



TUGAS AKHIR (MO141326)

ANALISIS PENGARUH VARIASI *FLOW RATE* GAS PELINDUNG
PADA PENGELASAN FCAW-G TERHADAP STRUKTUR MIKRO
DAN KEKUATAN MEKANIK SAMBUNGAN MATERIAL GRADE A

NABIELAH KHIYAARUL A.

NRP. 04311440000095

Dosen Pembimbing :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



FINAL PROJECT (MO141326)

ANALYSIS OF THE SHIELDING GAS FLOW RATE VARIATION
ON FCAW-G WELDING METHOD TO THE MICRO STRUCTURE
AND MECHANICAL STRENGTH AT GRADE A MATERIAL JOINT

NABIELAH KHIYAARUL A.

NRP. 04311440000095

SUPERVISOR :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA

2018

Analisis Pengaruh Variasi *Flow Rate* Gas Pelindung Pada Pengelasan FCAW-G Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Sambungan Material Baja Grade A

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S -1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Nabelah Khiyaarul A.

NRP. 0431144000095

Disetujui Oleh :

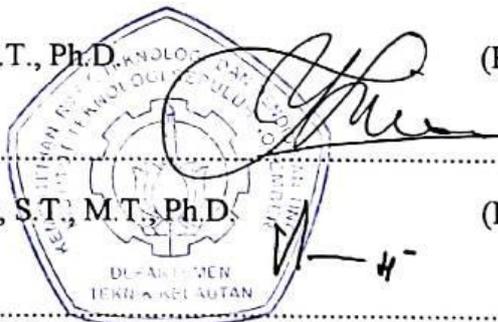
1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Yoyok S. Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng., Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji 2)

5. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 3)



ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH VARIASI FLOW RATE GAS PELINDUNG PADA PENGELASAN FCAW-G TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN MEKANIK SAMBUNGAN MATERIAL GRADE A

Nama : Nabelah Khiyaarul A.
NRP : 04311440000095
Jurusan : Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS
Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D
Yoyok S. Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

Pengelasan merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari dunia industri maritim terutama perkapalan karena hampir keseluruhan konstruksi badan kapal disambung dengan cara dilas. Salah satu metode pengelasan yang paling sering digunakan adalah FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Pengelasan FCAW sering digunakan karena produktivitasnya yang tinggi. Dalam penerapannya, pengelasan FCAW dapat digunakan dengan atau tanpa gas pelindung. Gas pelindung berfungsi sebagai pelindung logam las agar tidak terjadi interaksi dengan udara sekitar juga mempengaruhi kestabilan nyala busur yang dapat memengaruhi kinerja dari *welder* pada saat mengelas. Dalam tugas akhir ini menggunakan metode eksperimen, akan dianalisis bagaimana pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tariknya. Variasi *flow rate* gas pelindung yang digunakan adalah 14 L/menit, 16 L/menit, dan 18 L/menit. Dari hasil pengujian didapatkan semakin bertambahnya *flow rate* gas pelindung struktur perlit terlihat semakin meningkat. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit menghasilkan nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* 141,92 HV, pada daerah HAZ 150,00 HV, dan pada daerah *weld metal* 170,39 HV. Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 16 L/menit menghasilkan nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* 145,40 HV, pada daerah HAZ 154,07 HV, dan pada daerah *weld metal* 189,33 HV. Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit menghasilkan nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* 167,13 HV, pada daerah HAZ 172,16 HV, dan pada daerah *weld metal* 205,78 HV. Dan berdasarkan hasil pengujian tarik patahan terjadi pada daerah *base metal* dengan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 486,40 MPa, 491,70 MPa, dan 470,80 MPa.

Kata kunci: pengelasan, fcaw, flow rate, gas pelindung, struktur mikro, kekerasan, uji tarik

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE SHIELDING GAS FLOW RATE VARIATION ON FCAW-G WELDING METHOD TO THE MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL STRENGTH AT GRADE A MATERIAL JOINT

Name : Nabelah Khiyaarul A.
NRP : 04311440000095
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

Welding is something that can not be separated from the maritime industry especially shipping industry because almost the entire construction of the ship is connected by welded. One of the most commonly used welding methods is FCAW (Flux Cored Arc Welding). FCAW welding is often used because of its high productivity. In its application, FCAW welding can be used with or without shielding gas. Shielding gas serves as a weld metal protection to avoid interaction with the surrounding air also affects the stability of the arc flame which may affect the performance of the welder during welding. In this final project using experimental method, will be analyzed how the effect of variation of shielding gas flow rate to micro structure, hardness, and tensile strength. The shielding gas flow rate variations used were 14 L/min, 16 L/min, and 18 L/min. The results of hardness testing showed that welding with 14 L/min shielding gas flow rate resulted in average hardness value at base metal area 141,92 HV, HAZ 150,00 HV, and weld metal area 170,39 HV. In welding with a shielding gas flow rate of 16 L/min resulted in average hardness value at base metal area of 145.40 HV, in HAZ 154,07 HV, and in weld metal region 189,33 HV. In welding with a shielding gas flow rate of 18 L/min resulted in average hardness value at base metal area of 167.13 HV, in HAZ 172.16 HV, and in weld metal area 205.78 HV. And based on result of tensile testing, fracture happened at metal base area with tensile strength 486,40 MPa, 491,70 MPa, and 470,80 MPa.

Keywords: welding, fcaw-g, flow rate, shielding gas, micro structure, hardness, tensile test

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi *Flow Rate* Gas Pelindung Pada Pengelasan FCAW-G Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Sambungan Material Grade A”. Tugas Akhir ini berisi hasil eksperimen yang dilakukan penulis untuk menambah pemahaman penulis tentang kualitas sambungan pengelasan. Penulis berharap kedepannya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis sadar bahwa masih banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Maka dari itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan sebagai koreksi untuk penulis agar kedepannya dapat lebih baik. Harapan penulis, semoga Tugas Akhir ini dapat berguna baik bagi penulis maupun pihak-pihak yang lain.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Nabielah Khiyaarul A.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis, diantaranya:

1. Keluarga yang senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir pertama dan kedua penulis
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan.
4. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. selaku Kaprodi S-1 Departemen Teknik Kelautan.
5. Bapak Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D selaku Sekprodi S-1 Departemen Teknik Kelautan sekaligus Koordinator Tugas Akhir.
6. Bapak Ir. Handyanu, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Wali penulis.
7. Jajaran Direksi dan Komisaris PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia yang telah memberikan ijin kepada penulis untuk melaksanakan kerja praktik dan melakukan pengelasan.
8. Bapak Imron Fatoni dan Bapak Ali Imron selaku Manajer dan Asisten Manajer Divisi QA-QC PT. ASSI beserta rekan-rekan staf, Mbak Pipit, Mas Handoko, Mas Habib, Mas Ukik, Mas Agung, dan Pak Marcus.
9. Bapak Su'ar selaku kepala bengkel Konstruksi&Pipa, Bapak Hadi selaku kepala bengkel Outfitting, dan Pak Fatoni yang telah membantu penulis dalam melaksanakan pengelasan.
10. Rekan-rekan PT. ASSI Biro QHSE, Divisi RRU, dan Divisi Bangunan Baru.
11. Sahabat seperjuangan penulis Aisyah, Fitri, Fara, Ovy, Ardita, dan Mbak Dilla yang selalu mampu memotivasi penulis dan tempat berbagi dan berkeluh-kesah.
12. Teman-teman mahasiswa Departemen Teknik Kelautan angkatan 2014 MAELSTROM.

13. Teman-teman penulis selama Kerja Praktik di PT. ASSI.
14. Dan pihak-pihak lain yang tidak mampu disebutkan oleh penulis.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Laporan Tugas Akhir	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. Pengelasan	6
2.2.2. Pengelasan FCAW (<i>Flux Cored Arc Welding</i>)	7
2.2.3. Baja	12
2.2.4. Struktur Mikro Daerah Pengelasan	14
2.2.5. Pengujian Mikro Struktur	14
2.2.6. Uji Kekerasan Vickers	16
2.2.7. Uji Tarik	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Diagram Alir Penelitian	21
3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian	22
3.2.1. Studi Literatur	22
3.2.2. Persiapan Material	22
3.2.3. Proses Pengelasan FCAW	25
3.2.4. Pengecekan Visual	26
3.2.5. Pembuatan Spesimen	26
3.2.6. Proses Pengujian	29
3.2.7. Analisa dan Perbandingan Hasil	30
3.2.8. Kesimpulan	30
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Pengelasan	31
4.1.1. Parameter Pengelasan	31
4.1.2. Rekaman Pengelasan	31
4.2. Analisa Visual	32
4.3. Analisa Hasil Uji Mikro Struktur	34
4.4. Analisa Hasil Uji Kekerasan Vickers	35
4.5. Analisa Hasil Uji Tarik	39

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Las FCAW.....	8
Gambar 2.2 Elektroda Pengelasan FCAW.....	8
Gambar 2.3 Kode Elektroda FCAW	9
Gambar 2.4 Peralatan Las FCAW.....	11
Gambar 2.5 Pantulan Sinar Pada Pengamatan Metalografi	16
Gambar 2.6 Jejak Yang Dihasilkan Akibat Penekanan Indentor.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 Pemotongan Material	23
Gambar 3.3 Desain Sambungan Pengelasan.....	24
Gambar 3.4 Pembersihan dan Perataan Material	24
Gambar 3.5 Pemasangan Stopper dan Backing Material.....	25
Gambar 3.6 Proses Pengelasan	26
Gambar 3.7 Ukuran Spesimen Uji Metalografi dan Kekerasan.....	27
Gambar 3.8 Spesimen Uji Kekerasan dan Metalografi.....	27
Gambar 3.9 Desain Spesimen Uji Tarik	28
Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik.....	29
Gambar 3.11 Spesimen Uji Tarik Setelah Dilakukan Pengujian	30
Gambar 4.1 Struktur Mikro Pengelasan Dengan Flow Rate 14 L/menit	34
Gambar 4.2 Struktur Mikro Pengelasan Dengan Flow Rate 16 L/menit	34
Gambar 4.3 Struktur Mikro Pengelasan Dengan Flow Rate 18 L/menit	35
Gambar 4.4 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 1	35
Gambar 4.5 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 2.....	36
Gambar 4.6 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 3.....	37
Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Uji Kekerasan	38
Gambar 4.8 Perbandingan Kekuatan Hasil Uji Kekerasan	40
Gambar 4.9 Perbandingan Perpanjangan Hasil Uji Tarik.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Gas dan Performa Kawat Las FCAW	11
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja Grade A	13
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja Grade A	13
Tabel 3.1 Desain Spesimen Uji Tarik	28
Tabel 4.1 Data Rekaman Pengelasan	32
Tabel 4.2 Kriteria Penerimaan ISO 5817	33
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 1 (<i>flow rate</i> gas pelindung 14 L/menit)36	
Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 2 (<i>flow rate</i> gas pelindung 16 L/menit)36	
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 3 (<i>flow rate</i> gas pelindung 18 L/menit)37	
Tabel 4.6 Nilai Kekerasan Rata-Rata dan Presentase Peningkatan	38
Tabel 4.7 Hasil Uji Tarik	40

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

LAMPIRAN B HASIL FOTO MIKRO

LAMPIRAN C HASIL UJI KEKERASAN VICKERS

LAMPIRAN D HASIL UJI TARIK

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pengelasan adalah suatu teknik penyambungan logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan hal yang penting dan tidak bisa dipisahkan dalam dunia industri maritim terutama perkapalan karena hampir keseluruhan konstruksi badan kapal disambung dengan cara dilas. Selain untuk kepentingan manufaktur atau fabrikasi, pengelasan juga dilakukan pada *maintenance* dan reparasi, misal untuk mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya (Kusuma, 2011).

Salah satu metode pengelasan yang paling sering digunakan adalah FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). FCAW merupakan salah satu jenis las busur listrik dengan elektroda tubular. Pengelasan FCAW sering digunakan karena produktivitasnya yang tinggi. Pasokan elektroda diumpungkan secara kontinu melalui sebuah gulungan. Berdasarkan metode pelindung, pengelasan FCAW dibedakan menjadi dua yaitu FCAW-SS (*Shelf Shielding*) dan FCAW-G (*Gas*). Kedua metode tersebut sama-sama menghasilkan terak atau yang biasa disebut *slag*. FCAW-SS perlingungannya berasal dari gas hasil penguapan reaksi inti fluks sedangkan FCAW-G perlingungannya tidak hanya dari penguapan reaksi inti fluks juga mendapatkan tambahan gas pelindung dari luar sistem.

Gas pelindung atau *shielding gas* merupakan komponen penting dalam proses pengelasan. Gas pelindung berfungsi sebagai pelindung logam las agar tidak terjadi interaksi dengan udara sekitar. Selain itu, gas pelindung juga mempengaruhi kestabilan nyala busur yang dapat memengaruhi kinerja dari welder pada saat mengelas. Ketidaksempurnaan pada gas pelindung akan memengaruhi hasil pengelasan dan kemungkinan terjadinya cacat las tinggi. Pengelasan FCAW umumnya menggunakan gas CO₂ atau campuran CO₂ dengan Argon sebagai gas pelindung. Tetapi untuk menghindari logam las terkontaminasi udara luar atau menghindari porositas maka harus dilakukan pemilihan fluks yang mengandung atau mempunyai sifat pengikat oksigen atau *deoxydizer*.

Adapun macam-macam posisi pengelasan diantaranya *flat*, *horizontal*, *vertical*, dan *overhead*. Pada umumnya ada lima jenis sambungan dasar dalam

pengelasan. Kelima jenis sambungan tersebut antara lain, *butt joint*, *lap joint*, *T-joint*, *edge joint*, dan *corner joint* (Nurfitriona, 2016). Sambungan-sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Dan juga terdapat beberapa macam posisi logam yang akan dilas diantaranya adalah *butt weld*, *fillet weld*, *spot weld*, *edge weld*, *plug weld*, dan *compound weld*.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat pada Tugas Akhir ini yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung pada proses pengelasan FCAW terhadap struktur mikro?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung pada proses pengelasan FCAW terhadap kekerasan?
3. Bagaimanakah pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung pada proses pengelasan FCAW terhadap kekuatan tarik?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung pada proses pengelasan FCAW terhadap struktur mikro.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung pada proses pengelasan FCAW terhadap kekerasan.
3. Untuk menganalisis pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung pada proses pengelasan FCAW terhadap kekuatan tarik.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai pertimbangan dalam pengaturan kecepatan gas pelindung pada proses pengelasan dan sebagai pertimbangan untuk upaya efisiensi proses pengelasan oleh perusahaan-perusahaan fabrikasi.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini yaitu:

1. Sambungan material yang digunakan adalah baja Grade A dengan baja Grade A
2. Ketebalan material baja 8 mm
3. Metode pengelasan FCAW-G
4. Elektroda pengelasan tipe E71T-1
5. Gas pelindung yang digunakan adalah CO₂ 99,99%
6. Kecepatan aliran gas pelindung yang dibandingkan adalah 14, 16, dan 18 Liter per menit
7. Proses pengelasan dilakukan pada posisi PF/3G (*vertical up*)
8. Pengaruh angin diabaikan
9. Dilakukan uji metalografi, uji kekerasan, dan uji tarik

1.6. Sistematika Laporan Tugas Akhir

Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat lima bab, yaitu sistematikanya sebagai berikut:

BAB I RINGKASAN

Dalam bab ini berisi judul penelitian yang akan dilakukan, ikhtisar penelitian, dan tempat pelaksanaan penelitian

BAB II PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka yakni penjelasan singkat mengenai hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dasar teori berisi tulisan dan cuplikan penemuan ilmu pengetahuan dari peneliti, persamaan-persamaan, dan kode yang digunakan dalam penelitian sebagai pedoman Tugas Akhir ini.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka yakni penjelasan singkat mengenai hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dasar teori

berisi tulisan dan cuplikan penemuan ilmu pengetahuan dari peneliti, persamaan-persamaan, dan kode yang digunakan dalam penelitian sebagai pedoman tugas akhir ini.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan dalam menyelesaikan penelitian ini serta metode-metode yang digunakan.

BAB V ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN

Bab ini membahas bagaimana menyelesaikan permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis yang menjawab permasalahan yang telah dirumuskan pada Bab I, serta saran-saran bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Suheni, dkk (2015) menganalisis tentang pengaruh kecepatan aliran gas pelindung dan arus terhadap kekerasan dengan las MIG pada material stainless steel AISI 304. Besarnya arus yang digunakan adalah 160 A, 180 A, 200 A dengan kecepatan alir gas sebesar 8 L/menit, 12 L/menit, dan 16 L/menit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pengaruh semakin besarnya hembusan gas argon pada daerah HAZ meningkatkan kekerasan untuk besaran arus yang sama, sedangkan pada daerah *weld metal* hanya pada arus 200 A saja yang mengalami peningkatan kekerasan saat kecepatan alir gas pelindung juga ditingkatkan.

Hastuti (2010) dalam tugas akhirnya menganalisis pengaruh pengelasan FCAW pada sambungan material Grade A dengan Grade DH terhadap hasil perhitungan *heat input* dan pengaruhnya terhadap kekuatan tarik, kekertasan, dan mikrostruktur. Hasilnya, besarnya nilai *heat input* mengalami penurunan dengan bertambahnya Ampere pengelasan yang digunakan.

Firmansyah (2017) dalam tugas akhirnya menganalisis pengaruh variasi kecepatan alir gas pelindung pada pengelasan GMAW terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro material Alumunium Seri 5083. Penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya laju alir gas meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan akibat adanya pembentukan formasi Mg_2Si dan meningkatkan bentuk butir-butir kecil.

Prasetyo, dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh kuat arus dan laju alir gas pelindung pada pengelasan TIG sambungan alumunium paduan 5052 dengan baja galvanis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya arus dan laju alir gas pelindung menyebabkan ukuran butir semakin kecil pada *weld area*, HAZ alumunium, dan HAZ baja galvanis. Peningkatan kekuatan tarik-

geser disebabkan oleh meningkatnya laju alir gas pelindung. Kekuatan tarik-geser terbesar terjadi pada pengelasan dengan arus 80 A dan laju alir gas pelindung sebesar 14 L/menit. Sedangkan kekuatan tarik-geser terkecil terjadi pada pengelasan dengan arus 70 A dan laju alir gas pelindung sebesar 10 L/menit.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengelasan

Las menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah penyambungan (besi dan sebagainya) dengan cara membakar. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Wirjosumarto, 2000).

Berdasarkan defenisi dari Deutche Industrie Normen (DIN) dalam Wirjosumarto dan Okumura (2000), mendefinisikan bahwa las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Sedangkan menurut Suratman (2001) mengatakan tentang pengertian pengelasan yaitu salah satu cara menyambung dua bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas.

Dari beberapa pendapat diatas, maka dapat disimpulkan bahwa kerja las adalah menyambung dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Penyambungan logam dengan pengelasan menghasilkan sambungan yang tetap dan tidak mudah dibongkar karena prinsipnya adalah menyatukan logam dengan cara meleburkan logam pengisi dengan sebagian dari logam induk.

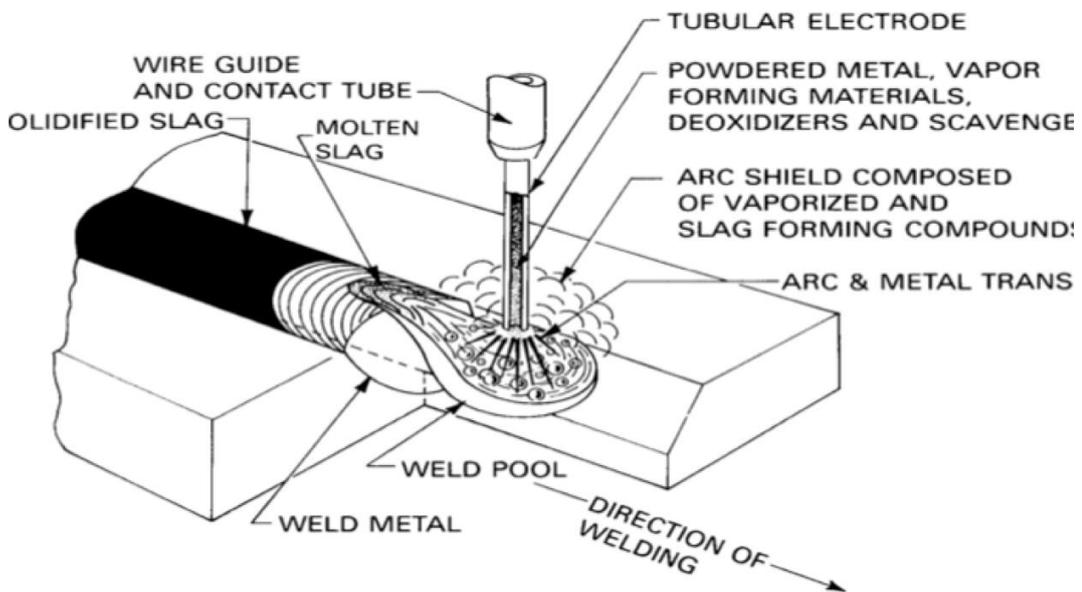
Dalam penerapannya terdapat beberapa metode pengelasan, diantaranya: SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), ESW (*Electro Slag Welding*), SAW (*Submerged Arc Welding*). Pengelasan SMAW dan FCAW adalah pengelasan yang banyak digunakan untuk penyambungan konstruksi berat, misalnya jembatan, perpipaan, dan konstruksi bangunan baja (Yuliono, 2009).

Dalam pengelasan terdapat beberapa posisi, yaitu: *flat*, *horizontal*, *vertical*, dan *overhead* (ASME Section IX, 1995). Pada umumnya ada lima jenis sambungan dasar dalam pengelasan. Kelima jenis sambungan tersebut antara lain, *butt joint*, *lap joint*, *T-joint*, *edge joint*, dan *corner joint* (Nurfitriana, 2016). Sambungan-sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Dan juga terdapat beberapa macam posisi logam yang akan dilas diantaranya adalah *butt weld*, *fillet weld*, *spot weld*, *edge weld*, *plug weld*, dan *compound weld*.

Pada saat pengelasan logam yang disambung tersebut terbagi menjadi tiga daerah yaitu logam lasan (*Weld Metal*), daerah yang terpengaruh panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam induk (*Base Metal*). Logam las adalah bagian logam yang pada waktu pengelasan mecair kemudian membeku, terjadi perubahan struktur mikro. Logam las berasal dari elektroda atau *filler metal*. Daerah HAZ adalah daerah logam induk yang bersebelahan langsung dengan logam las, ikut mencair dan menyatu dengan logam las, dan terjadi perubahan struktur mikro. Daerah logam induk atau biasa disebut *base metal* adalah daerah yang juga ikut terkena panas namun tidak sampai terjadi perubahan struktur mikro.

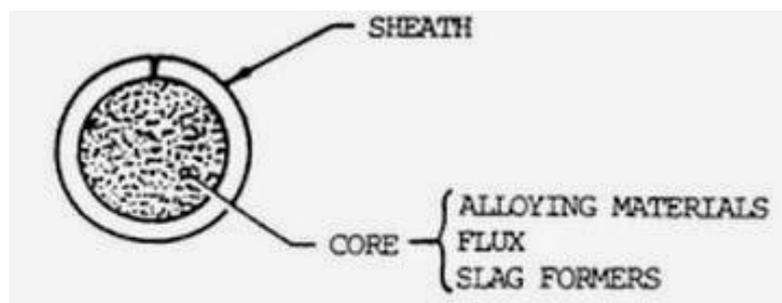
2.2.2. Pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Flux Cored Arc Welding (FCAW) adalah las busur listrik dengan fluks terinti di dalam kawat las (tubular). Las FCAW adalah kombinasi antara proses pengelasan SMAW dan GMAW. Pengelasan FCAW menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau *rectifier*. Proses las FCAW mirip dengan proses las GMAW, yaitu dengan melelehkan logam induk menggunakan elektroda yang diumpankan secara kontinyu melalui sebuah gulungan. Elektroda yang digunakan mengandung fluks yang pada saat proses pengelasan ikut terbakar dan menghasilkan terak las atau *slag* seperti proses pengelasan SMAW. Visualisasi pengelasan FCAW ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Las FCAW

FCAW menggunakan elektroda dimana terdapat serbuk fluks di dalamnya sebagai pelindung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Kebalikan dari GMAW yang elektrodanya berupa kawat solid dan perlindungan seluruhnya berasal dari gas pelindung. FCAW dapat pula menggunakan gas pelindung sebagai pelindung tambahan.



Gambar 2.2 Elektroda Pengelasan FCAW

Berdasarkan jenis pelindungnya, FCAW dibedakan menjadi 2 jenis:

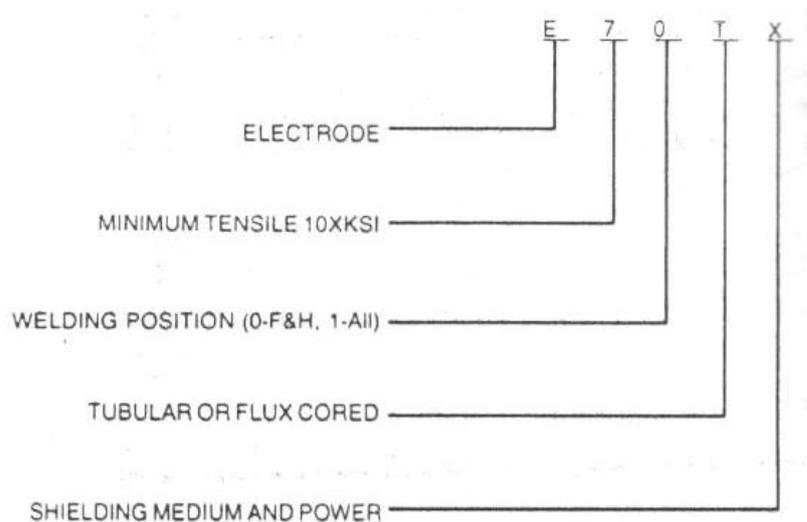
1. *Self Shielding* (FCAW-SS), yaitu perlindungannya berasal dari penguapan reaksi inti fluks tanpa adanya tambahan pelindung.
2. *Shielding Gas* (FCAW-G), perlindungannya berasal dari penguapan reaksi inti fluks dan dengan tambahan gas pelindung. Pada umumnya

menggunakan gas CO₂ atau menggunakan campuran CO₂ dan Argon dengan perbandingan 70:30 atau 80:20.

Dua metode di atas sama-sama menghasilkan terak las atau yang biasa disebut *slag* yang berasal dari fluks dalam kawat las yang berfungsi untuk melindungi logam las dari porositas saat proses pembekuan. Namun, perbedaan metode di atas terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan *welding torch* (*welding gun*) yang digunakan.

Pengelasan FCAW umumnya menggunakan gas CO₂ atau campuran CO₂ dengan Argon sebagai gas pelindung. Tetapi untuk menghindari logam las terkontaminasi udara luar atau menghindari porositas maka harus dilakukan pemilihan fluks yang mengandung mempunyai sifat pengikat oksigen atau *deoxydizer*. Argon biasa ditambahkan sebagai pemantap busur dan untuk mengurangi percikan.

Elektroda pada pengelasan FCAW memiliki klasifikasi atau kode khusus yang menunjukkan spesifikasi dari elektroda tersebut. Biasanya disimbolkan atau dituliskan seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kode Elektroda FCAW

Penjelasan dari kode elektroda pada FCAW adalah sebagai berikut:

E: menunjukkan elektroda atau kawat las

- 7: menunjukkan kekuatan tarik minimum dari kawat las tersebut dikali 10 ksi, 70 ksi
- 0: menunjukkan posisi pengelasan yaitu vertikal dan horizontal, untuk kode 1 menunjukkan pengelasan pada semua posisi
- T: menunjukkan bentuk elektroda tubular yaitu untuk pengelasan FCAW
- X: menunjukkan tipe gas, karakteristik dan performa kawat las

Fluks pada pengelasan FCAW memiliki kegunaan masing-masing berdasarkan jenisnya. Pada pengelasan *carbon steel* dan *alloy steel* yang sering digunakan adalah jenis T-1 (*acid slag*), T-2 (*singlepass welding*), dan T-5 (*basic slag*). Elektroda T-1 memiliki sifat-sifat pengelasan bagus, tetapi *acid slag* tidak membantu menjaga logam las menjadi rendah hidrogen kecuali bila dibuat secara khusus. Elektroda T-1 akan memiliki busur lebih halus dan percikan las lebih sedikit bila menggunakan gas pelindung argon-CO₂, meskipun logam las mempunyai unsur Mn dan Si sedikit lebih tinggi.

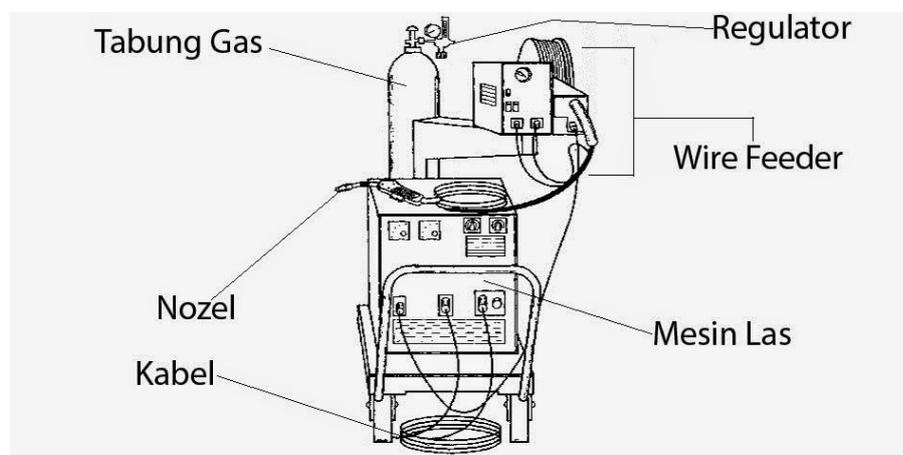
Elektroda T-2 dirancang untuk pengelasan *singlepass* pada logam-logam berkarat, dan mempunyai *deoxydizer* Mn dan Si lebih tinggi. Elektroda T-2 ini tidak untuk digunakan pengelasan *multipass* karena peningkatan unsur Mn dan Si menyebabkan tensile strength logam las yang tidak terlarut akan bertambah besar (lebih dari 100 ksi), sehingga menimbulkan masalah retak ketika dilas atau pada kondisi pemakaian *sour service*.

Elektroda T-5 mempunyai *basic slag* dengan kandungan hidrogen logam las lebih rendah, memperbesar *impact properties* dan daya tahan terhadap retak yang sangat baik, namun elektroda ini mempunyai sifat-sifat pengelasan lebih buruk dibandingkan dengan elektroda T-1 sehingga semakin jarang digunakan. Penjelasan dari beberapa tipe gas berdasarkan klasifikasi AWS dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tipe Gas dan Performa Kawat Las FCAW (AWS A5.20, 2005)

AWS Classification	Welding Current	Shielding Gas	Single or Multiple Pass
EXXT-1	DCEP	CO ₂	Multiple
EXXT-2	DCEP	CO ₂	Single
EXXT-3	DCEP	None	Single
EXXT-4	DCEP	None	Multiple
EXXT-5	DCEP	CO ₂	Multiple
EXXT-6	DCEP	None	Multiple
EXXT-7	DCEN	None	Multiple
EXXT-8	DCEN	None	Multiple
EXXT-9	DCEN	None	Multiple
EXXT-10	DCEN	None	Single
EXXT-11	DCEN	None	Multiple
EXXT-12	DCEN	None	Multiple
EXXT-13	DCEN	CO ₂	Single
EXXT-14	DCEN	None	Single
EXXT-G	Not Specified	Not Specified	Multiple
EXXT-GS	Not Specified	Not Specified	Single

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengelasan FCAW (Gambar 2.4) beserta fungsinya:



Gambar 2.4 Peralatan Las FCAW

- Mesin Las

Biasa disebut sebagai trafo las. Berdasarkan arusnya mesin las FCAW dibedakan menjadi mesin arus las searah (DC), mesin las arus bolak-balik (AC), dan mesin las arus ganda yang dapat digunakan untuk mengelas dengan arus searah ataupun arus bolak-balik.

- Tabung Gas

Tabung gas sebagai tempat penyimpanan gas pelindung.

- Regulator

Sebagai pengatur tekanan dan lajur aliran gas pelindung. Pada regulator tabung gas CO₂ biasanya terdapat *heater* pada bagian belakang regulator untuk memanaskan gas CO₂ karena sifatnya yang dingin dan dapat terjadi pembekuan yang dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran gas.

- Wire Feeder

Sebagai pengumpan *filler metal*, mengatur besar kecilnya arus dan tegangan pada saat melakukan pengelasan.

- Nozzle

Berfungsi sebagai penyalur gas pelindung.

2.2.3. Baja

Baja meruakan logam paduan dengan logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2 % hingga 2,1 % berat sesuai *gradenya*. Elemen yang selalu terdapat dalam baja yaitu karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu elemen lain juga ditambahkan untuk mendapatkan karakteristik baja yang berbeda. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Densitas baja bervariasi tergantung dari unsur pembentuknya, namun umumnya berada di antara 7,750 dan 8,050 kg/m³.

Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan

kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Beberapa material juga ditambahkan untuk mendapatkan baja dengan karakteristik yang diinginkan. Nikel dan mangan ditambahkan untuk menambah kekuatan, krom ditambahkan untuk meningkatkan kekerasan dan titik didih, serta penambahan vanadium juga menambah kekerasan serta mengurangi dampak kelelahan logam.

Material baja Grade KI-A termasuk baja dengan kandungan karbon rendah atau *mild steel* dengan jumlah karbon maksimum 0,21 % dari rentang 0,025 % - 0,25 %. Baja karbon rendah umumnya banyak digunakan pada konstruksi umum salah satunya adalah digunakan pada struktur lambung kapal. Baja karbon rendah memiliki keuletan yang tinggi dan mudah dalam pengerjaannya namun kekerasannya rendah dan mudah aus. Sifat mekanik dari baja grade KI-A dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan komposisi kimia baja grade KI-A dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja Grade A (BKI Vol. V, 2014)

Grade	Yield strength [N/mm ²] min.	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation [%] min.
KI-A	235	400-520	22

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja Grade A (BKI Vol. V, 2014)

Komposisi Kimia (%)	Grade KI-A
C _{max}	0,21
Mn _{min}	2,5 x C
Si _{max}	0,50
P _{max}	0,035
S _{max}	0,035

2.2.4. Struktur Mikro Daerah Pengelasan

Sebagaimana diketahui bahwa logam pada hasil pengelasan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian, yaitu: *base metal* (benda kerja awal), *heat affected zone* (daerah terpengaruh panas) dan *weld zone* (logam las).

1. Base metal adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur maupun sifat pada logam tersebut.
2. Heat affected zone (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las.
3. Weld metal adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku, komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda.

2.2.5. Pengujian Mikro Struktur

Metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metode observasi atau pemeriksaan atau pengamatan atau pengujian dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan antar struktur dengan sifat atau karakter yang pernah dialami oleh logam atau paduan.

Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat dipengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji.

Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan yang harus dilalui adalah *cutting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Dari keempat proses tersebut, proses *grinding* dan *polishing* merupakan proses yang penting karena untuk membuat permukaan sampel menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan pengujian.

Berikut adalah tahapan-tahapan persiapan sebelum dilakukan pengamatan di bawah mikroskop dan pengambilan foto mikro:

1. Pemotongan spesimen

Pada tahap pemotongan benda uji metalografi diperlukan alat atau mesin khusus yang tidak merubah sifat dari bahan tersebut. Pada waktu pemotongan tidak boleh terjadi tekanan dan tarikan yang besar pada bahan uji.

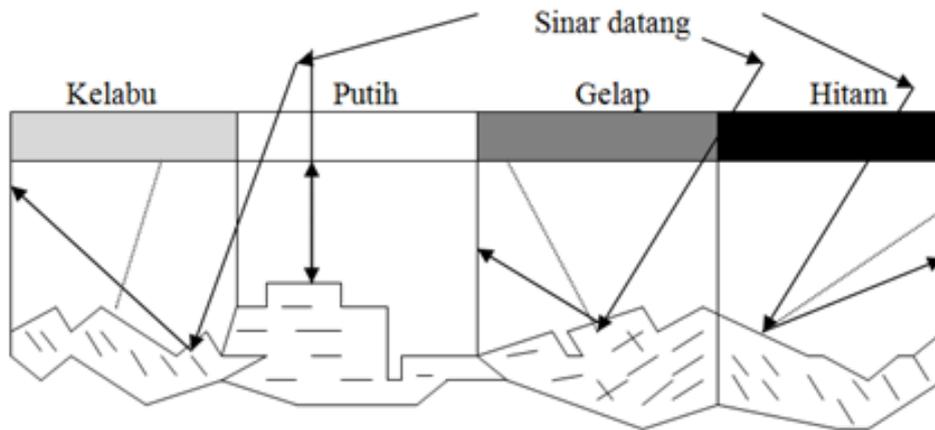
2. Grinding dan polishing

Tahap *grinding* dan *polishing* ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. Penggerindaan benda uji dilakukan pada kertas ampelas dimulai dari tingkat kasar sampai tingkat halus.

3. *Polishing* dilakukan dengan menggosokkan spesimen diatas mesin *polishing* yang berputar yang dilengkapi dengan kain beludru yang diberi pasta poles. Panambahan serbuk alumina ini bertujuan untuk lebih menghaluskan permukaan spesimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi.

4. Etsa (*etching*)

Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses *grinding* dan *polishing* menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan specimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada pelaksanaannya, proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri. Perhatikan Gambar 2.5 yang menunjukkan pengaruh efek proses etsa permukaan spesimen yang telah mengalami proses *grinding* dan *polishing*.

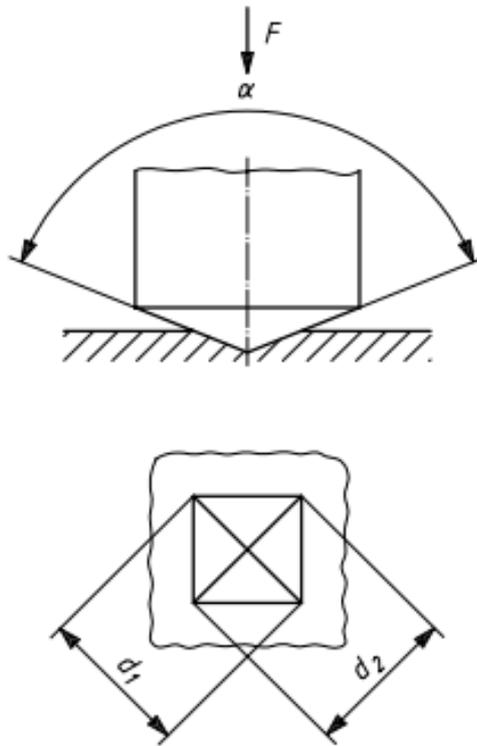


Gambar 2.5 Pantulan Sinar Pada Pengamatan Metalografi
 (<http://hima-tl.ppns.ac.id>)

2.2.6. Uji Kekerasan Vickers

Kekerasan (*hardness*) merupakan salah satu dari sifat mekanik material. Pengujian kekerasan terhadap suatu material dilakukan untuk mengetahui kemampuannya dalam menahan indentasi, penetrasi, ataupun abrasi. Berdasarkan cara pengujiannya uji kekerasan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: dengan goresan, pantulan (*rebound*), dan indentasi.

Pengujian Vickers merupakan salah satu metode uji kekerasan dengan cara indentasi atau penekanan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menekankan indenter intan berbentuk piramida dengan alas segi empat dengan sudut 136° ke benda uji. Beban penekanan yang diberikan berkisar antara 1 kgf hingga 100 kgf dengan waktu 10-15 detik. Penekanan indenter ke benda uji akan menghasilkan jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.



Gambar 2.6 Jejak Yang Dihasilkan Akibat Penekanan Indentor

Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, dilakukan pengukuran diagonal jejak dengan menggunakan mikroskop. Kemudian untuk menentukan nilai kekerasan benda uji dilakukan perhitungan berdasarkan dengan persamaan:

$$HV = Constant \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}} = 0,102 \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \approx 0.1891 \frac{F}{d^2} \dots (2.1)$$

Dengan:

F = Beban yang diberikan (N)

d = Panjang diagonal jejak (mm)

α = Sudut puncak indentor

Constant = $0,102 \approx 1/9,80665$, dimana 9,80665 adalah faktor konversi dari kgf ke N

Pada pelaksanaan pengujian kekerasan dengan metode Vickers, semakin kecil jejak yang dihasilkan maka semakin besar nilai kekerasan benda uji dan sebaliknya. Benda yang akan diuji harus memiliki permukaan yang rata, halus, dan bebas dari kotoran.

2.2.7. Uji Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, pengujian dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan (Wiryosumarto, 2000).

Uji tarik adalah ilmu bahan dasar dan uji rekayasa di mana sampel dikenai tegangan yang dikendalikan sampai kegagalan. Sifat yang diukur langsung melalui uji tarik adalah *ultimate tensile strength*, *breaking strength*, perpanjangan maksimal dan *reduction in area*. (Czichost, 2006).

Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Uji tarik dilakukan dengan cara menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian tarikannya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Beban (N)

A_0 = Luas penampang mula batang uji (mm^2)

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang mula batang uji (mm)

L = Panjang batang uji setelah dibebani (mm)

Berdasarkan ASME Section IX, untuk lulus uji tarik spesimen harus memiliki kekuatan tarik yang tidak kurang dari:

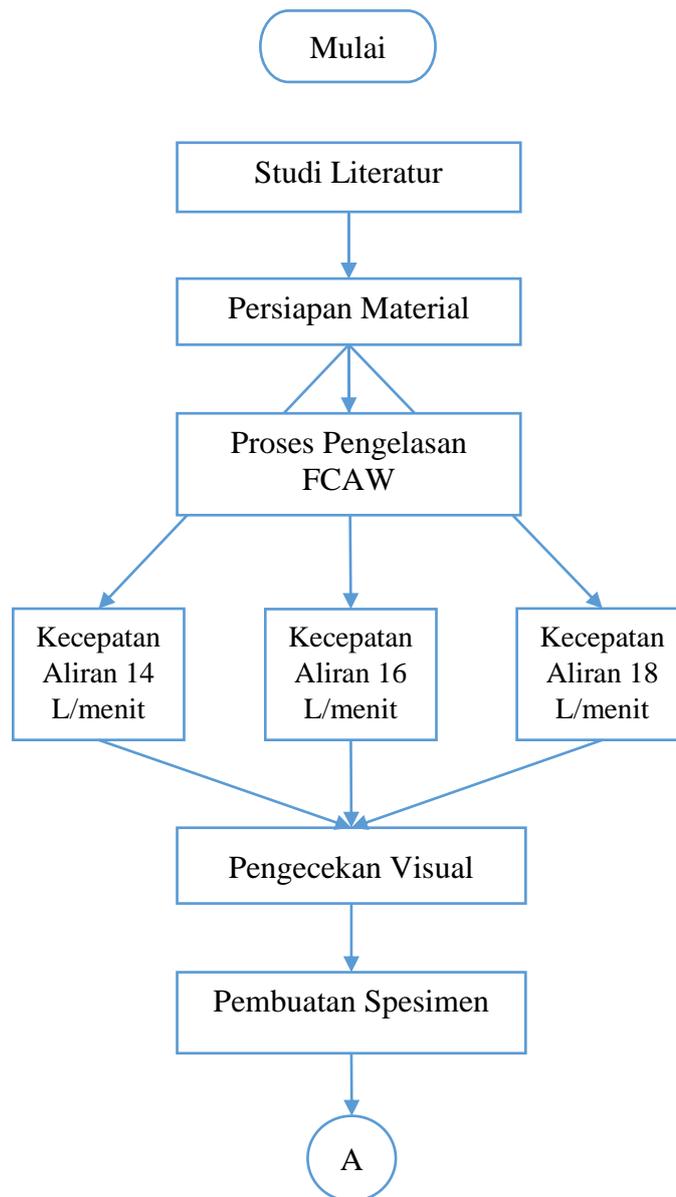
- kekuatan tarik minimum yang ditentukan oleh logam induk, atau
- kekuatan tarik minimum yang ditentukan oleh logam induk terlemah apabila sambungan lasan terdiri dari logam induk dengan kekuatan tarik yang berbeda, atau
- kekuatan tarik minimum yang ditentukan dari oleh logam las ketika standar yang digunakan menentukan penggunaan logam las memiliki kekuatan yang lebih rendah pada suhu ruang daripada logam induk,
- apabila spesimen patah pada bagian logam induk di luar daerah lasan atau *fusion line*, pengujian harus diterima sebagai memenuhi persyaratan asalkan kekuatan tarik tidak lebih dari 5% di bawah kekuatan tarik minimum yang ditentukan oleh logam induk.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

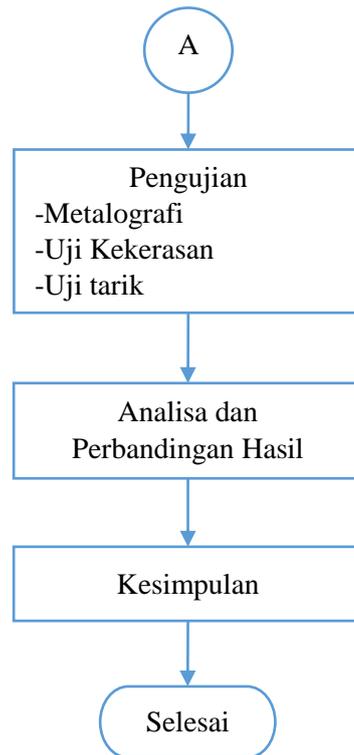
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Prosedur pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat dari diagram alir (*flow chart*) pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian

3.2.1. Studi Literatur

Studi pendahuluan yang dimaksud adalah pemahaman materi yang didapatkan selama perkuliahan, buku dan jurnal yang relevan serta *codes* atau *standards* yang digunakan, serta *website*.

3.2.2. Persiapan Material

Pada tahap persiapan material, komponen yang harus dipersiapkan adalah:

- a. Material baja
- b. Elektroda

Material yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pelat baja Grade A dengan ketebalan 8 mm. Tahapan persiapan material yang akan dilas meliputi:

- Pemotongan
- Pembuatan kampuh

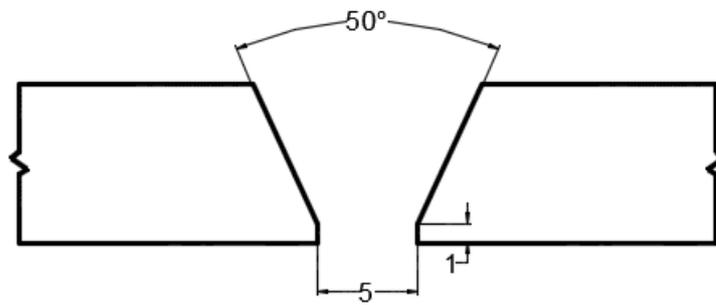
- Pembersihan material
- Pemasangan stopper
- Pemasangan backing material

Lembaran pelat baja dipotong menjadi enam buah pelat dengan ukuran masing-masing 400 mm x 250 mm. Pemotongan (Gambar 3.2) dilakukan dengan menggunakan mesin pemotong otomatis CNC.



Gambar 3.2 Pemotongan Material

Setelah dilakukan pemotongan, dilakukan pembuatan kampuh pada masing-masing pelat sesuai dengan desain sambungan pengelasan (Gambar 3.3). Kemudian diratakan dan bagian yang akan dilas dibersihkan dari cat menggunakan gerinda (Gambar 3.4) untuk mengurangi kemungkinan terjadinya cacat las.



Gambar 3.3 Desain Sambungan Pengelasan



Gambar 3.4 Pembersihan dan Perataan Material

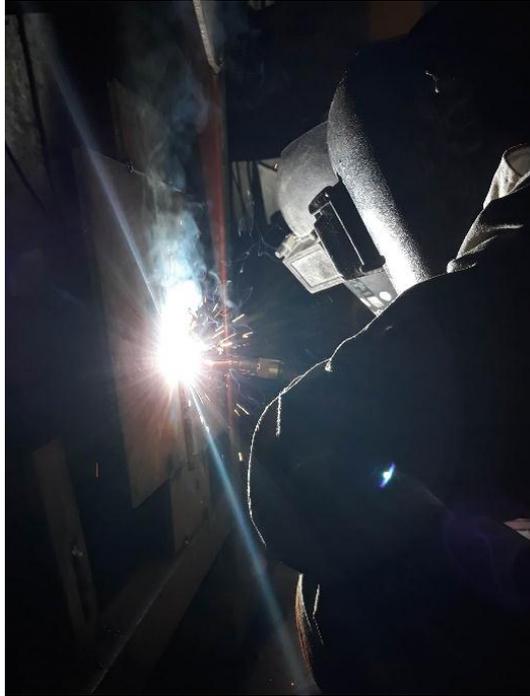
Sebelum pengelasan dilakukan pemasangan *stopper* sebagai penahan material tetap dalam posisi, mencegah atau mengurangi deformasi yang berlebih akibat proses pengelasan dan kemudian pemasangan *backing material* sebagai penahan cairan material yang meleleh pada saat proses pengelasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pemasangan Stopper dan Backing Material

3.2.3. Proses Pengelasan FCAW

Sebelum dilakukan pengelasan, material dibersihkan dahulu dari kotoran seperti debu, minyak, dan sisa cat yang masih menempel untuk mengurangi risiko terjadinya cacat las. Kemudian proses pengelasan FCAW (Gambar 3.6) dilakukan dengan memvariasikan *flow rate* gas pelindung yaitu sebesar 14 L/menit, 16 L/menit, 18 L/menit. Pada tiap pasang material dilakukan pengelasan sebanyak tiga kali atau tiga *layer*. Karena pengelasan FCAW menghasilkan terak las, maka tiap pengelasan dilakukan pembersihan terak las dengan menggunakan palu dan gerinda agar terak las benar-benar bersih dan menghindarkan dari cacat las berupa *slag inclusion* atau terak las terperangkap di dalam logam las.



Gambar 3.6 Proses Pengelasan

3.2.4. Pengecekan Visual

Setelah pengelasan dilakukan pengecekan secara visual atau *visual inspection* untuk mengetahui cacat las yang terjadi dan mengidentifikasi cacat tersebut dapat atau tidak dapat diterima oleh *standard* yang diacu, dan apakah perlu untuk dilakukan perbaikan. *Standard* yang digunakan untuk pengecekan visual yaitu ISO 5817.

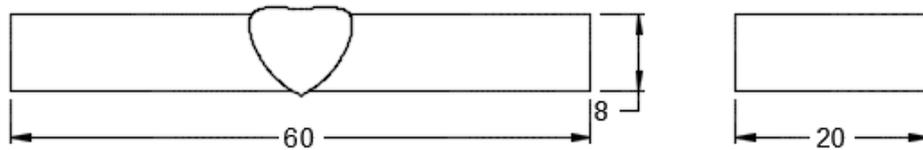
3.2.5. Pembuatan Spesimen

Dibuat spesimen untuk masing-masing pengujian dengan ketentuan yang telah ditentukan oleh standard dan kapasitas alat uji. Masing-masing spesimen diberi tanda berupa angka. Angka 1 menunjukkan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit, angka 2 menunjukkan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 16 L/menit, dan angka 3 menunjukkan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit.

a. Uji Metalografi

- Pemotongan spesimen (Gambar 3.7 dan Gambar 3.8) dengan ukuran 60 mm x 20 mm x tebal material.

- Permukaan yang akan diamati dihaluskan hingga tingkat kehalusan tertentu dengan menggunakan kertas gosok dengan nilai kekasaran bertingkat 80-2000.
- Pemolesan dilakukan hingga permukaan spesimen bersih, mengkilap dan tidak ada goresan sehingga tidak menghalangi bagian yang akan diamati.
- Dilakukan polishing dengan menggunakan pasta alumina (Al_2O_3).
- Proses pengetsaan menggunakan cairan reaktan nital HF dengan cara spesimen tersebut dicelupkan atau ditetesi dengan reaktan selama 1-5 detik kemudian dibilas air dan dikeringkan.



Gambar 3.7 Ukuran Spesimen Uji Metalografi dan Kekerasan

b. Uji Kekerasan Vickers

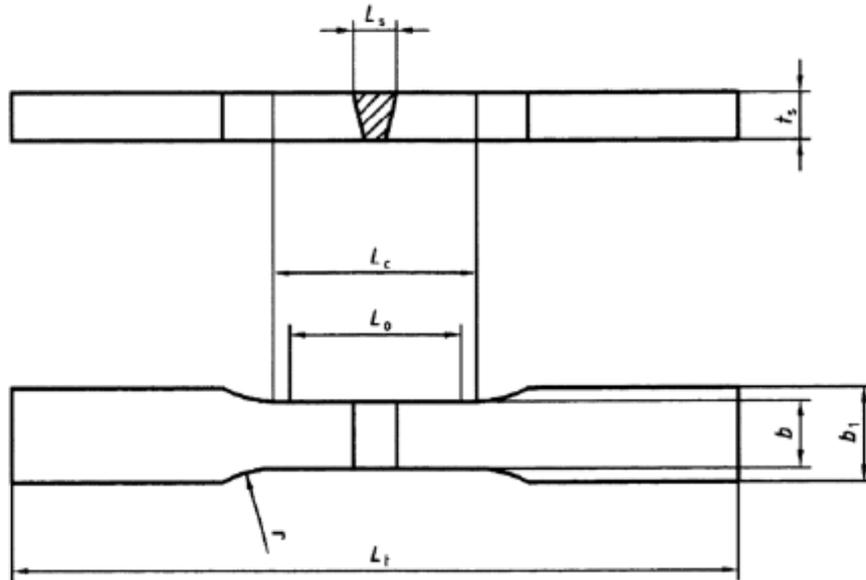
Digunakan spesimen yang sama dengan uji metalografi namun tanpa melalui proses pengetsaan.



Gambar 3.8 Spesimen Uji Kekerasan dan Metalografi

c. Uji Tarik

Ukuran spesimen untuk pengujian tarik berdasarkan BKI Vol. VI Rules for Welding ditunjukkan pada Gambar 3.9, Gambar 3.10. dan Tabel 3.1.



Gambar 3.9 Desain Spesimen Uji Tarik (BKI Vol. VI Rules for Welding, 2015)

Tabel 3.1 Desain Spesimen Uji Tarik (BKI Vol. VI Rules for Welding, 2015)

Denomination		Symbol	Dimensions (mm)
Total length of the specimen		L_t	to suit particular testing machine
Width of shoulder		b_1	$b + 12$
Width of the parallel length	Plates	b	12 for $t_s \leq 2$
			25 for $t_s > 2$
	Pipes	b	6 for $D \leq 50$
	12 for $50 < D \leq 168,3$		
	25 for $D > 168,3$		
Parallel length		L_c	$\geq L_s + 60$
Radius at shoulder		r	≥ 25
Note:			
L_s = maximum width of the weld after machining			
t_s = thickness of the test specimen			

Dengan:

$L_t = 400$ mm

$L_c = 62$ mm

$b = 25$ mm

$r = 25$ mm



Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik

3.2.6. Proses Pengujian

a. Uji Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Uji Bahan PPNS. Dilakukan pengambilan foto makro dan mikro dari spesimen yang telah dipersiapkan sebelumnya. Pengambilan foto dilakukan pada daerah *weld metal* dan *fusion line* dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 50-200 kali.

b. Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers dilakukan pada tiga daerah yaitu: *weld metal*, HAZ, dan *base metal* untuk mengetahui distribusi kekerasan sehingga diperoleh gambaran perubahan kekerasan akibat proses pengelasan. Dilakukan penekanan terhadap tiga titik pada setiap daerah.

c. Uji Tarik

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* yang dihubungkan langsung dengan *plotter* sehingga dapat

diperoleh grafik hubungan beban (kN) dan regangan (mm) yang memberikan informasi data berupa tegangan *yield* dan tegangan *ultimate*. Pengujian dilakukan dengan menaikkan beban tarik hingga spesimen uji tersebut patah (Gambar 3.11).



Gambar 3.11 Spesimen Uji Tarik Setelah Dilakukan Pengujian

3.2.7. Analisa dan Perbandingan Hasil

Setelah dilakukan pengujian, hasil dari pengujian tersebut dibandingkan dan dianalisa. Dibuat diagram/kurva untuk mempermudah dalam membandingkan hasil dari pengujian.

3.2.8. Kesimpulan

Membuat kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah yang diangkat dan berisi perbandingan dari tiap pengujian.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengelasan

4.1.1. Parameter Pengelasan

Welding Process

1. Type : FCAW-G CO₂ 99,99%
2. Polarity : DCEP
3. Ampere : 90-170 A
4. Voltage : 25-30 V
5. Welding Position : 3G/PF

Base Metal

1. Joint type : Butt joint single V groove
2. Material : Grade A
3. Thickness : 8 mm
4. Gap : 5 mm
5. Backing Material : Ceramic

Electrode

1. Merk : Atlantic CHT711
2. Type : E71T-1
3. Diameter : 1,2 mm
4. Type of bead : Weaving bead

4.1.2. Rekaman Pengelasan

Adapun data rekaman proses pengelasan adalah sebagai berikut dalam Tabel 4.1.

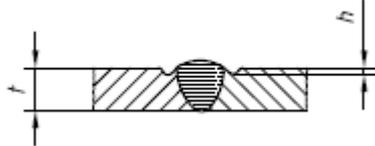
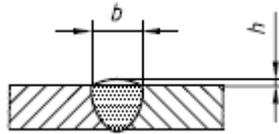
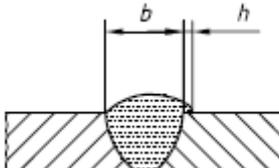
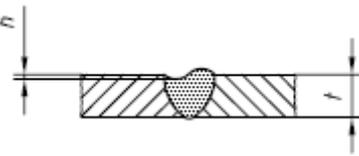
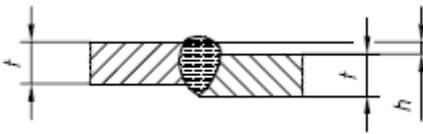
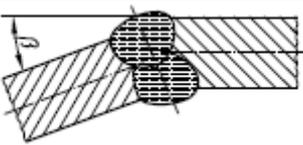
Tabel 4.1 Data Rekaman Pengelasan

Layer	Diameter Kawat Las (mm)	Arus (A)	Tegangan (V)	Polaritas
1	1,2	140	26	DC+
2	1,2	110	26	DC+
3	1,2	110	26	DC+

4.2. Analisa Visual

Setelah proses pengelasan dilakukan analisa secara visual untuk memeriksa kualitas hasil pengelasan, ada atau tidaknya cacat las, perlu atau tidaknya dilakukan perbaikan ataupun pengulangan. Penerimaan cacat las berdasarkan ISO 5817. Adapun kriteria penerimaan untuk material dengan ketebalan 8 mm tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kriteria Penerimaan ISO 5817

No.	Cacat Las	Keterangan	Limit
1	Crack	-	Not permitted
2	Surface pore	Maximum dimension of a single pore	$d \leq 0.3 s$, but max. 3 mm
3	Undercut		$h \leq 0.2 t$, but max. 1 mm
4	Excess weld metal		$h \leq 1 \text{ mm} +$ $0.25 b$, but max. 10 mm
5	Overlap		$h \leq 0.2 b$
6	Incompletely filled groove		$h \leq 0.25 t$, but max. 2 mm
7	Linear misalignment		$h \leq 0.25 t$, but max. 5 mm
8	Angular misalignment		$\beta \leq 4^\circ$

Setelah dilakukan analisa secara visual, terdapat adanya cacat las *incompletely filled groove* pada hasil pengelasan yang ketiga yaitu dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit dan dalam batas yang masih dapat diterima yaitu $h \leq 0.25 t$ atau maksimal 2 mm.

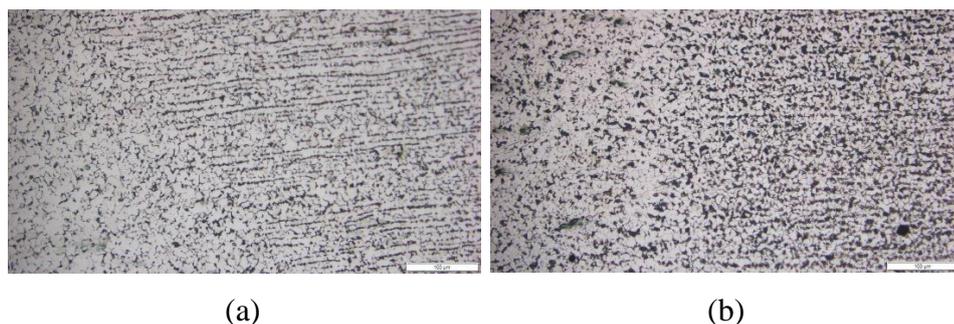
4.3. Analisa Hasil Uji Mikro Struktur

Pada baja karbon rendah, struktur mikro didominasi oleh ferit dan perlit. Pada hasil foto mikro, ferit berwarna putih atau terang sedangkan perlit berwarna kelabu atau lebih gelap. Hasil foto mikro untuk pengelasan FCAW-G dengan variasi *flow rate* gas pelindung ditunjukkan pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.3 dan dapat pula dilihat pada bagian Lampiran B.



Gambar 4.1 Struktur Mikro Pengelasan Dengan Flow Rate 14 L/menit (a) Pada Fusion Line, (b) Pada Weld Metal

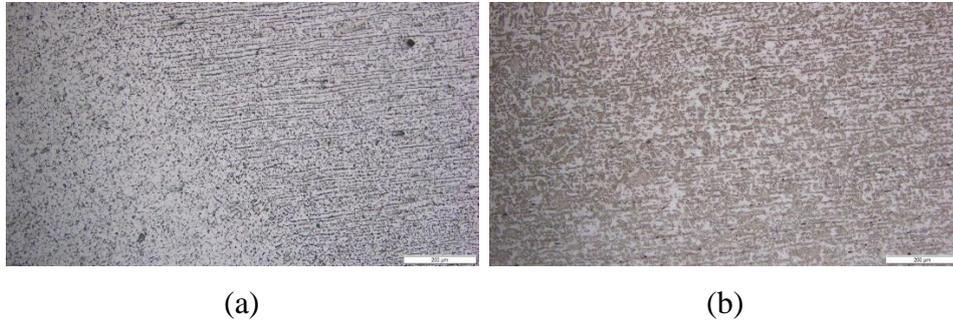
Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit (Gambar 4.1), garis *fusion line* atau garis gabungan antara *weld metal* dengan HAZ terlihat dengan jelas. Struktur perlit terlihat halus.



Gambar 4.2 Struktur Mikro Pada Fusion Line Pengelasan Dengan Flow Rate 16 L/menit (a) Pada Fusion Line, (b) Pada Weld Metal

Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 16 L/menit (Gambar 4.2), garis *fusion line* terlihat jelas namun lebih samar dari sebelumnya

(pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit). Terlihat terjadi peningkatan jumlah perlit.



Gambar 4.3 Struktur Mikro Pada Fusion Line Pengelasan Dengan Flow Rate 18 L/menit (a) Pada Fusion Line, (b) Pada Weld Metal

Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit (Gambar 4.3), garis *fusion line* terlihat paling samar dari dua pengelasan sebelumnya (pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit dan 16 L/menit). Terlihat terjadi peningkatan jumlah struktur perlit.

4.4. Analisa Hasil Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers dilakukan penekanan indenter intan sebanyak tiga kali pada tiap daerah. Dengan beban sebesar 10 kgf selama 15 detik. Setelah dilakukan uji kekerasan pada ketiga spesimen didapatkan data sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4 hingga Gambar 4.6 dan Tabel 4.3 hingga Tabel 4.5. Hasil pengujian kekerasan Vickers selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.



Gambar 4.4 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 1

Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 1 (*flow rate* gas pelindung 14 L/menit)

Area	Hardness Vickers			
	1	2	3	Rata-Rata
BM	139,51	144,26	141,99	141,92
HAZ	151,61	150,92	147,47	150,00
WM	166,44	172,91	171,81	170,39

Dari pengujian kekerasan yang dilakukan pada spesimen 1 yaitu pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit menunjukkan adanya peningkatan kekerasan dari daerah *base metal* terhadap HAZ dan *weld metal*. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* adalah 141,92 HV, pada daerah HAZ adalah 150,00 HV, dan pada daerah *weld metal* kekerasan rata-ratanya adalah 170,39 HV.



Gambar 4.5 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 2

Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 2 (*flow rate* gas pelindung 16 L/menit)

Area	Hardness Vickers			
	1	2	3	Rata-Rata
BM	142,58	145,11	148,50	145,40
HAZ	154,29	154,82	153,09	154,07
WM	188,76	188,94	190,30	189,33

Berdasarkan pengujian kekerasan pada spesimen 2, yaitu pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal* terhadap daerah *base metal*. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* adalah 145,40 HV. Sedangkan pada daerah HAZ nilai kekerasan rata-ratanya adalah 154,07 HV dan pada daerah *weld metal* nilai kekerasan rata-ratanya adalah 189,33 HV.



Gambar 4.6 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 3

Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 3 (*flow rate* gas pelindung 18 L/menit)

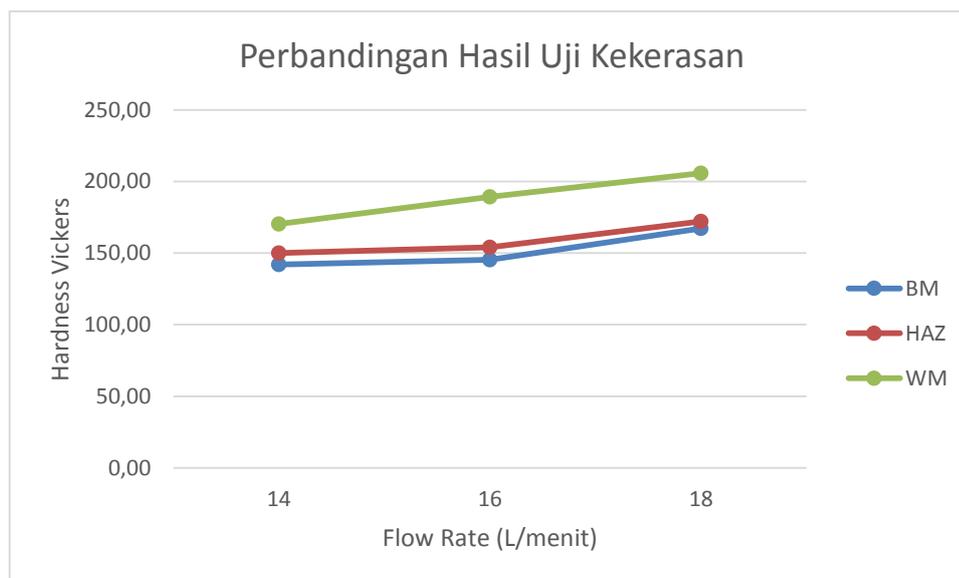
Area	Hardness Vickers			
	1	2	3	Rata-Rata
BM	162,38	171,81	167,19	167,13
HAZ	170,14	173,81	172,54	172,16
WM	203,96	206,27	207,10	205,78

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen 3 yaitu pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal* terhadap daerah *base metal*. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* adalah 167,13 HV. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah HAZ adalah 172,16 HV dan pada daerah *weld metal* nilai kekerasan rata-ratanya adalah sebesar 205,78 HV.

Kemudian dihitung rata-rata kenaikan nilai kekerasan pada tiap-tiap hasil pengelasan untuk mengetahui seberapa besar presentase pengaruh kenaikan *flow rate* gas pelindung terhadap nilai kekerasan material pada tiap-tiap daerah seperti yang telah disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Kekerasan Rata-Rata dan Presentase Peningkatan

Area	Flow Rate (L/menit)				
	14	16		18	
	HV	HV	Peningkatan	HV	Peningkatan
BM	141,92	145,40	2,45%	167,13	17,76%
HAZ	150,00	154,07	2,71%	172,16	14,78%
WM	170,39	189,33	11,12%	205,78	20,77%



Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan Vickers seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, kekerasan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya *flow rate* gas pelindung baik pada BM (*Base Metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), maupun WM (*Weld Metal*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Berdasarkan hasil uji kekerasan dapat diketahui nilai kekerasan rata-rata sebagai berikut:

- Pada daerah *base metal* nilai kekerasan dari 141,92 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit. Pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit meningkat sebanyak 2,45 % menjadi 145,40 HV dan pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit meningkat sebanyak 17,76 % menjadi 167,13 HV.
- Pada daerah HAZ memiliki nilai kekerasan 150,00 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit. Meningkat sebanyak 2,71 % menjadi 154,07 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit dan meningkat sebanyak 14,78 % menjadi 172,16 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit.
- Pada daerah Weld Metal memiliki nilai kekerasan 170,39 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit. Meningkat sebanyak 11,12 % menjadi 205,78 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit dan meningkat sebanyak 20,77 % menjadi 205,78 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit.

Peningkatan nilai kekerasan tertinggi yaitu pada daerah *weld metal* karena daerah ini terjadi peleburan logam induk dengan elektroda atau *filler metal* dan mengalami perubahan struktur maupun sifat. Komposisi *weld metal* terdiri dari komponen *base metal* dengan tambahan dari elektroda.

4.5. Analisa Hasil Uji Tarik

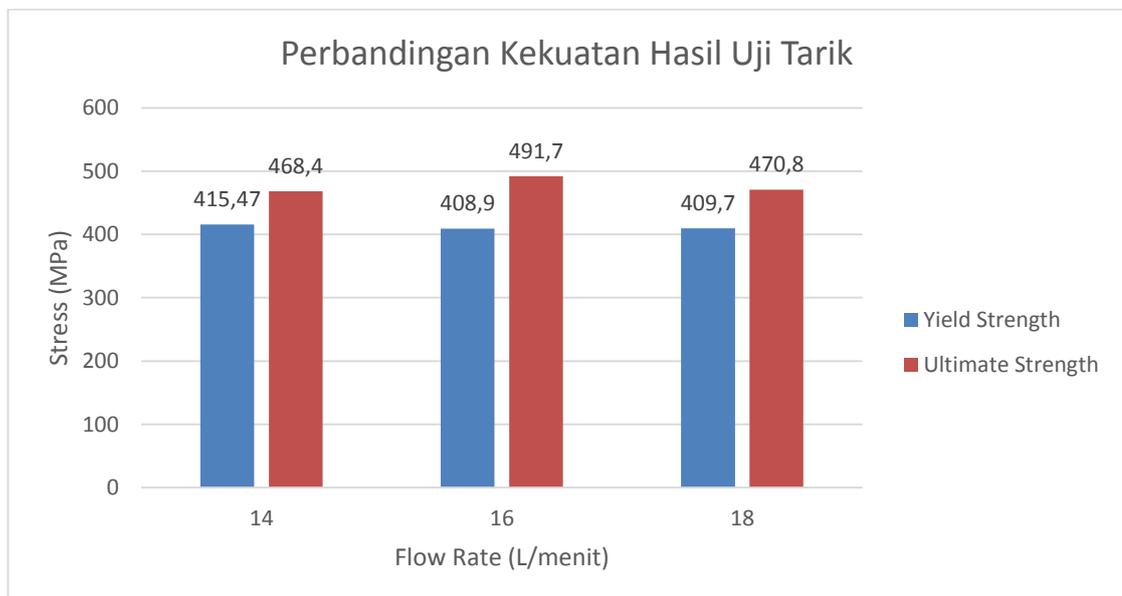
Setelah dilakukan uji tarik terhadap ketiga spesimen, didapatkan data sebagaimana pada Tabel 4.7 dan hasil ujian tarik dapat dilihat pada Lampiran D.

Tabel 4.7 Hasil Uji Tarik

Test Piece	Flow Rate	Area mm ²	Yield Strength		Ultimate Strength		Elongation %
	L/menit		kN	Mpa	kN	Mpa	
1	14	201.10	83.55	415.47	94.20	468.40	22.12
2	16	198.60	81.20	408.90	97.65	491.70	24.71
3	18	202.00	82.75	409.70	95.11	470.80	22.86

Ketiga hasil pengujian tarik tersebut patah pada bagian logam induk (*base metal*). Dari ketiga hasil tersebut selisih nilai *yield*, *ultimate*, dan *elongation* tidak jauh berbeda dikarenakan patahan terjadi di daerah logam induk yang menjauhi daerah lasan.

Berdasarkan hasil pengujian tarik nilai tegangan *yield*, tegangan *ultimate*, dan *elongation* memenuhi *rules* BKI Vol. V (Lihat tabel 2.1). Dimana nilai tegangan *yield* minimal 235 N/mm², nilai tegangan *ultimate* antara 400-520 N/mm², dan nilai *elongation* minimal sebesar 22%.

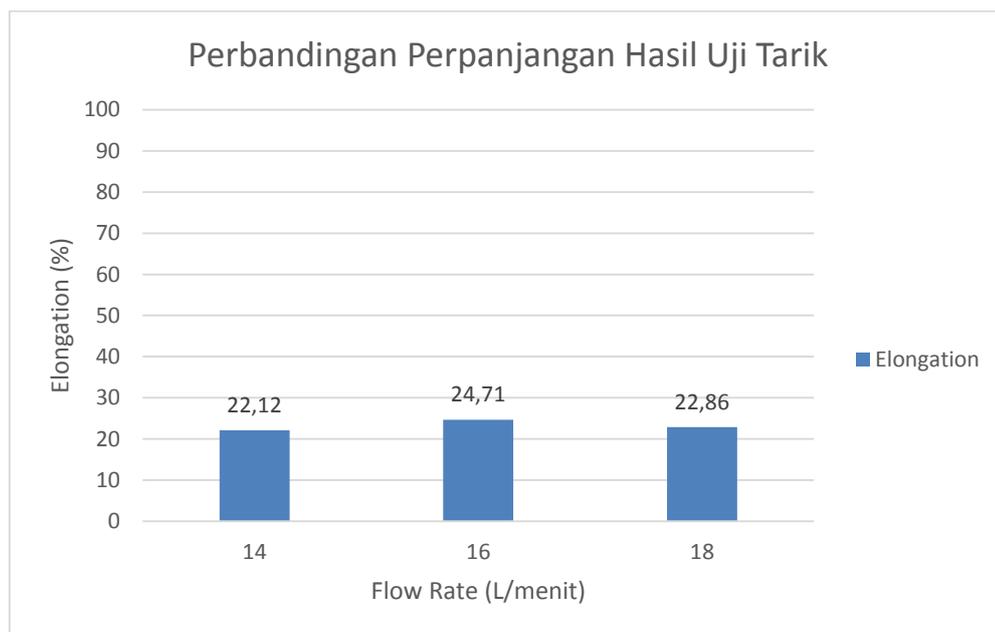


Gambar 4.8 Perbandingan Kekuatan Hasil Uji Tarik

Berdasarkan perbandingan kekuatan hasil uji tarik (Gambar 4.8), hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki tegangan *yield*

tertinggi yaitu sebesar sebesar 415,47 MPa. Hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit memiliki tegangan *yield* terendah yaitu sebesar 408,90 MPa. Dan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit memiliki tegangan *yield* sebesar 409,70 MPa.

Tegangan *ultimate* adalah tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh benda uji ketika mengalami tarikan sebelum bahan uji tersebut patah. Pada *hasil pengelasan* dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki nilai tegangan *ultimate* terendah yaitu sebesar 468,40 MPa. Sedangkan pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit memiliki nilai tegangan *ultimate* tertinggi yaitu sebesar 491,70 MPa. Dan hasil pengelasan dengan *flow rate* 18 L/menit memiliki nilai tegangan *ultimate* sebesar 470,80 MPa.



Gambar 4.9 Perbandingan Perpanjangan Hasil Uji Tarik

Berdasarkan perbandingan perpanjangan hasil uji Tarik (Gambar 4.9), hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki nilai terendah yaitu sebesar 22,12 %. Hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 16 L/menit memiliki nilai perpanjangan tertinggi yaitu sebesar 24,71 %. Sedangkan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit memiliki nilai perpanjangan sebesar 22,86%.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap struktur mikro adalah dengan naiknya *flow rate* gas pelindung terlihat semakin meningkatnya jumlah struktur perlit. Hal ini disebabkan karena bertambah besarnya *flow rate* gas pelindung, semakin kuat tekanan hembusan gas pelindung maka semakin cepat pula laju pendinginan.
2. Pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap kekerasan, semakin besar *flow rate* gas pelindung semakin besar pula nilai kekerasan material las. Dan kenaikan nilai kekerasan terbesar terdapat pada *weld metal* karena pada area tersebut terjadi peleburan logam induk dengan elektroda atau *filler metal*.
3. Pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap kekuatan tarik adalah pada saat dilaksanakan uji tarik patahan terjadi di daerah *base metal* dikarenakan daerah *weld metal* maupun HAZ lebih keras daripada *base metal*. Setelah dilaksanakan uji tarik, hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki nilai tegangan *yield* sebesar 415,47 MPa, tegangan *ultimate* sebesar 468,4 MPa, dan *elongation* sebesar 22,12%. Hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit memiliki nilai tegangan *yield* sebesar 408,9 MPa, tegangan *ultimate* sebesar 491,7 MPa, dan *elongation* sebesar 24,71%. Sedangkan pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit memiliki nilai tegangan *yield* sebesar 409,7 MPa, tegangan *ultimate* sebesar 470,8 MPa, dan *elongation* sebesar 22,86%. Berdasarkan hasil pengujian tarik tersebut nilai kekuatan tarik yang tidak jauh berbeda pada masing-masing tegangan *yield*, tegangan *ultimate*, maupun *elongation* dikarenakan mengikuti sifat dasar dan kekuatan dari dari logam induk dan tidak lebih rendah dari kekuatan tarik minimum logam induk.

5.2. Saran

1. Saran untuk penelitian selanjutnya variasi *flow rate* gas pelindung ditambahkan lagi dibawah ketentuan untuk mencari faktor ekonomis dengan pertimbangan faktor alam dan manusia (*welder*) dan divariasikan dengan faktor-faktor lain.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. 1995. *Section IX Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding Operators*. United States of America: International Standard.
- AWS. 2005. *A5.20/A5.20M Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*. United States of America: International Standard.
- BKI. 2014. *BKI Volume V Rules For Materials*. Jakarta, Indonesia.
- BKI. 2015. *BKI Volume VI Rules For Welding*. Jakarta, Indonesia.
- Czichos, Horst. 2006. *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*. Berlin: Springer.
- Firmansyah, Dicky Rizki. 2017. Tugas Akhir: *Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Gas Pelindung Hasil Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan Mekanik Dan Struktur Mikro Alumunium Seri 5083*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Hastuti, Farida Tri. 2010. Tugas Akhir: *Analisa Pengaruh Pengelasan FCAW Pada Sambungan Material Grade A Dengan Material Grade DH*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- ISO. 2005. *ISO 5817 Welding – Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium, and their alloys (beam welding excluded) – Quality levels for imperfections*. Switzerland: International Standard.
- Prasetyo, Sanuri Ebru. 2016. *Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Laju Alir Gas Pelindung Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik-Geser Sambungan TIG Logam Tak Sejenis Alumunium Paduam 5052- Baja Galvanis Dengan Filer Al-Si 4043*. Jurnal Mekanik: Vol. 15, No.1.
- Suheni, dkk. 2015. *Analisis Pengaruh Kecepatan Alir Gas Pelindung Dan Arus Terhadap Kekerasan Pada Proses Las MIG Dengan Material Stainless Steel AISI 304*. Seminar Nasional Sain Dan Teknologi Terapan III 2015. Surabaya: Institut Teknologi Adhitama.
- Suherman, Wahid. 1987. *Diktat Perkuliahan: Pengetahuan Bahan*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, ITS.

Suratman, Maman. 2001. *Teknik Mengelas: Asetilin, Brazing dan Las Busur Listrik*. Bandung: Pustaka Grafika.

Wiryo Sumarto dan Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.



PT. ADILUHUNG SARANASEGARA INDONESIA

SHPYARD : J. Kabupaten - Desa Ujung Piring - Bangkalan - Madura ;
Telp. : (031) 81162768, 81162769 Fax. : (031) 81162767 ; E-mail : asas@shpyard.com
OFFICE : J. Perak Timur 612 Block A-S Surabaya ; Telp. (031) 8297768, 8298621 ; Fax. : (031) 8298324
WEBSITE : www.asas@shpyard.com



Certificate No. 8448
ISO 9001:2008

Manufacturer's Welding Procedure Specification

Preliminary WPS

Final WPS

Informasi umum (General information)

No. WPS : 005/WPS/ASSI/IX/14 No. WPQR : 005/PQR/ASSI/IX/14
WPS No. WPQR No.

Standard uji : BKI Rules for Welding, Vol. VI
Testing standard

Proses las : 136 / FCAW Mode transfer logam las : None
Welding Process Mode of metal transfer

Tipe sambungan : Butt Weld Single V-Groove
Joint type

Material penahan : Ya Tidak Material : BACKING CRAMIC
Backing material Yes No Material

Gouging balik : Ya Tidak Metode : None
Back gouging Yes No Method

Spesifikasi material dasar : Ship plate Grade A to Ship plate Grade A
Base material(s) specification

Rentang tebal material : 3 - 20 mm Rentang diameter luar : None
Material thickness range Outside diameter range

Posisi las : PF / 3G Metode persiapan dan pembersihan : Cutting Machine, Grinding & Degrease
Welding position Method of preparation and cleaning

Kawat las (Welding consumables)

Klasifikasi kawat las (sesuai ISO atau AWS) : AWS A / SFA 5.18 : ER 70 S - 6
Welding consumables classification (acc. to ISO or AWS)

Tipe / merek : ESAB (OK.AUTROD 12.51) Pembuat : PT. Karya Yasantara Cakti, Indonesia
Brand name Manufacturer

Dilakukan pemanasan atau pengeringan khusus : None
Any special baking or drying

Gas pelindung (Shielding gas)

Tipe gas / komposisi : CO₂ / 99.9% Kec. alir gas : 14 - 20 l/min
Type of gas / composition Gas flow rate

Fluks (Flux)

Klasifikasi fluks (sesuai ISO atau AWS) : None
Flux classification (acc. to ISO or AWS)

Tipe / merek : None Pembuat : None
Brand name Manufacturer

Suhu pemanasan awal : None Suhu antar lajur : < 205°C
Preheating temperature Interpass temperature

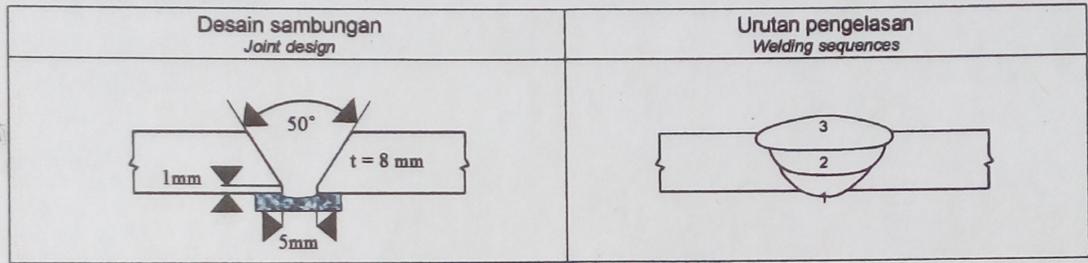


Perlakuan panas pasca las
Post-weld heat treatment

Temperatur : None Waktu tahan : None
Temperature Holding time

Kec. pemanasan dan pendinginan : None
Heating and cooling rate

Detail persiapan kumpuh (gambar)
Joint preparation details (sketch)



Detail pengelasan
Welding details

Alur Run	Proses las <i>Welding process</i>	Diameter kawat las <i>Diameter of filler metal [mm]</i>	Arus las <i>Current [A]</i>	Tegangan <i>Voltage [V]</i>	Tipe arus/polaritas <i>Type of current/polarity</i>	Kec. umpan kawat <i>Wire feed Speed</i>	Kec las <i>Travel speed [cm/min]</i>	Masukan panas <i>Heat input [kJ/cm]</i>
1	FCAW	1.2	110 - 170	25 - 30	DC+	180 - 220	8 - 12	14 - 38
2	FCAW	1.2	90 - 150	25 - 30	DC+	180 - 220	10 - 16	8.5 - 27
3	FCAW	1.2	90 - 150	25 - 30	DC+	180 - 220	10 - 16	8.5 - 27

Informasi lain (Other information)

Jumlah kawat las : Single Tipe & diameter elektroda tungsten : None
Number of electrode Tungsten electrode type & diameter

Jarak ujung nosel ke benda kerja : 5 - 10 mm Diameter nosel : None
Distance contact tube to work piece Nozzle diameter

Tipe tangkai las : None Merek & pembuat cat dasar : None
Type of torch Brand name & manufacturer of shop primer

Supervisor las
Welding supervisor

 (Nama, tanggal, tandatangan)
(Name, date signature)

Biro Klasifikasi Indonesia
Examining body

 (Nama, tanggal, tandatangan)
(Name, date signature)

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

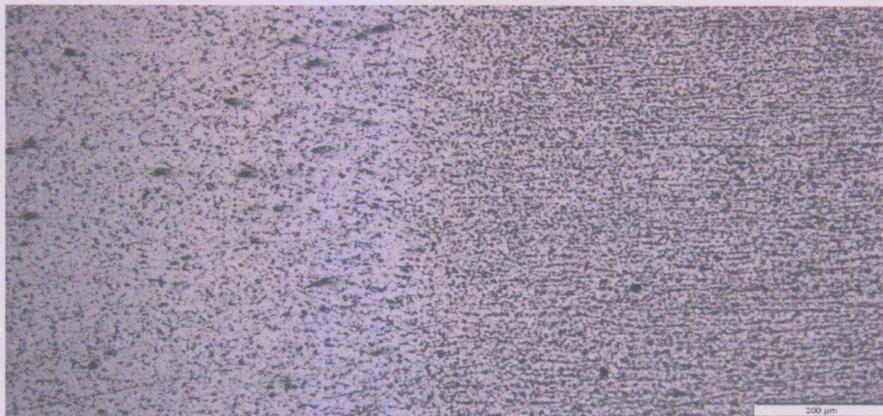
<u>Nomor</u> <i>Number</i>	527/PL19/BJP/2018
-------------------------------	-------------------

NO : 01, MATERIAL KI-A

A. WELD METAL



B. FUSION LINE





PPNS
POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PUSAT JASA DAN PRODUKSI**

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111

TELP. (031) 5947186 – 5999444

FAX. (031) 5999444

e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

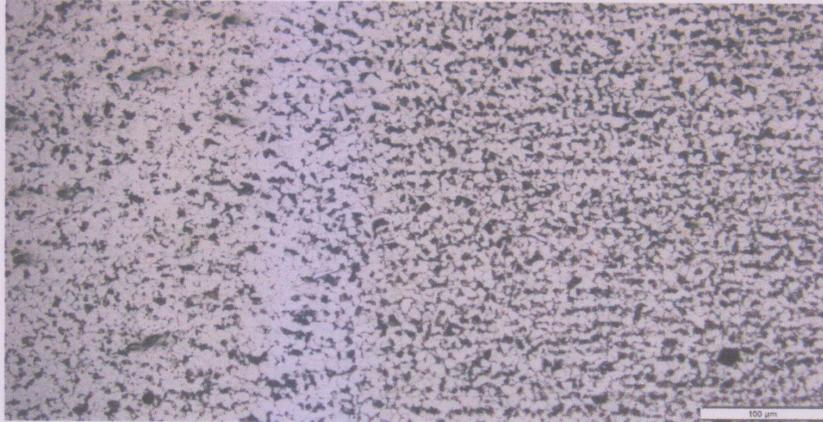
LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

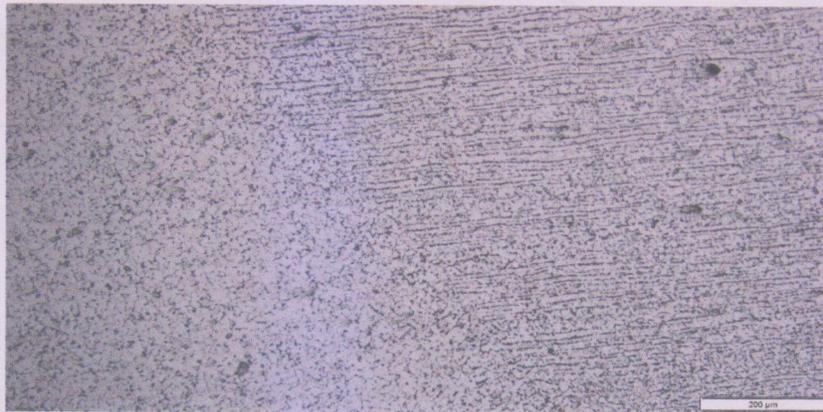
<u>Nomor</u> <i>Number</i>	527/PL19/BJP/2018
-------------------------------	-------------------

NO : 02 MATERIAL KI-A

A. WELD METAL



B. FUSION LINE





**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PUSAT JASA DAN PRODUKSI**

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA 60111

TELP. (031) 5947186 – 5999444

FAX. (031) 5999444

e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

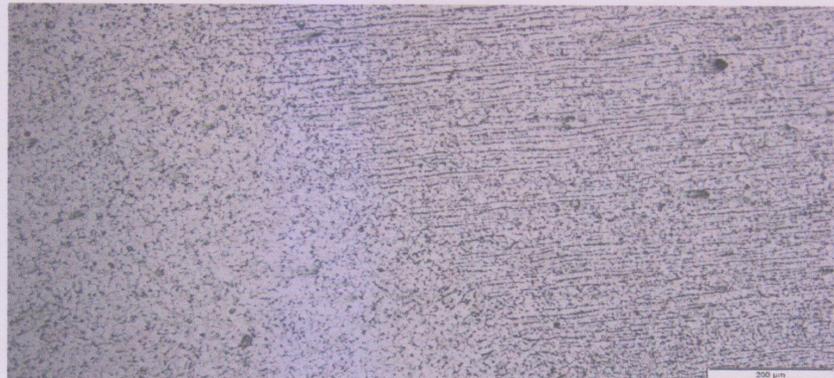
<u>Nomor</u> <i>Number</i>	527/PL19/BJP/2018
-------------------------------	-------------------

NO : 03 MATERIAL KI-A

A. WELD METAL



B. FUSION LINE





**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PUSAT JASA DAN PRODUKSI**

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111

TELP. (031) 5947186 – 5999444

FAX. (031) 5999444

e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

<u>Nomor</u> <i>Number</i>	0593/PL19/BJP/2018
-------------------------------	--------------------

I. METALOGRAPHY TEST (Macro Etching)

Etching Reagent : HF

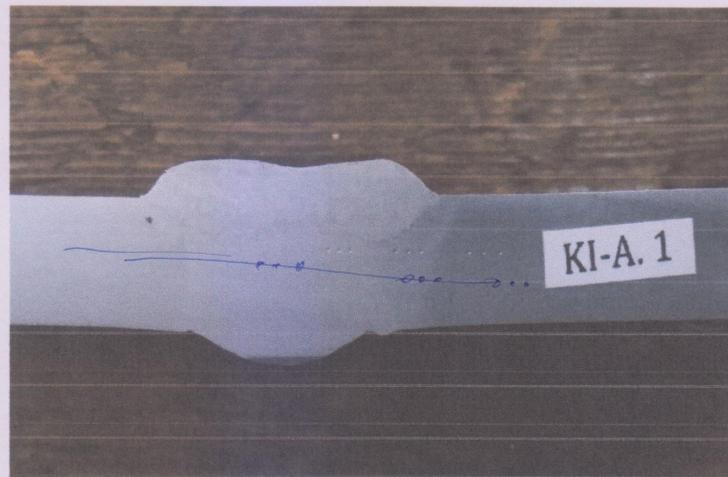
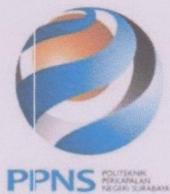


Fig. 1. Macro-etch of specimen Sdri.NABILA (FTK)



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PUSAT JASA DAN PRODUKSI**

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111

TELP. (031) 5947186 – 5999444

FAX. (031) 5999444

e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

<u>Nomor</u> <i>Number</i>	0593/PL19/BJP/2018
-------------------------------	--------------------

I. METALOGRAPHY TEST (Macro Etching)

Etching Reagent : HF

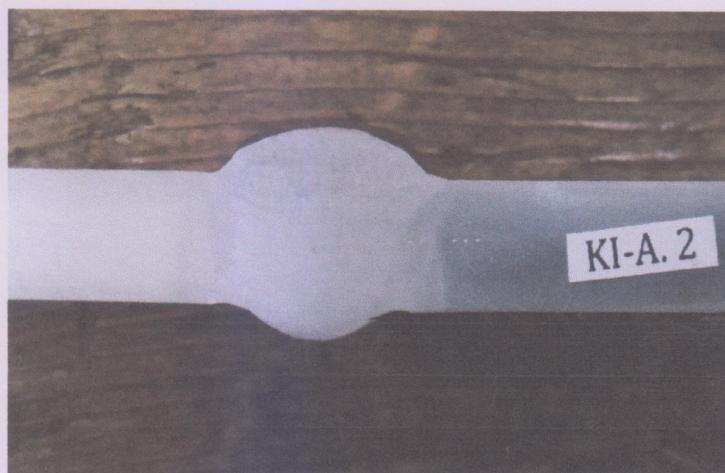
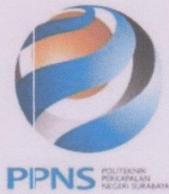


Fig. 1. Macro-etch of specimen Sdri.NABILA (FTK)



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PUSAT JASA DAN PRODUKSI**

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444
FAX. (031) 5999444
e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

<u>Nomor</u> <i>Number</i>	0593/PL19/BJP/2018
-------------------------------	--------------------

I. METALOGRAPHY TEST (Macro Etching)

Etching Reagent : HF



Fig.1. Macro-etch of specimen Sdri.NABILA (FTK)



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
PUSAT JASA DAN PRODUKSI**

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111

TELP. (031) 5947186 – 5999444

FAX. (031) 5999444

e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Attachment of testing

<u>Nomor</u> <i>Number</i>	0589/PL19/BJP/2018
-------------------------------	--------------------

HARDNESS METODE VICKERS

BEBAN 10 kgf

Waktu 15 detik

NAMA ; Sdri NABILA (FTK)

MATERIAL Ki A TEBAL 8mm

SPESIMEN 1

BM	139,51	144,26	141,99
HAZ	151,61	150,92	147,47
WM	166,44	172,91	171,81

SPESIMEN 2

BM	142,58	145,11	148,50
HAZ	154,29	154,82	153,09
WM	188,76	188,94	190,30

SPESIMEN 3

BM	162,38	171,81	167,19
HAZ	170,14	173,81	172,54
WM	203,96	206,27	207,10

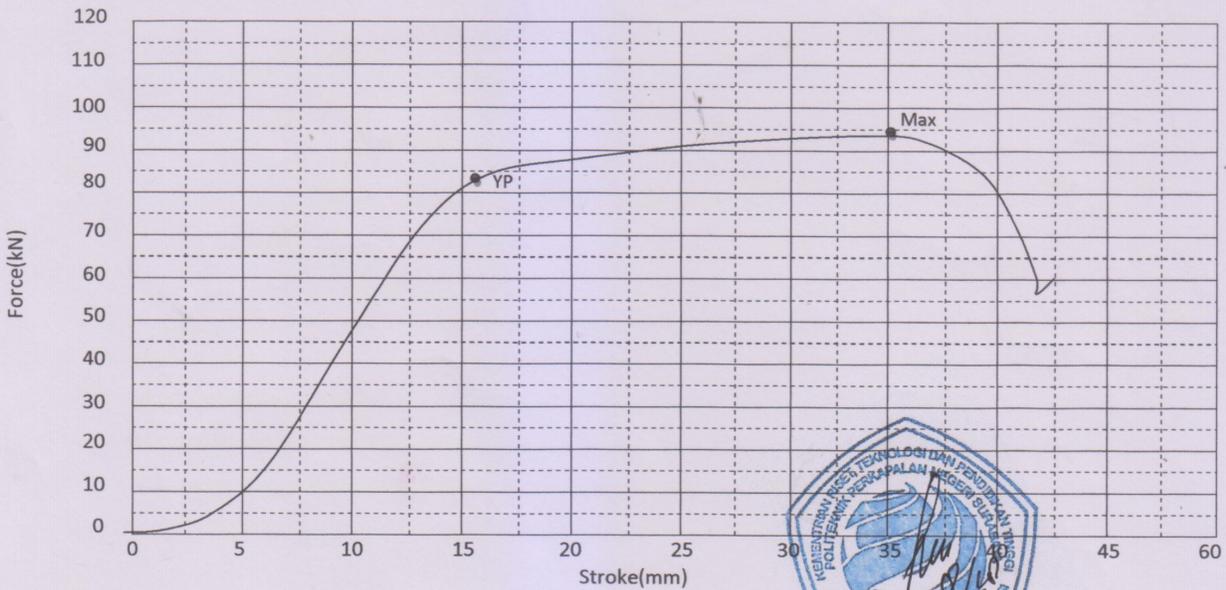
**PERKAPALAN POLITEKNIK NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape : Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1	79.990	25.1400	62.0000

Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	Mpa	kN	Mpa
1	201.10	83.55	415.47	94.20	468.40

Name	Elongation
Units	%
1	22.12



Comment

Spesimen putus pada logam induk (base metal)

Perusahaan/Instansi : NABIELAH K.A / T. KELAUTAN

Material: KI Grade A tebal 8 mm

Proses Las/Posisi/Juru Las : FCAW

Referensi: -

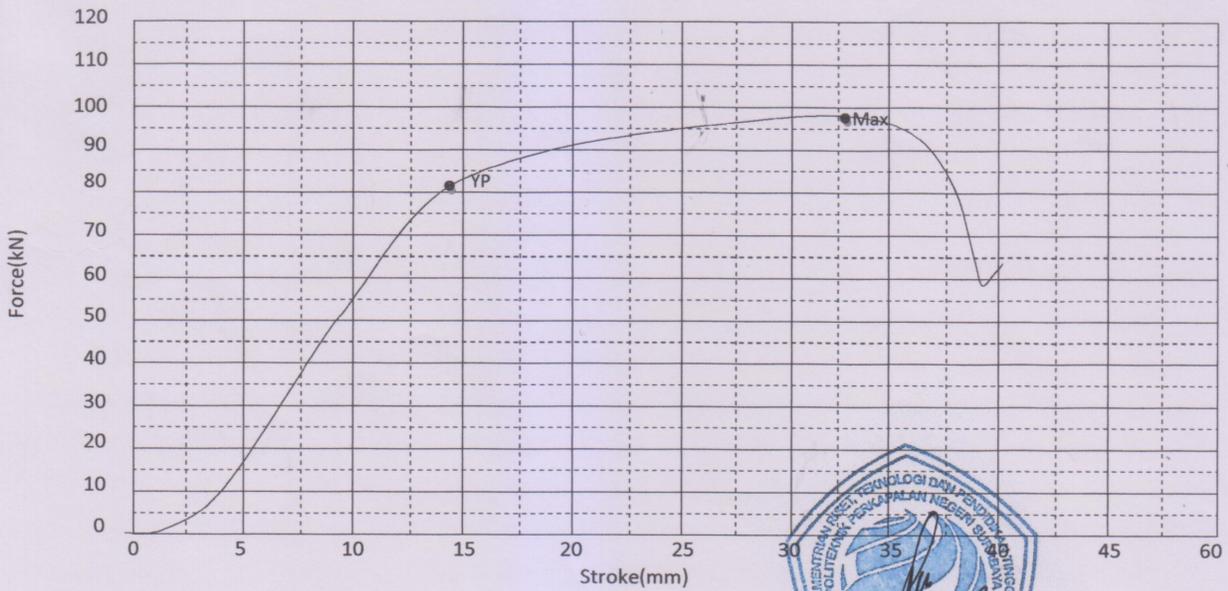
**PERKAPALAN POLITEKNIK NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape : Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
2	79.450	25.0000	62.0000

Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	Mpa	kN	Mpa
2	198.60	81.20	408.90	97.65	491.70

Name	Elongation
Units	%
2	24.71



Comment

Spesimen putus pada logam induk (base metal)

Perusahaan/Instansi : NABIELAH K.A / T. KELAUTAN

Material: KI Grade A tebal 8 mm

Proses Las/Posisi/Juru Las : FCAW

Referensi: -

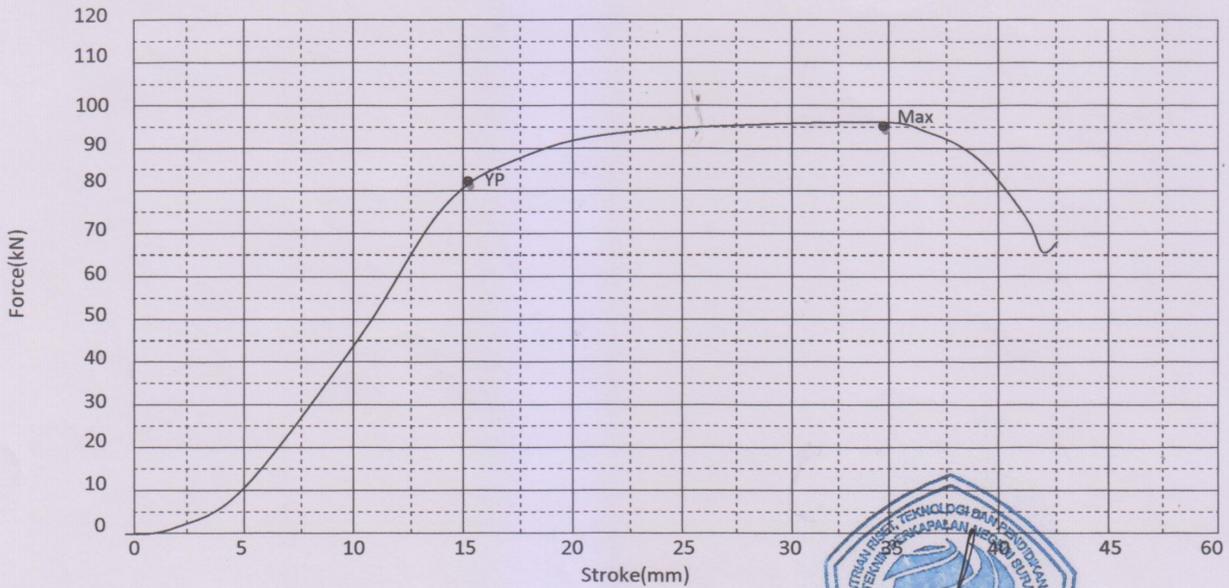
**PERKAPALAN POLITEKNIK NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape : Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
3	79.8600	25.1800	62.0000

Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	Mpa	kN	Mpa
3	202.00	82.75	409.70	95.11	470.80

Name	Elongation
Units	%
3	22.86



Comment

Spesimen putus pada logam induk (base metal)

Perusahaan/Instansi : NABIELAH K.A / T. KELAUTAN
 Material: KI Grade A tebal 8 mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las :FCAW
 Referensi: -



BIODATA PENULIS



Nabielah Khiyaarul A-immah lahir di Mojosari, Kabupaten Mojokerto pada 18 Oktober 1997 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Dr. Sutomo IV Surabaya, SMP Negeri 10 Surabaya, MA Unggulan PP. Amanatul Ummah Surabaya Program Akselerasi. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti beberapa organisasi diantaranya LDJ Bahrul Ilmi, Himatekla, JMIMI, dan beberapa kegiatan kepanitiaan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada tahun 2017 penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia pada Divisi QA-QC dan Bengkel Konstruksi&Pipa selama 2 bulan. Pada tahun 2018 penulis akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi *Flow Rate* Gas Pelindung Pada Pengelasan FCAW-G Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Sambungan Material Baja Grade A”.

Contact person: nabielahka@gmail.com