



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGARUH VARIASI GROOVE PADA
PENGELASAN BAK TRUCK MENGGUNAKAN
FILLER ER70S-6 DAN BAJA SA-36 DENGAN
METODE PENGELASAN MAG**

**M. FATAHILLAH RAHMAWAN
NRP. 1021150000093**

**Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGARUH VARIASI GROOVE PADA
PENGELASAN BAK TRUCK
MENGUNAKAN FILLER ER70S-6 DAN
BAJA SA-36 DENGAN METODE
PENGELASAN MAG**

**M. FATAHILLAH RAHMAWAN
NRP. 10211500000093**

Dosen Pembimbing

**Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

***EFFECT OF GROOVE VARIATION IN
WELDING BAK TRUCK USING FILLER
ER70S-6 AND SA-36 STEEL WITH MAG
WELDING METHOD***

**M. FATAHILLAH RAHMAWAN
NRP. 1021150000093**

Consellor Lecture

**Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001**

***DEPARTEMEN OF INDUSTRIAL MECHANICAL
ENGINEERING
FACULTY OF VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018***

LEMBAR PENGESAHAN

**“PENGARUH VARIASI GROOVE PADA
PENGELASAN BAK TRUCK
MENGUNAKAN FILLER ER70S-6 DAN
BAJA SA-36 DENGAN METODE
PENGELASAN MAG”**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya Pada Bidang Studi Manufaktur**

Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

M. FATAHILLAH RAHMAWAN

NRP. 1021150000093



Mengetahui dan Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Subowo, M.Sc.

NIP. 19581004 198701 1 001

Surabaya, 9 Juli 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

“PENGARUH VARIASI GROOVE PADA PENGELASAN BAK TRUCK MENGGUNAKAN FILLER ER70S-6 DAN BAJA SA-36 DENGAN METODE PENGELASAN MAG”

Nama : M. Fatahillah Rahmawan
NRP : 1021150000093
Jurusan : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen : Ir. Subowo, M.Sc.

Abstrak

Pengelasan adalah suatu proses penggabungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas las dengan atau tanpa pengaruh tekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Teknologi dalam pengelasan semakin berkembang dengan pesat dimana untuk memperbaiki hasil pengelasan yang bertujuan untuk mengurangi nilai perubahan bentuk / distorsi akibat dari proses pengelasan. Material yang yaitu SA-36 yang memang diperuntukkan untuk bejana tekan dan mempunyai nilai keamanan yang tinggi.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui perbedaan pengelasan dengan variasi groove terhadap hasil lasan. Pengujian dilakukan di Workshop Jurusan Teknik Mesin Industri FV-ITS Surabaya. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah uji kekerasan, uji metalografi, dan uji tarik sesuai standard.

Dari penelitian ini didapatkan hasil pengujian tarik yaitu square groove putus di logam las karena mengalami cacat IP sehingga didapat UTS sebesar 205.079 MPa dengan kekerasan tertinggi di logam las sebesar 86.6 HRb dan V-groove putus di HAZ sehingga didapat UTS sebesar 329.424 MPa dengan kekerasan tertinggi di HAZ sebesar 87.8 HRb.

Kata kunci: Pengelasan, SA-36, Square groove, V-groove, Kekerasan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

“EFFECT OF GROOVE VARIATION IN WELDING BAK TRUCK USING FILLER ER70S-6 AND SA-36 STEEL WITH MAG WELDING METHOD”

Name : *M. Fatahillah Rahmawan*
NRP : *10211500000093*
Departement : *Teknik Mesin Industri FV-ITS*
Consellor Lecture : *Ir. Subowo, M.Sc.*

Abstract

Welding is a process of combining metals in which the metal becomes one due to weld heat with or without pressure effect, and with or without filler metal. Technology in welding is growing rapidly where to improve the welding results that aims to reduce the value of shape changes / distortions resulting from the welding process. The material that is SA-36 which is intended for pressure vessel and has a high security value.

This research uses experimental method to know the difference of welding with variation of groove to weld result. The test was conducted in Workshop of Industrial Engineering Department of FV-ITS Surabaya. The parameters observed in this research are hardness test, metallographic test, and standard tensile test.

From this research, the result of tensile testing is square groove broken in welding metal due to IP disability so that UTS obtained 205.079 MPa with the highest hardness in welding metal of 86.6 HRb and V-groove broken at HAZ so obtained UTS of 329.424 MPa with the highest hardness at HAZ of 87.8 HRb.

Keywords: Welding, SA-36, Square groove, V-groove, Hardness.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul:

“PENGARUH VARIASI GROOVE PADA PENGELASAN BAK TRUCK MENGUNAKAN FILLER ER70S-6 DAN BAJA SA-36 DENGAN METODE PENGELASAN MAG”

Dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapat gelar ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Subowo, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Ir. Heru Mirmanto, M.T selaku ketua Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, M.T selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.

5. Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T selaku dosen wali.
6. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu serta adik yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan dalam bentuk apapun.
7. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
8. Partner Tugas Akhir yaitu Ely Styra Arga, terima kasih atas telah memberi semangat dan bantuan dari awal mengerjakan sampai Tugas Akhir ini selesai.
9. Teman – teman angkatan 2015, terima kasih atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini, yang telah memberi bantuan, dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Serta berbagai pihak yang belum tertulis, terima kasih atas kerjasamanya dan bantuan yang telah diberikan sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak yang mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, 9 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	1
1.3	Batasan Masalah.....	2
1.4	Tujuan Penelitian.....	2
1.5	Manfaat Penelitian.....	2
1.6	Medologi Penelitian	2
1.7	Sistematika Penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1	Pengelasan.....	5
2.1.1	Las GMAW/MAG.....	6
2.1.2	Proses Mesin Las MAG (Metal Active Gas).....	6
2.1.3	Jenis-jenis Gas Pelindung.....	7
2.1.4	Parameter Pengelasan.....	9
2.1.5	Peralatan Las MAG.....	11
2.1.6	Kelebihan dan Kekurangan Las MAG	20
2.3	Logam Induk	21
2.3.1	Kandungan karbon	23
2.3.2	Material SA-36.....	26

2.4	Elektroda.....	27
2.4.1	Elektroda AWS A5.18 ER70S-6	28
2.4.2	Karakteristik Listrik (<i>Electrical Characteristic</i>)	28
2.4.3	Posisi pada Pengelasan	29
2.4.4	Klasifikasi Las Berdasarkan Sambungan dan Bentuk Alurnya.....	30
2.4.5	<i>Heat Input</i>	32
2.4.6	Daerah Pengaruh Panas HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	33
2.5	Pengujian	33
2.5.1	Pengujian Tarik.....	34
2.5.2	Uji Kekerasan	36
2.5.3	Pengamatan Mikrostruktur	37

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2	Rancangan Percobaan.....	40
3.2.1	Persiapan Bahan dan Alat.....	40
3.2.2	Persiapan Spesimen	41
3.3	Pembuatan Groove	41
3.4	Proses Pengelasan.....	42
3.4.1	Pengelasan Plat Square Groove	42
3.4.2	Pengelasan Plat V-groove.....	43
3.5	Pembagian Spesimen.....	44
3.5.1	Spesimen Uji Metalografi dan Foto Mikro.....	44
3.5.2	Spesimen Uji Tarik.....	45
3.6	Pengujian	46
3.6.1	Uji Kekerasan	46
3.6.2	Pengamatan Mikrostruktur	47
3.6.3	Pengujian Tarik.....	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian.....	51
-----	----------------------	----

4.1.1	Hasil Pengujian Kekerasan.....	51
4.1.2	Hasil Pengujian Tarik.....	54
4.2	Pembahasan Hasil Uji Tarik.....	59

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	61

DAFTAR PUSTAKA63

LAMPIRAN.....65

BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Las GMAW.....	6
Gambar 2.2	Proses Pengelasan MAG.....	7
Gambar 2.3	Skema Elektroda Ekstensi.....	10
Gambar 2.4	Mesin Las MAG.....	13
Gambar 2.5	<i>Wire Feeder</i>	14
Gambar 2.6	<i>Welding Gun</i> Las MAG.....	16
Gambar 2.7	Kabel Massa dan Kabel Elektroda.....	17
Gambar 2.8	Klem Massa.....	18
Gambar 2.9	Cilinder dan Regulator Gas Pelindung.....	18
Gambar 2.10	Pipa Kontak.....	19
Gambar 2.11	<i>Nozzle</i> Gas Pelindung.....	20
Gambar 2.12	Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis.....	24
Gambar 2.13	Posisi pada Pengelasan.....	30
Gambar 2.14	Sambungan Las Dasar.....	31
Gambar 2.15	Sambungan Tumpul.....	32
Gambar 2.16	Grafik tegangan Regangan.....	34
Gambar 2.17	Mesin Uji Tarik.....	35
Gambar 2.18	Mesin Uji Kekerasan.....	36
Gambar 2.19	Alat Uji Mikrostruktur.....	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2	Dimensi Plat SA-36.....	41
Gambar 3.3	Pembuatan Square Groove.....	42
Gambar 3.4	Pembuatan V-groove.....	42
Gambar 3.5	Hasil Las Square Groove.....	43
Gambar 3.6	Hasil Las V-groove.....	43
Gambar 3.7	Ukuran Standard Uji Metalografi dan Foto Mikro.....	44
Gambar 3.8	Spesimen Uji Metalografi dan Foto Mikro.....	44
Gambar 3.9	Ukuran Standart Uji Tarik.....	45

Gambar 3.10	Spesimen Uji Tarik.....	45
Gambar 3.11	Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	46
Gambar 3.12	Garis Bantu Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro.....	49
Gambar 4.1	Letak Pengujian Rockwell Square Groove.....	51
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Square Groove.....	52
Gambar 4.3	Letak Pengujian Rockwell Variasi V-groove....	52
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen V- groove.....	52
Gambar 4.5	Grafik Hasil Rata-rata Pengujian Kekerasan....	54
Gambar 4.6	Spesimen Hasil Pengujian Tarik.....	56
Gambar 4.7	Grafik Tegangan Tarik.....	58
Gambar 4.8	Grafik Regangan.....	59
Gambar 4.9	Cacat IP (<i>Incomplete Penetration</i>).....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan Umum Penyetelan Besaran Arus dan Besaran Tegangan Berdasarkan Diameter Filler.....	10
Tabel 2.2	Klasifikasi Baja Karbon.....	23
Tabel 2.3	Karakteristik dari Lima Elemen pada Baja.....	24
Tabel 2.4	Nilai <i>Chemical Composition</i> dalam Persen.....	27
Tabel 2.5	Sifat Mekanik SA 36.....	27
Tabel 2.6	Komposisi Kimia Elektroda AWS A5.18 ER70S-6.....	28
Tabel 2.7	Arus DC (<i>Direct Current</i>).....	29
Tabel 2.8	Arus AC (<i>Alternating Current</i>).....	29
Tabel 3.1	Etching Reagent Untuk Melihat Macrostructure.....	47
Tabel 3.2	Etching Reagent Untuk Melihat Microstructure.....	47
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	53
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Tarik Mesin GOTECH.....	55
Tabel 4.3	Perhitungan A_0 dan UTS dalam satuan kgf/mm^2	57
Tabel 4.4	Hasil Regangan dan UTS dalam satuan MPa.....	58

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Pengujian Tarik Square Groove 1.....	65
Lampiran 2	Hasil Pengujian Tarik Square Groove 2.....	66
Lampiran 3	Hasil Pengujian Tarik Square Groove 3.....	67
Lampiran 4	Hasil Pengujian Tarik V-groove 1.....	68
Lampiran 5	Hasil Pengujian Tarik V-groove 2.....	69
Lampiran 6	Hasil Pengujian Tarik V-groove 3.....	70
Lampiran 7	Spesifikasi Filler 1.....	71
Lampiran 8	Spesifikasi Filler 2.....	72
Lampiran 9	Spesifikasi Baja SA-36.....	73
Lampiran 10	Foto Mikrostruktur <i>Base Metal</i> pada Pengelasan Square Groove.....	74
Lampiran 11	Foto Mikrostruktur <i>HAZ</i> pada Pengelasan Square Groove.....	75
Lampiran 12	Foto Mikrostruktur <i>Weld Metal</i> pada Pengelasan Square Groove.....	76
Lampiran 13	Foto Mikrostruktur <i>Base Metal</i> pada Pengelasan V-groove.....	77
Lampiran 14	Foto Mikrostruktur <i>HAZ</i> pada Pengelasan V-groove.....	78
Lampiran 15	Foto Mikrostruktur <i>Weld Metal</i> pada Pengelasan V-groove.....	79
Lampiran 16	Macam-macam Struktur Mikro.....	80

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin pesatnya kemajuan ilmu dan teknologi pada masa kini, sehingga muncul berbagai jenis pengelasan yang lebih modern. Pengelasan pada konstruksi bak truck mempunyai suatu persyaratan dari Badan Klasifikasi yang mengawasi dan memberikan kelayakan tentang kekuatan konstruksi. Untuk memenuhi persyaratan yang dituntut oleh Badan Klasifikasi, maka peran juru las sangatlah besar, dan untuk itu teknik – teknik pengelasan harus diikuti agar mendapatkan mutu las yang baik dan dapat diterima oleh Badan Klasifikasi.

Pada pengelasan konstruksi bak truck pada Karoseri SKA menggunakan metode pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dengan material baja SA-36. Oleh karena itu perancangan konstruksi bak truck dengan sambungan las harus direncanakan pula tentang teknik pengelasan, bahan las, dan jenis las yang digunakan serta pemeriksaannya.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam dari studi kasus sebuah konstruksi bak truck yaitu proses pengelasan tanpa adanya WPS sebagai acuan sop standard proses pengelasan agar didapatkan hasil yang baik. Dengan melihat kasus di lapangan seperti ini dengan merubah variasi groove yang digunakan pada saat proses pengelasan yang dilakukan diharapkan dapat memperbaiki hasil pengelasan yang jauh lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana sifat mekanik pengelasan pada baja SA-36 dengan menggunakan square groove.
2. Bagaimana sifat mekanik pengelasan pada baja SA-36 dengan menggunakan V-groove.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja SA-36.
2. Proses pengelasan menggunakan GMAW (MAG).
3. Tebal plat yang digunakan 6 mm.
4. Variasi pengelasan menggunakan variasi V-groove.
5. Posisi pengelasan 1G dengan gas pelindung 100% CO₂

1.4 Tujuan Penelitian

Bedasarkan perumusan masalah yang dikemukakan maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat mekanik yang terdapat pada baja SA-36 sebelum di variasi groove.
2. Mengetahui sifat mekanik yang terdapat pada baja SA-36 sesudah di variasi V-groove.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Memperkaya keilmuan teknik terutama dalam bidang pengujian logam, pengelasan, dan bahan teknik. Sehingga dapat meningkatkan pengetahuan baik untuk masyarakat umum maupun bagi juru las.
2. Memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh variasi groove pada hasil pengelasan.

1.6 Medologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi Literatur

Untuk menambah wawasan perlu studi literature dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian destructive test berupa uji kekerasan, mikro etsa,

dan uji tarik atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.

2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Dalam penulisan tugas akhir ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.

3. Observasi Data

Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.

4. Analisa Data

Menganalisa hasil pengujian kekerasan struktur mikro, dan tarik yang terjadi pada bagian logam hasil las, HAZ, dan base metal setelah dilakukan pengelasan dengan variasi groove.

5. Membuat Kesimpulan

Setelah menyelesaikan tugas akhir dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Agar hasil pemikiran penulis dapat dimengerti dan dipahami secara keseluruhan, maka penulisan tugas akhir ini akan ditulis menurut sistematika penulisan secara umum yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada Bab I menjelaskan tentang latar belakang perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada Bab II ini menjelaskan tentang teori – teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Pada Bab III ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.
- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
Pada Bab IV akan dibahas mengenai hasil pengujian kekerasan yang diambil pada *base metal*, *weld metal*, dan HAZ dengan titik titik yang berbeda.
- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Pada Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran konstruktif untuk penelitian selanjutnya.
- **DAFTAR PUSTAKA**
- **LAMPIRAN**
- **BIODATA PENULIS**

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengelasan

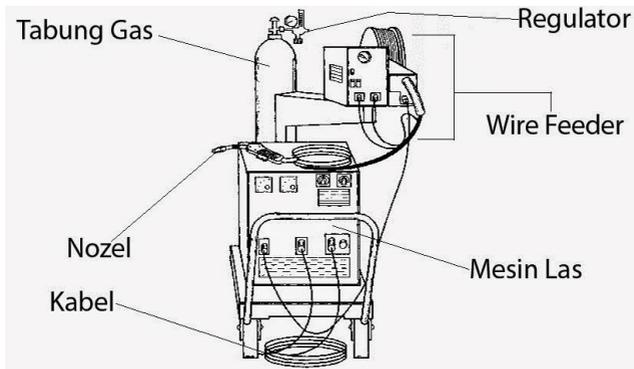
Definisi pengelasan menurut AWS (*American Welding Society*) adalah proses penggabungan yang menghasilkan peleburan material dengan cara memanaskan material tersebut hingga temperature pengelasan, dengan atau tanpa tekanan atau hanya menggunakan tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Dari definisi tersebut perlu ditinjau lebih lanjut mengenai bagian yang penting sebagai berikut.

1. Yang dimaksud dengan peleburan material adalah tidak adanya gangguan fisik dalam penyatuan bagian yang disambung, bukan seperti pemasangan yang menggunakan baut atau keeling yang pasti menyisakan celah.
2. Temperature pengelasan adalah suhu yang diperlukan untuk proses penyambungan, tidak selalu diartikan temperature leleh (*melting point*) dari material yang disambung. Temperature yang digunakan menyesuaikan dengan jenis yang akan dilakukan, dan berkaitan dengan perlu atau tidaknya tekanan pada proses pengelasan tersebut.
3. Perlu atau tidaknya tekanan tergantung dari jenis pengelasan yang akan digunakan dan temperature penyambungan pada proses pengelasan. Secara umum proses pengelasan dapat dilakukan dalam jangkauan yang luas mulai dari tanpa tekanan dengan temperature leleh material, hingga tekanan yang besar sehingga mampu menyebabkan deformasi plastis tanpa perlu memanaskan material sampai temperature lelehnya.
4. Perlu atau tidaknya penggunaan logam pengisi tergantung dari jenis pengelasan. Apabila menggunakan logam

pengisi, sebaiknya digunakan logam pengisi dari jenis yang sama dengan material yang sama.

2.1.1 Las GMAW/MAG

Las MAG (*Metal Active Gas*) yaitu merupakan proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu melalui proses pencairan setempat, dengan menggunakan elektroda gulungan (*filler metal*) yang sama dengan logam dasarnya (base metal) dan menggunakan gas pelindung (*Active gas*). Las MAG (*Metal Active Gas*) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon dan CO₂ sebagai pelindung busur dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer.



Gambar 2.1 Las GMAW

2.1.2 Proses Mesin Las MAG (Metal Active Gas)

Proses pengelasan MAG (*Metal Active Gas*), panas dari proses pengelasan ini dihasilkan oleh busur las yang terbentuk diantara elektroda kawat (*wire electrode*) dengan benda kerja.

kontaminasi selama pengelasan, terutama dari atmosfer dan pengotoran daerah las. Fungsi utama gas pelindung adalah untuk membentuk sekeliling daerah pengelasan dengan media pelindung yang tidak bereaksi dengan daerah las tersebut. Sedangkan fungsi utama dari gas pelindung adalah mengusir udara disekitar busur dan kolam las agar tidak bersinggungan dengan cairan metal untuk mencegah terjadinya proses oksidasi metal tersebut oleh oksigen dalam udara. Jenis gas pelindung yang digunakan untuk mengelas baja karbon dan baja paduan adalah sebagai berikut:

a. Gas Argon

Argon adalah jenis gas pelindung yang digunakan secara sendiri atau dicampur dengan gas lainnya untuk mencapai karakteristik busur yang diinginkan pada proses pengelasan logam fero maupun non fero. Hampir semua proses pengelasan GMAW dapat menggunakan gas argon atau campuran gas argon untuk mendapatkan mampu las, property mekanik, karakteristik busur dan produktifitas yang baik. Gas argon digunakan secara sendiri tanpa campuran untuk proses pengelasan logam non fero, seperti aluminium, paduan nikel, paduan tembaga, dan lainnya. Gas argon dapat menghasilkan stabilitas busur yang baik pada pengelasan busur spray, dan menghasilkan penetrasi serta bentuk bead weld yang baik. Ketika menggunakan logam fero, gas argon biasanya dicampur dengan gas lainnya seperti oksigen, dan helium.

b. Gas Helium

Helium adalah gas pelindung yang digunakan untuk proses pengelasan yang membutuhkan masukan panas (*heat input*) yang lebih besar untuk

meningkatkan bead weld, penetrasi yang lebih dalam dan kecepatan pengelasan yang lebih cepat.

c. Karbon Dioksida

Gas karbon dioksida umumnya digunakan untuk proses pengelasan logam fero. Kelebihan dari gas pelindung karbon dioksida adalah kecepatan pengelasan yang cepat dan penetrasi yang lebih dalam. Gas karbon dioksida juga dapat dicampur dengan gas pelindung lainnya untuk menambah karakteristik kimia gas tersebut.

2.1.4 Parameter Pengelasan

Setelah menentukan bahan, elektroda, dan gas pelindung yang akan digunakan. Maka kondisi pengoperasian harus dipilih. Parameter yang paling penting dalam pengelasan adalah arus las secara langsung.

a. Pengaturan Besar Arus Las

Besarnya arus dan tegangan pengelasan adalah tergantung pada tebal bahan dan diameter kawat elektroda serta posisi pengelasan atau berdasarkan WPS (*Welding Procedure Specification*) pekerjaan tersebut. Arus las adalah arus listrik yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan. Dalam proses pengelasan MAG (*Metal Active Gas*), arus las secara langsung berhubungan dengan kecepatan *wirefeed*. Jika arus las dinaikkan maka kecepatan *wirefeed* juga harus naik. Hubungan ini biasanya disebut karakteristik *burn-off*.

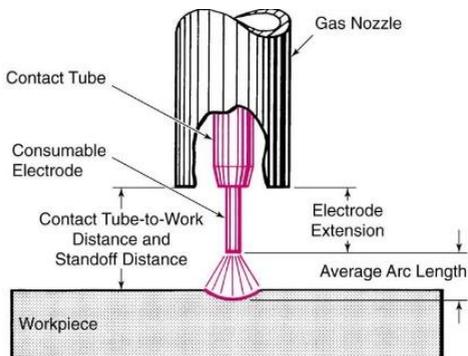
Tabel 2.1 Ketentuan Umum Penyetelan Besaran Arus dan Besaran Tegangan Berdasarkan Diameter Filler

DEPOSITION TABLE - Spray Transfer Welding Parameters							
Diameter in (mm)	Electrode Unit in/lb (m/kg)	Amps	Volts	Wire Feed Speed ipm (cm/min)	Opt. Amps	Opt. Volts	Opt. Wire Feed Speed ipm (cm/min)
.035 (0.9)	3670 (206)	180 - 230	25-27	400 - 550 (1016 - 1397)	200	26	480 (1219)
.045 (1.2)	2220 (124)	260 - 340	25-30	300 - 500 (762 - 1270)	300	27	350 (889)

DEPOSITION TABLE - Shortarc Transfer Welding Parameters							
Diameter in (mm)	Electrode Unit in/lb (m/kg)	Amps	Volts	Wire Feed Speed ipm (cm/min)	Opt. Amps	Opt. Volts	Opt. Wire Feed Speed ipm (cm/min)
.035 (0.9)	3670 (206)	90 - 160	15 - 19	180 - 300 (457 - 762)	130	17	250 (635)
.045 (1.2)	2220 (124)	130 - 200	17 - 19	125 - 200 (318 - 508)	160	18	150 (381)

b. Elektroda Ekstensi

Ekstensi elektroda atau biasa disebut dengan *stick-out* adalah jarak anatara titik terujung dari kontak listrik, biasanya ujung dari pipa kontak, dengan ujung dari elektroda. Jarak tersebut akan mempengaruhi besarnya arus listrik yang dibutuhkan untuk melelehkan elektroda.



Gambar 2.3 Skema Elektroda Ekstensi

c. Tegangan Las

Tegangan busur las adalah tegangan diantara ujung elektroda dan benda kerja. Tegangan listrik pada pengelasan memegang peranan penting pada jenis transfer logam yang diinginkan. Transfer logam arus pendek membutuhkan tegangan yang rendah, sementara transfer logam spray membutuhkan tegangan yang lebih tinggi lagi. Jika arus listrik dinaikkan, maka tegangan las juga harus dinaikkan untuk menghasilkan kestabilan.

d. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan berbanding secara linier dengan pergerakan busur las sepanjang benda kerja. Parameter ini biasanya dinyatakan dalam meter per menit. Pernyataan yang berhubungan dengan kecepatan pengelasan yaitu:

1. Dengan meningkatnya ketebalan material, kecepatan las harus diturunkan.
2. Dengan material dan jenis penyambungan yang sama, jika arus listrik meningkat maka kecepatan pengelasan juga harus ditingkatkan.
3. Kecepatan pengelasan yang lebih tinggi dapat menggunakan teknik pengelasan maju (*forehand technique*).

2.1.5 Peralatan Las MAG

Peralatan utama adalah peralatan yang berhubungan langsung dengan proses pengelasan, yakni terdiri dari:

1. Mesin Las

Sistem pembangkit tenaga pada mesin MAG (*Metal Active Gas*) pada prinsipnya adalah sama dengan mesin SMAW yang dibagi menjadi dua golongan, yaitu: Mesin las arus bolak balik

(*Alternating Current/AC Welding Machine*) dan Mesin las arus searah (*Direct Current/DC Welding Machine*). Namun sesuai dengan tuntutan pekerjaan dan jenis bahan yang di las, maka secara luas proses pengelasan dengan MAG (*Metal Active Gas*) adalah menggunakan mesin las DC.

Mesin las MAG menggunakan mesin las DC, umumnya berkemampuan sampai 250 ampere. Dilengkapi dengan sistem kontrol, penggulung kawat gas pelindung, sistem pendingin dan rangkaian lain. Sumber tenaga untuk las MAG (*Metal Active Gas*) merupakan mesin las bertegangan konstan. Tenaga yang dikeluarkan dapat berubah-ubah sendiri sesuai dengan panjang busur. Panjang busur adalah jarak antara ujung elektroda ke benda kerja. Panjang busur ini bisa di atur. Bila busur berubah menjadi lebih pendek dari setelan semula, maka arus bertambah dan kecepatan kawat berkurang. Sehingga panjang busur kembali semula.

Sebaliknya bila busur berubah menjadi lebih panjang, arus berkurang, kecepatan kawat elektroda bertambah. Dengan sistem otomatis seperti ini, mesin akan mengatur sendiri, maka panjang busur menjadi konstan dan hasil pengelasan akan tetap baik.



Gambar 2.4 Mesin Las MAG

Umumnya mesin las arus searah (DC) mendapatkan sumber tenaga listrik dari trafo las (AC) yang kemudian diubah menjadi arus searah dengan voltage yang konstan (*constant-voltage*). Pemasangan kabel-kabel las (pengutuban) pada mesin las arus searah dapat diatur atau di bolak-balik sesuai dengan keperluan pengelasan dengan cara:

- a. Pengutuban Langsung (Direct Current Straight Polarity/DCSP/DCEN)

Dengan pengutuban langsung berarti kutub positif (+) mesin las dihubungkan dengan benda kerja dan kutub negative (-) dihubungkan dengan kabel elektroda. Dengan hubungan seperti ini panas pengelasan yang terjadi 1/3

bagian panas memanaskan elektroda sedangkan 2/3 bagian memanaskan benda kerja.

b. Pengkutuban Terbalik (Direct Current Reverse Polarity/DCRP/DCEP)

Pada pengkutuban terbalik, kutub negative (-) mesin las dihubungkan dengan benda kerja, dan kutub positif (+) dihubungkan dengan elektroda. Pada hubungan semacam ini panas pengelasan yang terjadi 1/3 bagian panas memanaskan benda kerja dan 2/3 bagian memanaskan elektroda.

2. Unit Pengontrol Kawat Elektroda (Wire Feeder)

Alat pengontrol kawat elektroda (*wire feeder*) adalah alat atau perlengkapan utama pada pengelasan dengan MAG (*Metal Active Gas*). Alat ini biasanya tidak menyatu dengan mesin las, tapi merupakan bagian yang terpisah dan ditempatkan berdekatan dengan pengelasan.



Gambar 2.5 *Wire Feeder*

Fungsinya adalah sebagai berikut:

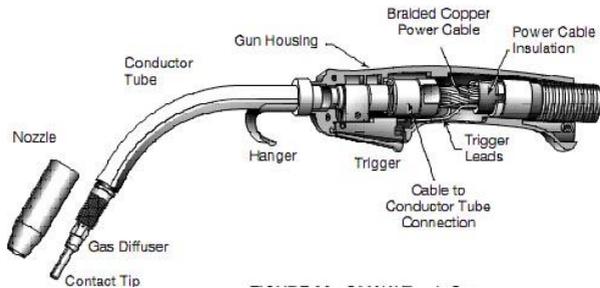
- a. Menempatkan rol kawat elektroda.
- b. Menempatkan kabel las termasuk *welding gun* dan *nozzle*.
- c. Mengatur pemakaian kawat elektroda (sebagian tipe mesin unit pengontrolnya terpisah dengan *wire feeder*).
- d. Mempermudah proses pengelasan, dimana *wire feeder* tersebut dapat dipindah-pindah sesuai kebutuhan.

Pada dasarnya terdapat tiga jenis feeder yaitu: jenis dorong, jenis tarik, dan jenis dorong tarik. Perbedaannya adalah dari cara menggerakkan elektroda dari spool ke touch. Kecepatan dari *wire feeder* dapat diatur mulai 1 hingga 22 m/menit pada mesin las MIG performa tinggi, kecepatannya dapat mencapai 30 m/menit . Untuk jenis rolnya, *wire feeder* dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem dua rol dan sistem empat rol. Sedangkan menurut bidang kontaknya rol dari *wire feeder* dapat dibagi menjadi jenis trapezium halus, jenis setengah lingkaran halus, dan jenis setengah lingkaran kasar.

3. Welding Gun

Pemegang elektroda untuk proses GMAW ini disebut juga "*gun*", karena banyak diantaranya berbentuk seperti pistol, seperti pada penggunaan dalam proses GMAW sering disebut "*torch*". Pemegang elektroda proses GMAW lebih kompleks bila dibandingkan dengan yang digunakan pada proses SMAW. Pertama, selain dipegang elektroda harus maju secara teratur, kedua, pemegang harus

dirancang untuk pengaliran listrik secara teratur. selain dua hal pokok diatas, untuk pemegang elektroda semi otomatis harus mempunyai sakelar untuk mengontrol pangumpuan kawat dan aliran gas, dan sistem untuk pendinginan dengan air atau udara. Pemegang elektroda ini dirancang untuk pemakaian secara manual yaitu untuk pengelasan semi otomatis atau secara otomatis.



Gambar 2.6 Welding Gun Las MAG

4. Kabel Massa dan Kabel Elektroda (*Ground Cable and Electrode Cable*)

Kabel massa dan kabel elektroda berfungsi menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel massa dan kabel elektroda ini harus cukup besar untuk mengalirkan arus listrik, apabila kurang besar akan menimbulkan panas pada kabel dan merusak isolasi kabel yang akhirnya membayangkan pengelasan. Sesuai dengan peraturan, kabel di antara mesin tempat kerja sebaiknya sependek mungkin. Menggunakan satu kabel atau tanpa sambungan, jika jaraknya kurang dari 35 kaki. Jika memakai lebih

dari satu kabel, sambungannya harus baik dengan menggunakan *lock-type cable connectors*. Sambungan kabel minimal 10 kaki menjahui perator.



Gambar 2.7 Kabel Massa dan Kabel Elektroda

5. Klem Massa (*Claim Massa*)

Klem massa berguna untuk menghubungkan kabel massa dari mesin las dengan material biasanya klem massa mempunyai per untuk penjepitnya. Klem ini sangat penting, karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil sehingga pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.



Gambar 2.8 Klem Massa

6. Regulator Gas Pelindung

Fungsi utama dari regulator adalah untuk mengatur pemakaian gas. Untuk pemakaian gas pelindung dalam waktu yang relative lama, terutama gas CO_2 diperlukan pemanas (*heater vaporizer*) yang dipasang antara silinder gas dan regulator. Hal ini diperlukan agar gas pelindung tersebut tidak membeku yang berakibat terganggunya aliran gas.



Gambar 2.9 Cilinder dan Regulator Gas Pelindung

7. Pipa Kontak

Pipa pengarah elektroda biasa juga disebut pipa kontak. Pipa kontak terbuat dari tembaga, dan berfungsi untuk membawa arus listrik ke elektroda yang bergerak dan mengarahkan elektroda tersebut ke daerah kerja pengelasan. *Torch* dihubungkan dengan sumber listrik pada mesin las dengan menggunakan kabel. Karena elektroda harus dapat bergerak dengan bebas dan melakukan kontak listrik dengan baik, maka besarnya diameter lubang dari pipa kontak sangat berpengaruh.



Gambar 2.10 Pipa Kontak

8. Nozzle Gas Pelindung

Nozzle gas pelindung akan mengarahkan jaket gas pelindung kepada daerah las. *Nozzle* yang lebih besar akan digunakan untuk pengelasan dengan arus

listrik yang tinggi sedangkan *nozzle* yang lebih kecil akan digunakan untuk pengelasan yang lebih kecil.



Gambar 2.11 Nozzle Gas Pelindung

2.1.6 Kelebihan dan Kekurangan Las MAG

1. Kelebihan Las MAG
 - a. Sangat efisien dan proses pengerjaan cepat.
 - b. Dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan.
 - c. Tidak menghasilkan slag atau terak, layaknya terjadi pada Las SMAW.
 - d. Memiliki angka deposisi (*deposition rates*) yang lebih tinggi dibandingkan SMAW
 - e. Membutuhkan kemampuan operator yang baik.

- f. Proses pengelasan MAG sangat cocok untuk pekerjaan konstruksi.
 - g. Membutuhkan sedikit pembersihan post weld setelah pengelasan.
2. Kelemahan Las MAG
- a. Kawat pengumpan (*wire feeder*) yang memerlukan pengontrolan yang continue.
 - b. Sewaktu-waktu dapat terjadi pembakaran kembali (*burn back*)
 - c. Cacat las porosity sering terjadi akibat penggunaan kualitas gas pelindung yang kurang baik.
 - d. Busur yang tidak stabil, akibat penggunaan kualitas gas akibat keterampilan operator yang kurang baik.
 - e. Pada awalnya set-up pengelasan merupakan permulaan yang sulit.

2.3 Logam Induk

Pada proses pengelasan tidak terlepas dari benda yang akan disambung atau yang biasanya dikenal dengan *base metal* atau *parent material*. Pada proses pengelasan *base metal* berupa baja baik karbon rendah sampai campuran. Logam baja sendiri dihasilkan dari pengolahan lanjut besi kasar pada dapur converter *Siemens Martin*/dapur listrik, dimana hasil pengolahan dari dapur-dapur tersebut menghasilkan baja karbon yang mempunyai kandungan karbon maksimum 1,7% C. Baja karbon sangat banyak jenisnya, dimana komposisi kimia, sifat mekanis, ukuran, bentuk, dan lain-lain dispesifikasikan untuk masing-masing penggunaan pada Standart Industri Jepang (JIS). Adapun pembagian jenis-jenis baja karbon:

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua karbon, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.

2. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3% - 0,6% C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas reggang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik. Baja karbon rendah dapat digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

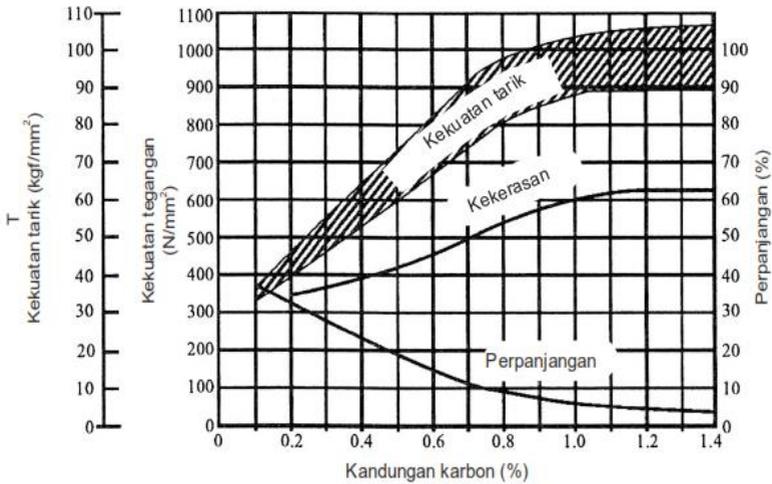
Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6% - 2,0% C dan memiliki tahanan panas yang tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik yang paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji dan lain-lain.

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% sampai 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% sampai 0,6%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% sampai 2,0%	Baja rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur

2.3.1 Kandungan karbon

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik elastisitas dan kekerasan tetapi menurunkan *machineability* dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah.



Gambar 2.12 Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Selain karbon, terdapat beberapa kandungan kimia pada baja. Kandungan-kandungan yang ada pada baja tersebut memiliki fungsi atau manfaat yang berbeda. Hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan baja untuk dilas. Berikut kandungan-kandungannya.

Tabel 2.3 Karakteristik dari Lima Elemen pada Baja

Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tetapi	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las

		mengurangi kemuluran.	yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh

			lebih dari 0,04%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

2.3.2 Material SA-36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material plat SA-36. Material SA-36 sendiri merupakan baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon 0.12% sesuai dengan *mill certificate* bahan dan memiliki kekuatan luluh minimal 36 ksi atau setara dengan 249 MPa. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.4 Nilai *Chemical Composition* dalam Persen

C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni
$x10^{-2}$			$x10^{-3}$			$x10^{-3}$		
12	23	74	13	8	1	2	0	2

Tabel 2.5 Sifat Mekanik SA 36

Standard	Grade	Mechanical properties					
		Tensile test (transverse)			Impact test		
		Yield strength MPa	Tensile strength MPa	Elongation %	Temp. °C	Average energy J	
				vert.	trans.		
GB/T 700	Q235B	≥235	370-500	≥26	+20	≥27	-
JIS G3101	SS400	≥235	400-510	≥21	-	-	-
ASTM A36	A36	≥250	400-550	≥23	-	-	-
ASTM A283	Gr.C	≥205	380-515	≥22	-	-	-
EN10025	S235JR	≥235	350-510	≥26	+20	≥27	-

2.4 Elektroda

Hasil maksimal akan dapat dicapai apabila jenis kawat elektroda yang digunakan sama dengan jenis logam yang dilas. Bentuk kawat elektroda yang digunakan pada MAG (*Metal Active Gas*) secara umum adalah *solid wire* dan *flux core wire*. Dimana penggunaan kedua tipe tersebut sangat tergantung pada jenis pekerjaan. *Solid wire* digunakan secara luas untuk mengelas konstruksi ringan sampai sedang dan dioperasikan pada ruangan yang relative tertutup sehingga gas pelindungnya tidak tertiup oleh angin. Sedangkan *flux core wire* lebih banyak dipakai untuk

pengelasan kontruksi sedang sampai berat dan tempat pengelasannya memungkinkan lebih terbuka (ada sedikit tiupan angin). Untuk menjaga agar kawat elektroda tidak rusak atau berkarat. Terutama dalam penyimpanan, maka perlu dikemas. Kemasan/pengepakan yang banyak dijumpai dalam perdagangan adalah berupa gulungan/rol dimana berat gulungan kawat yang banyak digunakan adalah 15 kg, 17 kg, dan 30 kg.

2.4.1 Elektroda AWS A5.18 ER70S-6

Elektroda AWS A5.18 ER70S-6 adalah sejenis kawat las yang memiliki kecepatan leleh kawat las relative cepat ketika proses pengelasan. Elektroda ini memiliki busur stabil, spatter rendah dan penampilan cantik. Tahan korosi yang baik pada permukaan bahan dasar sehingga menurunkan probabilitas formasi *blowhole*. Dapat digunakan dalam semua posisi pengelasan dan memiliki kinerja yang baik. Elektroda ini menggunakan CO₂ atau Ar + CO₂ sebagai gas perlindungan. Berikut ini komposisi kimia untuk elektroda AWS A5.18 ER70S-6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Elektroda AWS A5.18 ER70S-6

Elemen	C	MN	Si	P	S	Cu
Standar	0.06-0.15	1,85 1,40	0,80-1,15	≤0.025	≤0.025	≤0.50
Logam	0,08	1,52	0,90	0.014	0.010	0.17

2.4.2 Karakteristik Listrik (*Electrical Characteristic*)

Sumber arus listrik dinyatakan dalam arus AC (*Alternating Current*) atau arus DC (*Direct Current*). Jika Dc

polaritasnya juga harus ditentukan untuk menentukan sumber arus listrik apa dan polaritas yang mana yang dipakai perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

Tabel 2.7 Arus DC (*Direct Current*)

<i>Voltage Drop</i>	Sensitive terhadap Panjang kabel, kabel sependek mungkin.
<i>Current</i>	Dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil.
<i>Elektroda</i>	Semua jenis elektroda dapat dipakai.
<i>Arc Starting</i>	Lebih mudah, terutama untuk arus kecil.
<i>Pole</i>	Dapat dipertukarkan.
<i>Arc Bow</i>	Sensitive terhadap bagian-bagian pada ujung-ujung, sudut-sudut atau bagian yang banyak lekuk-lekuknya.

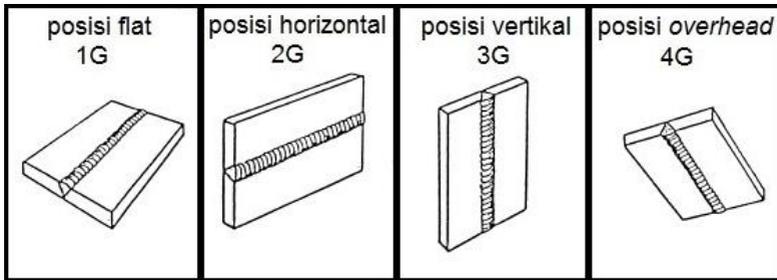
Tabel 2.8 Arus AC (*Alternating Current*)

<i>Voltage Drop</i>	Panjang kabel tidak banyak pengaruhnya.
<i>Current</i>	Kurang cocok untuk low current.
<i>Elektroda</i>	Tidak semua jenis elektroda dapat dipakai.
<i>Arc Starting</i>	Lebih sulit terutama untuk diameter elektroda kecil.
<i>Pole</i>	Tidak dapat dipertukarkan.
<i>Arc Bow</i>	Tidak merupakan masalah.

2.4.3 Posisi pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas.

Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:



Gambar 2.13 Posisi pada Pengelasan

Keterangan posisi pengelasan:

1G = *All position*

2G = *Horizontal*

3G = *Vertikal down*

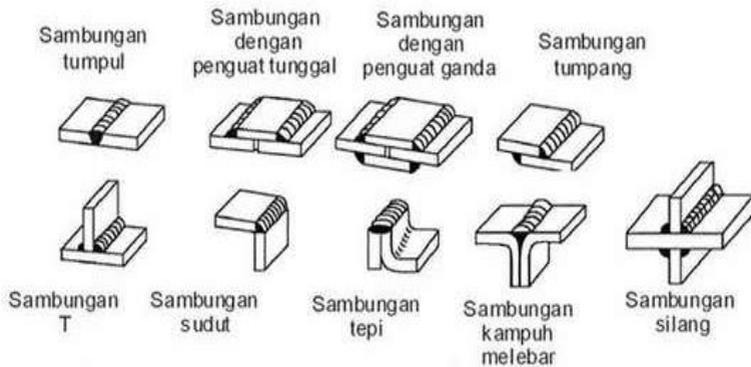
4G = *Over head*

2.4.4 Klasifikasi Las Berdasarkan Sambungan dan Bentuk Alurnya

A. Sambungan Las Dasar

Sambungan las dasar pada konstruksi baja pada dasarnya dibagi menjadi sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar di atas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi yang ditunjukkan pada gambar 2.14 dibawah ini yaitu jenis-jenis sambungan las dasar terdiri dari sambungan tumpul, sambungan dengan penguat tunggal, sambungan dengan penguat ganda, sambungan tumpang, sambungan T, sambungan sudut, sambungan tepi,

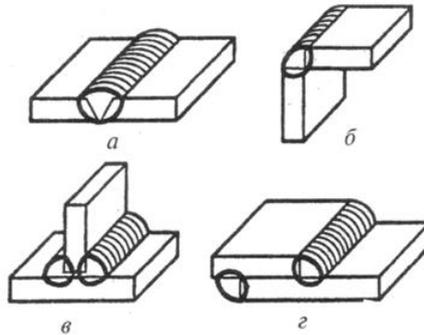
sambungan kampuh melebar, dan sambungan silang.



Gambar 2.14 Sambungan Las Dasar

B. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan las yang paling efisien, sambungan ini terbagi menjadi sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian. Sambungan penetrasi penuh terbagi lagi menjadi sambungan tanpa plat pembantu dan sambungan plat pembantu. Bentuk alur dalam sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan jaminan sambungan.



Gambar 2.15 Sambungan Tumpul

2.4.5 *Heat Input*

Heat input adalah besarnya energi panas setiap satuan Panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus listrik pengelasan, tegangan (*voltase*) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las, dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*.

Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Masukan panas: } HI = \frac{E \cdot I \cdot t}{v}$$

Dimana:

HI = Masukan panas atau energi (J/mm)

I = Arus (A)

E = Voltase (volt)

V = Jarak/waktu (mm/s)

Dari persamaan diatas itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.4.6 Daerah Pengaruh Panas HAZ (*Heat Affected Zone*)

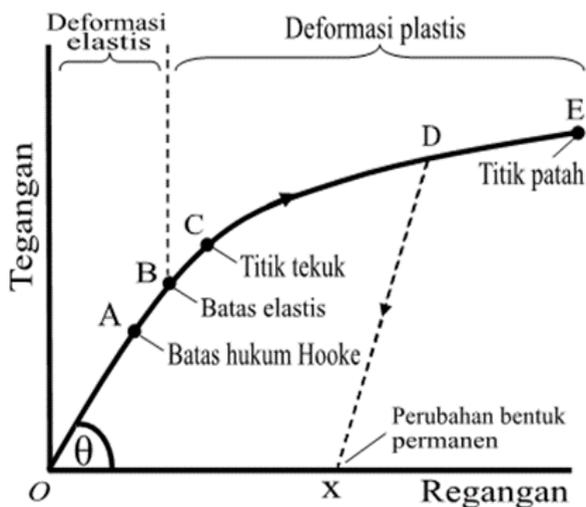
Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu pertama daerah logam induk merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah daerah pengaruh panas atau disebut dengan *heat affected zone* (HAZ) merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan, daerah ketiga adalah daerah las merupakan daerah terjadinya pencairan logam dengan cepat kemudian mengalami pembekuan.

2.5 Pengujian

Seluruh specimen yang selesai dilakukan pengelasan akan dipotong sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian sifat mekanik melalui uji tarik, uji kekerasan, dan pengamatan mikrostruktur.

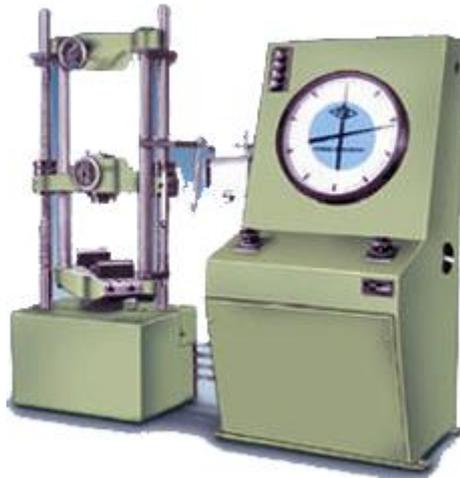
2.5.1 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *strees-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Pengujian tarik untuk mengetahui berapa besar nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik pada arah yang berlawanan arah pada salah satu ujung benda. Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya deformasi pada bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan lemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Pada pengujian tarik beban diberikan secara continue dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan dan regangan.



Gambar 2.16 Grafik tegangan Regangan

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam induk setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai benda uji putus atau patah. Peralatan yang digunakan untuk pengujian tarik adalah alat uji tarik dan jangka sorong.



Gambar 2.17 Mesin Uji Tarik

Langkah-langkah Pengujian Tarik:

1. Tancapkan stop kontak ke PLN.
2. Tekan power on/off.
3. Hidupkan computer.
4. Pilih software U 60.
5. Tekan up/down untuk mengatur posisi benda kerja.
6. Pemasangan benda kerja.
7. Setting handle.
8. Tekan up/down untuk mengatur benda kerja.
9. Klik start test atau F3 pada layer monitor untuk memulai pengujian.

10. Setelah benda kerja putus data akan terlihat paada monitor.
11. Lakukan hal yang sama pad specimen lain.

2.5.2 Uji Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah benda terhadap penetrasi/tekanan dari bahan lain yang lebih keras. Nilai kekerasan dapat diketahui dengan metode diantaranya *rockwell tes*, *brinnel test*, dan *vikers test*.

Pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada blenda uji pada masing-masing daerah yaitu daerah-daerah lasan, HAZ, dan logam induk. Pengujian kekerasan rockwell A dengan menggunakan penetrator kerucut intan 120^0 , beban penekanan 60 kg, lama waktu penekanan 5 detik.



Gambar 2.18 Mesin Uji Kekerasan

Langkah -langkah pengujian kekerasan:

1. Pemasangan landasan untuk benda kerja.
2. Pemasangan indentor.
3. Letakkan benda kerja dilandasan.
4. Pengaturan beban sesuai dengan standard pengujian.

5. Putar handle landasan sampai jarum minor (jarum kecil) ketitik merah dan jarum mayor (jarum besar) keposisi nol.
6. Tarik handle beban sampai jarum indicator berubah.
7. Tarik handle indicator.
8. Kembalikan handle indicator kemudian data dapat dibaca pengujian ini dilakukan sebanyak 12 penekanan pada daerah lasan, daerah HAZ, dan daerah logam induk.

2.5.3 Pengamatan Mikrostruktur

Perlakuan panas yang terjadi pada logam akan mempengaruhi mikrostrukturnya. Perubahan mikrostruktur dapat berupa perubahan fase yang terbentuk dan distribusinya serta ukuran butir. Adanya perubahan mikrostruktur pada umumnya menimbulkan konsekuensi berubahnya sifat mekanik. Dari pengamatan mikrostrukturnya secara umum sifat mekanik dari suatu logam dapat diprediksi.

Hasil dari pengamatan struktur mikro ini akan diperlihatkan berbagai fase untuk diidentifikasi. Penyebaran dan bentuk fase dapat dipelajari dan jika sifat-sifatnya diketahui dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi tentang sifat-sifat specimen. Namun pada saat ini akan dilakukan pengamatan struktur mikro pada suatu specimen. Pada pengamatan struktur mikro umumnya yang diamati adalah ukuran butiran, bentuk butiran, dan larutan padat yang terbentuk, semakin halus dan kecil bentuk butiran, kekuatan mekanis akan bertambah baik. Larutan padat yang tersebar merata, maka kekuatan tariknya akan bertambah baik pula.

Langkah-langkah pengujian struktur mikro yaitu:

- a. Sebelum specimen yang akan dilakukan pengujian dihaluskan dan diratakan permukaannya terlebih dahulu agar dapat dilihat struktur mikronya.

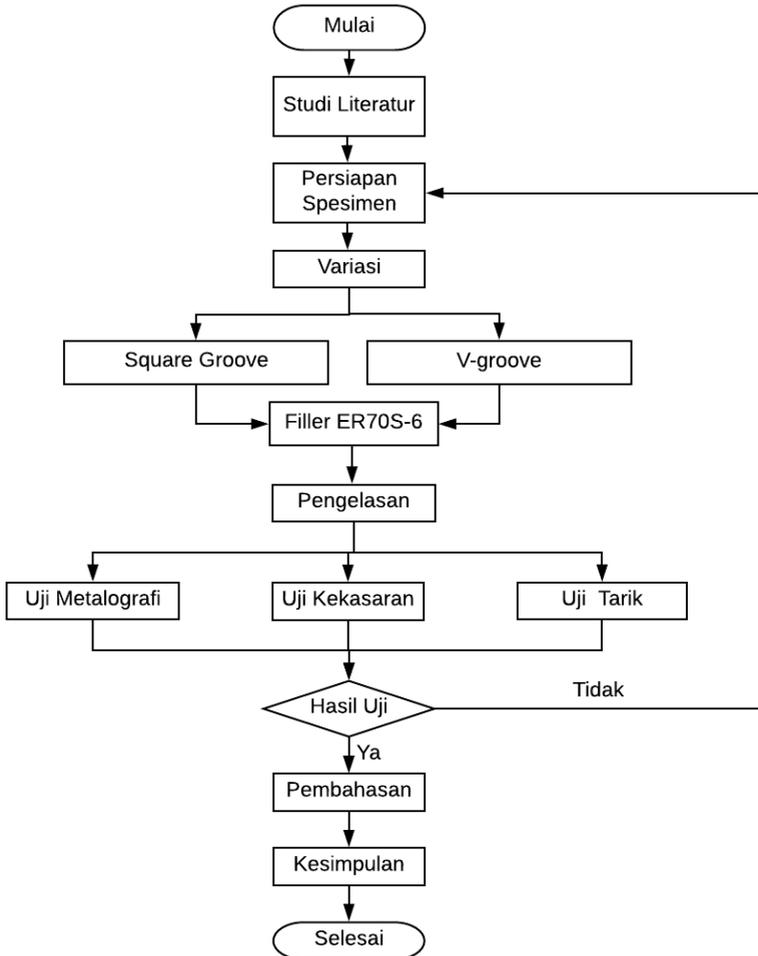
- b. Setelah itu permukaan yang telah selesai dihaluskan dan diratakan kemudian di etsa menggunakan HF (*hydrofluoric acid*), HCl (*hydrogenchloride*) dan HNO₃ (*nitric acid*) benda di celupkan selama kurang lebih sepuluh detik kemudian dibilas menggunakan air dan keringkan.
- c. Benda uji yang telah di etsa diletakkan diatas landasan (*anvil*) tegak lurus dengan lensa mikroskop.
- d. Pembesaran yang dipakai 500X dan 1000X.
- e. Menaikkan landasan *anvil* atau digeser sampai benda kerja uji terfokus ke lensa dan mendapatkan hasil gambar yang bagus, setelah focus kemudian dilakukan pemotretan.
- f. Pengambilan gambar dilakukan pada tiga lokasi yang berbeda pada satu permukaan saja yaitu daerah logam induk, HAZ, dan daerah lasan.
- g. Setelah selesai pemotretan benda dilepas dari landasan.



Gambar 2.19 Alat Uji Mikrostruktur

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui perbandingan antara pengelasan square groove dan V-groove terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur pada daerah pengelasan. Pengujian ini akan dilakukan di Workshop Departemen Teknik Mesin Industri ITS Surabaya.

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Kekuatan tarik sambungan las pada pengelasan sudut groove di uji dengan uji tarik sesuai standard.
2. Kekerasan pada logam las, HAZ, logam induk dengan di uji kekerasan sesuai standard.
3. Mikrostruktur yang diamati terutama di bagian sambungan las.

3.2.1 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material baja SA-36
2. Filler AWS ER70S-6

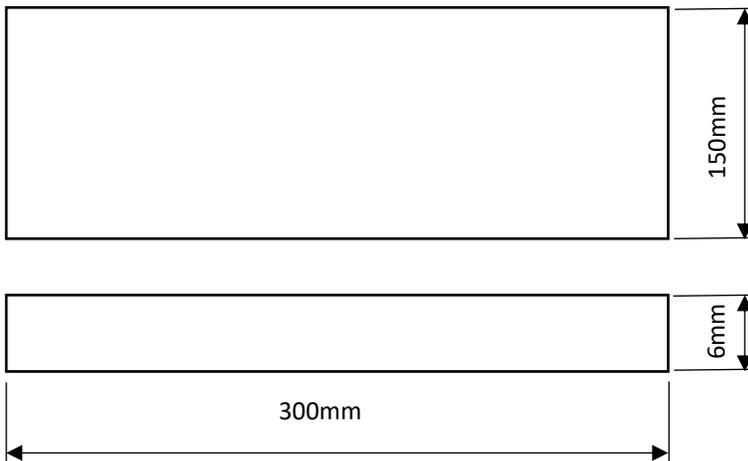
Alat yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jangka sorong, mistar, dan stopwatch. Alat ini digunakan sebagai alat bantu pengukuran dimensi specimen, dan mengukur kecepatan pengelasan.
2. Ragum, gerinda tangan, gerinda potong. Alat ini digunakan untuk memotong specimen, membentuk specimen siap uji
3. Spidol kertas gosok, dan alcohol. Alat ini digunakan untuk penomoran specimen dan menghaluskan permukaan specimen untuk persiapan pengamatan mikrostruktur.
4. Mesin las GMAW, digunakan untuk pengelasan bahan.

5. Mikroskop digital, mesin identasi dan mesin uji tarik. Alat ini digunakan untuk pengamatan mikrostruktur, uji kekerasan, dan pengujian tarik.

3.2.2 Persiapan Spesimen

Plat baja SA-36 dibentuk dimensinya menjadi 300mm x 150mm x 6mm

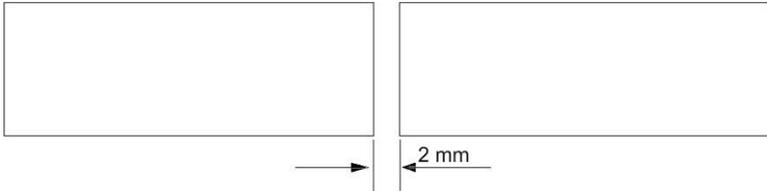


Gambar 3.2 Dimensi Plat SA-36

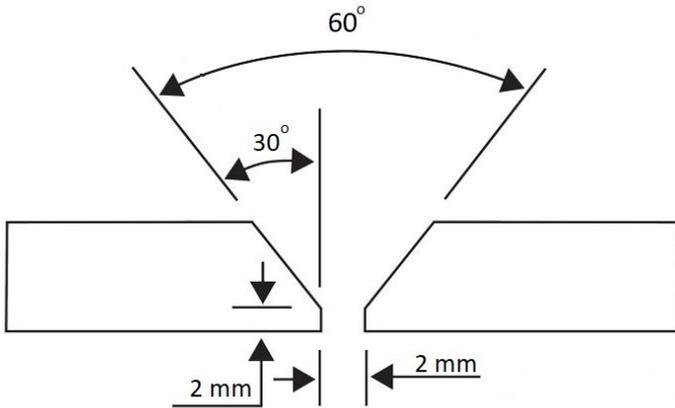
Setelah itu sisa pemotongan dan kotoran lain dari permukaan yang akan dilas di bersihkan dulu dengan gerinda tangan. Siapkan dua plat untuk pembuatan square groove dan dua plat untuk pembuatan V-groove. Plat siap untuk dilakukan pengelasan GMAW.

3.3 Pembuatan Groove

Pada pembuatan square groove dan V-groove ini dilakukan manual sesuai pada gambar berikut ini:



Gambar 3.3 Pembuatan Square Groove



Gambar 3.4 Pembuatan V-groove

3.4 Proses Pengelasan

Setelah plat dilakukan pembuatan square groove dan V-groove sesuai standard ASME maka selanjutnya plat di las GMAW menggunakan filler AWS ER70S-6 dengan parameter pengelasan digunakan $I = 140-180$ A dan CO_2 .

3.4.1 Pengelasan Plat Square Groove

Pengelasan plat ini dilakukan di Karoseri SKA dengan cara welder yang biasa dilakukan sehari-hari saat proses produksi menghasilkan lasan seperti gambar berikut:



Gambar 3.5 Hasil Las Square Groove

3.4.2 Pengelasan Plat V-groove

Pengelasan V-groove ini merupakan variasi yang dilakukan dengan tujuan memperbaiki kualitas las dengan penetrasi yang lebih sempurna. Sebelum melakukan pengelasan, plat diberi perlakuan berbeda dengan pembersihan permukaan plat dari lapisan terluar plat dengan metode di gerinda. Pada saat pengelasan tetap dikerjakan oleh welder yang sama.

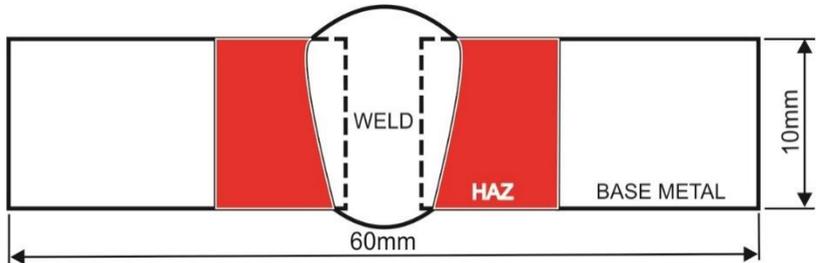


Gambar 3.6 Hasil Las V-groove

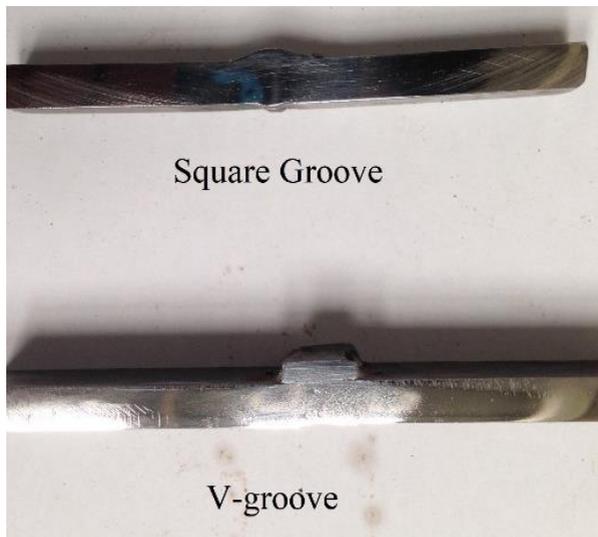
3.5 Pembagian Spesimen

Setelah plat di las kemudian dipotong sesuai dengan ukuran spesimen yang akan digunakan untuk pengujian dan ukuran tersebut mengacu pada ukuran standard pengujian yang telah ditentukan.

3.5.1 Spesimen Uji Metalografi dan Foto Mikro



Gambar 3.7 Ukuran Standard Uji Metalografi dan Foto Mikro



Gambar 3.8 Spesimen Uji Metalografi dan Foto Mikro

3.6 Pengujian

Pada tahap ini spesimen yang telah dipotong sesuai dengan ukuran akan dilakukan pengujian sebagai berikut:

3.6.1 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan benda kerja. Pengujian kekerasan dilakukan 11 titik yaitu pada daerah *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* setiap sample benda.



Gambar 3.11 Alat Uji Kekerasan Rockwell

Merk	: AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading	: Maximum 100 KP Minimum 10 KP
Hrb Load	: 100 KP
Indenter	: Bola Baja 1/16.

Tabel 3.1 Etching Reagent Untuk Melihat Macrostructure

Nama	Komposisi	Durasi	Material
Hydrochloric acid	H ₂ O 50 ml HCl 50 ml	1-3 menit Pada suhu 75°C	Carbon Steel

3.6.2 Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur mengacu pada standar ASTM E 340-001 dilakukan dengan mengetahui titik pasti daerah hasil pengujian kekerasan. Setelah daerah yang ditentukan, maka pada titik yang sama tersebut di etsa menggunakan campuran cairan. Cairan yang digunakan antara lain adalah:

Tabel 3.2 Etching Reagent Untuk Melihat Microstructure

Nama	Komposisi	Durasi	Material
Nital	HNO ₃ 20 ml Alkohol 95% 98 ml	1-3 menit	Carbon Steel

Prosedur pengujian metallography adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji

Benda kerja dibelah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metallography dilakukan pada permukaan dalam spesimen atau bagian yang dibelah.

2. Grinding

Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan menggunakan mesin grinding dengan tingkat kekeasaran gosok mulai dari 200, 500, 1000, 1200 disertai dengan aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melarutkan geram dan permukaan

spesimen tidak panas sehingga mengubah struktur mikronya.

3. Polishing

Penggosokan diatas piringan kain wool yang berputar, disertai taburan bubuk polishing, sampai goresan-goresan akibat proses grinding hilang sehingga permukaan spesimen uji mengkilat.

4. Etching

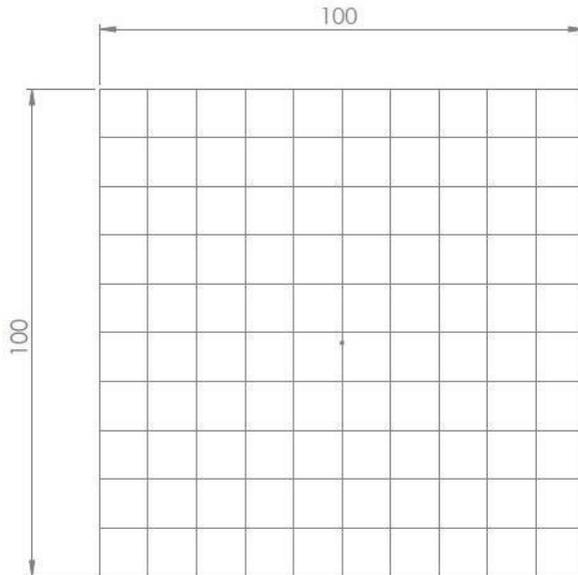
Etching atau proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan etsa (*etsa reagent*) natal dengan HNO_3 20 ml. dengan waktu perendaman selama 1 menit, setelah itu benda dibilas dengan alcohol 98% dan di keringkan menggunakan hair dryer.

5. Pemotretan

Pemotretan dilakukan dibawah mikroskop dengan menggunakan lensa objektif 10x, sedangkan lensa okuler 10x, 20x, 50x, dan 100x sehingga dapat menghasilkan pembesaran 100x, 200x, 500x dan 1000x.

Setelah melakukan tahap-tahap prosedur pengujian mikrostruktur lalu langkah selanjutnya yaitu:

❖ Menghitung Presentase Tiap Microstruktur



Gambar 3.12 Garis Bantu Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro

Sebelumnya hasil foto *metallography test* di crop dengan dimensi (100x100mm). Rumus yang digunakan untuk menentukan presentase tiap struktur mikro yaitu:

$$P_{ms}() : \frac{Q_{ms} ()}{Q_o} \times 100\%$$

Keterangan:

- $P_{Ms} ()$: Presentase Mikrostruktur tertentu (%)
- $Q_{Ms} ()$: Jumlah titik Mikrostruktur tertentu
- Q_o : Jumlah titik total

3.6.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam induk setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai benda uji terputus atau patah. Peralatan yang digunakan untuk pengujian tarik adalah alat uji tarik dan jangka sorong. Mesin yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin uji tarik merk GOTECH buatan Taiwan.

Langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut:

1. Menandai benda kerja las MAG.
2. Menentukan beban yang digunakan yaitu 10000 N, kemudian menentukan panjang total dan lebar benda.
3. Nyalakan saklar power utama sehingga lampu indikator menyala.
4. Pastikan *handle load control* pada posisi stop.
5. Letakkan alat bantu pada permukaan alat uji dan plat penahan.
6. Pastikan jarum penunjuk pada posisi nol.
7. Pastikan pencekam pada *lower crosshead* dan naikkan *lower crosshead* dengan menekan tombol *up crosshead* sehingga dapat mencekam benda uji tarik dengan baik.
8. Atur kecepatan pembebanan.
9. Jarum indicator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusya benda kerja.
10. Catat pembebanan dan pertambahan panjang.
11. Kemudian lepaskan benda uji dari tempat pencekam.

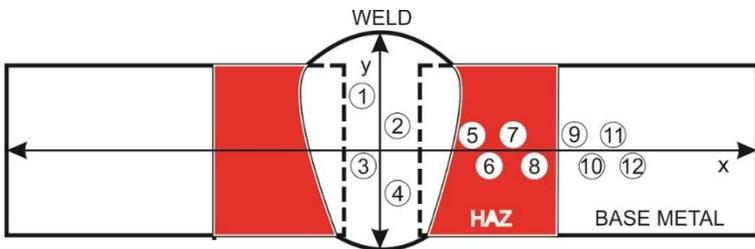
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

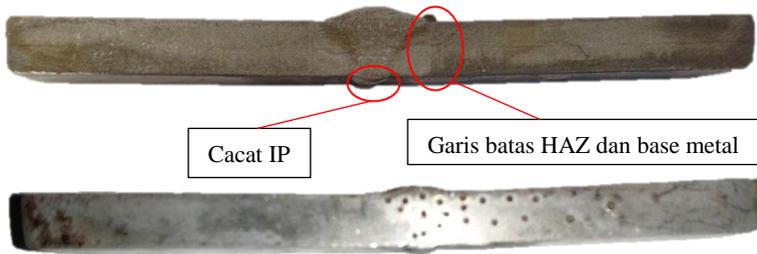
Dari hasil pengujian yang penulis lakukan mengenai sifat mekanik baja SA-36 pengelasan square groove dan V-groove menggunakan las MAG dengan Filler AWS ER70S-6 maka pada bab ini penulis akan memberikan analisis berdasarkan data-data yang telah didapat melalui pengujian uji kekerasan, pengamatan struktur mikro, dan uji tarik. Kemudian data tersebut dipakai sebagai menambah pengetahuan serta untuk mengetahui sifat mekanik hasil pengelasan.

4.1.1 Hasil Pengujian Kekerasan

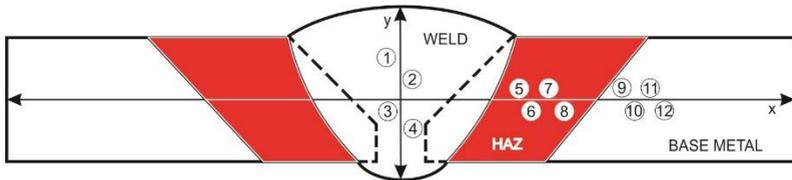
Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian titik pasti batas daerah antara *Base Metal* dengan *Heat Affected Zone* dan juga antara daerah *Heat Affected Zone* dengan daerah *Weld Metal*.



Gambar 4.1 Letak Pengujian Rockwell Square Groove



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Square Groove



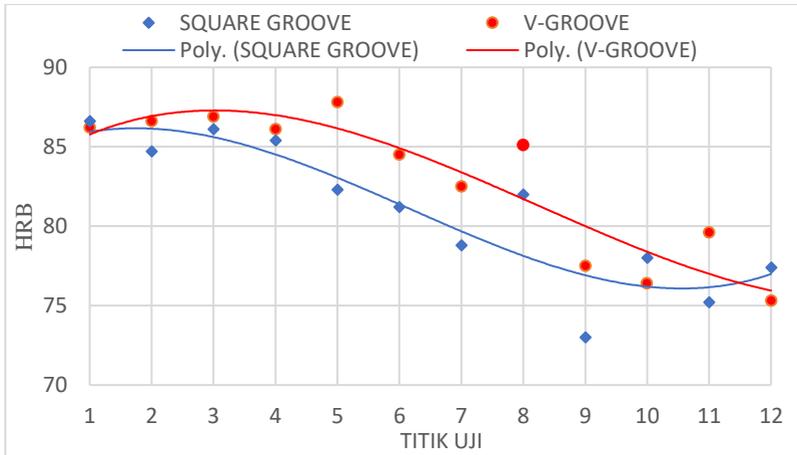
Gambar 4.3 Letak Pengujian Rockwell Variasi V-groove



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen V-groove

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Groove	Daerah	Titik	Nilai Kekerasan (HV)			Rata-rata
			Benda 1	Benda 2	Benda 3	
Square Groove	Logam Las	1	87	86,6	87	86.6
		2	85	84,2	85	84.7
		3	86,5	87	84.8	86.1
		4	86	85,4	85	85.4
	HAZ	5	86,5	84	78	82.3
		6	87	78	78.8	81.2
		7	74	82,4	80	78.8
		8	84	79	83	82
	Logam Induk	9	74	72	73,2	73
		10	83	75	77	78
		11	76	76,4	74.6	75.2
		12	79	77	73	77.4
V-groove	Logam las	1	87.6	86	85	86.2
		2	88.3	87.6	84	86.6
		3	88.9	86	84.2	86.9
		4	87	83.5	88	86.1
	HAZ	5	89.6	88	86	87.8
		6	83.8	83.8	86	84.5
		7	82.5	81	84	82.5
		8	84	86.5	85	85.1
	Logam Induk	9	78.5	76	78	77.5
		10	76.6	78	74.6	76.4
		11	81	80	78	79.6
		12	75	74	77	75.3



Gambar 4.5 Grafik Hasil Rata-rata Pengujian Kekerasan

4.1.2 Hasil Pengujian Tarik

Setelah melakukan pengujian uji tarik dan mengetahui pengujian tarik, maka dapat ditentukan kekuatan tarik (σ) melalui hasil pengujian sedangkan Regangan (ε) dihasilkan dengan rumus sebagai berikut:

- Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Dimana:

ε = Regangan (%)

ΔL = Perpanjangan (mm)

L_0 = Panjang asal (mm)

- Ultimate Tensile Strength

$$UTS = \frac{\text{Max Load}}{A_0}$$

Dimana:

UTS = Ultimate Tensile Strength

Max Load = Beban Maksimum (kgf)

A₀ = Luas Penampang Awal (mm²)

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik Mesin GOTECH

Groove	Benda Uji	Max Load (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Yield Point (kgf)	Modulus Plastic (kgf/mm ²)
Square Groove	1	2127.688	2.015	2124.391	67.289
	2	2647.765	2.507	2647.624	54.139
	3	1554.444	1.382	1548.235	57.572
V-groove	4	3850.017	3.699	3849.775	79.697
	5	3107.153	2.944	3106.991	21.920
	6	3455.964	2.840	3455.604	70.867



w = tebal plat (mm)
 $A_0 = w \times \ell$ (mm²)

Putus di logam las karena pengelasan mengalami cacat IP

Putus di HAZ

Gambar 4.6 Spesimen Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4.3 Perhitungan A_0 dan UTS dalam satuan kgf/mm^2

Groove	ℓ (mm)	w (mm)	A_0 (mm^2)	Max Load (kgf)	UTS (kgf/mm^2)	Patah
Square Groove	17.1	5.92	101.232	2127.688	21.017	WM
	17.2	5.96	102.512	2647.765	25.828	WM
	17.1	5.95	101.745	1554.444	15.277	WM
V-groove	17.6	5.96	104.896	3850.017	36.703	HAZ
	17.2	5.95	102.340	3107.153	30.361	HAZ
	17.2	5.96	102.512	3455.964	33.712	HAZ

Ket :

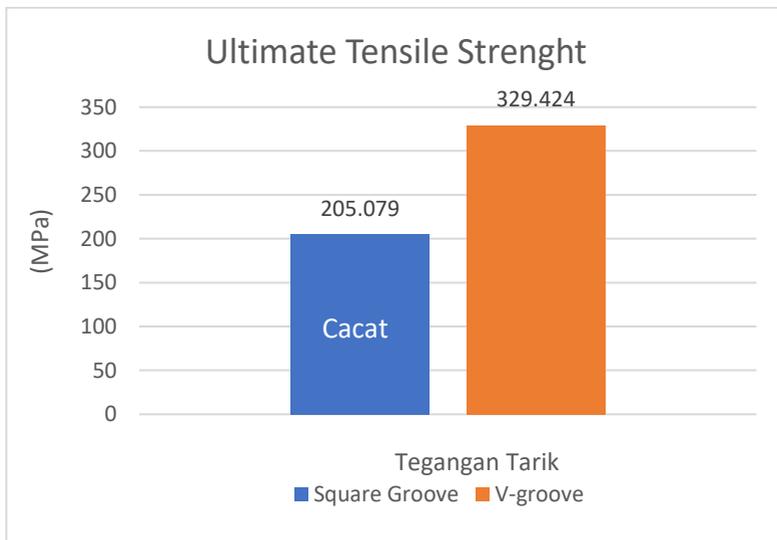
- WM = Weld Metal
- HAZ = Heat Affected Zone
- BM = Base Metal
- Standard Benda SA-36 = 400-550 MPa
= 40.788-56.084 kgf/mm^2
(minimum di ijin 90% dari nilai terkecil = 360
MPa & 36.709 kgf/mm^2)

$$UTS = \frac{\text{Max Load}}{A_0}$$

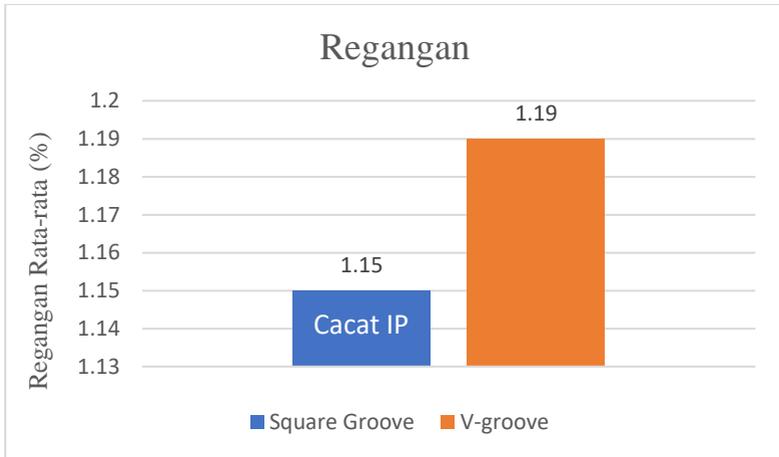
Dari rumus di atas dapat di hitung berapa besar UTS pada benda uji dengan cara membagi *Max Load* dengan A_0 , dimana A_0 pada setiap benda berbeda-beda di karenakan pengerjaan mesin manual. Dari data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa benda uji dengan square groove semuanya patah pada area *Weld Metal* di karenakan ada cacat IP pada daerah lasan, sedangkan untuk V-groove putus pada area HAZ (*Heat Affected Zone*).

Tabel 4.4 Hasil Regangan dan UTS dalam satuan MPa

Groove	Benda Uji	Regangan	Regangan Rata-rata	UTS (MPa)	UTS rata-rata (MPa)	UTS SA-36
Square Groove	1	1.11%	1.15%	206.106	205.079	400-550 MPa
	2	1.18%		259.317		
	3	1.16%		149.816		
V-groove	4	1.20%	1.19%	359.933	329.424	
	5	1.21%		297.739		
	6	1.16%		330.601		



Gambar 4.7 Grafik Tegangan Tarik



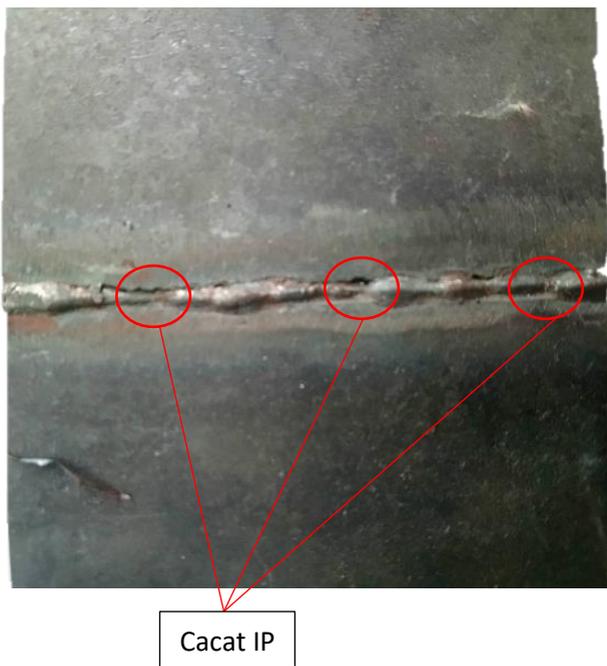
Gambar 4.8 Grafik Regangan

Dari table dan grafik diatas hasil pengujian tarik yang telah dilakukan menunjukkan nilai UTS square groove mengalami patah di logam las memiliki nilai UTS rata-rata sebesar 205.079 MPa atau 20.912 kgf/mm² dengan regangan rata-rata mencapai 1.15%. Sedangkan V-groove mengalami patah di HAZ memiliki nilai UTS rata-rata sebesar 329.424 MPa atau 33.591 kgf/mm² dengan regangan rata-rata sebesar 1.19%.

4.2 Pembahasan Hasil Uji Tarik

Pada pengelasan existing Karoseri SKA dengan menggunakan square groove mengalami cacat IP (*Incomplete Penetration*) sehingga sambungan las tidak tembus secara merata. Hasil dari pengujian tarik sebanyak 3 spesimen square groove semua mengalami patah di daerah logam las. Hal ini disebabkan oleh cairan las yang tidak dapat menembus secara merata akhirnya menimbulkan takikan dan ketika menerima beban tarik takikan tersebut paling banyak menerima tegangan sehingga kemungkinan besar patahan terjadi di takikan tersebut.

Berbeda dengan pengelasan variasi V-groove. Hasil lasan terlihat tembusan yang rata tanpa ada cacat IP (*Incomplete Penetration*). Pengelasan V-groove ini memerlukan pengisian logam las yang lama sehingga base metal benar-benar mencair dan menghasilkan hasil lasan tanpa cacat. Ketika di uji tarik patahan terjadi di daerah HAZ, hal ini menunjukkan pengelasan yang berhasil.



Gambar 4.8 Cacat IP (*Incomplete Penetration*)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil pengujian pengelasan existing karoseri SKA dengan square groove mengalami cacat IP sehingga mengalami putus di area logam las dengan kekuatan tarik sebesar 205.079 MPa dan memiliki tingkat kekerasan tertinggi pada logam las sebesar 86.6 HRb.
- Hasil pengujian pengelasan variasi V-groove mengalami putus di area HAZ dengan kekuatan tarik sebesar sebesar 329.424 MPa dan memiliki tingkat kekerasan tertinggi pada daerah HAZ sebesar 87.8 HRb.

5.2 Saran

Untuk memperbaiki keterbatasan Tugas Akhir ini kedepannya, berdasarkan pengalaman dari penulis maka dapat diberi saran sebagai berikut:

- Dalam menyiapkan material harus disertai dengan sertifikat material dari produsen.
- Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan lebih banyak variasi bentuk groove sehingga lebih meyakinkan bahwa bentuk groove memiliki pengaruh terhadap kekerasan, kekuatan, dan struktur mikro yang terbentuk.
- Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya lebih teliti menganalisa hasil pengelasan terdapat cacat atau tidak.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

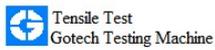
1. ASME II. 2010. *Part B Nonferrous Material Specifications 2nd*. New York: The American Society Of Mechanical Engineers
2. ASME II. 2010. *Part C Specifications for Welding Rods, Mechanical Engineers*. New York: The American Society Of Mechanical Engineers
3. ASME IX. 2010. *Welding and Brazing Qualifications*. New York: The American Society Of Mechanical Engineers
4. ASTM E 340-2000. 2002. *Standard Test Method for Macroetching Metal and Alloy*. United States: American Society for Testing & Materials.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

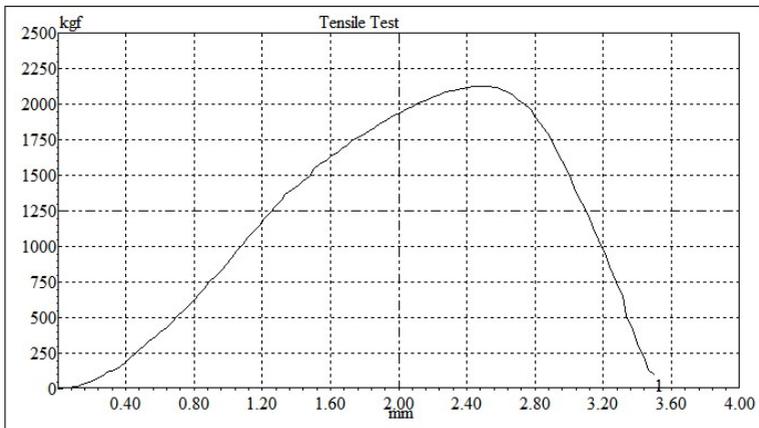
Lampiran 1

Hasil Pengujian Tarik Square Groove 1

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



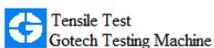
Report No	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	2127.688	2.015	2124.391	67.289
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



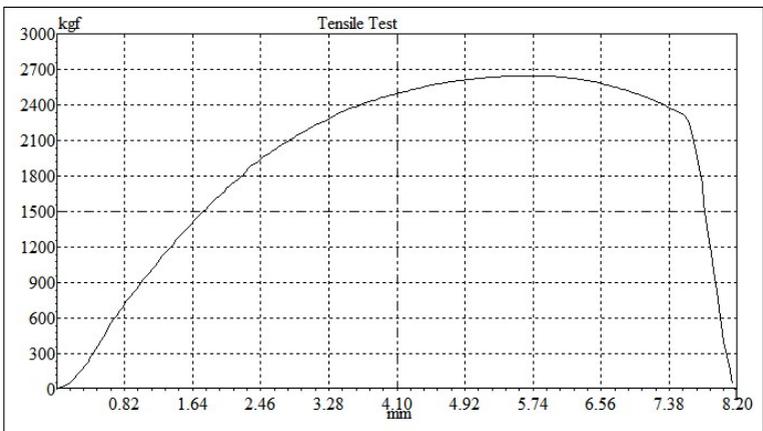
Lampiran 2

Hasil Pengujian Tarik Square Groove 2

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



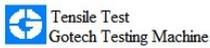
ReportNo	Max. Load	Yield strength	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	2647.765	2.507	2647.624	54.139
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



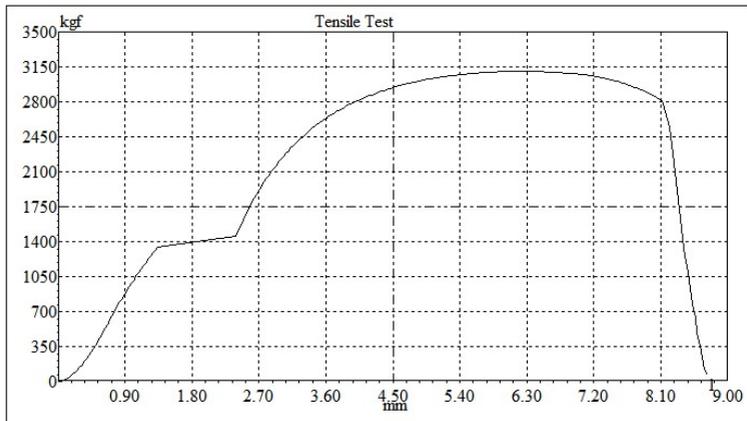
Lampiran 5

Hasil Pengujian Tarik V-groove 2

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



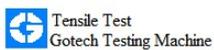
ReportNo	Max. Load	field streng	Yield point	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	3107.153	2.944	3106.991	21.920
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



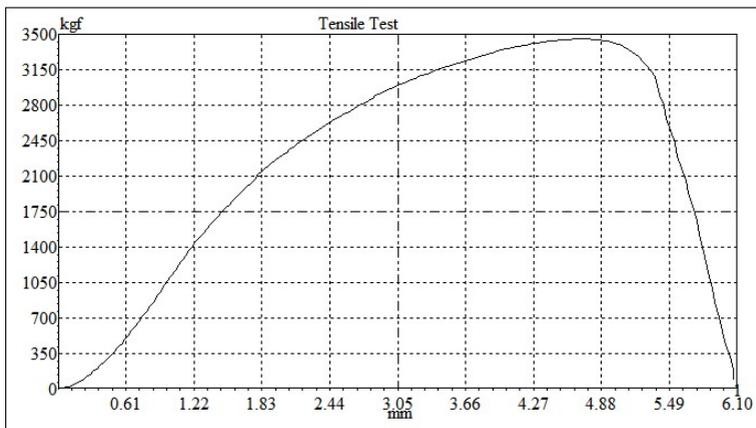
Lampiran 6

Hasil Pengujian Tarik V-groove 3

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA



Report No.	Max. Load	Yield strength	Elongation	Elastic modulus
	kgf	kgf/mm ²	kgf	kgf/mm ²
	3455.964	2.840	3455.604	70.867
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---



Lampiran 7

Spesifikasi Filler 1

MILD STEEL WIRES



WELD 70S-6 AWS A5.18: ER70S-6

FEATURES

ESAB Weld 70S-6 is a copper-coated AWS ER70S-6 solid wire, suited for general purpose, manual and semiautomatic applications in most industries. It is manufactured under ESAB's Quality Control programs and meets AWS standards.

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES

As Welded GMAW 100% CO ₂	
Yield Strength	61 ksi, 424 MPa
Tensile Strength	75 ksi, 518 MPa
Elongation in 2"	28%
As Welded GMAW 75% Ar / 25% CO ₂	
Yield Strength	70 ksi, 483 MPa
Tensile Strength	84 ksi, 583 MPa
Elongation in 2"	26%

CLASSIFICATIONS AND APPROVALS

- AWS A5.18: ER70S-6

CHARPY V-NOTCH PROPERTIES

Testing Temperature -20°F (-29°C)	
As Welded GMAW 100% CO ₂	
	57 ft-lb, 77 J
As Welded GMAW 75% Ar / 25% CO ₂	
	67 ft-lb, 91 J

WELDING PROCESS

- GMAW (MIG)

WELD METAL ANALYSIS

GMAW 100% CO ₂	
C	0.073%
Mn	0.97%
Si	0.51%
P	0.009%
S	0.013%
GMAW 75% Ar / 25% CO ₂	
C	0.075%
Mn	1.22%
Si	0.67%
P	0.010%
S	0.014%

INDUSTRIES

- Shipbuilding
- Civil Construction
- Mobile Machinery
- General Fabrication
- Automotive

Lampiran 8

Spesifikasi Filler 2

MILD STEEL WIRES



WELD 70S-6 continued

DEPOSITION TABLE - Spray Transfer Welding Parameters

Diameter in (mm)	Electrode Unit in/lb (m/kg)	Amps	Volts	Wire Feed Speed ipm (cm/min)	Opt. Amps	Opt. Volts	Opt. Wire Feed Speed ipm (cm/min)
.035 (0.9)	3670 (206)	180 - 230	25-27	400 - 550 (1016 - 1397)	200	26	480 (1219)
.045 (1.2)	2220 (124)	260 - 340	25-30	300 - 500 (762 - 1270)	300	27	350 (889)

DEPOSITION TABLE - Shortarc Transfer Welding Parameters

Diameter in (mm)	Electrode Unit in/lb (m/kg)	Amps	Volts	Wire Feed Speed ipm (cm/min)	Opt. Amps	Opt. Volts	Opt. Wire Feed Speed ipm (cm/min)
.035 (0.9)	3670 (206)	90 - 160	15 - 19	180 - 300 (457 - 762)	130	17	250 (635)
.045 (1.2)	2220 (124)	130 - 200	17 - 19	125 - 200 (318 - 508)	160	18	150 (381)

PART NUMBER / PRODUCT INFORMATION

Part Number	Description	UPC
321M096700	WELD 70-6 035X33#WB 2376# PLT	662303672812
321M095920	WELD 70-6 035X550# MP 4/PLT	662303672829
321M116700	WELD 70-6 045X33#WB 2376# PLT	662303672836
321M115920	WELD 70-6 045X550# MP 4/PLT	662303672843

Lampiran 9

Spesifikasi Baja SA-36

ASTM A36 Steel, bar

Categories: [Metal: Ferrous Metal](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

Material Notes: Minimum Cu content when copper steel is specified. Used for guardrails.

Key Words: UNS K02600

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	20.0 %	20.0 %	In 200 mm
	23.0 %	23.0 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Compressive Yield Strength	152 MPa	22000 psi	Allowable compressive strength
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.260	0.260	
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.260 %	0.260 %	
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %	
Iron, Fe	99.0 %	99.0 %	
Manganese, Mn	0.75 %	0.75 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

References for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MarWeb.

Lampiran 10

Foto Mikrostruktur *Base Metal* pada Pengelasan Square Groove



PEARLITE
Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN

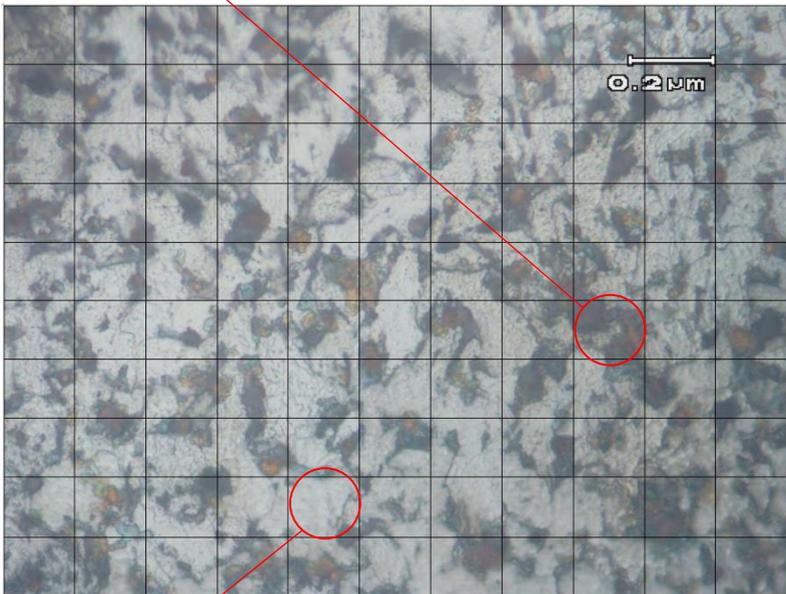


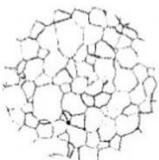
FERRIT
Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

Lampiran 11

Foto Mikrostruktur HAZ pada Pengelasan Square Groove

	PEARLITE	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,8% dan terbentuk pada suhu 723 ^o C
	<i>Struktur kristal</i>	: Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak
	<i>Kekerasan</i>	: ± 180-250 HVN

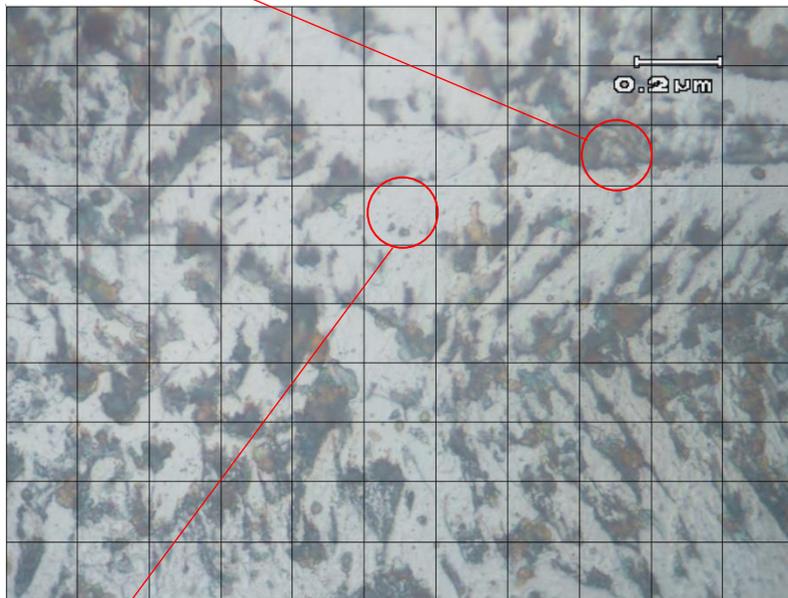


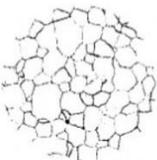
	FERRIT	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,025% pada suhu 723 ^o C dan 0,008% di temperatur kamar.
	<i>Struktur kristal</i>	: BCC
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak dan ulet (kondisi anil)
	<i>Kekerasan</i>	: 140 - 180 HVN

Lampiran 12

Foto Mikrostruktur *Weld Metal* pada Pengelasan Square Groove

	PEARLITE	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
	<i>Struktur kristal</i>	: Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak
	<i>Kekerasan</i>	: ± 180-250 HVN

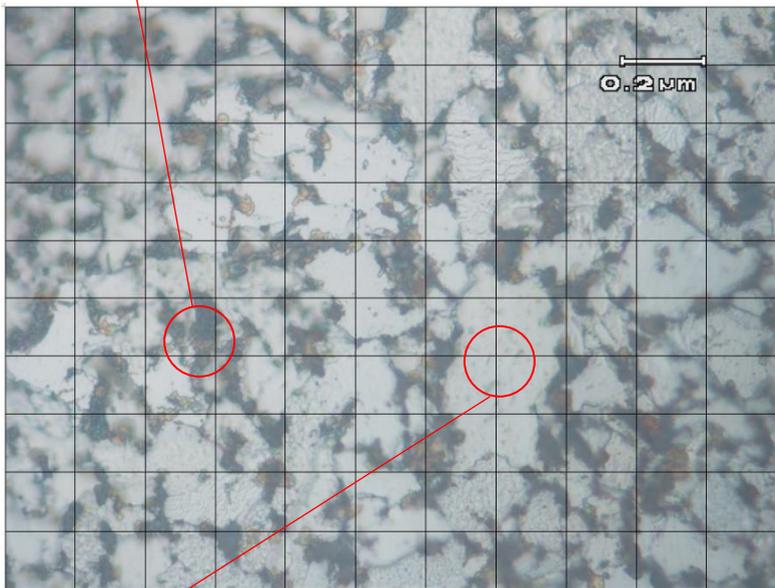


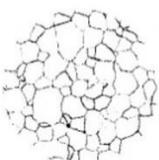
	FERRIT	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
	<i>Struktur kristal</i>	: BCC
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak dan ulet (kondisi anil)
	<i>Kekerasan</i>	: 140 - 180 HVN

Lampiran 13

Foto Mikrostruktur *Base Metal* pada Pengelasan V-groove

	PEARLITE	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,8% dan terbentuk pada suhu 723 ⁰ C
	<i>Struktur kristal</i>	: Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak
	<i>Kekerasan</i>	: ± 180-250 HVN

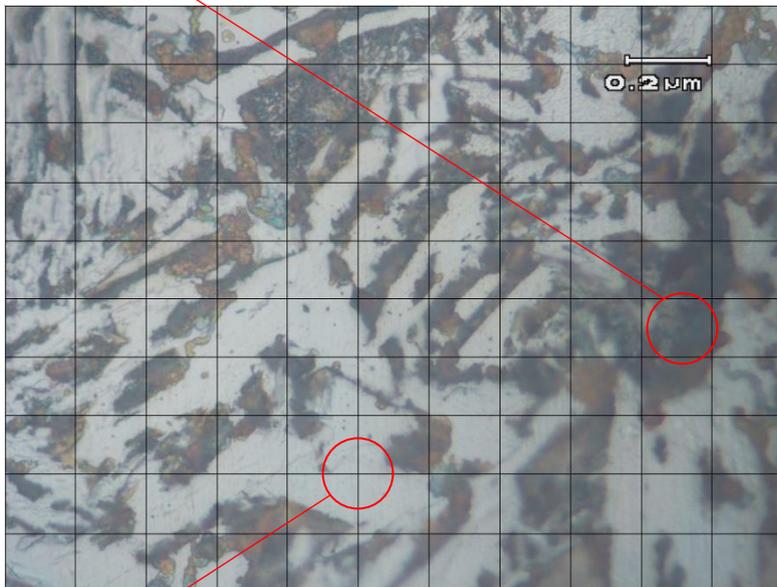


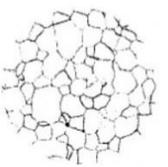
	FERRIT	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,025% pada suhu 723 ⁰ C dan 0,008% di temperatur kamar.
	<i>Struktur kristal</i>	: BCC
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak dan ulet (kondisi anil)
	<i>Kekerasan</i>	: 140 - 180 HVN

Lampiran 14

Foto Mikrostruktur HAZ pada Pengelasan V-groove

	PEARLITE	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
	<i>Struktur kristal</i>	: Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak
	<i>Kekerasan</i>	: ± 180-250 HVN

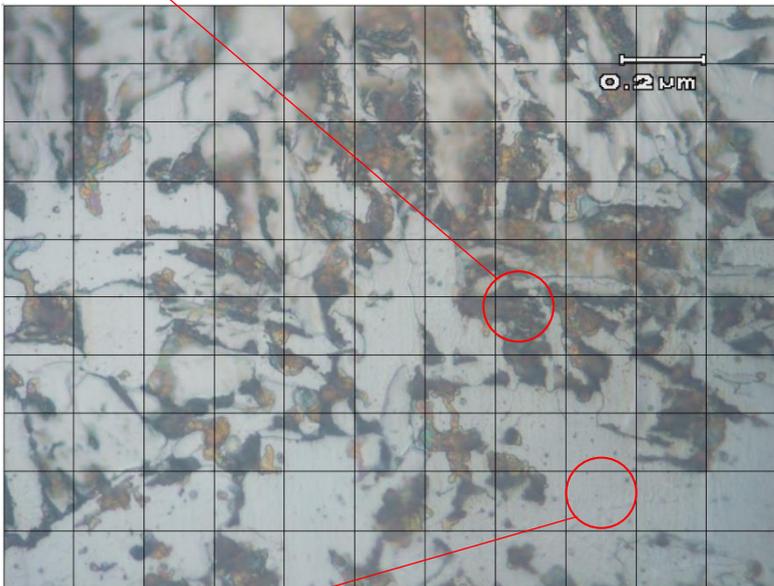


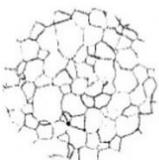
	FERRIT	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
	<i>Struktur kristal</i>	: BCC
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak dan ulet (kondisi anil)
	<i>Kekerasan</i>	: 140 - 180 HVN

Lampiran 15

Foto Mikrostruktur *Weld Metal* pada Pengelasan V-groove

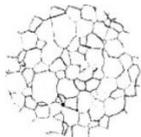
	PEARLITE	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,8% dan terbentuk pada suhu 723 ⁰ C
	<i>Struktur kristal</i>	: Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak
	<i>Kekerasan</i>	: ± 180-250 HVN



	FERRIT	
	<i>Kadar karbon</i>	: 0,025% pada suhu 723 ⁰ C dan 0,008% di temperatur kamar.
	<i>Struktur kristal</i>	: BCC
	<i>Sifat mekanis</i>	: Lunak dan ulet (kondisi anil)
	<i>Kekerasan</i>	: 140 - 180 HVN

Lampiran 16

Macam-macam Struktur Mikro



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



AUSTENITE

Kadar karbon : 2%
Struktur kristal : FCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi besi murni)
Kekerasan : ± 390 HVN



LEDEBURITE

Kadar karbon : 4,3% dan terbentuk pada suhu 1130°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari austenite dan cementite.
Sifat mekanis : Keras
Kekerasan : ± 760 HVN



CEMENTITE

Kadar karbon : 6,67%
Struktur kristal : Orthorhombik
Sifat mekanis : Sangat Keras dan getas
Kekerasan : ± 800 HVN



BAINITE

Kadar karbon : < 0,5%
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Sangat keras dan getas
Kekerasan : 300 – 400 HVN



MARTENSITE

Kadar karbon : > 0,5%
Struktur kristal : BCT
Sifat mekanis : Sangat keras
Kekerasan : > 500 HVN

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Ngawi pada tanggal 11 September 1997, dari pasangan Bapak Fatkur Rohman Kafrawi dan Ibu Winarti. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah ditempuh adalah TK Dharma Wanita 2 Kota Ngawi, SDN Lakar Santri II Surabaya, SMPN 16 Surabaya, dan SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya.

Pada tahun 2015 penulis mengikuti ujian masuk program reguler ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Departement Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 10211500000093. Penulis mengambil bidang keahlian Manufaktur sesuai dengan kelas yang diikuti.

Penulis aktif dalam mengikuti berbagai pelatihan dan organisasi. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis, antara lain: LKMM Pra-TD FTI-ITS, PKTI (Pelatihan Karya Tulis Ilmiah). Organisasi yang pernah diikuti oleh penulis, yaitu: Mekanik BSO bengkel HMDM FV-ITS).

Alamat email: fafatahillah@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)