Arus * RessCoating

Tabel 4. 12 Hasil Uji Homogenitas Hardness HAZ

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:HardnessHAZ

F	df1	df2	Sig.
2.673	8	18	.040

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Arus + RessCoating + Arus * RessCoating

HASIL UJI ANOVA TWO-WAYS

Tabel 4. 13 Hasil Uji ANOVA *Two-Ways* Pada WM

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HARDNESSWM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	452.661 ^a	8	56.583	1.159	.374
Intercept	989775.446	1	989775.446	2.028E4	.000
Arus	47.283	2	23.641	.484	.624
RessCoating	274.676	2	137.338	2.813	.086
Arus * RessCoating	130.702	4	32.676	.669	.622
Error	878.714	18	48.817		
Total	991106.820	27			
Corrected Total	1331.375	26			

a. R Squared = ,340 (Adjusted R Squared = ,047)

Tabel 4. 14 Hasil Uji ANOVA *Two-Ways* Pada BM

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HardnessBM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	948.005 ^a	8	118.501	5.874	.001
Intercept	599877.064	1	599877.064	2.973E4	.000
Arus	113.217	2	56.608	2.806	.087
RessCoating	421.350	2	210.675	10.442	.001
Arus * RessCoating	413.438	4	103.360	5.123	.006
Error	363.152	18	20.175		
Total	601188.222	27			
Corrected Total	1311.157	26			

a. R Squared = ,723 (Adjusted R Squared = ,600)

Tabel 4. 15 Hasil Uji ANOVA *Two-Ways* Pada HAZ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HardnessHAZ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4045.966 ^a	8	505.746	24.843	.000
Intercept	684362.593	1	684362.593	3.362E4	.000
Arus	988.155	2	494.078	24.270	.000
RessCoating	1449.668	2	724.834	35.605	.000
Arus * RessCoating	1608.142	4	402.036	19.748	.000
Error	366.441	18	20.358		
Total	688775.001	27			
Corrected Total	4412.408	26			

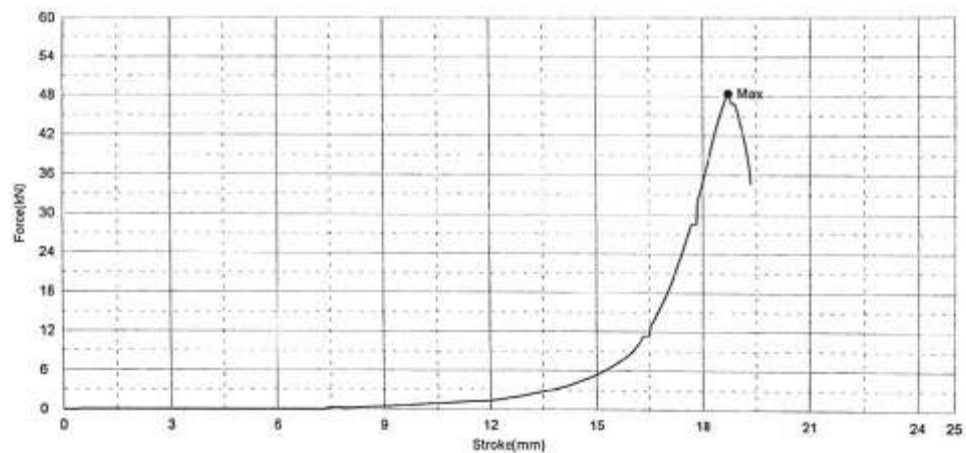
a. R Squared = ,917 (Adjusted R Squared = ,880)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
GC80.1	10,0000	19,2000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
GC80.1	192,00	-,-	48,45	-,-	252,35



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026


 (.....)

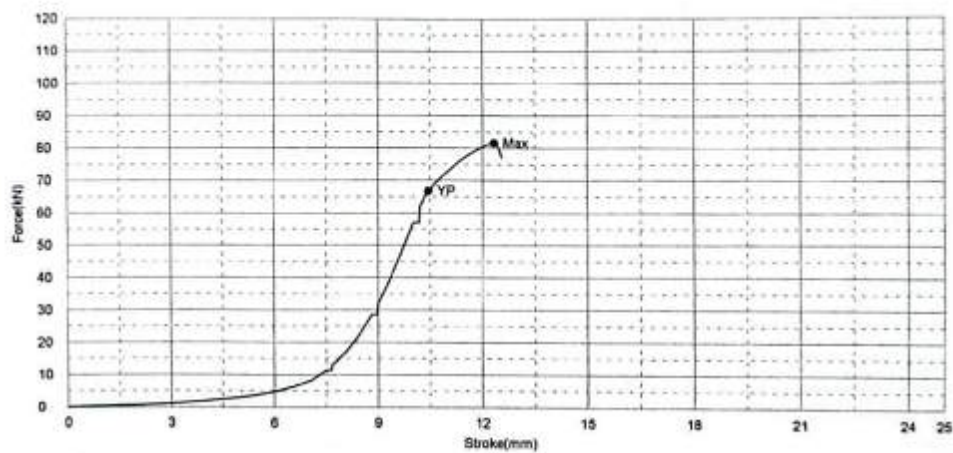


**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
GC80 2	10,1000	19,4000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
GC80 2	195,94	66,69	81,61	340,34	416,49



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

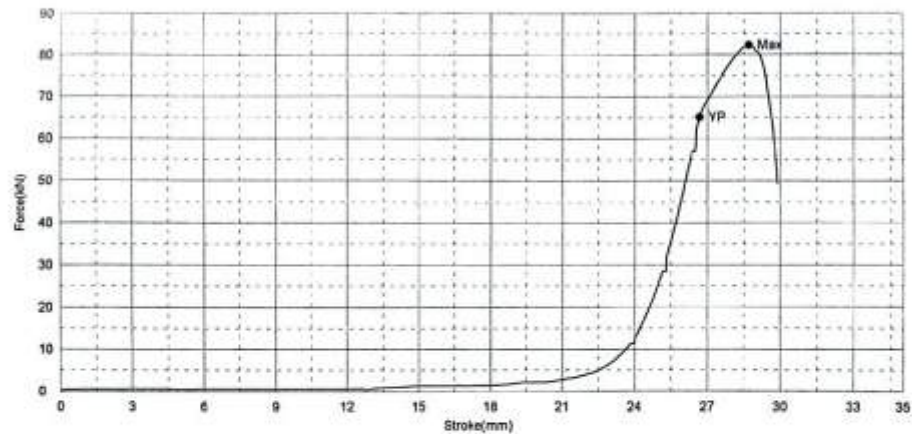

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
GC100.1	9,7000	19,3000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %FS		0,1 %FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
GC100.1	187,21	65,11	82,39	347,78	440,10



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

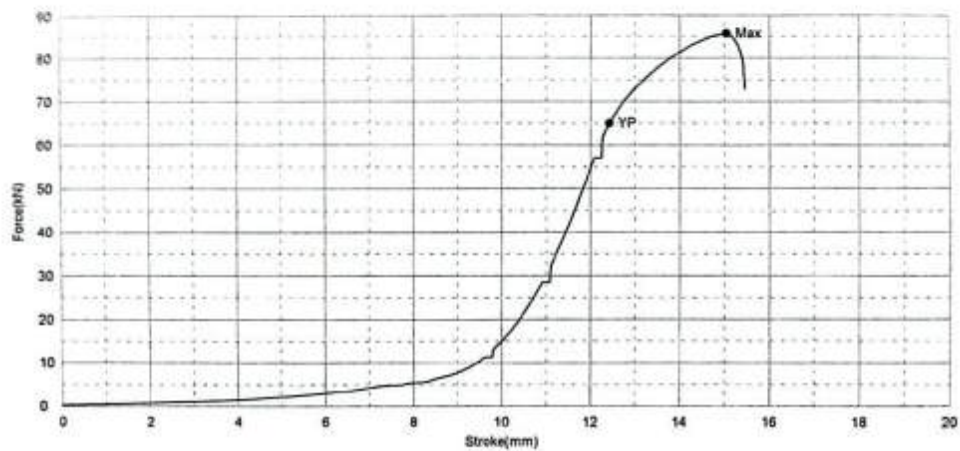

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
GC100 2	9,8000	19,3000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0.1 %/FS		0.1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
GC100 2	189,14	64,95	85,72	343,42	453,24



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

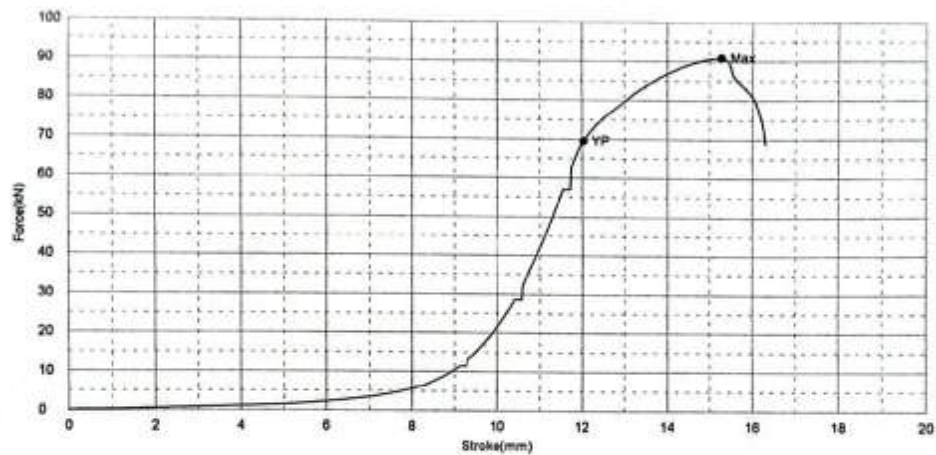

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
GC120.1	9,9000	19 0000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
GC120.1	188,10	69,55	90,91	369,76	483,29



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surebaya, Juli 10, 2026

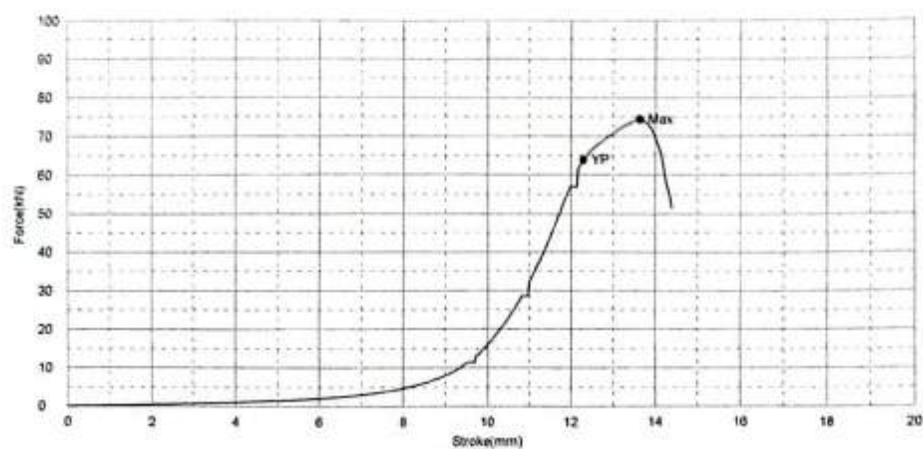

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
GC120.2	9,5000	19,3000	1,0000

Name	Area	Yield Force 0,1 %FS	Max. Force	Yield Strength 0,1 %FS	Max. Strength
Parameter					
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
GC120.2	183,35	63,92	74,43	348,60	405,94



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld, process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

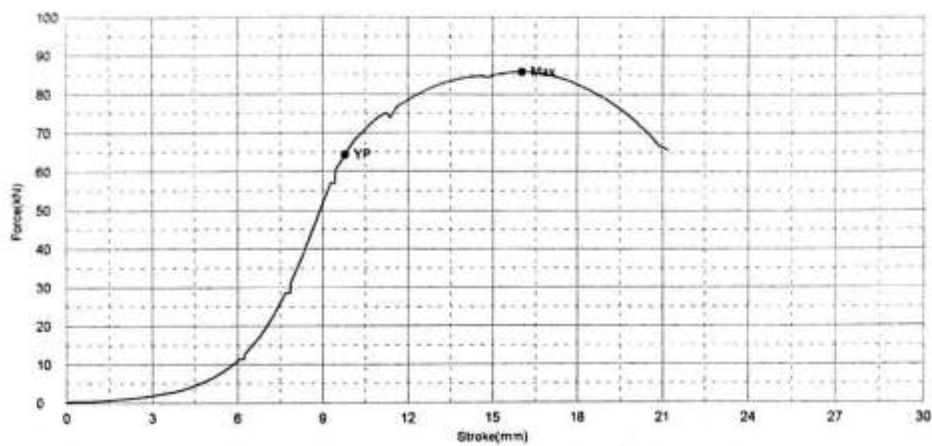
()

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
AC80 1	9,3000	19,0000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
AC80 1	176,70	64,28	85,86	363,79	485,89



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project : TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

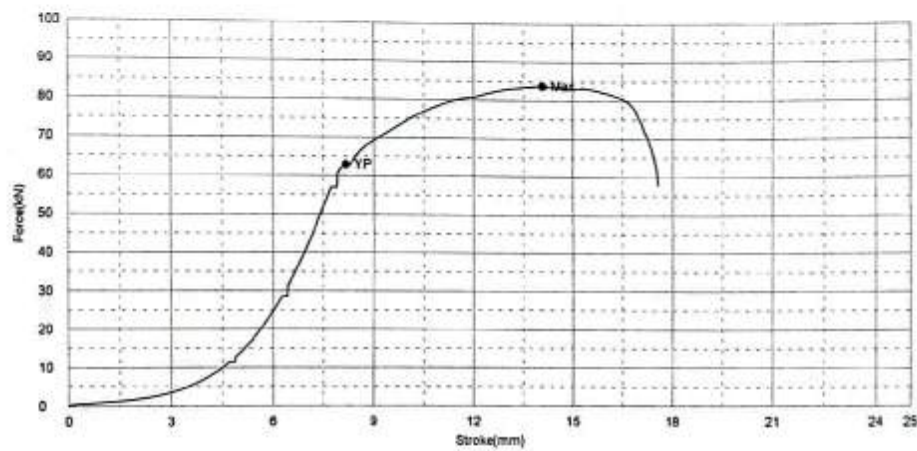

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
AC80.2	9,0000	19,0000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
AC80.2	171,00	62,91	83,75	367,89	489,76



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
Project: TUGAS AKHIR
Specimen : Plate Thk 10 mm
Material : Carbon Steel A36
Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
Test method: ASTM E8
Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

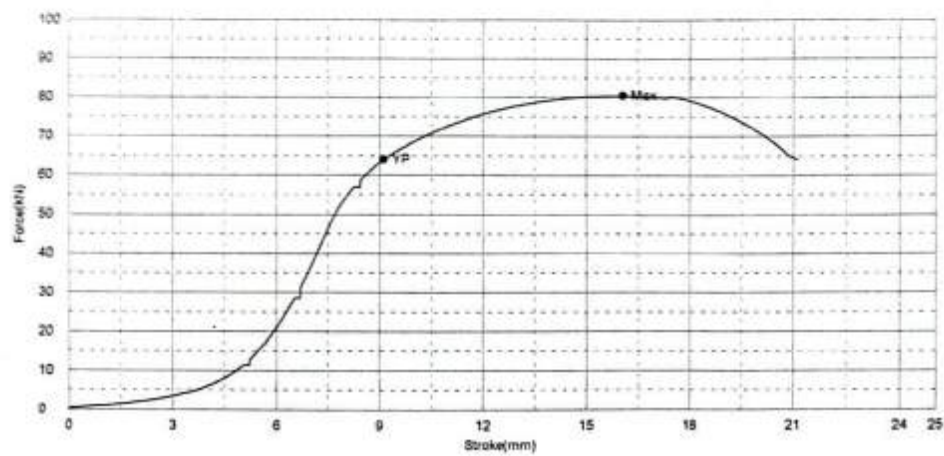

(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
AC100.1	10.0000	19.0000	1.0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0.1 %/FS		0.1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
AC100.1	190.00	64.02	80.52	336.93	423.79



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project : TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

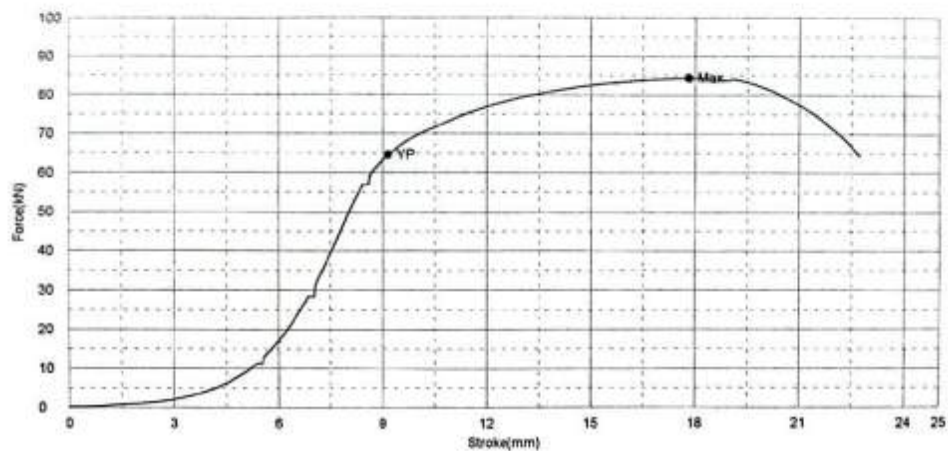

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
AC100.2	10,2000	19,2000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
AC100.2	195,84	64,60	84,43	329,85	431,14



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

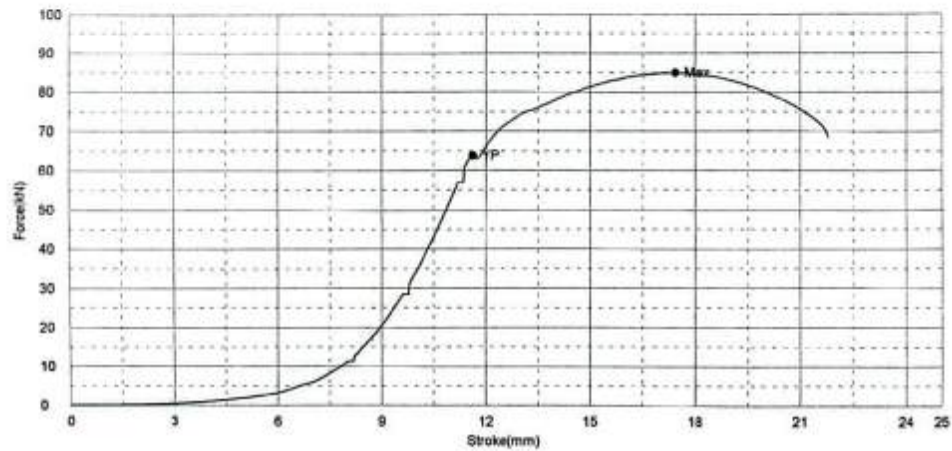
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
AC120.1	10,0000	19,2000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
AC120.1	192,00	63,75	85,00	332,05	442,70



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

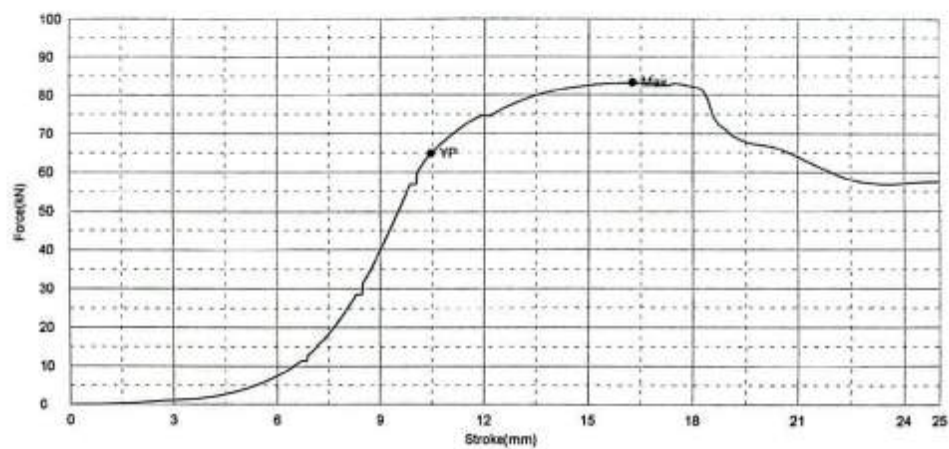

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
AC 120.2	9,8000	19,3000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
AC120.2	189,14	64,92	83,29	343,22	440,35



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabays, Juli 10, 2026

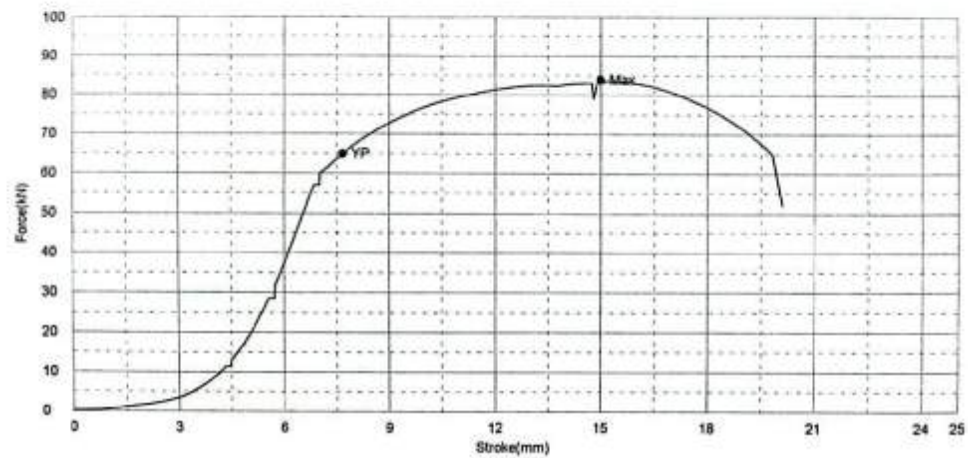

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
DC80.1	10,0000	19,3000	1,0000

Name	Area	Yield Force 0,1 %/FS	Max. Force	Yield Strength 0,1 %/FS	Max. Strength
Parameter					
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
DC80.1	193,00	64,94	83,84	336,49	434,42



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
Project: TUGAS AKHIR
Specimen : Plate Thk 10 mm
Material : Carbon Steel A36
Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
Test method: ASTM E8
Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

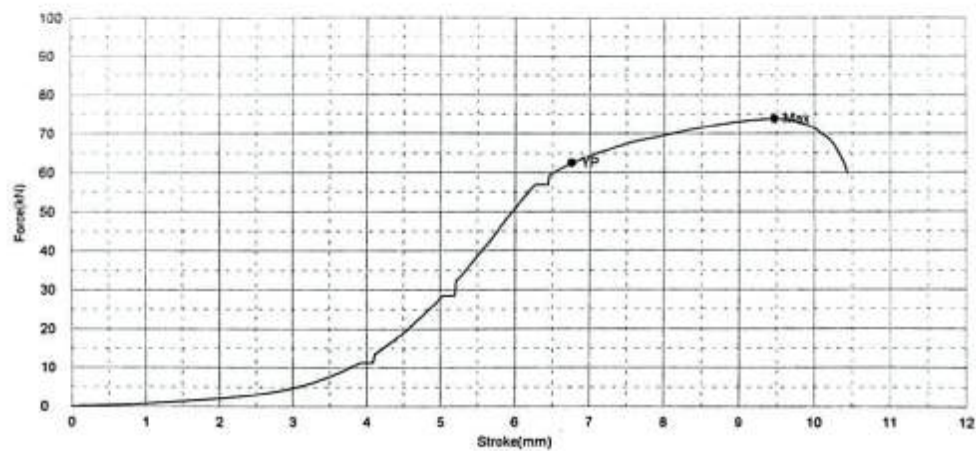

(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
DC80.2	9,7000	19,6000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
DC80.2	190,12	62,46	73,86	328,51	388,47



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

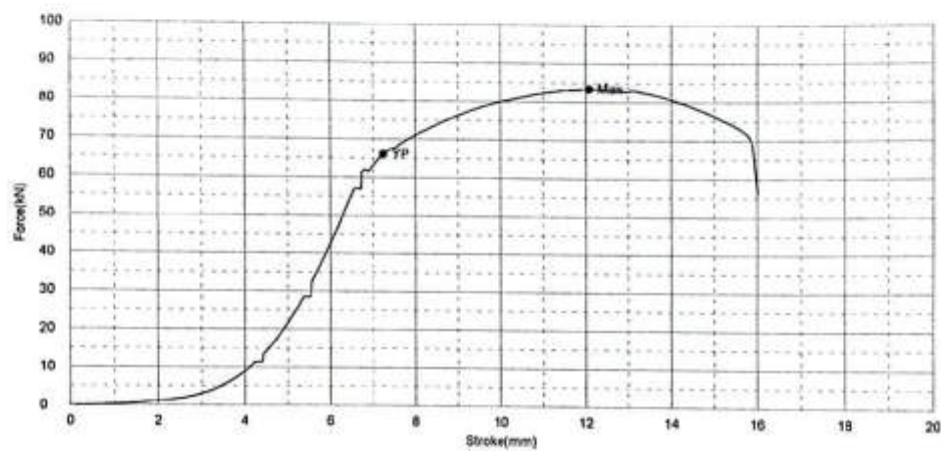

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
DC100.1	9,6000	19,0000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
DC100.1	182,40	66,05	83,49	362,13	457,71



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project : TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

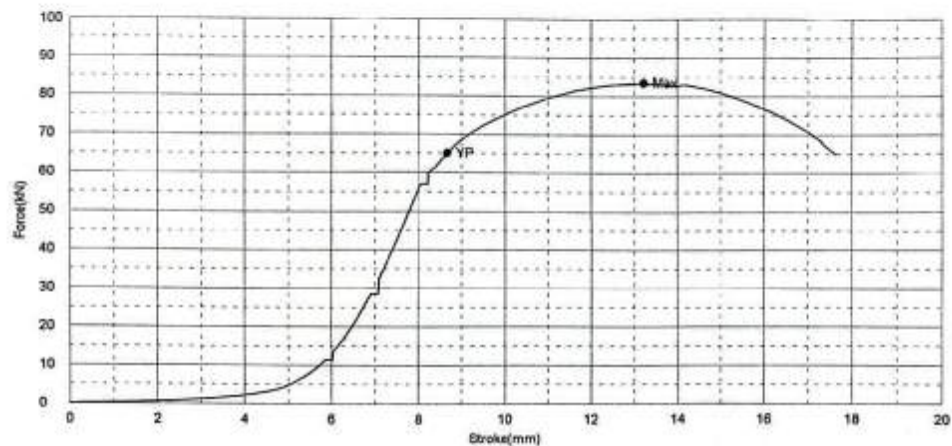

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
DC100.2	10,0000	19,0000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
DC100.2	190,00	65,04	83,47	342,30	439,32



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
Project: TUGAS AKHIR
Specimen : Plate Thk 10 mm
Material : Carbon Steel A36
Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
Test method: ASTM E8
Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

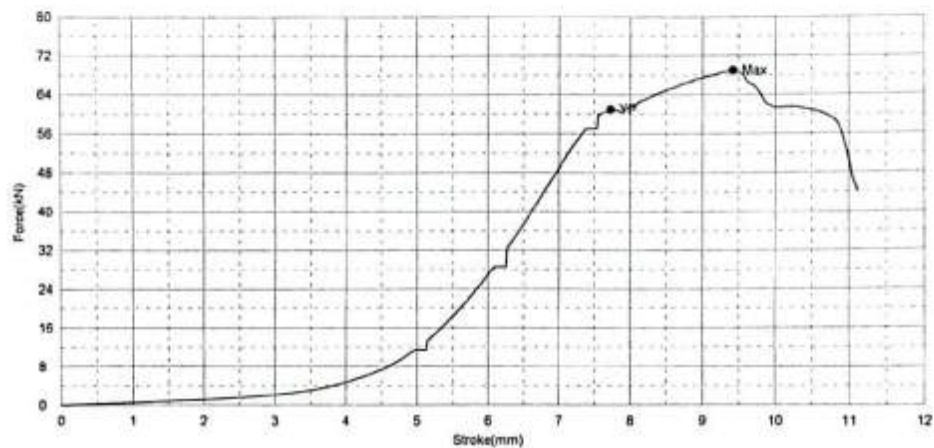

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
DC120.1	9,8000	19,0000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
DC120.1	186,20	61,01	69,00	327,63	370,59



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project : TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026

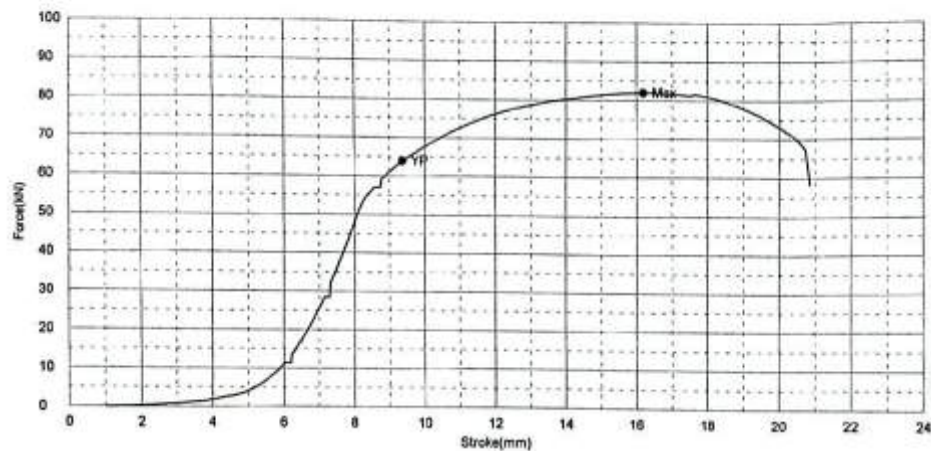

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
DC120.2	10,0000	19,5000	1,0000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
DC120.2	195,00	63,93	82,06	327,83	420,83



Comment

SPK No. : 94-IV/PL19/BJP/2026
 Customer : Bintang Shisya Wahyu R NRP. 0223030020 / TL
 Project: TUGAS AKHIR
 Specimen : Plate Thk 10 mm
 Material : Carbon Steel A36
 Weld. process/Position/Welder : SMAW/1G/Tian
 Test method: ASTM E8
 Reference code: ASME IX

Surabaya, Juli 10, 2026


 (.....)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama : Bintang Shishya Wahyou Ramadhanie
Alamat : Desa Randubango, Mojosari, Mojokerto
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-laki
Hobi : Bertani
Email : bintangshishya12@student.ppns.ac.id
No. HP : 085646456061
Riwayat Pendidikan :
2022-2026 : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2019-2022 : SMK Negeri 1 Pungging
2016-2019 : SMP Negeri 2 Mojosari
2010-2016 : SD Negeri Randubango

“Halaman ini sengaja dikosongkan”