



TUGAS AKHIR - MN141581

**STUDI PENGARUH *ROOT GAP* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN
LAS PELAT ASTM A36**

**Randistya Fahmy
N.R.P. 4110 100 031**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P., ST. M.Eng**

**Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**



FINAL PROJECT - MN141581

**STUDY ON EFFECT OF ROOT GAP TOWARDS
MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE IN
WELDING CONNECTION OF STEEL ASTM A36**

**Randistya Fahmy
N.R.P. 4110 100 031**

**Supervisor
Wing Hendroprasetyo A.P., ST. M.Eng**

**Departement of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**

**LEMBAR PENGESAHAN
STUDI PENGARUH *ROOT GAP* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN
LAS PELAT ASTM A36**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RANDISTYA FAHMY
NRP. 4110 100 0031

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP. 19700615 199512 1 001

SURABAYA, 29 DESEMBER 2014

LEMBAR REVISI
STUDI PENGARUH ROOT GAP TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN
LAS PELAT ASTM A36

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 12 Januari 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RANDISTYA FAHMY
NRP. 4110 100 031

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE, PED.

2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

3. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

4. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Wing Hendropresetyo A.P., S.T., M.Eng.



SURABAYA, 16 JANUARI 2015

STUDI PENGARUH *ROOT GAP* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS PELAT ASTM A36

Nama Mahasiswa : Randistya Fahmy
NRP : 4110 100 031
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) mempunyai aplikasi luas di dalam dunia industri. Untuk penguasaan teknologi pengelasan maka perlu dilakukan penelitian lanjut tentang pengaruh gap terhadap struktur mikro setelah mengalami pengelasan. Pengelasan sendiri adalah suatu proses penyambungan logam dengan logam menjadi satu akibat adanya panas, sehingga dalam prosesnya akan dapat mengubah sifat dasar dari material dasar (based material).

Pada penelitian ini, variable yang digunakan adalah baja karbon ASTM A36. Setelah dilakukan pengelasan dengan variable yang sudah ditentukan dan batasan-batasan masalah selama penelitian. Selanjutnya dilihat nilai uji kekerasan (hardness) dan uji struktur mikro. Sepesimen hasil pengelasan yang dibutuhkan sebanyak 3 buah dengan tebal 12mm. Specimen tersebut diberi variasi kampuh las *single-V groove* dengan sudut 60° dan variasi gap yaitu 2mm, 4mm, dan 5mm pada kampuh las logam induk baja karbon ASTM A36.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengelasan yang dilakukan adalah baik. Spesimen dengan variasi lebar *root* 3 mm, 4 mm, dan 5 mm menghasilkan lebar HAZ rata-rata yang berturut turut mengalami kenaikan. Lebar HAZ berkisar antara 1 mm sampai 2.5 mm. Harga kekerasan rata-rata pada daerah HAZ dan weld metal menunjukkan bahwa pada spesimen variasi *root gap* 3 mm mempunyai kekerasan sebesar 176.57 HV dan 179.93 HV yang lebih rendah daripada spesimen dengan variasi *root gap* 4 mm sebesar 180.23 HV dan 183.57 HV. Sedangkan untuk variasi *root gap* 5 mm sebesar 182.13 HV dan 186.33 HV. Dari percobaan tersebut diketahui bahwa pengaruh memperlebar *root gap* dapat mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro hasil las. Semakin keras nilai suatu material maka material tersebut memiliki sifat getas.

Kata Kunci: A36, *Root gap*, SMAW, Struktur Mikro, *Hardness*

STUDY ON EFFECT OF ROOT GAP TOWARDS MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE IN WELDING CONNECTION OF STEEL ASTM A36

Author : Randistya Fahmy
ID No. : 4110 100 031
Department/Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) has broad application in the industry. For welding technology mastery is necessary to do further research on the effect of the gap against microstructure after welding. Welding is a process of joining metals due to the heat, until the process will be able to change the material properties.

In this research, the variables used carbon steel ASTM A36. After welding process with predefined variables and limitations problem during the research, furthermore obtained hardness value and its microstructure. The results of specimens after welding process are three pieces of specimens required with a thickness 1

and 5 mm on the base metal seam weld ASTM A36 carbon steel.

The results show that well result of welding process. Specimens with root gap 3 mm, 4 mm, and 5 mm variations produces width of HAZ is evenly successive increase. HAZ width ranging from 1 mm to 2.5 mm. Hardness value in the HAZ and weld metal region indicates that the specimens variation in root gap 3 mm has a hardness value 176.57 HV and 179.93 HV that lower than the specimens with variation of the root gap 4 mm with hardness value 180.23 HV and 183.57 HV. Whereas for the variation in the root gap 5 mm with hardness value at 182.13 HV and 186.33 HV. The results of the experiment are known that the effect of widening the root gap can affect the mechanical properties and microstructure at welds metal and HAZ. More increasingly hardness value of the materials, the materials has a brittle properties

Key words: A36, Root gap, SMAW, Microstructure, Hardness

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Karena rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat adanya dukungan serta bantuan dari berbagai pihak dengan langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua yang luar biasa Bapak Jamiran dan Ibu Istisaroh, S.Pd selaku orang tua penulis yang senantiasa mengirimkan doa dan memberi dukungan serta bantuan moril dan materiil hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberi arahan dan motivasi serta lawakannya yang inovatif sehingga menyegarkan pikiran penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Ibu Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku dosen wali penulis yang senantiasa meluangkan waktunya untuk mendidik penulis dari awal menjadi mahasiswa baru hingga saat ini di Kampus Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
5. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS yang mengizinkan penulis untuk menggunakan fasilitas laboratorium untuk pengerjaan Tugas Akhir.
6. Staf Laboratorium (Pak Pardi, Mas Joko, Mas Baihaqi dan Ir. Heri Supomo, M.Sc, Mas Agil, Pak didik dll.) Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
7. Adik Randistya Husna dan Randistya Fitria yang memberikan motivasi tersendiri bagi penulis.
8. Keluarga besar yang selalu menyemangati dan menghibur penulis.
9. Pak Qomarudin selaku pegawai PT. PAL Indonesia yang telah membantu dalam pengadaan material.
10. Keluarga besar “P50 CAPTAIN” dan teman seperjuangan TA dan TM di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
11. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih ada ketidaksempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 29 Desember 2014

Penulis

Randistya Fahmy

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	IV
LEMBAR REVISI.....	V
KATA PENGANTAR	VI
ABSTRAK.....	VIII
ABSTRACT	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR TABEL.....	XIV
DAFTAR GRAFIK.....	XV
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Hipotesis.....	3
1.7. Metodologi Penelitian	3
1.8. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Klasifikasi Baja	7
2.2. Baja Karbon.....	9
2.2.1. Karakteristik Baja Karbon.....	9
2.2.2. Mikrostruktur Baja Karbon Rendah	9
2.2.3. Sifat Baja ASTM A36	11
2.3. Pengelasan	12
2.3.1. Klasifikasi Pengelasan.....	13
2.3.2. Pengelasan SMAW.....	15
2.3.3. Definisi Pengelasan SMAW	17
2.3.4. Parameter Pengelasan.....	18

2.4.	Desain Sambungan Las	21
2.5.	Metalurgi Las	22
2.3.5.	Daerah Terpengaruh Panas (HAZ)	24
2.3.6.	Ketangguhan Logam Las	24
2.6.	Elektroda	24
2.6.1.	Jenis Elektroda.....	27
2.6.2.	Klasifikasi Elektroda	28
2.7.	Heat Input Pengelasan	29
2.8.	Posisi Pengelasan	30
2.9.	Pengujian Material	32
2.9.1.	Pengujian Metallography.....	33
2.9.2.	Hardness Test	34
BAB III		37
METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1.	Flow Chart Metodologi Penelitian	37
3.2.	Prosedur Pengelasan.....	38
3.3.1.	Pelaksanaan Pengelasan	42
3.3.	Tahap Pembuatan Spesimen Uji.....	43
3.4.	Prosedur dan Tahapan Pengujian	45
3.5.1.	Pengamatan Struktur Mikro dan Makro	48
3.5.2.	Uji Kekerasan Vickers.....	49
BAB IV		53
ANALISA DAN PEMBAHASAN		53
4.1.	Analisa Data Pengelasan dan Masukan Panas	53
4.2.	Analisa Struktur Makro (Pengujian Makro Etsa).....	56
4.3.	Analisis Struktur Mikro (Pengujian metallography)	59
4.4.	Analisa Pengujian Hardness	65
BAB V		69
KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
5.1.	Kesimpulan.....	69
5.2.	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36	11
Tabel 2.2. Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36	11
Tabel 2.3. Ceq Terhadap sifat mampu las	12
Tabel 2.4. Tabel jenis alur sambungan las	22
Tabel 2.5. Macam-macam jenis selaput (fluks)	26
Tabel 2.6. Standar Internasional untuk Pengujian Kekerasan Metode Vickers.....	34
[ASM International, 2004].....	36
Tabel 3.1. Welding prosedure specification 1	39
Tabel 3.2. Welding procedure specification 2	41
Tabel 3.3. Welding procedure specification	42
Tabel 3.4. Penentuan Lokasi Titik Uji Kekerasan	49
Tabel 4.1. Masukan panas tiap layer	54
Tabel 4.2. Total heat input tiap spesimen	54
Tabel 4.3. Tabel perhitungan ukuran las-lasan	58
Tabel 4.4. Tabel lebar HAZ hasil pengelasan	58
Tabel 4.5. Tabel hasil uji kekerasan vickers	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Spesimen yang dilas	3
Gambar 1.2. Variasi lebar root (a) <i>root gap</i> 3mm; (b) <i>root gap</i> 4mm; (c) <i>root gap</i> 5mm	4
Gambar 2.1. Struktur mikro dari baja	10
Gambar 2.2. Klasifikasi metode pengelasan	14
Gambar 2.3. Proses Pengelasan SMAW	16
Gambar 2.4. Rangkaian proses pengelasan SMAW	16
Gambar 2.5. Bentuk-bentuk deposit las dan penyebabnya	20
Gambar 2.6. Pembagian daerah las	23
Gambar 2.7. Diagram fasa Fe-Fe ₃ C	23
Gambar 2.8. Posisi pengelasan 1G (datar)	30
Gambar 2.9. Posisi pengelasan vertical (2G)	30
Gambar 2.10. Posisi pengelasan vertical (3G)	31
Gambar 2.11. Posisi pengelasan over head/OH (4G)	31
Gambar 2.12. Posisi-posisi pengelasan <i>fillet joint</i>	31
Gambar 2.13. Posisi-posisi pengelasan <i>butt joint</i>	32
Gambar 3.1. <i>Flow chart</i> metodologi penelitian	37
Gambar 3.2. <i>Joint detail</i> untuk WPS 1	40
Gambar 3.3. <i>Joint detail</i> untuk WPS 2	41
Gambar 3.4. <i>Joint detail</i> untuk WPS 3	42
Gambar 3.5. Bentuk spesimen tampak atas	43
Gambar 3.6. Pembagian ukuran sampel untuk tiap pengujian	44
Gambar 3.7. Spesimen foto makro dan mikro setelah dipotong	45
Gambar 3.8. Specimen foto makro setelah dietsa	47
Gambar 3.9. Specimen foto mikro setelah dipoles	47
Gambar 3.10. Sketsa uji kekerasan	50
Gambar 3.11. Uji kekerasan Vickers	50
Gambar 4.1. Hasil pengelasan <i>root gap</i> 3mm	57
Gambar 4.2. Hasil pengelasan <i>root gap</i> 4mm	57
Gambar 4.3. Hasil pengelasan <i>root gap</i> 5mm	57
Gambar 4.4. Pemasangan spesimen uji hardness	65
Gambar 4.5. Gambar struktur mikro base metal <i>root gap</i> 3 mm perbesaran 400x	60

Gambar 4.6. Gambar struktur mikro base metal <i>root gap</i> 4 mm perbesaran 400x.....	60
Gambar 4.7. Gambar struktur mikro base metal <i>root gap</i> 5 mm perbesaran 400x.....	61
Gambar 4.8. Gambar struktur mikro HAZ <i>root gap</i> 3 mm perbesaran 400x	61
Gambar 4.9. Gambar struktur mikro HAZ <i>root gap</i> 4 mm perbesaran 400x	62
Gambar 4.10. Gambar struktur mikro HAZ <i>root gap</i> 5 mm perbesaran 400x	62
Gambar 4.11. Gambar struktur mikro <i>weld metal root gap</i> 3 mm perbesaran 400x	63
Gambar 4.12. Gambar struktur mikro <i>weld metal root gap</i> 4 mm perbesaran 400x	63
Gambar 4.13. Gambar struktur mikro <i>weld metal root gap</i> 5 mm perbesaran 400x	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi pengelasan memberikan pengaruh besar dalam kemajuan ilmu pengetahuan. Seiring dengan perkembangan suatu teknologi, berbagai metode pengelasan juga berkembang dan memberikan andil dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Sehingga pengetahuan mengenai teknologi pengelasan sangat diperlukan untuk mencapai kesesuaian antara hasil yang diinginkan dengan proses pengelasan yang mungkin dilakukan agar diperoleh hasil yang optimal.

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energy panas. Karena proses ini maka di daerah sekitar lasan mengalami siklus thermal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) mempunyai aplikasi luas di dalam dunia industri. Pengelasan SMAW memberikan efisiensi kekuatan sambungan yang tinggi. Salah satu jenis pengelasan yang banyak dipakai untuk mengelas baja karbon adalah SMAW. Kelebihan pengelasan dengan SMAW, antara lain dapat diandalkan untuk mengelas berbagai tipe sambungan, posisi, serta lokasi yang sulit dikerjakan, biaya pengoperasian yang relatif rendah dan dapat dipakai untuk mengelas didalam maupun diluar ruangan.

Dalam dunia perkapalan, banyak sekali adanya kemungkinan tidak teraturnya sambungan las, pada penyambungan antar blok kapal pada umumnya. Pada penyambungan antar blok terkadang ditemui sambungan antar blok yang satu dengan lainnya tidak sesuai dengan gambar *joint design* yang telah ditentukan pada saat dilakukan dalam membangun sebuah kapal, yang akibatnya berpengaruh pada kualitas sambungan las.

Dari penelitian ini penentuan *root gap* yang tepat mempunyai pengaruh terhadap *heat input* dan hasil las yaitu kekerasan material dan struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36.

1.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh lebar *root gap* terhadap besar *heat input* dan kualitas hasil las pada sambungan plat A36?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi *root gap* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil las baja ASTM A36?

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Base metal adalah baja karbon ASTM A36
2. Metode pengelasan yang digunakan adalah SMAW
3. Kawat las yang digunakan untuk pengelasan adalah elektroda AWS E7016 diameter 2.6 mm dan 3.2 mm.
4. Pengujian yang dilakukan adalah Hardness test dan uji struktur mikro
5. Jenis sambungan yang digunakan butt joint posisi 1G dengan sudut alur 60°.
6. Tebal material yang digunakan 12mm

1.4. Tujuan

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh lebar *root gap* terhadap besar *heat input* dan kualitas hasil las.
2. Mengetahui pengaruh *root gap* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil las.

1.5. Manfaat

Dengan adanya penelitian ini akan diketahui pengaruh adanya *root gap* terhadap struktur mikro dan kekerasan sambungan las baja A36 setelah mengalami proses pengelasan SMAW dengan sambungan temu (butt joint) yang banyak digunakan dalam proses penyambungan antar blok pada kapal.

1.6. Hipotesis

Hipotesis awal dari tugas akhir ini adalah pada material baja ASTM A36 setelah pengelasan, bahwa semakin besar *gap* yang ditentukan, maka lebar daerah HAZ semakin bertambah, berpengaruh pada nilai kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal*.

1.7. Metodologi Penelitian

1. Identifikasi Masalah

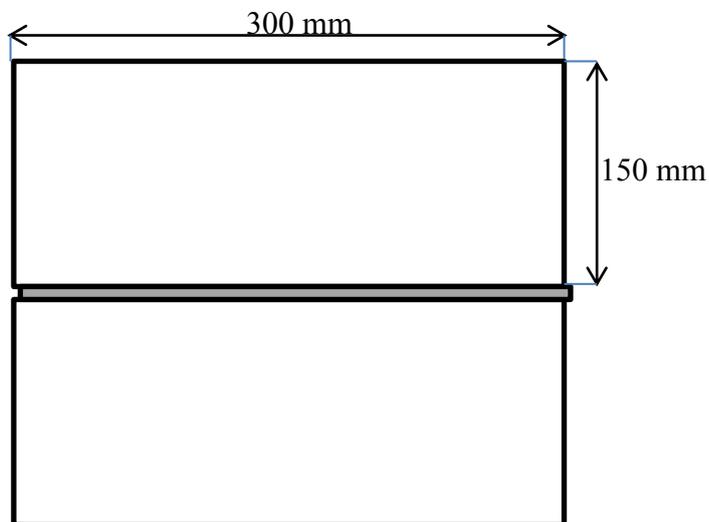
Merupakan tahap awal dari pengerjaan tugas akhir, yaitu dengan menetapkan tujuan, manfaat penelitian serta perumusan masalah dari apa yang dikerjakan.

2. Studi Literatur

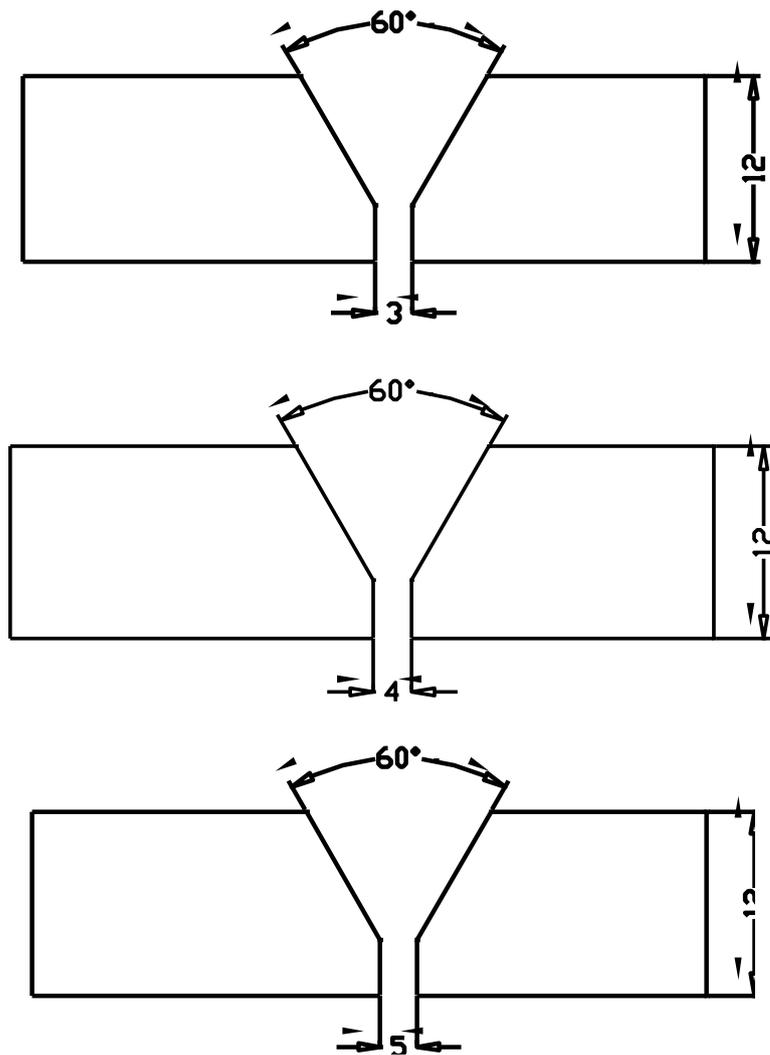
Dilakukan studi mengenai teori tentang sifat-sifat mekanis material, struktur mikro dari material, proses pengelasan pada material dan pengujian material dengan menggunakan standard yang berlaku.

3. Persiapan Material

Pada tahap persiapan material terdiri dari pembuatan spesimen, pembuatan *test piece*, uji makroetsa, uji foto mikro, dan uji *hardness*.



Gambar 1.1. Spesimen yang dilas.



Gambar 1.2. Variasi lebar root (a) *root gap* 3mm; (b) *root gap* 4mm; (c) *root gap* 5mm.

4. Perlakuan dan Pengujian Material

Pada tahap ini akan dilakukan proses pengelasan material. Metode pengelasan yang digunakan adalah pengelasan SMAW dengan elektroda E7016 sebagai logam pengisinya. Melakukan pengujian material meliputi uji makroetsa, uji mikrostruktur/foto mikro, dan uji kekerasan.

5. Evaluasi dan Analisa Hasil Pengujian

Penganalisaan dan evaluasi dilakukan dari hasil pengujian material.

6. Kesimpulan

Menarik kesimpulan berdasarkan hasil dari analisis data yang didapat dari pengujian terhadap material baja ASTM A36 setelah mengalami proses pengelasan dengan metode SMAW.

1.8. Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR GRAFIK

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan langkah-langkah dan peralatan yang perlu dipersiapkan selama penelitian tugas akhir ini berlangsung, dari persiapan hingga penyusunan laporan tugas akhir.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan permasalahan, studi komparatif, dan analisis teknis yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan sehingga didapatkan suatu kesimpulan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjabarkan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, rekomendasi, dan saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Klasifikasi Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon baja biasanya juga mengandung sejumlah unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran pada bijih besi (misalnya belerang dan phosphor), yang biasanya kadarnya akan ditekan serendah mungkin, sebagian lagi dari unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi/baja (misalnya silikon dan mangan). Disamping itu seringkali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja untuk memperoleh suatu sifat tertentu. Mengingat hal ini maka dapat dibayangkan bahwa jenis baja akan sangat banyak.

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan manusia, jenis dan bentuknya sangat banyak. Karena penggunaannya yang sangat luas maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut keperluan masing-masing. Ada beberapa cara mengklasifikasikan baja antara lain:

1. Menurut cara pembuatannya: baja Bessmer, baja Siemens-Martin (open hearth), baja listrik
2. Menurut penggunaannya: baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas
3. Menurut kekuatannya: baja lunak, baja kekuatan tinggi
4. Menurut struktur mikronya: baja eutektoid, baja hypoeutektoid, baja hypereutektoid, baja austenitic, baja feritic, baja martensitic.
5. Menurut komposisi kimianya: baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi.

Menurut komposisi kimiannya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon (baja tanpa paduan, plain *carbon steel*) dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung sejumlah unsur lain selain besi dan karbon. Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur lain selain besi dan karbon. Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batasan tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja, seperti mangan dan silikon, dan beberapa unsur pengotoran, sep-

erti belerang, phosphor, oksigen, nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar sangat kecil. [Surdia and Saito, 1999]

Baja karbon rendah (*low carbon steel* atau disebut *mild steel*), Struktur didominasi oleh ferit dan sedikit perlit. Mempunyai keuletan yang tinggi dan mudah di-*machining*. Tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk martensit. Mempunyai nilai kekerasan rendah. Kadar karbon sampai 0.3% sangat luas pemakaiannya, sebagai baja konstruksi umum untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain-lain.

Baja karbon menengah (*medium carbon steel*), Dapat dinaikkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas austenizing, quenching, dan tempering. Lebih kuat dari baja karbon rendah. Lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong daripada baja karbon rendah. kadar karbon 0.3-0.7%. baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan tetapi getas. Banyak digunakan untuk konstruksi mesin, seperti poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas, dll.

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*), lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong daripada baja karbon menengah. Sulit dibentuk dengan mesin. kadar karbon lebih dari 0.7% lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk perkakas, yang biasanya memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk gunting, mata bor, reamer, dan perkakas tangan yang lainnya.

Baja paduan rendah (*low alloy steel*), baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10%), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kadar karbon yang sama. *Hardenability* dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik. Banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin. [Surdia and Saito, 1999]

Baja paduan tinggi (*high alloy steel*), baja paduan dengan kadar unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu, baja tahan karat (*stainless steel*), baja perkakas (*tool steel*, misalnya *high speed steel*, HSS), baja tahan panas (*heat resisting steel*) dan lain-lain. [Surdia and Saito, 1999]

Baja paduan dihasilkan dengan biaya lebih mahal dari baja karbon lainnya, karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerasan khusus yang dilakukan dalam industri atau pabrik. Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki. [Surdia and Saito, 1999]

2.2. Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara unsur besi dan karbon (paling dominan) dengan sedikit paduan Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbonnya, oleh karena itu baja karbon ini dikelompokkan jenisnya berdasarkan persentase kadar karbonnya. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi, akan tetapi perpanjangannya menurun. [Suarjana, 2012]

Berdasarkan kandungan unsur karbon, baja karbon dibedakan menjadi:

1. Baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0.30%,
2. Baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.30% - 0.45%
3. Baja karbon tinggi dengan kadar karbon 0.45% - 1.70%.

2.2.1. Karakteristik Baja Karbon

Menurut mutunya baja karbon terdiri dari baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi. *Properties* dan komposisi kimia dari struktur baja karbon rendah dan menengah dihasilkan dengan standar state, dimana pada standar ini seluruh struktur baja karbon terabagi menjadi 3 kelompok:

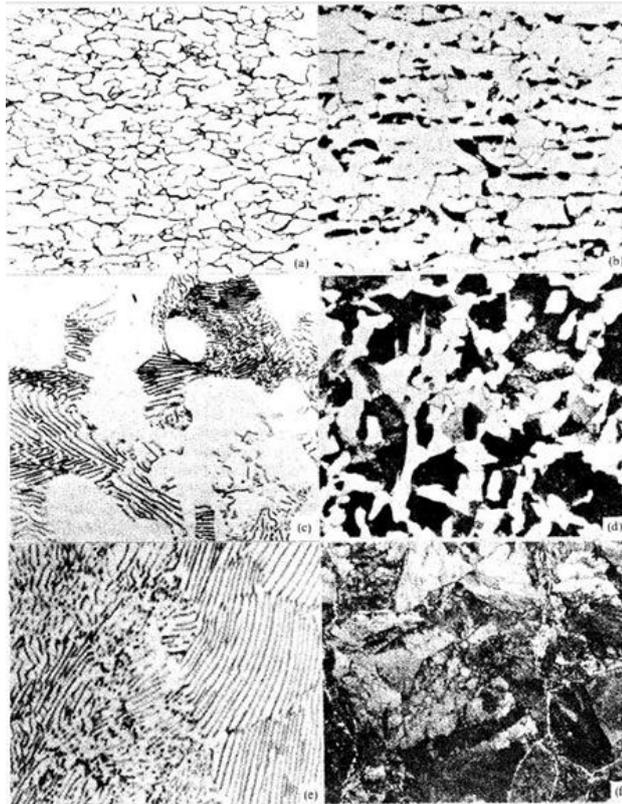
1. Kelompok yang pertama adalah baja karbon yang memiliki kepastian pada *mechanical properties*, dimana unsur-unsur yang terkandung dalam komposisi kimianya tidak selalu ada (kecuali untuk sulfur dan fosfor).
2. Kelompok yang kedua adalah baja karbon yang memiliki kepastian pada komposisi kimianya.
3. Kelompok yang ketiga adalah baja karbon yang mempunyai komposisi kimia dan *mechanical properties*.

Pada baja karbon apabila semakin besar kandungan karbonnya maka nilai dari *tensile strength*, *yield point* dan *hardness* akan semakin tinggi dan untuk nilai *elongation* serta *impact strength*nya akan menjadi rendah. Dengan kata lain semakin besar kandungan karbon yang dimiliki oleh baja karbon akan memiliki kesamaan yaitu nilai *strength*, elastisitas dan kekerasan akan semakin besar pula sedangkan untuk keuletan dan *impact strength*nya akan turun.

2.2.2. Mikrostruktur Baja Karbon Rendah

Sebagian dari baja karbon rendah merupakan baja yang murni (Fe-99.5%) dengan sejumlah kecil unsur-unsur logam seperti mangan, silikon, dan aluminium yang biasanya

ditambahkan untuk meningkatkan *properties* dari baja karbon rendah itu sendiri. Sesungguhnya banyak dari baja karbon rendah terutama untuk *very low* dan *ultra low* karbon *steel* adalah baja yang benar-benar murni (99.99%) karena karbon yang dimilikinya merupakan karbon pada tingkat rendah sehingga dipertimbangkan sebagai suatu unsur yang bersifat sisa dan tidak lagi dipertimbangkan untuk dapat meningkatkan *properties* dari material. Di baja ini mikrostrukturnya adalah 100% ferrit.



Gambar 2.1. Struktur mikro dari baja. [Surdia and Saito, 1999]

Ferrit merupakan unsur yang utama pada baja murni dan mengandung kurang dari 0.005% C pada temperatur suhu ruang, tetapi seringkali juga terdapat kandungan lain yaitu mangan dan silikon. Ferrit juga dapat muncul pada baja-baja yang mengalami pengerjaan dingin. Beberapa baja yang berfasa ganda menunjukkan adanya eptiaxial ferrit, karena mengalami annealed pada dua fasa. Pada baja karbon rendah strukturnya dapat dilihat dalam butir ferrit yang mengandung seperti susunan jaringan rangka. Karena mengandung kandungan karbon rendah, ferrit yang dibentuk sangat halus atau lembut dan sangat mudah untuk berubah bentuk (*deformed*), ini artinya dibutuhkan perlakuan khusus pada baja yang memiliki kandungan baja karbon rendah untuk menghindari efek dari pengerjaan perlakuan dingin.

2.2.3. Sifat Baja ASTM A36

ASTM A36 merupakan material yang paling umum digunakan dalam pembuatan *mild and hot rolled steel*. Material ini mempunyai *welding properties* yang sangat bagus dan cocok dalam proses *grinding, punching, tapping, drilling, dan machining*. Syarat komposisi kimia dari baja ASTM A36 dapat dilihat pada Tabel 2.1, sedangkan untuk uji tariknya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36
[ASTM, 2004]

NOTE 1— Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

Tabel 2.2. Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36
[ASTM, 2004]

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

Sifat mampu las baja karbon didefinisikan sebagai kapasitas dari material baja karbon untuk dilas dalam kondisi perakitan atau fabrikasi yang khusus sehingga sesuai dengan desain struktur dan memberikan performa yang memuaskan dalam aplikasinya. Baja kar-

bon rendah seperti A36 ini mempunyai kepekaan terhadap retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon jenis lainnya, tapi retak las pada baja karbon jenis ini bisa saja terjadi pada pelat tebal atau bila didalamnya terkandung unsur sulfur (S) yang cukup tinggi. Tidak terjadi retak dapat diprediksi dari nilai karbon ekuivalen C_{eq} dalam baja tersebut.

Tabel 2.3. C_{eq} Terhadap sifat mampu las. [Suarjana, 2012]

Nilai C_{eq} .	Sifat mampu las	Perlakuan pengelasan
< 0.40	Sangat baik	<i>Preheat</i> untuk menghilangkan uap air
0.41 – 0.45	Baik	<i>Preheat</i> + elektroda dengan kadar hidrogen rendah
> 0.45 – 0.52	Sedang	<i>Preheat</i> + elektroda dengan kadar hidrogen rendah + kontrol temperatur
> 0.52	Buruk	<i>Preheat</i> + elektroda dengan kadar hidrogen rendah + kontrol temperatur + PWHT

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam. Dari unsur besi berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat. Struktur mikro besi dan baja dapat dijelaskan pada dua pembahasan berikut. [Surdia and Saito, 1999]

2.3. Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan menggunakan proses pemanasan setempat, sehingga terjadi ikatan metalurgi antara logam-logam yang disambung. Proses penyambungan logam dewasa ini banyak dipakai di industri untuk pekerjaan konstruksi kapal, pembuatan mesin, konstruksi perpipaan serta pekerjaan lain yang memerlukan sambungan. Dalam setiap proses pengerjaan pengelasan harus memenuhi standar tertentu yaitu ASME (*American Society of Mechanical Engineer*), AWS (*American Welding Society*). Dalam hal ini pemilihan proses las, pemilihan logam pengisi (*filler metal*), perencanaan prosedur las, kualifikasi prosedur pengelasan, perancangan dan prosedur

fabrikasi, serta sistem pengendalian mutu harus dilakukan mengikuti peraturan yang berlaku dalam standar.

Agar suatu pelaksanaan konstruksi las dikerjakan dengan benar dan berhasil, sehingga aman terhadap hasil yang dikerjakan, maka untuk setiap pekerjaan las harus dimulai dengan pemilihan elektroda las, proses pengelasan dan variabel penting lainnya seperti : bentuk sambungan yang akan dilakukan pada awal dan selesainya pengelasan, PHT (*Post Heat Treatment*), PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dan arus listrik yang dipakai, untuk semua pekerjaan tersebut perlu adanya spesifikasi prosedur pengelasan, WPS (*Welding Procedure Specification*). [Aljufri, 2008]

Pada pengelasan SMAW prosedur telah dirancang menurut ketentuan AWS, standar diuji kualitasnya dengan berbagai uji tes baik NDT (*Non Destructive test*) maupun mechanical test yang dibuktikan dengan suatu kualifikasi yang disebut kualifikasi prosedur. Pelaksanaan kualifikasi diatur oleh ASME section IX standar. Pengelasan yang paling populer di indonesia yaitu pengelasan dengan busur nyala listrik (SMAW).

2.3.1. Klasifikasi Pengelasan

Pada saat ini belum ada kesepakatan mengenai cara-cara pengklasifikasian dalam bidang las. Hal ini disebabkan belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional pengklasifikasian tersebut dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.

Metode penggabungan dapat diklasifikasikan secara luas menjadi tiga kategori menurut mekanisme penggabungan, yaitu;

1. Pengelasan Cair

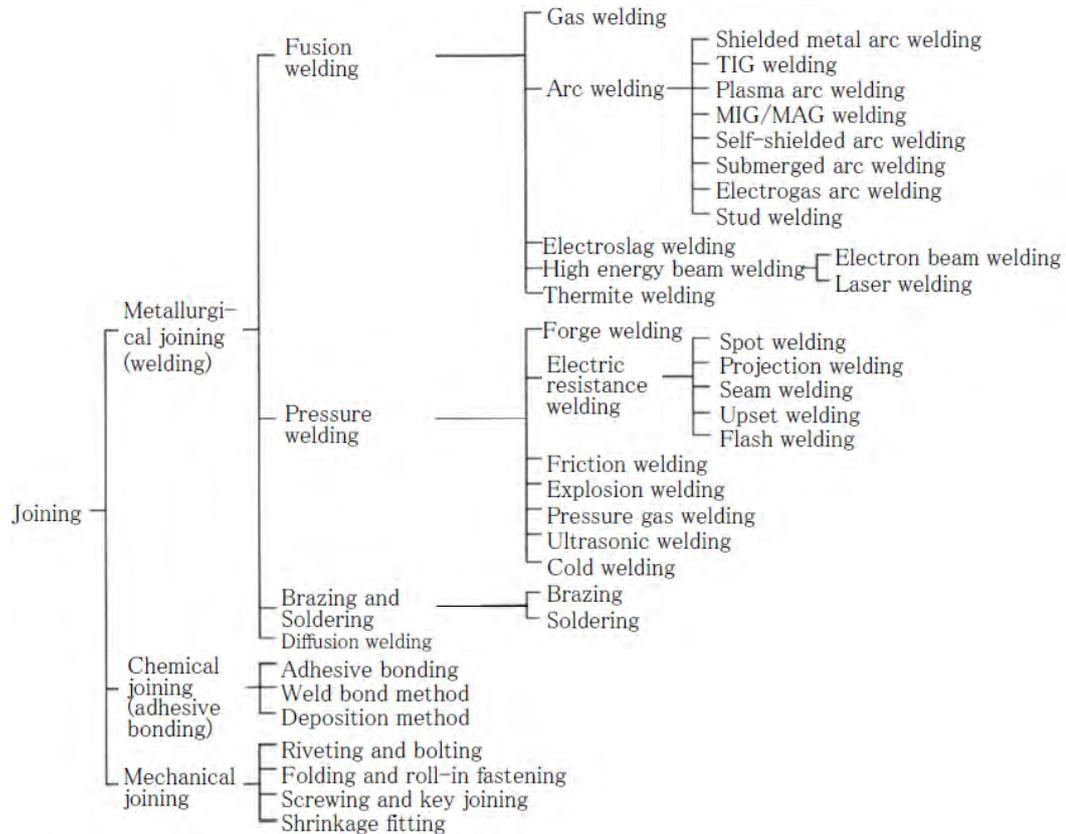
Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan Tekan

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

Cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam lain yang memiliki titik cair yang rendah. Dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair.



Gambar 2.2. Klasifikasi metode pengelasan. [JWES, 2008]

Metode penggabungan metalurgi (welding) dapat diklasifikasikan menurut mekanisme penggabungan yaitu fusion welding (dapat diartikan menjadi pengelasan dalam arti sempit). [JWES, 2008]

Dalam fusion welding (pengelasan cair), anggota yang akan digabungkan (base metal) dipanaskan sampai meleleh dengan atau tanpa menggunakan filler metal (contohnya elektroda terbungkus), dan kemudian bagian yang meleleh menghasilkan perpaduan base metal yang diikuti proses pematatan.

Proses fusion welding, khususnya proses arc welding yang menggunakan busur sebagai sumber pelepasan panas, merupakan hal yang sangat umum digunakan. Berikut ini adalah keuntungan dan kerugian dari pengelasan. [JWES, 2008]

Keuntungan:

- Konfigurasi penggabungan yang sederhana.
- Ekonomis, dapat menghemat material.
- Efisiensi penggabungan yang tinggi dan kerapatan yang sangat bagus.
- Hampir tidak terbatas pada ketebalan material.
- Kebisingan yang lebih sedikit pada pengerjaan pengelasan.

Kerugian:

- Kecenderungan tinggi terhadap distorsi karena panas lokal dan pendinginan.
- Kecenderungan tinggi dalam menghasilkan tegangan sisa yang mana dapat menyebabkan kepecahan dan *stress corrosion cracking*.
- Kecenderungan tinggi dalam menurunkan karakteristik daripada logam induk karena pengaruh panas las, yang dapat menyebabkan *weld cracks* dan menurunkan kekuatan.
- Kecenderungan tinggi dalam menghasilkan struktur yang brittle yang dapat menyebabkan crack, tanpa menimbulkan crack pada hasil pengelasan.
- Mempunyai pertimbangan khusus pada logam las (*weld metal*) yang berbeda karakteristiknya daripada logam induk (*base metal*).
- Tidak mudah dalam penentuan kualitas las karena pengelasan tergantung dari keterampilan masing-masing personil las (*welder*).

2.3.2. Pengelasan SMAW

Salah satu jenis proses las busur listrik elektroda terumpan, yang menggunakan busur listrik yang terjadi antara elektroda dan benda kerja setempat, kemudian membentuk paduan serta membeku menjadi lasan. Jenis proses pengelasan paling banyak dipakai dimana-mana untuk hampir semua keperluan pekerjaan pengelasan. Tegangan yang dipakai hanya 23 sampai dengan 45 Volt AC atau DC, sedangkan untuk pencairan pengelasan dibutuhkan arus hingga 500 Ampere. Namun secara umum yang dipakai berkisar 80 – 200 Ampere.

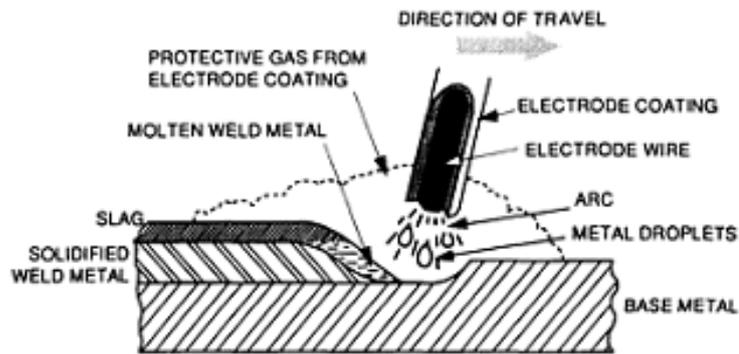
Keuntungan :

- Dapat dipakai dimana saja, diluar, dibengkel & didalam air.
- Satu set dapat mengelas berbagai macam tipe dari material *mild steel* ke *copper low* dengan rectifier.
- Set-up yang cepat dan sangat mudah untuk diatur.
- Pengelasan dengan segala posisi.
- Elektroda tersedia dengan mudah dalam banyak ukuran dan diameter.
- Perlatan yang digunakan sederhana, murah dan mudah dibawa kemana-mana.
- Tingkat kebisingan rendah.

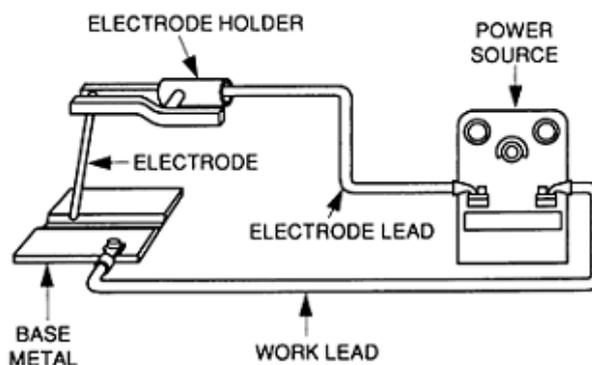
Kerugian :

- Pengelasan terbatas hanya sampai sepanjang elektoda dan harus melakukan penyambungan.
- Setiap akan melakukan pengelasan berikutnya *slag* harus dibersihkan.
- Tidak dapat digunakan untuk pengelasan bahan baja non - ferrous.
- Mudah terjadi oksidasi akibat pelindung logam cair hanya busur las dari fluks.
- Diameter elektroda tergantung dari tebal pelat dan posisi pengelasan.

SMAW adalah las busur listrik dengan menggunakan elektroda berselaput (fluks). Fungsi fluks pada pengelasan ini adalah membentuk *slag* diatas hasil lasan yang berfungsi sebagai pelindung hasil lasan dari udara (Oksigen, hidrogen,dsb.) selama proses las berlangsung.



Gambar 2.3. Proses Pengelasan SMAW. [ASM Handbook Vol 6, 2004]



Gambar 2.4. Rangkaian proses pengelasan SMAW. [ASM Handbook Vol 6, 2004]

Kelebihan SMAW antara lain dapat diandalkan untuk mengelas berbagai jenis sambungan, posisi serta lokasi yang sulit dikerjakan, biaya operasional yang relative murah dan dapat dipakai untuk mengelas di dalam (workshop) dan di luar (lapangan). Tidak me-

merlukan hose untuk gas pelindung ataupun air pendingin, dan kualitas sambungan dapat dirancang sedemikian rupa dengan menggunakan berbagai jenis elektroda.

Kekurangan pengelasan SMAW adalah efisiensi yang rendah karena panjang elektroda yang terbatas (maks 450 mm). setiap penggantian membutuhkan waktu dan adanya terak yang harus dibersihkan setiap kali penggantian elektroda serta dibutuhkan juru las yang terampil karena pengelasan dilakukan secara manual.

2.3.3. Definisi Pengelasan SMAW

Proses pengelasan SMAW menghasilkan busur listrik antara logam induk dan elektroda. Bagian elektroda yang mencair, melebur ke dalam bagian logam induk yang mengalami peleburan dan membentuk logam lasan. Sebagian besar dari elektroda yang mencair berpindah ke benda kerja, sisanya terlempar keluar sebagai *spatter* dan ada yang menguap. Dari sebagian elektroda yang menguap itu ada juga yang melepaskan diri ke udara sekitar, menjadi pengoksidasi dan muncul sebagai uap. [Okumura and Wiryosumarto, 2000]

Dalam proses pengelasan SMAW ada lima gaya yang berbeda yang mempengaruhi proses perpindahan cairan logam pengisi dan cairan *slag* ke logam induk.

1. Gaya grafitasi

Gaya grafitasi merupakan gaya yang paling mempengaruhi proses perpindahan logam pengisi dalam posisi pengelasan yang datar. Pada posisi yang lain, tegangan muka tak mampu untuk menahan banyaknya logam yang mencair dan slag di dalam crater. Maka, elektroda dengan diameter kecil harus digunakan untuk menghindari hilangnya logam las dan slag yang berlebih.

2. Ekspansi gas

Gas terbentuk dari bungkus elektroda yang terbakar dan diuapkan oleh panas dari slag elektroda yang mendidih. Bungkus elektroda yang melebihi ujung, logam elektroda bisa membantu mengendalikan proses pemuaiian gas yang cepat dan mengarahkan tetesan logam yang mencair ke kawah logam las yang terbentuk di logam induk.

3. Gaya elektromagnetik

Bagian ujung dari elektroda merupakan sebuah konduktor, seperti halnya tetesan logam yang mencair pada ujung elektroda. Oleh karena itu tetesan tetesan itu dipengaruhi oleh gaya magnetik yang bekerja tegak lurus terhadap arah gerakan arus listrik. Gaya ini

menghasilkan jepitan pada tetesan logam yang mencair dan mempercepat proses pelepasan logam yang mencair pada ujung elektroda.

4. Gaya listrik

Gaya yang digunakan oleh tegangan pada busur las enjepit tetesan logam tanpa memperhatikan posisi pengelasan. Gaya ini membantu seseorang yang mengelas dengan menggunakan arus searah, polaritas lurus dan elektroda yang menggunakan pembungkus mineral dimana pembungkus tersebut dapat menghasilkan gas dalam jumlah banyak.

5. Tegangan permukaan

Gaya yang menjaga logam pengisi tetesan slag menyatu dengan logam induk atau logam las di lubang pengelasan. Hal ini akan membantu menahan logam yang mencair, baik dalam posisi pengelasan horizontal, vertikal maupun pengelasan diatas kepala dan untuk menentukan bentuk luar dari hasil pengelasan.

2.3.4. Parameter Pengelasan

1. Diameter elektroda

Diameter elektroda yang dipakai dalam pengelasan SMAW sangat mempengaruhi besar kecilnya amper yang dipakai. Hal tersebut berhubungan dengan laju peleburan atau laju penimbunan (*fusion rate/deposition rate*) dan kedalaman penetrasi (*penetration*). Biasanya pada elektrode yang akan dipakai sudah direkomendasikan batasan besarnya amper, posisi pengelasan dan polaritas yang dipakai.

2. Amper las

Penggunaan amper selama proses pengelasan sangat bergantung pada besar kecilnya diameter elektroda yang dipakai, bahan dan ukuran dari lasan geometri sambungan, posisi pengelasan dan macam elektroda. Perusahaan pembuat elektroda sudah menetapkan besar kecilnya amper yang dipakai, informasi besarnya amper yang dipakai biasanya ditemukan pada bungkus elektroda.

Misalnya, amper yang dianjurkan untuk elektroda tertentu adalah 90-100 ampere, pada pelaksanaan latihan biasanya akan menetapkan besarnya amper di pertengahan antara kedua batas tersebut, yaitu di 95 ampere. Sesudah mulai mengelas, penyetoran amper kembali dilakukan sampai hasilnya baik. Daerah las mempunyai kapasitas panas yang tinggi maka dengan sendirinya diperlukan ampere las yang besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan ampere las yang kecil.

Amper yang terlalu besar dapat mengakibatkan:

- Elektroda terlalu panas, dapat merusak kestabilan *fluks*.
- Lebar cairan las terlalu besar.
- Perlindungan cairan las tidak maksimal, dapat mengakibatkan logam lasan berpori (*porosity*).
- Besar kemungkinan terjadi *undercut*.
- Terak (*slag*) sukar dibersihkan.

Amper yang terlalu kecil dapat mengakibatkan:

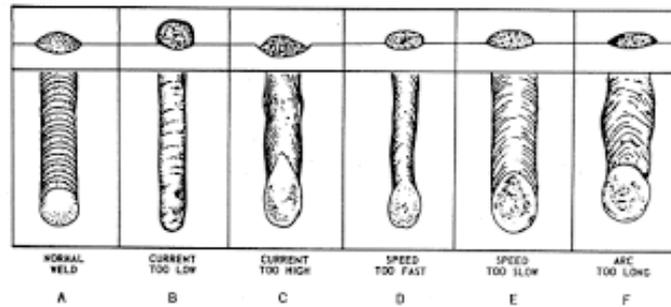
- Penyalaan busur sulit dan lenket-lengket.
- Peleburan terputus-putus akibat dari busur yang tidak stabil.
- Peleburan *base* metal dan elektrode jelek dan terjadi *slag inclusion*.

3. Kecepatan pengelasan (*welding speed*)

Kecepatan pengelasan adalah laju dari elektroda pada waktu proses pengelasan. Kecepatan maksimum mengelas sangat bergantung pada ketrampilan juru las (*welder*), posisi, jenis elektroda dan bentuk sambungan.

Dalam hal hubungannya dengan tegangan dari ampere las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan ampere las. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan ampere las yang tinggi. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat memperkeras daerah HAZ. [Okumura and Wiryosumarto, 2000]

Kecepatan pengelasan yang terlalu cepat, logam lasan menjadi dingin terlalu cepat, menyebabkan bentuk deposit las menjadi kecil dengan puncak yang runcing. Sebaliknya, jika kecepatan perjalanan terlalu lambat, deposit las bertumpuk-tumpuk menjadi terlalu tinggi dan lebar. Kecepatan yang sesuai adalah bila menghasilkan deposit las baik, dengan tinggi maksimal sama dengan diameter elektroda dan lebar tiga kali diameter elektroda.



Gambar 2.5. Bentuk-bentuk deposit las dan penyebabnya. [Okumura and Wiryosumarto, 2000]

4. Polaritas listrik

Seperti telah ditentukan sebelumnya bahwa pengelasan busur listrik dengan elektrode terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektrode, kondisi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya.

Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus dimana elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya bila kapasitas panasnya kecil seperti pada pelat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritas balik dimana elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Untuk menurunkan penembusan misalnya dalam pengelasan baja tahan karat austenit atau pada pengelasan pelapisan keramik sebaiknya elektroda dihubungkan dengan kutub positif.

Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah daripada arus bolak-balik terutama pada pengelasan dengan arus yang rendah. Tetapi untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak-balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir pengelasan. [Okumura and Wiryosumarto, 2000]

5. Sudut elektroda (*Electrode angle*)

Sudut elektroda adalah sudut posisi/kedudukan elektroda terhadap benda kerja pada saat pengelasan. Perubahan sudut elektroda yang sangat ekstrim mempengaruhi bentuk deposit las, oleh karena itu sudut elektroda sangat penting dalam proses pengelasan. Sudut elektroda terdiri atas dua posisi, yaitu sudut kerja (*work angle*) dan sudut arah pengelasan (*travel angle*).

Sudut kerja adalah sudut yang terbentuk dari garis horisontal tegak lurus terhadap arah pengelasan. Sudut arah pengelasan adalah sudut pada arah pengelasan terhadap garis vertikal dan mungkin berubah dari 15 hingga 30 derajat.

6. Besarnya penembusan

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan besarnya penembusan tergantung kepada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las dari tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberi pengaruh yang sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin tidak terpusat, sehingga panasnya melebar dan menghasilkan penetrasi yang melebar dan dangkal. Dalam hal tegangan ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memang memerlukan tegangan tinggi. Pengaruh kecepatan seperti diterangkan sebelumnya bahwa sampai pada suatu kecepatan tertentu naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan.

7. Kondisi standar pengelasan

Beberapa kondisi standar dalam pengelasan dengan syarat-syarat tertentu seperti tebal pelat, bentuk sambungan, jenis elektroda, diameter inti elektroda dan lain sebagainya. Sudah tentu bahwa kondisi standar ini harus dilaksanakan secara seksama dari sesuai bentuk dan ketelitian alur, keadaan tempat pengelasan dan lain-lainnya.

2.4. Desain Sambungan Las

Salah satu yang harus dipersiapkan sebelum melakukan pengelasan adalah pembuatan kampuh las. Kampuh las berguna sebagai tempat pengisian logam pengisi (elektroda) yang ikut mencair. Bentuk kampuh sangat mempengaruhi efisiensi sambungan dan jaminan sambungan.

Pada dasarnya pemilihan bentuk kampuh menuju kepada penurunan pemasukan panas dan penurunan logam las pada tingkat harga terendah dan tidak menurunkan mutu dari sambungan. [Okumura and Wiryosumarto, 2000]

Ada tiga aturan dalam pemilihan sambungan dan kampuh:

1. Pemilihan sambungan yang memerlukan sedikit logam pengisi.
2. Penggunaan akar kampuh yang minimum dengan sudut yang kecil agar dapat mengurangi jumlah logam pengisi.
3. Pada pelat yang tebal menggunakan kampuh ganda untuk mengurangi logam pengisi.

Beberapa Standar telah mengatur jenis – jenis sambungan, ada sembilan jenis alur sambungan (kampuh) las yang utama seperti pada gambar:

Tabel 2.4. Tabel jenis alur sambungan las. [Okumura and Wiriyosumarto, 2000]

Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

2.5. Metalurgi Las

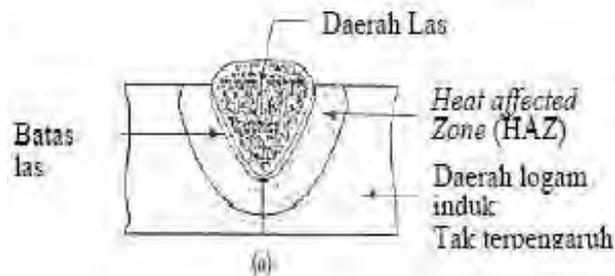
Pengelasan adalah proses penyambungan dengan menggunakan energi panas, karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan – tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi las.

Logam akan mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone*.

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian:

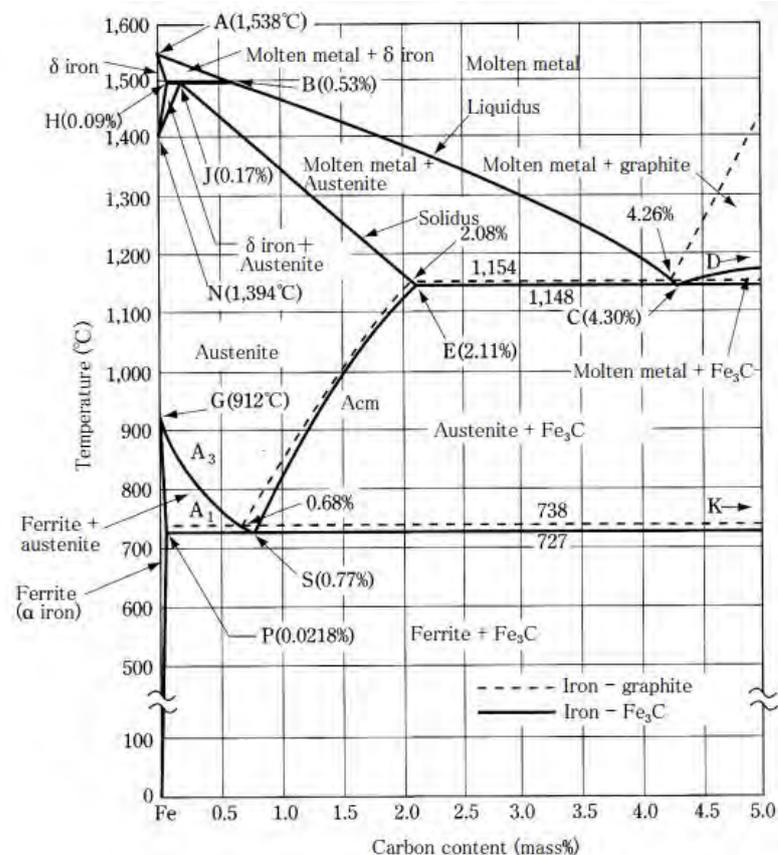
1. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku.
2. Fusion Line, garis penggabungan atau garis batas cair antara logam las dan logam Induk

3. Daerah pengaruh panas disebut HAZ (*Heat Affected Zone*), adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang cepat. Pembagian daerah lasan dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2.6. Pembagian daerah las. [Malau, 2003]

Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi yaitu diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)*. Daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*) pada baja karbon juga sangat berhubungan dengan diagram fasa Fe-Fe₃C dan diagram continuous-cooling transformation untuk heat treatment pada baja karbon bisa berguna juga untuk pengelasan, berikut ini gambaran dari diagram fase Fe-Fe₃C:



Gambar 2.7. Diagram fasa Fe-Fe₃C. [JWES, 2008]

2.3.5. Daerah Terpengaruh Panas (HAZ)

Selama proses pengelasan akan terjadi proses pemanasan dan pendinginan, hal ini akan menyebabkan perubahan pada daerah disekitar las-lasan yang terpapar panas. Daerah terpengaruh panas yang sebenarnya adalah bagian dari sambungan las yang mengalami suhu tertinggi yang mampu menghasilkan perubahan struktur mikro dalam keadaan padat namun terlalu rendah untuk suatu pencairan. Lebar daerah terpengaruh panas ini ditentukan oleh aliran panas. Selama proses pengelasan daerah terpengaruh panas akan mengalami perubahan-perubahan secara metalurgi, seperti rekristalisasi, pelarutan endapan, pengerasan, maupun pengendapan berlebih. Pada daerah HAZ yang dekat dengan lasan, kristal tumbuh lebih cepat dan membentuk butir-butir kasar. daerah ini disebut dengan batas las. Daerah ini butir menjadi kasar dan logam menjadi lebih getas akibat siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. [Widharto, 2007]

2.3.6. Ketangguhan Logam Las

Logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas – gas lain. Komposisi logam las sudah barang tentu tergantung daripada proses pengelasan tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari struktur logam itu sendiri. Struktur logam daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, pada daerah HAZ dekat dengan daerah lebur, kristal tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar daerah ini dinamakan batas las.

Didalam daerah pengaruh panas besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan, karena siklus termal yang terjadi sangat kompleks sehingga ketangguhannya pun semakin kompleks.

2.6. Elektroda

Elektroda didefinisikan sebagai lapisan kawat logam yang mempunyai komposisi kimia logam yang akan dilas. Ada berbagai jenis dan ukuran elektrode yang berbeda, dan jika salah dalam menentukan elektroda dalam pengelasan maka akan sulit untuk mendapatkan hasil las-lasan yang baik. Secara umum semua elektroda dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelompok

utama, yaitu: *mild steel electrode*, *high-carbon steel*, *special low steel*, *cast iron* dan *nonferrous electrode*. Sebagian las busur api dinyalakan dengan menggunakan kelompok elektroda *mild steel*. Setiap kelompok elektroda dapat digunakan untuk pengelasan logam dari jenis yang sama. Suatu misal, elektroda besi (*cast iron electrode*) digunakan untuk pengelasan besi cor, elektroda *non-ferrous* digunakan untuk pengelasan logam seperti aluminium, tembaga dan kuningan.

Elektroda untuk *mild steel* masih dibagi lagi menjadi dua jenis, yaitu; *bare* dan *shielded*. Elektroda *bare* adalah elektroda tanpa bungkus, pada awal penemuan teknologi las elektroda yang diaai adalah jenis ini, tetapi pada saat ini jenis elektroda *bare* sangat jarang digunakan, karena selain sukar untuk digunakan mengelas, jenis elektroda ini juga dapat menghasilkan hasil las-lasan yang *brittle* dan kuat tariknya rendah. Sedangkan elektroda *shielded* merupakan elektroda yang mempunyai lapisan yang terdiri atas berbagai macam substansi seperti sodium, selulosa potasium, sodium titan, sodium potas, oksida besi, serbuk besi dan bahan-bahan lain yang berguna. Setiap substansi tersebut diharapkan memberikan fungsi dalam proses pengelasan.

Sebagian besar elektrode las SMAW dilapisi oleh lapisan flux, yang berfungsi sebagai pembentuk gas yang melindungi cairan logam dari kontaminasi udara sekelilingnya. Selain itu flux berguna juga untuk membentuk terak las yang juga berfungsi melindungi cairan las dari udara sekelilingnya. Lapisan elektrode ini merupakan campuran kimia yang komposisinya sesuai dengan kebutuhan pengelasan. Menurut AWS (*American Welding Society*) elektrode diklasifikasikan dengan huruf E dan diikuti empat atau lima digit sebagai berikut E xxxx (x). Dua digit yang pertama atau tiga digit menunjukkan kuat tarik hasil las tiga digit menunjukkan kuat tarik lebih dari 100.000 psi sedangkan dua digit menunjukkan kuat tarik hasil lasan kurang dari 100.000 psi.

Sebagai contoh elektrode E 7016 mempunyai kuat tarik 70.000 psi. Sedangkan angka digit ketiga atau keempat bagi yang kuat tariknya lebih besar 100.000 psi, digit selanjutnya menunjukkan posisi pengelasan, apabila angkanya 1 berarti untuk segala posisi.pengelasan, angka 2 berarti las datar atau horizontal dan angka 3 menunjukkan untuk pengelasan datar saja. Digit yang terakhir menunjukkan jenis dari campuran kimia dari lapisan elektrode.

Tabel 2.5. Macam-macam jenis selaput (fluks). [Okumura and Wiryosumarto, 2000]

Angka Keempat	Jenis Selaput (Fluks)	Arus Pengelasan
0	Natrium selulosa, Oksida besi tinggi	DC+
1	Kalium – Selulosa tinggi	AC,DC+
2	Natrium – Titania tinggi	AC,DC-
3	Kalium – Titania tinggi	AC,DC+
4	Serbuk besi, Titania	AC,DC±
5	Natrium – Hydrogrn rendah	DC+
6	Kalium – Hydrogen rendah	AC,DC+
7	Serbuk besi, Oksida besi	AC,DC+
8	Serbuk besi, Hydrogen rendah	AC,DC+

Fungsi utama dari flux ada beberapa yaitu :

1. Fluks memfasilitasi penyalaan busur dan meningkatkan intensitas dan stabilitas busur
2. Fluks menimbulkan gas untuk melindungi busur, fluks akan terurai dan menimbulkan gas (CO₂, CO, H₂, dan sebagainya) yang mengelilingi busur. Hal ini menjaga bentuk butiran logam dan cairan teroksidasi atau nitrasi yang disebabkan oleh kontak dengan atmosfer.
3. *Slag* / terak melindungi logam las dan membantu pembentukan rigi, selama pengelasan, fluks mencair menjadi terak yang melindungi cairan dan rigi las dengan cara menutupinya. Dengan berbagai kekentalan (viskositas) dari terak, memungkinkan untuk melaksanakan pengelasan dalam berbagai posisi dan memperbaiki bentuk dari rigi las.
4. Fluks menghaluskan kembali logam las dengan deoksidasi, bila pengelasan dilaksanakan pada udara terbuka, logam las tidak bisa terhindar dari oksidasi walau penimbul gas dan pembentuk terak digunakan. Elemen deoksidasi seperti Mn dan Si telah ditambahkan pada fluks, melindungi pembentukan lubang cacing dan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dari logam las.
5. Fluks perlu ditambahi elemen campuran ke logam deposit, elemen campuran yang tepat yang ditambahkan dari fluks untuk endapan logam akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, panas dan abrasi.

6. Serbuk besi dalam fluks meningkatkan laju pengendapan dan efisiensi pengoperasian, laju pengendapan dapat ditingkatkan dengan arus las yang tinggi atau diameter elektrode las yang besar. Metode yang lain adalah menambahkan serbuk besi ke salutan fluks pada elektrode las. Contoh khususnya adalah elektroda oksida serbuk besi.
7. Fungsi isolasi, fluks memberikan isolasi listrik yang baik. Dalam hal elektrode las dengan kurang hati-hati disentuh ke permukaan las selama pengelasan, fluks mencegah geretan busur yang tidak terduga, dengan demikian mencegah kerusakan las dan juga kecelakaan terhadap manusia.

Fluks terdiri dari biji alam, serbuk dan oksida perekat, karbonat, silikat, zat organik dan berbagai zat bubuk lainnya kecuali untuk logam, dicampurkan pada perbandingan yang spesifik. Campuran ini ditempelkan / disalutkan ke kawat inti dengan menggunakan air kaca sebagai perekat dan dikeringkan.

2.6.1. Jenis Elektroda

Pemilihan logam pengisi las berupa elektroda las/*filler metal electrode* sebagai logam pengisi dalam proses pengelasan sangat berpengaruh dalam menentukan mutu hasil pengelasan, begitu juga fluks dan gas sebagai pelindung (*shielding*). Berkaitan dengan sifat mekanis logam las yang dikehendaki maka apabila salah dalam pemilihan akan menyebabkan kegagalan pengelasan. Pemilihan logam pengisi banyak ditentukan oleh keterkaitannya dengan:

1. Jenis proses las yang akan digunakan.
2. Jenis material yang akan di las.
3. Desain sambungan las.
4. Perlakuan panas (*preheat, post heat*)

Agar dapat memilih elektroda/*filler metal* yang tepat sesuai dengan standar/code, dan dapat menghasilkan sambungan las yang dapat diterima sesuai dengan persyaratan standar/code maka logam pengisi yang dipilih sesuai dengan sifat logam induknya. Fungsi, jenis, klasifikasi, karakteristik dan pengujian dari elektroda/*filler metal* pada proses pengelasan SMAW, GMAW, FCAW, GTAW dan SAW harus mendapatkan jaminan dari perusahaan pembuat logam pengisi tersebut dalam bentuk sertifikat atau data spesifikasi teknik. Pemilihan jenis elektroda akan mempengaruhi kualitas dan hasil lasan, untuk itu, selain pemilihan jenis fluks, pemilihan elektroda harus disesuaikan dengan material yang akan dilas.

2.6.2. Klasifikasi Elektroda

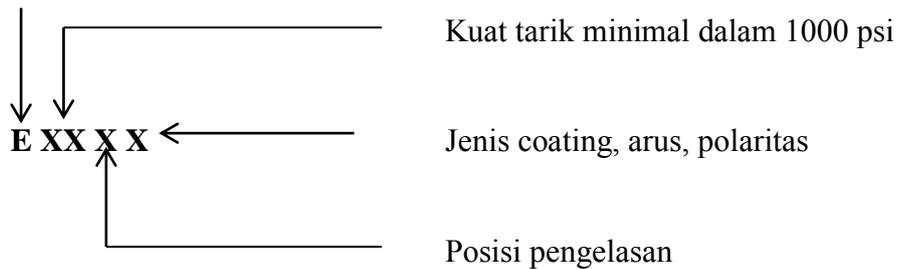
Menurut Klasifikasi sistem Amerika (AWS)

Misal:

AWS A5.1, ASTM 233 untuk *Mild Steel*

AWS A5.5, ASTM 316 untuk *Low Low Steel*

Elektroda



E 60 XX : Kuat tarik logam las 60.000 psi

E 70 XX : Kuat tarik logam las 70.000 psi

E XX 10 : Semua posisi, DC EP, Selulosa, penetrasi dalam

E XX 11 : Semua posisi, AC, DC EP, Selulosa

E XX 12 : Semua posisi, AC, DC EN, Rutile

E XX 13 : Semua posisi, AC, DC, Rutile

E XX 14 : Semua posisi, AC, DC, Iron Powder Rutile

E XX 15 : Semua posisi, DC EP, Basic Hydrogen Rendah

E XX 16 : Semua posisi, AC, DC EP, Basic Hydrogen Rendah +garam potasium

E XX 18 : Semua posisi, AC, DC EP, Basic Hidrogen Rendah + 30% Serbuk besi

E XX 20 : Posisi F,H, AC, DC EN, Mineral + oksida besi / Silikat

E XX 24 : Posisi F,H, AC, DC, Typical Mineral, Rutile, Serbuk besi

E XX 27 : Posisi F,H, AC, DC EN, Mineral + Serbuk besi

E XX 28 : Posisi F,H, AC, DC EP, Hydrogen Rendah, Basic + 50% Serbuk besi

E XX 30 : Posisi F only, Mineral + Serbuk besi / Silikat

E XX 48 : Khusus Vertikal turun, AC, DC EP, Kalium Hydrogen Rendah, Serbuk besi

Untuk elektroda yang diklasifikasikan *low* hidrogen pada digit ke empat ditandai dengan nomer 5, 6, dan 8.

Sehingga standar pengelasan E6013 adalah sebagai berikut [AWS A5.1-91, 1991]

1. E = elektroda las berlapis
2. 60 = kekuatan tarik minimum sebesar 60.000 Psi atau 414 Mpa
3. 1 = untuk pengelasan semua posisi
4. 2 = menggunakan polaritas AC, DCEP, DCEN
5. Jenis flux pada E6013 adalah potasium titania tinggi
6. Bisa dilakukan untuk pengelasan datar, vertikal, horizontal, dan diatas kepala
7. Kuat luluh 48.000 Psi atau 331 Mpa
8. Perpanjangan 17%

2.7. Heat Input Pengelasan

Heat input adalah nilai dari energi yang ditransfer per unit panjang dari suatu pengelasan. *Heat input* merupakan parameter penting karena seperti halnya pemanasan arus dan temperatur interpass, *heat input* juga mempengaruhi laju pendinginan yang akan berpengaruh pada *mechanical properties* dan struktur metalurgi dari HAZ. Apabila *heat input* dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah HAZ akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi cacat seperti undercut. Akan tetapi apabila *heat input* terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti *slag inclusion*. [Hermawan, 2012]

Adapun besarnya panas/temperatur (H) yang dapat melelehkan sebagian bahan merupakan perkalian antara tegangan listrik (E) dengan kuat arus (I) dan efisiensi pengelasan SMAW sebesar 0.8 dibagi kecepatan pengelasan dinyatakan dalam satuan panas joule seperti rumus dibawah ini,

$$HI = \frac{E \times I \times \eta \times 60}{V}$$

dimana :

H = panas (joule)

E = tegangan listrik (volt)

I = kuat arus (amper)

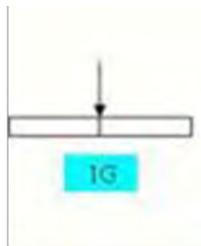
V = kecepatan pengelasan (cm/s)

η = efisiensi pengelasan

2.8. Posisi Pengelasan

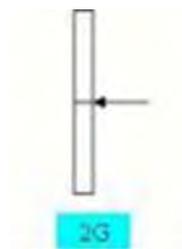
Posisi pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Posisi las yang diambil setiap operator las bergantung dari letak kampuh-kampuh lasnya atau celah-celah pada benda kerja yang hendak dilas. Posisi pengelasan pada pelat terdapat empat jenis sesuai *American Welding Society* (AWS). Adapun posisi mengelas terdiri dari empat macam yaitu:

1. Posisi di Bawah Tangan, Posisi di bawah tangan yaitu suatu cara pengelasan yang dilakukan pada permukaan rata/datar dan dilakukan dibawah tangan. Kemiringan elektroda las sekitar 10° - 20° terhadap garis vertikal dan 70° - 80° terhadap benda kerja.



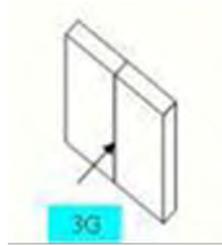
Gambar 2.8. Posisi pengelasan 1G (datar). [Prasetyawanto, 2012]

2. Posisi Datar (Horisontal), Mengelas dengan horisontal biasa disebut juga mengelas merata dimana kedudukan benda kerja dibuat tegak dan arah elektroda mengikuti horisontal. Sewaktu mengelas elektroda dibuat miring sekitar 5° - 10° terhadap garis vertikal dan 70° - 80° kearah benda kerja.



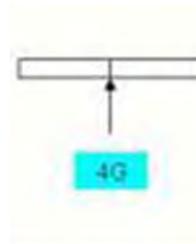
Gambar 2.9. Posisi pengelasan *horizontal* (2G). [Prasetyawanto, 2012]

3. Posisi Tegak (Vertikal), Mengelas posisi tegak adalah apabila dilakukan arah pengelasannya keatas atau kebawah. Pengelasan ini termasuk pengelasan yang paling sulit karena bahan cair yang mengalir atau menumpuk diarah bawah dapat diperkecil dengan kemiringan elektroda sekitar 10° - 15° terhadap garis vertical dan 70° - 85° terhadap benda kerja.



Gambar 2.10. Posisi pengelasan *vertical* (3G). [Prasetyawanto, 2012]

4. Posisi di Atas Kepala (Over Head), Posisi pengelasan ini sangat sukar dan berbahaya karena bahan cair banyak berjatuhan dapat mengenai juru las, oleh karena itu diperlukan perlengkapan yang serba lengkap antara lain: Baju las, sarung tangan, sepatu kulit dan sebagainya. Mengelas dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan kedudukan elektroda sekitar 5° - 20° terhadap garis vertikal dan 75° - 85° terhadap benda kerja.

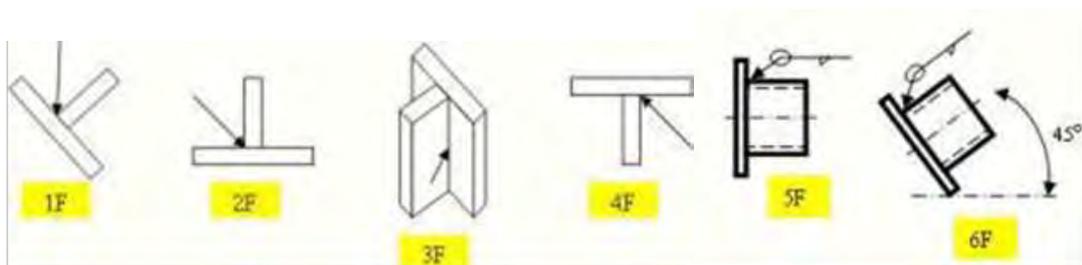


Gambar 2.11. Posisi pengelasan *over head/OH* (4G). [Prasetyawanto, 2012]

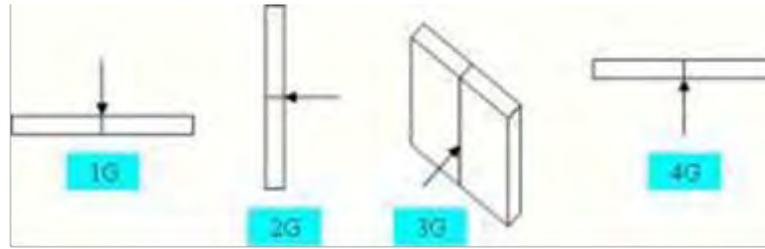
Penempatan benda kerja disesuaikan dengan permintaan, dalam hal ini adalah menyesuaikan posisi pengelasan.

- 1F, 2F, 3F, 4F, 5F, 6F
- 1G, 2G, 3G, 4G (plate)
- 1G, 2G, 5G, 6G, 6GR (pipa)

Contoh posisi-posisi pengelasan seperti gambar berikut :



Gambar 2.12. Posisi-posisi pengelasan *fillet joint*. [Prasetyawanto, 2012]



Gambar 2.13. Posisi-posisi pengelasan *butt joint*. [Prasetyawanto, 2012]

Posisi pengelasan akan mempengaruhi jumlah arus yang digunakan. Jumlah minimum arus yang dibutuhkan ditentukan dari kebutuhan untuk menyatukan plat dan menjaga busur tetap stabil. Ditentukan minimumnya juga untuk menghindari retak pada daerah HAZ. Sedangkan batas maksimum dari arus yang digunakan juga dibatasi oleh posisi pengelasan yang digunakan, contohnya pada posisi 4G tidak bisa digunakan arus yang lebih dari 160 A. Arus yang tinggi dapat menurunkan kekuatan impact. Perlu diperhatikan juga arus yang digunakan harus sesuai dengan diameter elektroda. Efek dari posisi juga mempengaruhi dari kecepatan las, contohnya las vertikal (3G) lebih lambat dari posisi flat (1G). Karena posisi las mempengaruhi kecepatan las, tentunya posisi ini mempengaruhi *heat input* dari pengelasan. Dari sinilah dapat disimpulkan bahwa posisi las akan mempengaruhi sifat mekanis dari hasil lasan. Ketebalan pelat juga akan mempengaruhi sifat mekanis dan mikrostruktur dari material. Pelat merupakan media konduktif yang berperan sebagai pentransfer panas selama proses solidifikasi dari logam pengisi terjadi. Semakin tebal plat logam, maka semakin cepat transfer panas yang berlangsung dan akibatnya laju pendinginan semakin cepat. Sebaliknya jika semakin tipis pelat maka semakin lama transfer panas dan semakin lama laju pendinginannya.

2.9. Pengujian Material

Untuk mengetahui sifat suatu logam perlu dilakukan pengujian. Pengujian biasanya dilakukan terhadap sampel material yang dipersiapkan menjadi spesimen atau batang uji (*test piece*) dengan bentuk dan ukuran yang sesuai standar. Demikian juga prosedur pengujian harus dilakukan dengan cara-cara yang standar, baru kemudian dari hasil pengukuran pada pengujian diambil kesimpulan mengenai sifat mekanik, struktur mikro, kekerasan dari material yang diuji.

Dalam analisis sifat mekanik tugas akhir ini, pengujian yang dilakukan adalah pengujian makroetsa, pengujian struktur mikro/foto mikro (*metallography test*), dan pengujian kekerasan.

2.9.1. Pengujian Metallography

Metallografi adalah salah satu cabang bidang metalurgi yang pada intinya adalah pengamatan struktur logam baik secara makro maupun mikro. Pengamatan struktur logam secara makro mampu dilakukan tanpa alat bantu, sedangkan pengamatan struktur mikro harus diamati dengan menggunakan alat bantu. Alat bantu tersebut bisa berupa mikroskopis yang memanfaatkan lensa-lensa optis atau menggunakan mikroskop elektron seperti SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengamatan makro sering digunakan misalnya untuk mengetahui keretakan makro atau untuk mengevaluasi hasil pengelasan. Sedangkan pengamatan mikro banyak dilakukan untuk mengetahui fase-fase pada logam dengan paduan tertentu. [ASM Handbook Vol. 9, 2004]

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirannya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau mikrografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

- a. Pemotongan (*Sectioning*)
- b. Pengamplasan (*Grinding*)
- c. Pemolesan (*Polishing*)
- d. Etsa (*Etching*)
- e. Pemotretan.

Pengamatan struktur logam pada intinya adalah pengamatan struktur dan pengenalan yang meliputi tipe, ukuran, distribusi, orientasi, kuantitas. Tipe mewakili nama kelas pada logam tertentu misalnya ferrit, perlit, eutectoid dan sebagainya. Ukuran mewakili dimensi dari fase dibandingkan dengan dimensi yang lain. Misalnya ukuran grafit, ukuran grafit flake dan ukuran butir. Distribusi mewakili daerah penyebaran masing-masing fase diantara luasan yang menjadi pengamatan dalam sampel tersebut. Bentuk dan orientasi mewakili pengambilan ruang atau arah antar satu fase dengan fase lainnya, sedangkan kuantitas mewakili jumlah masing-masing fase.

Pada pengujian struktur makro dilakukan pengamatan bagian penampang pada material baja ASTM A36 yang dipotong dalam bentuk testpiece setelah dilakukan pengelasan. Kemudian dilakukan pengamatan untuk mengetahui bentuk butir makro pada baja ASTM A36 dari bentuk penampang material hasil potongan. Pengamatan Tahap-tahap yang dikerjakan sebelum dilakukannya pengamatan makro dan mikro struktur dari material uji yaitu:

1. Persiapan spesimen (*sample*)

Tahap awal adalah pengambilan *sample* dari benda kerja yang paling penting dalam hal ini adalah pengambilan spesimen dilakukan dengan hati-hati dan menggunakan peralatan yang sesuai agar tidak terjadi perubahan struktur mikro pada spesimen akibat operasi pemotongan. Alat yang digunakan misalnya gergaji, *wirecut*. Ukuran juga harus diperhatikan untuk memudahkan langkah selanjutnya, hendaknya diambil sesuai kebutuhan dan ketersediaan benda kerja. Jika ukuran terlalu kecil maka akan mengalami kesulitan dipegang dalam proses *grinding* dan *polishing*.

2. *Grinding* dan *polishing*

Langkah selanjutnya adalah *grinding*, pada prinsipnya adalah menghaluskan permukaan sampai kehalusan tertentu dengan memanfaatkan gesekan permukaan dengan permukaan spesimen. Kertas gosok yang digunakan merupakan permukaan kasar yang bervariasi yang menghasilkan dari variasi butiran silicon carbide (SiC) atau kertas gosok dengan butiran Al₂O₃, dipasaran nilai kekasaran (grid) kertas gosok dinyatakan dengan angka misalnya 120, 200, 400 dan seterusnya. Angka 80 adalah yang paling kasar dan 2000 yang paling halus. Dalam langkah *grinding* dimulai dari grid 120 yang paling kasar kemudian dinaikan secara bertahap sampai pada grid yang paling halus yaitu grid 2000. Kemudian dilakukan *polishing* dalumina yang berupa bubuk atau pasta dengan ukuran butiran tertentu, semua proses *grinding* dan *polishing* dilakukan dengan menggunakan air untuk menghindari panas.

2.9.2. Hardness Test

Pengujian kerusakan (*destructive test*) merupakan salah satu metode pengujian yang dilakukan pada suatu material yang mana bertujuan untuk mengetahui mutu dan kelayakan pada suatu material sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pengujian kerusakan salah satunya yaitu pengujian kekerasan (*hardness test*).

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah benda (benda kerja) terhadap penetrasi/daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (*penetrator*). Selain itu kekerasan juga berhubungan dengan ketahanan terhadap bending, goresan dan pengikisan. Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur paduannya. Kekerasan suatu bahan juga dapat berubah bila dikerjakan dengan pengerjaan dingin seperti pengerolan, penarikan, pembubutan dan lain-lain. Kekerasan suatu bahan (baja) dapat diketahui dengan pengujian memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga metode yang telah banyak dilakukan yaitu metode Brinell, Rockwell dan Vickers.

Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Kekerasan merupakan istilah yang digunakan dalam dunia industri, yang dapat diartikan sebagai kemampuan sebuah material untuk menahan indentasi permanen atau deformasi ketika kontak dengan beban indenter. Secara umum dapat diartikan sebagai penekanan sebuah indenter yang mempunyai geometri dan sifat mekanik pada sebuah bahan uji material. Sebuah indenter dapat berbentuk bola (*spherical, brinell test*), berbentuk segilima (*pyramidal, vickers test* atau *knoop test*), atau berbentuk kerucut (*rockwell test*). [ASM Handbook Vol.8, 2004]

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers pertamakali diperkenalkan di Inggris pada tahun 1925 oleh R. Smith dan G. Sandland. Pada saat itu diketahui sebagai pengujian kekerasan dengan indenter berupa piramid yang mempunyai sudut 136°. Manufaktur pertama yang menguji dengan kekerasan metode Vickers adalah perusahaan yang bernama Vickers-Armstrong Limited, Inggris. Karena pengujian dan perusahaan tersebut maka pengujian kekerasan metode Vickers mendapat popularitas sehingga metode Vickers diakui sebagai salah satu metode pengujian kekerasan yang sah. [ASM Handbook Vol.8, 2004]

Pengujian kekerasan metode Vickers dibagi menjadi dua jenis: pengujian macroindentation dan microindentation. Dua jenis metode ini dibagi berdasarkan kekuatan gaya. Pengujian microindentation dengan rentang 1 sampai 1000 gf (ASTM E384) dan pengujian

microindentation dengan rentang 1 sampai 120 kgf (ASTM E92). Standar internasional yang ditunjuk untuk pengujian kekerasan metode Vickers dapat dilihat pada Tabel 2.6. [ASM Handbook Vol.8, 2004]

Tabel 2.6. Standar Internasional untuk Pengujian Kekerasan Metode Vickers.
[ASM Handbook Vol.8, 2004]

Standard No.	Title
ASTM E 92	Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials
BS EN ISO 6507-1	Metallic Materials—Vickers Hardness Test—Part 1: Test Method
BS EN ISO 6507-2	Metallic Materials—Vickers Hardness Test—Part 2: Verification of Testing Machines
BS EN ISO 6507-3	Metallic Materials—Vickers Hardness Test—Part 3: Calibration of Reference Blocks
EN 23878	Hardmetals—Vickers Hardness Test
JIS B 7725	Vickers Hardness—Verification of Testing Machines
JIS B 7735	Vickers Hardness Test—Calibration of the Reference Blocks
JIS Z 2244	Vickers Hardness Test—Test Method
JIS Z 2252	Test Methods for Vickers Hardness at Elevated Temperatures

Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indenter (A) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$. Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode Vickers yaitu seperti yang tertulis dibawah ini. [ASM Handbook Vol.8, 2004]

$$HV = \frac{2P \sin(136/2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2}$$

Dimana: HV = Angka kekerasan Vickers

P = Beban (kg)

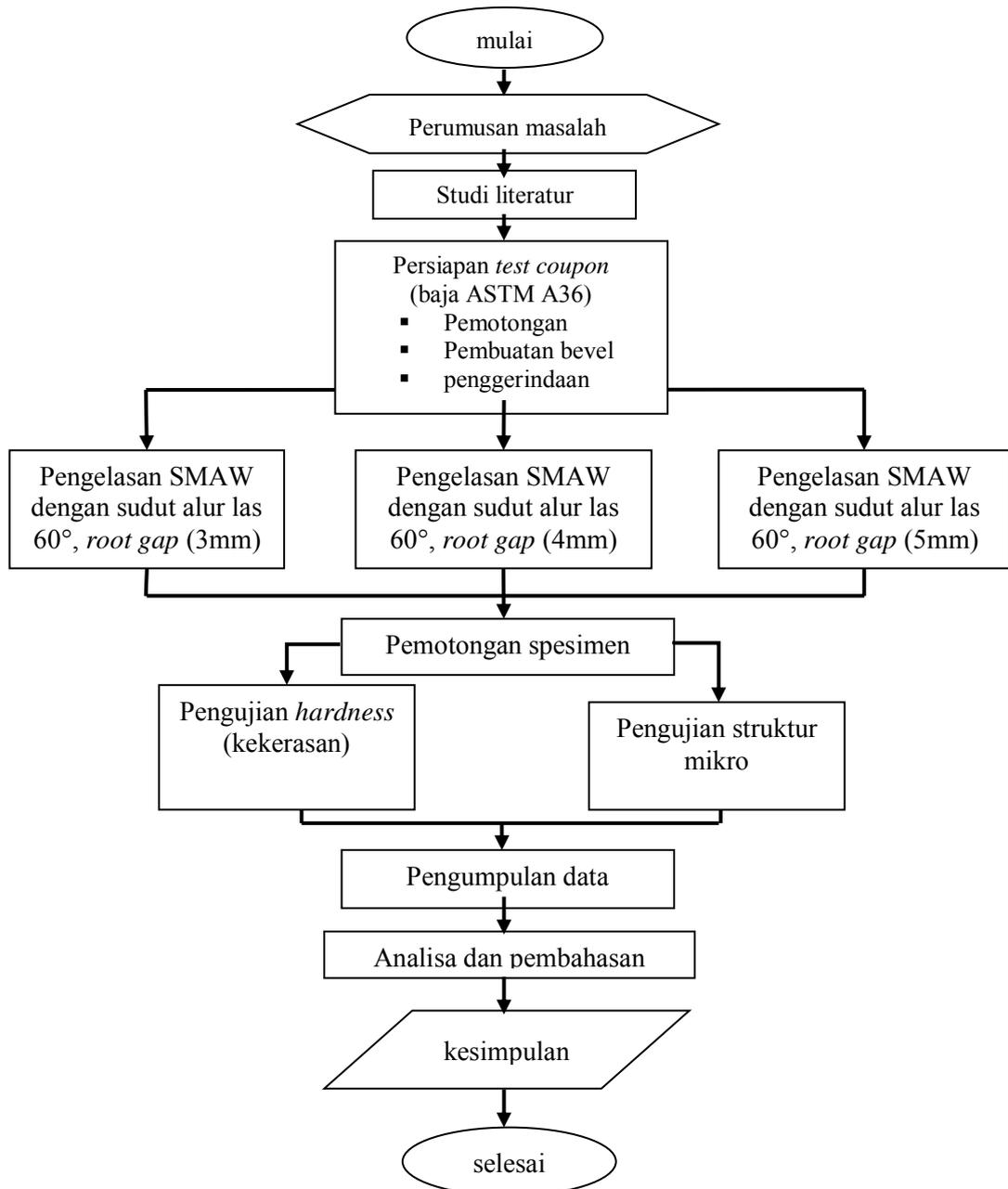
d = Diagonal rata-rata (mm)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flow Chart Metodologi Penelitian

Prosedur pelaksanaan tugas akhir dilakukan berdasarkan diagram *flow chart* dibawah ini, dimulai dari pemilihan material dan dilakukan pengelasan serta pengujian-pengujian berupa tes kekerasan, tes makrostruktur dan tes mikrostruktur.



Gambar 3.1. *Flow chart* metodologi penelitian.

Percobaan pada pengerjaan Tugas Akhir ini terdiri atas 4 tahap yaitu:

1. Tahap Proses Pengelasan
2. Tahap Pembuatan Spesimen
3. Tahap Pengujian

3.2. Prosedur Pengelasan

Dalam memulai suatu pengelasan dibutuhkan suatu prosedur pelaksanaan pengelasan untuk menghasilkan lasan yang berkualitas dan bagus. Prosedur pengelasan tersebut disusun dalam suatu spesifikasi prosedur pengelasan yang harus dilaksanakan oleh welder, spesifikasi prosedur pengelasan tersebut disebut WPS (Welding Procedure Specification). Di bawah ini adalah variabel-variabel yang digunakan dalam penyusunan suatu WPS, antara lain :

- a. Bahan induk : standar, dimensi, dan sifat bahan.
- b. Desain sambungan : bentuk sambungan dan ukuran alur las
- c. Bahan las
- d. Jenis proses pengelasan
- e. Cara pelaksanaan : pemilihan parameter pengelasan (karakteristik mesin las, polaritas, voltase, amper, gas pelindung), posisi pengelasan dan urutan pengelasan (*welding squence*).
- f. Pelaksana.

▪ **Peralatan yang dibutuhkan untuk proses pengelasan yaitu :**

- a. Semi automatic welding machine
- b. Kawat las
- c. Infrared thermometer
- d. Welding helmet
- e. Welding glove
- f. Sikat
- g. Palu
- h. Pneumatic chipping hammer
- i. Pneumatic angle grinder

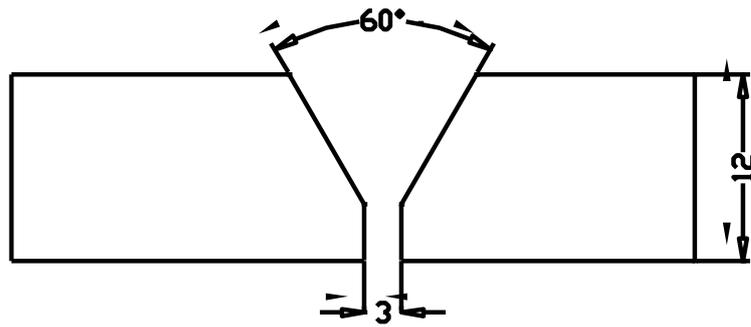
Untuk pengelasan SMAW spesimen 1:

- a) Welding process : SMAW
- b) Type : Manual
- c) Joint design :

- Type : Butt joint
 - Root opening : 3 mm
 - Root face dimension : 2 mm
 - Groove angle : $60^\circ \pm 5^\circ$
- d) Base Metal :
- Thickness : 12 mm
 - Material Spec : ASTM A 36
- e) Filler Metal :
- AWS Clasification : E7016
 - Diameter : 2.6 mm dan 3.2 mm
- f) Welding Position : 1G
- g) Interpass Temperature : Max 300°C
- h) Current : DCEP
- i) Interpass Cleaning : Grinding
- j) Technique :
- Stringer or Wave Bead: Wave bead
 - Multi or Single Pass : Multipass

Tabel 3.1. *Welding procedure specification variasi root gap 3 mm.*

Welds Layers	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed
		Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)		
1	SMAW	E7016	2,6	DCEP	60-80	20-32	30-65
2	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	60-90
3	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	60-90
4	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	60-80
5	SMAW	E7016	3,2	DCEP	110-130	20-32	60-90



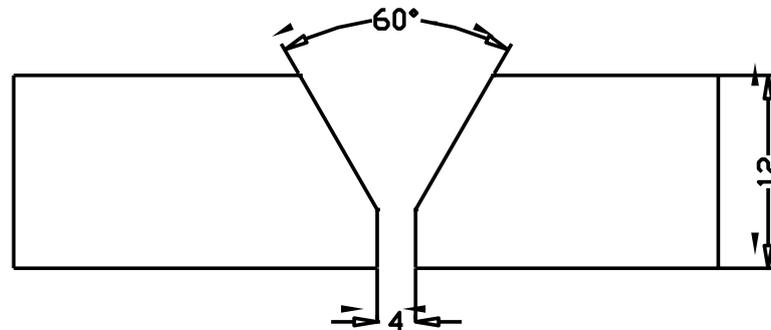
Gambar 3.2. *Joint detail* untuk WPS variasi *root gap* 3 mm.

Untuk pengelasan SMAW spesimen 2:

- a) Welding process : SMAW
- b) Type : Manual
- c) Joint design :
 - Type : Butt joint
 - Root opening : 4 mm
 - Root face dimension : 2 mm
 - Groove angle : $60^\circ \pm 5^\circ$
- d) Base Metal :
 - Thickness : 12 mm
 - Material Spec : ASTM A 36
- e) Filler Metal :
 - AWS Clasification : E7016
 - Diameter : 2.6 mm dan 3.2 mm
- f) Welding Position : 1G
- g) Interpass Temperature : Max 300°C
- h) Current : DCEP
- i) Interpass Cleaning : Grinding
- j) Technique :
 - Stringer or Wave Bead: Wave bead
 - Multi or Single Pass : Multipass

Tabel 3.2. *Welding procedure specification variasi root gap 4 mm.*

Welds Layers	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed (mm/menit)
		Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)		
1	SMAW	E7016	2,6	DCEP	60-80	20-32	50-65
2	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	60-90
3	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	60-90
4	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	50-85
5	SMAW	E7016	3,2	DCEP	110-130	20-32	75-100



Gambar 3.3. *Joint detail untuk WPS variasi root gap 4 mm.*

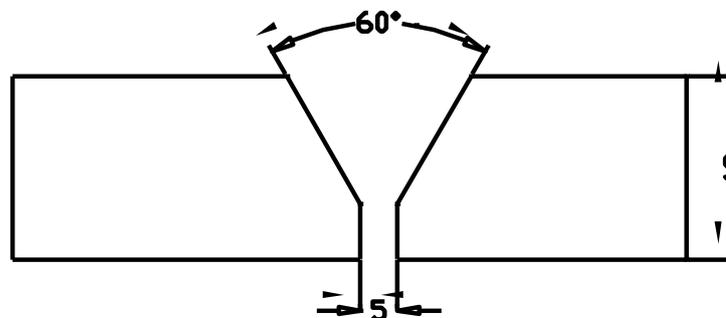
Untuk pengelasan SMAW test coupon 3:

- a) Welding process : SMAW
- b) Type : Manual
- c) Joint design :
 - Type : Butt joint
 - Root opening : 5 mm
 - Root face dimension : 2 mm
 - Groove angle : $60^\circ \pm 5^\circ$
- d) Base Metal :
 - Thickness : 12 mm
 - Material Spec : ASTM A 36
- e) Filler Metal :
 - AWS Clasification : E7016
 - Diameter : 2.6 mm dan 3.2 mm

- f) Welding Position : 1G
- g) Interpass Temperature : Max 300° C
- h) Current : DCEP
- i) Interpass Cleaning : Grinding
- j) Technique :
 - Stringer or Wave Bead: Wave bead
 - Multi or Single Pass : Multipass

Tabel 3.3. *Welding procedure specification variasi root gap 5 mm.*

Welds Layers	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed (mm/menit)
		Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range (A)		
1	SMAW	E7016	2,6	DCEP	60-80	20-32	30-60
2	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	60-90
3	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	50-85
4	SMAW	E7016	3,2	DCEP	100-120	20-32	50-85
5	SMAW	E7016	3,2	DCEP	110-130	20-32	60-90



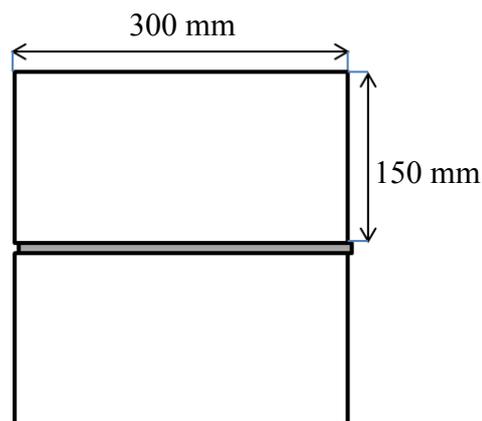
Gambar 3.4. *Joint detail untuk WPS variasi root gap 5 mm.*

3.3.1. Pelaksanaan Pengelasan

Setelah semua persiapan pelaksanaan pengelasan selesaimaka proses pengelasan material baja ASTM A36 dapat dilakukan, langkah-langkah pengelasan tersebut secara umum adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan alur las dengan menggunakan mesin skrap
2. Permukaan alur las setelah diskrap kemudian dihaluskan dengan menggunakan gerinda.

3. Pemasangan tanggem untuk mengurangi terjadinya deformasi pada material yang akan dilas.
4. Mesin las disiapkan termasuk besarnya arus dan voltase mesin las sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dari WPS.
5. Proses pengelasan mulai dilakukan
6. Pada bagian terjadinya stop dan run, dilakukan proses penggerindaan agar tidak menyebabkan terjadinya incomplete penetration pada sambungan.
7. Setelah pengelasan pada layer pertama selesai maka permukaan las dibersihkan dari kerak las dan debu dengan menggunakan gerinda dan sikat baja.
8. Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membentuk akar las bagi layer kedua.
9. Untuk layer kedua dan seterusnya proses pengelasan dilakukan dengan mengulangi langkah pada no. 4-8.



Gambar 3.5. Bentuk *test coupon* tampak atas.

Pelaksanaan pengelasan spesimen uji dilakukan di bengkel kerja fabrikator dengan acuan prosedur pengelasan (Welding Procedure Specification/WPS) yang telah ditetapkan. Kualifikasi juru las untuk pengelasan yang telah memenuhi persyaratan dalam ASME Section IX “Welding and Brazing Qualifications”. Pelat yang akan digunakan sebagai spesimen pengujian akan di tandai dandipotong sesuai dengan dimensi yang sesuai dengan persyaratan standard.

3.3. Tahap Pembuatan Spesimen Uji

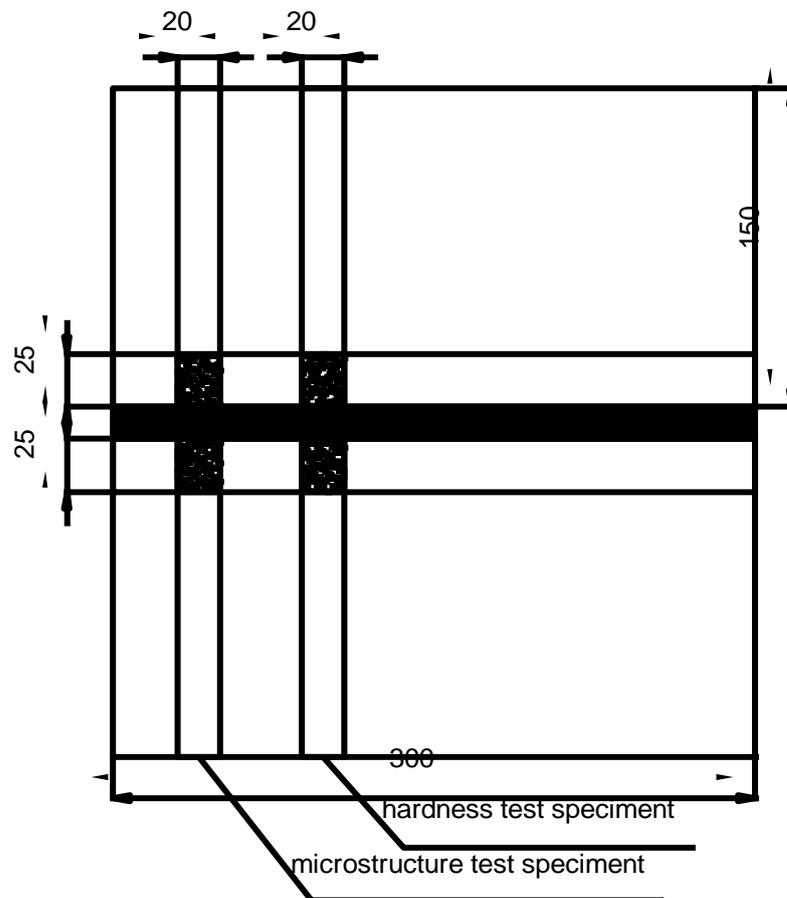
Peralatan yang dibutuhkan untuk pembentukan/pemotongan spesimen uji yaitu :

1. Mesin gergaji
2. Mesin skrap

3. Ragum
4. Kikir
5. Jangka sorong
6. Palu
7. Block stamping

Langkah-langkah dalam membuat spesimen uji yaitu :

1. Menggambar sketsa ukuran spesimen uji pada material las. Adapun sketsa yang dibuat sebagai berikut



Gambar 3.6. Pembagian ukuran sampel untuk tiap pengujian.

2. Kemudian material dipotong sesuai ukuran spesimen uji.
3. Jumlah spesimen uji yang digunakan adalah sebanyak 6 buah dengan variasi root gap (3 mm, 4 mm, dan 5 mm).
4. Uji foto mikro 3 buah (1 buah untuk masing-masing variasi root gap)
5. *Hardness test* 3 buah (1 buah untuk masing-masing variasi root gap)



Gambar 3.7. Spesimen foto makro dan mikro setelah dipotong.

Sampel uji disiapkan sesuai persyaratan yang tercantum dalam standard pengujian. Berikut standard yang akan menjadi acuan dalam persiapan sampel uji :

1. ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*.
2. ASM *Handbook Vol. 9 Metallography & Microstructures Standard* yang digunakan untuk proses metallography.
3. ASTM E92 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Standar untuk pengujian kekerasan Vickers hasil lasan.

3.4. Prosedur dan Tahapan Pengujian

Penjelasan mengenai bahan-bahan dan perlengkapan untuk percobaan metallografi yaitu:

1. *Grinding belt* dan kertas amplas. *Grinding belt* digunakan untuk penggosokkan kasar permukaan specimen yang dilanjutkan dengan kertas amplas no. 400, setelah itu penggosokkan halus dengan kertas amplas no. 600, no. 800, dan no. 1000 dan terakhir no. 1200.
2. *Metallographic polishing table*. *Metallographic polishing table* yaitu sebuah mesin poles yang digunakan untuk lebih memperhalus permukaan yang telah mengalami pengosokkan halus dengan berbagai macam no. amplas. Mesin ini mempunyai sebuah piringan yang mana di atasnya terdapat semacam kain beludru. Bila proses *polishing* dilakukan harus menggunakan obat asah (*polishing abrasive*) agar betul-betul diperoleh permukaan yang halus tanpa cacat.
3. Bejana dan etching reagents. Bejana diperlukan untuk tempat *etching reagents* (echant) yang akan digunakan bagi pekerjaan "etsa" permukaan specimen yang telah

mengalami polishing. Pengetsaan (etching) dengan *etching reagents* (bahan etsa) dilakukan sehingga diperoleh gambaran yang nyata dari permukaan specimen, sehingga dalam keadaan siap diletakkan dibawah mikroskop.

4. Mikroskop optis. Mikroskop optis digunakan untuk memperbesar gambaran yang nyata dari permukaan *specimen* yang telah mengalami *etching*, sehingga dapat dilihat secara jelas sekali struktur logam (*specimen*) yang pembesarannya bagi mikroskop optis ini lebih dari 50x sampai 400x. Jelas atau tidaknya gambar struktur yang diperoleh bergantung sekali baik kepala *index* pembesaran mikroskop dan *numerical apertu* lensa *objective* yang digunakan.
5. *Camera*. *Camera* digunakan untuk memotret gambar struktur yang sedang terlihat dibawah mikroskop, sehingga *camera* ini harus dapat dipasang pada mikroskop untuk dapat melakukan pemotretan *mikro* struktur dengan mudah dan cepat.

Langkah-langkah yang dilakukan sebelum melaksanakan pengujian Foto Makro:

1. Persiapan 6 potong spesimen berukuran 60 x 20 x 12 mm yang terdiri dari 2 spesimen dengan root gap 3 mm, 2 spesimen dengan root gap 4 mm, dan 2 spesimen dengan root gap 5 mm
2. Spesimen diratakan dengan menggunakan mesin skrap
3. Bekas pemerataan dengan mesin skrap dihaluskan dengan gerinda bermata sponge dengan ukuran abrasive 120 dan 360
4. Agar permukaan spesimen benar-benar halus maka dihaluskan permukaannya dengan menggunakan mesin poles dan kertas amplas grade 80 s/d 2000.
5. Pemolesan dilakukan hingga permukaan spesimen bersih dan mengkilap.
6. Kemudian spesimen yang sudah siap dilakukan elektrolisis dengan menggunakan larutan HNO₃ dan alkohol ± 10 menit hingga terlihat bagian weld metalnya.
7. Selanjutnya bagian yang dielektrolisis dicelupkan pada alkohol lalu dibersihkan dengan menggunakan air bersih dan dilakukan proses pengeringan dengan menggunakan hair dryer.
8. Pemolesan terakhir dilakukan dengan menggunakan serbuk alumina/autosol dan amplasnya diganti dengan menggunakan kain bludru, hal ini dilakukan untuk memperhalus permukaan dan meminimalkan goresan yang ada.



Gambar 3.8. Specimen foto makro setelah dietsa.



Gambar 3.9. Specimen foto mikro setelah dipoles.

Secara lebih rincinya dalam pelaksanaan uji foto mikro adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan

Pengambilan sampel harus direncanakan sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi bahan dengan memperhatikan kemudahan pemotongan. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Harus diperhatikan bahwa dalam proses pemotongan harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan.

2. Pengampelasan

Sampel yang setelah mengalami proses pemotongan memiliki permukaan yang kasar. Permukaan kasar tersebut harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengampelasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasivnya dinyatakan dengan mesh. Urutan pengampelasan harus dilakukan dari nomor mesh yang rendah 80 mesh hingga ke mesh yang tinggi 2000 mesh. Ukuran grit pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan.

Fungsi air disini adalah sebagai pemindai geram. Air digunakan untuk memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro dari sampel dan mempermudah menggerus permukaan sampel yang diampelas. Dalam merubah arah pengampelasan, maka arah yang baru adalah 45° atau 90° terhadap arah sebelumnya. Proses pengampelasan menggunakan mesin poles dengan putaran piringan sekitar 700 rpm.

3. Pemolesan

Setelah proses pengampelasan selesai hingga 2000 mesh, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus dari goresan dan mengkilap. Permukaan sampel yang akan diamati dibawah mikroskop harus rata, hal ini bertujuan mempermudah dalam pengamatan struktur mikro sampel. Apabila permukaan tidak rata maka cahaya yang dipantulkan mikroskop akan acak sehingga pengamatan struktur mikro tidak berjalan lancar.

Alumina yang digunakan dicampur dengan air kemudian disemprotkan ke kain bludru yang telah dipasang pada mesin poles dengan putaran piringan sekitar 350 rpm kemudian sampel digosokkan sampai permukaan sampel mengkilap dan bebas dari goresan.

4. Etsa

Proses pengikisan batas butir dengan pencelupan sampel ke dalam larutan pengetsa hingga permukaan sampel terlihat detail butir struktur yang diamati dengan jelas.

- Dalam pengetsaan foto mikro pertama sampel dicelupkan ke dalam *reagent kellers* selama 8-10 detik lalu disiram dengan alkohol 90%, dibersihkan dengan air lalu dikeringkan dengan *hair dryer*. Kemudian dilanjutkan dengan foto mikro menggunakan mikroskop
- Dalam pengetsaan foto makro, pertama sampel dicelupkan dalam *reagent tucker* selama 15 detik lalu dibersihkan dengan air lalu dikeringkan dengan *hair dryer*. Kemudian dilanjutkan dengan foto makro menggunakan kamera DSLR.

3.5.1. Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

1. Pengamatan struktur mikro

Pengujian foto mikro dilakukan dengan meletakkan material sampel pada lilin yang dijadikan sebagai alas dari material sampel. Kemudian material sampel ditekan dengan alat penekan agar sampel datar dan tidak bergeser. Langkah selanjutnya sampel diletakkan pada meja objektif dan kemudian mengarahkan lensa optik pada

daerah yang ingin diamati lalu tentukan pembesaran yang dibutuhkan. Setelah semua langkah tersebut dilakukan, maka proses foto mikro dapat dilakukan.

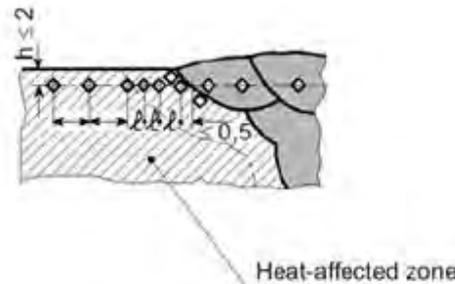
2. Pengamatan struktur makro

Pengujian foto makro dilakukan dengan meletakkan spesimen pada alat foto makro dan letakkan penggaris sebagai skala. Atur fokus dari kamera dan pencahayaannya. Kemudian setelah mendapatkan foto dari sampel, foto dapat disimpan kedalam komputer.

3.5.2. Uji Kekerasan Vickers

Penentuan dimensi dapat dilakukan asalkan di dalam spesimen uji terdapat daerah *basemetal*, *weld metal*, dan *Heat Affected Zone (HAZ)*. Penentuan lokasi titik uji untuk pengujian kekerasan memakai HV 10 menurut BKI Vol. VI Sec. 11 dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.4. Penentuan Lokasi Titik Uji Kekerasan.
[Biro Klasifikasi Indonesia Vol.VI, 2012]



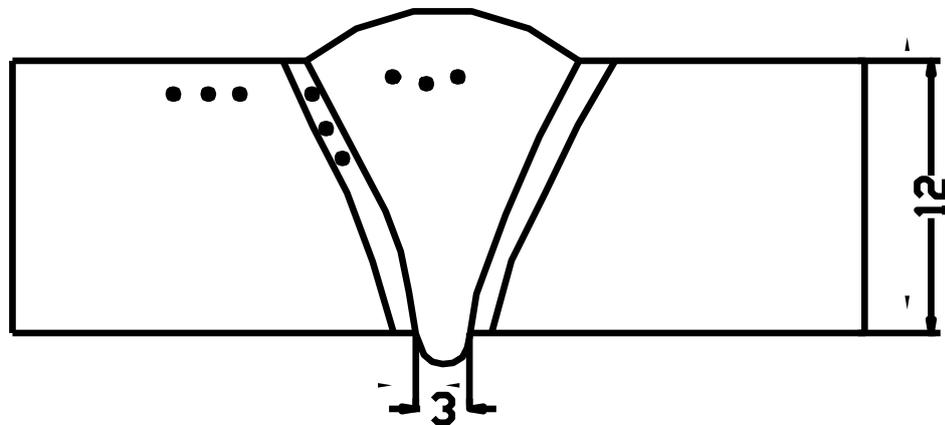
Recommended distance **between hardness test impressions in the heat-affected zone

Vickers hardness symbol	Distance between hardness test impressions ** [mm]
HV 5	0.7
HV 10	1

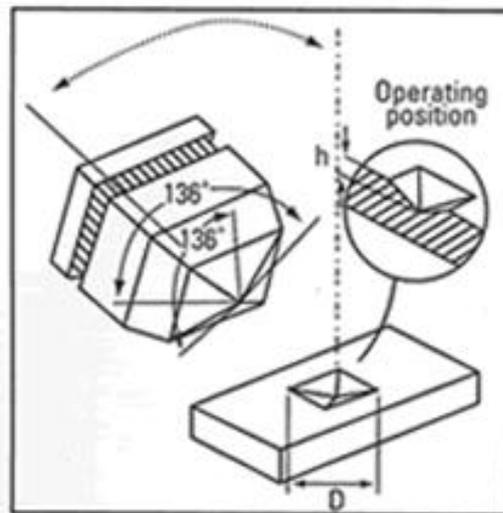
Bahan-bahan atau perlengkapan yang biasa digunakan untuk uji kekerasan vickers adalah sebagai berikut :

1. Mesin percobaan kekerasan Vickers
2. Indentor pyramid diamond
3. Mikroskop pengukur diagonal bekas indentor

4. Stopwatch
5. Benda uji



Gambar 3.10. Sketsa uji kekerasan.



Gambar 3.11. Uji kekerasan Vickers. [ASM Handbook Vol.8, 2004]

Pengujian kekerasan dilakukan dengan bahan uji sebanyak 3 buah dan berjumlah 27 titik, yaitu terdapat 9 titik per satu buah untuk satu variasi root gap.

Pada pengujian kekerasan dengan metode vickers dapat dilakukan dengan beberapa tahap, tahap-tahap yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen sesuai dengan standar yang digunakan (sama seperti spesimen foto mikro).
2. Spesimen yang digunakan dalam pengujian hardness adalah material yang sebelumnya telah dilakukan uji foto mikro, mengingat bahwa uji hardness memerlukan tingkat kehalusan dari permukaan spesimen uji.

3. Mempersiapkan peralatan pengujian *hardness*, untuk pengujian yang akan dilakukan, setiap spesimen dilakukan 9 titik pengujian, yaitu 3 titik untuk base metal, 3 titik untuk daerah HAZ, dan 3 titik untuk daerah weld metal.
4. Pengujian dilakukan pada posisi top saja.
5. Material uji diletakkan pada meja kerja, indenter siap ditekankan pada masing-masing lokasi yang diinginkan pada masing-masing spesimen dengan beban 1000 gf.
6. Melalui screen fokusnya, kemudian diukur diagonal indentasi dari uji Vickers yang terjadi selama 10 detik penekanan.
7. Kemudian mencatat semua hasil pengukuran dan pengamatan.

Hal terpenting yang harus dipelajari dalam pengujian Vickers adalah bagaimana menggunakan alat uji kekerasan Vickers dalam hal memasang indenter pyramid diamond, meletakkan specimen di tempatnya, menyetel beban yang akan dipakai, melihat dan mengukur diagonal persegi empat teratas dari bekas yang terjadi seteliti mungkin.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pengelasan, pada bab berikut ini disajikan analisa terhadap data yang telah diperoleh dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan. Yang sesuai dengan rancangan metode penelitian.

4.1. Analisa Data Pengelasan dan Masukan Panas

Salah satu faktor yang menentukan keberhasilan proses pengelasan adalah besaran masukan panas. Bahwa masukan panas merupakan salah satu parameter esensial dalam pengelasan. Pengukuran masukan panas suatu pengelasan sulit untuk dilakukan secara langsung, karena dapat diketahui bahwa energy listrik yang masuk tidak hanya diubah dalam bentuk energy panas, melainkan juga dalam bentuk energy cahaya, bunyi, radiasi. Meski demikian bahwa penentuan besarnya energy panas dapat dilakukan dengan pendekatan.

Secara teoritis perhitungan masukan panas pada saat proses pengelasan adalah sejumlah energy panas per satuan unit panjang pengelasan, yang diberikan oleh ujung elektroda selama proses pengelasan berlangsung. Besar masukan panas yang terjadi adalah sebesar:

$$HI = \frac{E \times I \times 60 \times \eta}{V}$$

Dengan : HI = *heat input* (Joule/mm)

E = tegangan (volt)

I = arus listrik (ampere)

V = kecepatan pengelasan (mm/menit)

η = efisiensi proses pengelasan

Dengan menggunakan rumus heat input di atas maka dapat diketahui masukan panas *Heat Input* pada tiap layer.

Tabel 4.1. Masukan panas tiap layer.

Variasi <i>root gap</i>	Layer	Ampere	Voltase	Travel Speed (mm/menit)	Heat Input (Joule/mm)
3 mm	1	65	27	61.38	1200.94
	2	110	32	86.17	2205.98
	3	110	32	80.46	2362.27
	4	110	32	75.5	2517.5
	5	120	30	85.31	2278.8
4 mm	1	70	23	55.73	1560.09
	2	110	32	89.55	2122.56
	3	110	32	83.72	2270.4
	4	110	32	70.87	2682.24
	5	120	30	95.74	2030.4
5 mm	1	65	28	36.44	2697.24
	2	110	32	85.31	2228.16
	3	110	32	64.06	2967.36
	4	110	32	77.92	2439.36
	5	120	30	89.11	2181.6

Tabel 4.2. Total heat input tiap specimen.

Variasi <i>root gap</i>	Heat Input rata-rata (Joule/mm)
3 mm	2135.98
4 mm	2200.97
5 mm	2502.74

Dari data-data yang dihasilkan pada saat proses pengelasan bahwa masukan panas yang diperoleh, maka dapat dianalisa bahwa pada proses pengelasan yang mempengaruhi besar *heat input* adalah kecepatan pengelasan.

Semakin tinggi kecepatan pengelasan akan mengakibatkan penurunan lebar manik las. Sebaliknya, apabila semakin rendah kecepatan pengelasan maka akan mengakibatkan pencairan lebih banyak sehingga manik las melebar.

Untuk kecepatan pengelasan dengan variasi lebar *root* 3 mm lebih tinggi *travel speed*-nya dibandingkan dengan pengelasan dengan variasi lebar *root* 4 mm dan 5 mm. Hal ini dikarenakan bahwa bentuk *groove* lasan dengan lebar *root* 3mm memerlukan heat input yang kecil. Heat input yang tinggi akan menyebabkan bertambahnya daerah yang dipanasi, yang berarti HAZ nya semakin lebar yang menyebabkan lebih banyak daerah yang mengalami perubahan struktur kristal. Begitu sebaliknya, dengan heat input yang rendah maka mengakibatkan berkurangnya daerah yang mengalami pemanasan yang berarti lebih sedikit daerah yang mengalami perubahan struktur kristal. Selain itu HAZ yang dibentuk juga semakin kecil.

Jadi pada saat pengelasan, semakin lama welder menempelkan elektroda atau menyentuhkan sumber panas pada permukaan logam las-lasan untuk mencairkan base metal dan elektroda maka mengakibatkan *heat input* yang semakin besar. Hal ini akan berpengaruh pada terbentuknya logam las yang menghasilkan *deep penetration*. Kecepatan pengelasan yang rendah mengakibatkan masukan panas yang diterima oleh material pada variasi lebar *root* 5 mm lebih besar daripada pengelasan dengan variasi lebar *root* 3 mm dan 4 mm.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar *heat input* , maka semakin besar pula perubahan area HAZ yang dihasilkan. Dari analisa data diperoleh bahwa terjadi kenaikan heat input rata-rata, yaitu untuk pengelasan dengan variasi lebar *root* 3mm sebesar 2135.98 joule/mm sedangkan untuk pengelasan dengan variasi lebar *root* 4 mm sebesar 2200.97 joule/mm. Untuk pengelasan dengan variasi lebar *root* 5 mm sebesar 2502.74 joule/mm.

Dalam pengelasan SMAW pada baja karbon rendah A36 ada beberapa hal yang mendukung hasil las-lasan menjadi baik, diantaranya adalah :

1. Material

Baja karbon rendah mempunyai sifat mampu las yang baik. Hal ini dikarenakan material baja jenis ini mengandung kadar karbon yang rendah dan kadar mangan (Mn) yang relatif tinggi.

2. Besar arus

Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari bahan dan ukuran dari las-lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda dan diameter elektroda. Arus yang terlalu kecil mengakibatkan penembusan yang rendah. Apabila arus terlalu besar mengakibatkan material menjadi getas akan menyebabkan mudah terjadi retak panas.

3. Kecepatan pengelasan

Kecepatan pengelasan bergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan. Maka dari itu pengelasan yang cepat memerlukan arus las yang tinggi. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan maka masukan panas juga akan menjadi kecil sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang dapat memperkeras daerah HAZ.

4. Tegangan

Penggunaan tegangan busur yang rendah dapat mengakibatkan penembusan yang dalam dengan manik yang sempit.

5. Proses pengerjaan

Pada saat proses pengerjaan pengelasan sangat perlu diperhatikan proses pembersihan debu, terak, dan karat setelah proses pengelasan dari layer pertama ke layer berikutnya. Apabila setelah proses pengelasan dan terak tidak dibersihkan untuk melakukan pengerjaan layer berikutnya, maka dapat berakibat terjadinya cacat las.

Dari hasil pengelasan yang dilakukan tidak terdapat cacat pengelasan pada variasi lebar *root* 3 mm, 4 mm, dan 5 mm.

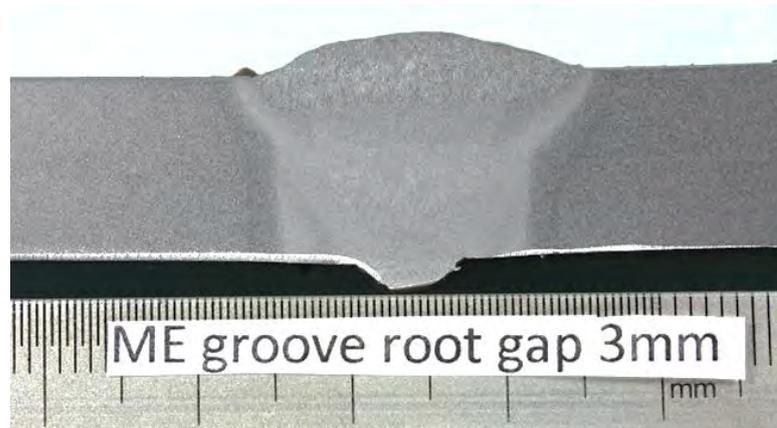
4.2. Analisa Struktur Makro (Pengujian Makro Etsa)

Pada pengujian struktur makro ini dilakukan pengamatan pada bagian potongan melintang *base metal*, HAZ, dan *weld metal* dari spesimen sambungan las baja ASTM A36 sesudah dilas dan kemudian dilakukan pengamatan struktur makro untuk mengetahui bentuk butir yang terkandung pada potongan melintang material sesuai dengan bentuk kampuh dan lebar *root* yang digunakan pada penelitian ini.

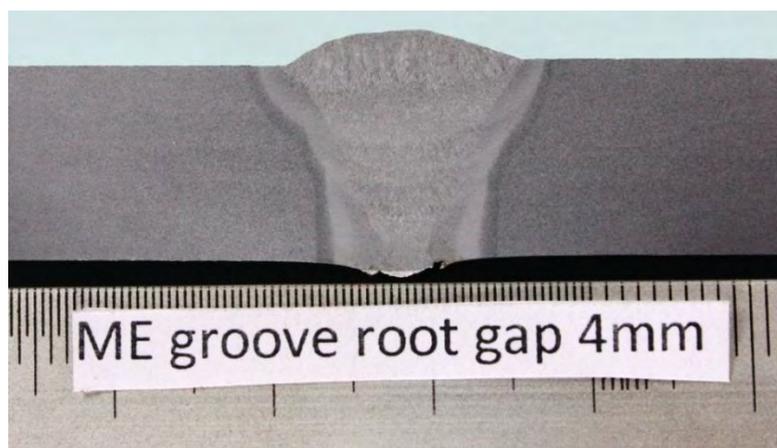
Dari hasil pengamatan menunjukkan secara visual struktur makro pada setiap variasi lebar *root* memiliki bentuk butir yang sama. Dari pengujian struktur makro atau makroetsa dapat diketahui kualitas hasil las. Cacat las merupakan variabel yang dapat mempresentasikan kualitas hasil pengelasan. Beberapa cacat las yang dapat diketahui pada proses pengujian ini yaitu :

1. Porosity
2. Incomplete fusion
3. Incomplete penetration
4. Undercut
5. Crack

Tujuan dari analisa struktur makro adalah untuk dapat memperkirakan besarnya lebar HAZ yang terjadi setelah proses pengelasan dan mengetahui cacat yang mempresentasikan hasil pengelasan.



Gambar 4.1. Hasil pengelasan *root gap* 3mm.



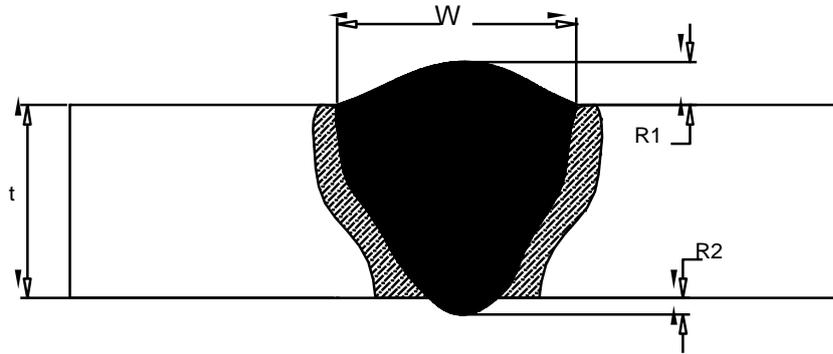
Gambar 4.2. Hasil pengelasan *root gap* 4mm.



Gambar 4.3. Hasil pengelasan *root gap* 5mm.

Secara garis besar pengujian makroetsa yang sudah dilakukan sudah memenuhi syarat dimana tidak ada cacat pengelasan yang berarti. Menurut AWS D1.1 untuk standar tinggi

manik las/*capping* las maksimum 3 mm untuk lebar diantara 8 sampai 25 mm. Dari perbandingan variasi lebar *root* didapatkan hasil pengelasan dari lebar HAZ yang dihasilkan.



Gambar 4.4. Sketsa penampang melintang hasil lasan.

Tabel 4.3. Tabel perhitungan ukuran las-lasan.

Variasi lebar <i>root</i>	Jenis cacat	W (mm)	t (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)
3 mm	Tidak ada	21	12	2.5	1.5
4 mm	Tidak ada	15	12	2	1
5 mm	Tidak ada	18	12	2	1.5

Tabel 4.4. Tabel lebar HAZ hasil pengelasan.

roo e	Lebar <i>root</i>	Lebar HAZ rata-rata (mm)
	3 mm	1 mm
	4 mm	1.5 mm
	5 mm	2.5 mm

Dari beberapa contoh gambar foto makro diatas dapat dilihat, bahwa semakin lebar *root* suatu sambungan pelat maka semakin lebar area HAZ yang dilakukan terhadap material tersebut, artinya semakin banyak siklus termal yang dialami oleh pelat tersebut.

Dari analisa yang didapat pada spesimen pengujian makroetsa dengan variasi lebar *root*, menunjukkan adanya perbedaan ukuran dan luasan HAZ. Terjadi perubahan ukuran pada setiap variasi. Hasil dari perhitungan menyatakan bahwa dengan variasi lebar *root* 3 mm menghasilkan lebar HAZ 1 mm. Sedangkan untuk lebar *root* 4 mm dan 5 mm, menghasilkan luasan HAZ sebesar 1.5 mm dan 2.5 mm.

Adanya perubahan luasan HAZ ini diakibatkan oleh masukan panas yang didapat oleh setiap variasi lebar *root* dari masing-masing spesimen. Untuk *heat input* rata-rata yang didapat spesimen dengan variasi lebar *root* 3 mm sebesar 2135.98 joule/mm, untuk variasi lebar *root* 4 mm sebesar 2200.97 joule/mm. Sedangkan untuk variasi lebar *root* 5 mm menerima masukan panas sebesar 2502.74 joule/mm.

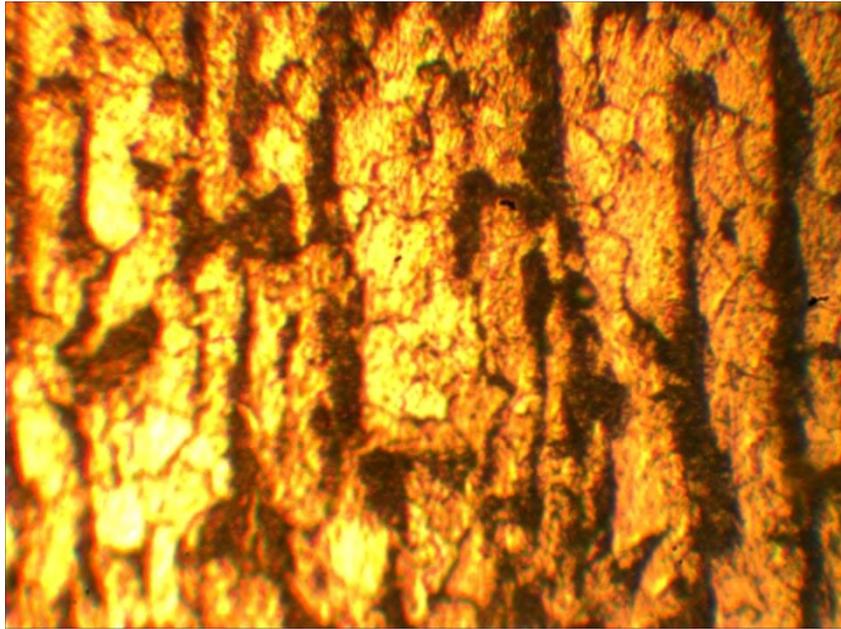
Untuk besarnya luasan HAZ yang diperoleh dari proses pengelasan, diakibatkan oleh masukan panas yang diterima material dari kalkulasi masukan panas setiap layer kemudian diambil rata-ratanya. Jadi semakin besar masukan panas yang diberikan pada saat proses pengelasan menghasilkan semakin besar pula luasan HAZ yang terbentuk. Dengan semakin sedikitnya masukan panas yang diberikan dapat berakibat turunnya sifat mekanik dari material. Penurunan sifat mekanik material tersebut merupakan dampak dari pendinginan cepat yang merubah struktur kristal dari HAZ menjadi lebih besar. Dengan semakin besarnya struktur kristal yang terbentuk pada daerah HAZ mengakibatkan material menjadi semakin *brittle* karena hidrogen dapat masuk melalui celah-celah antar kristal.

4.3. Analisis Struktur Mikro (Pengujian metallography)

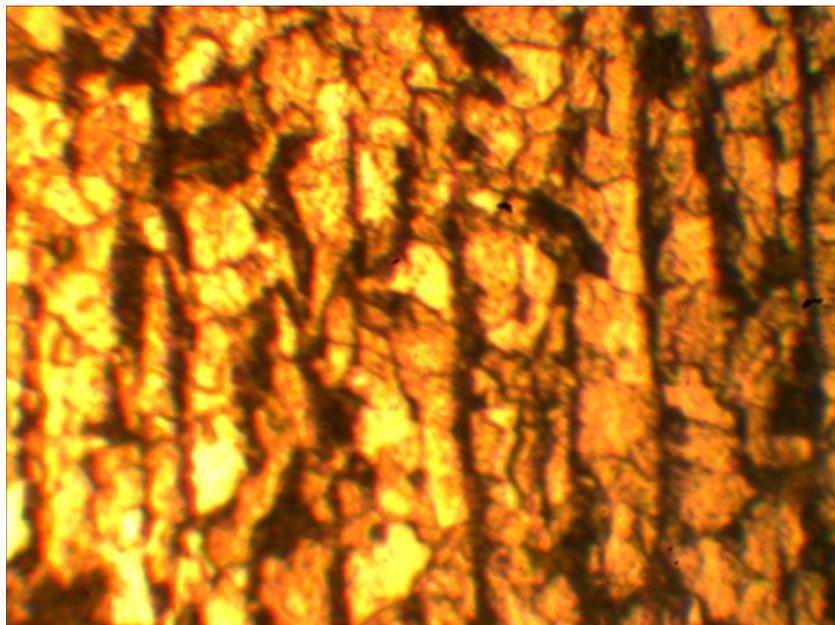
Foto mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik yang ada di Laboratorium Konstruksi Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Foto mikro yang diambil, diambil dengan perbesaran 100 kali dan 400 kali. Untuk sampel pengelasan pada bagian baja karbon A36 etsa yang digunakan pada ketiga daerah yang diamati adalah dengan nital 2% dengan waktu etsa antara 5-15 detik.

Pengujian foto mikro dilakukan bertujuan untuk mengetahui bentuk butiran logam dan memperkirakan pengaruh terhadap sifat mekanik dari material yang didapat setelah mengalami proses pengelasan. Pada pengujian ini dilakukan pengamatan secara mikroskopis terhadap *weld metal*, daerah HAZ dan base metal.

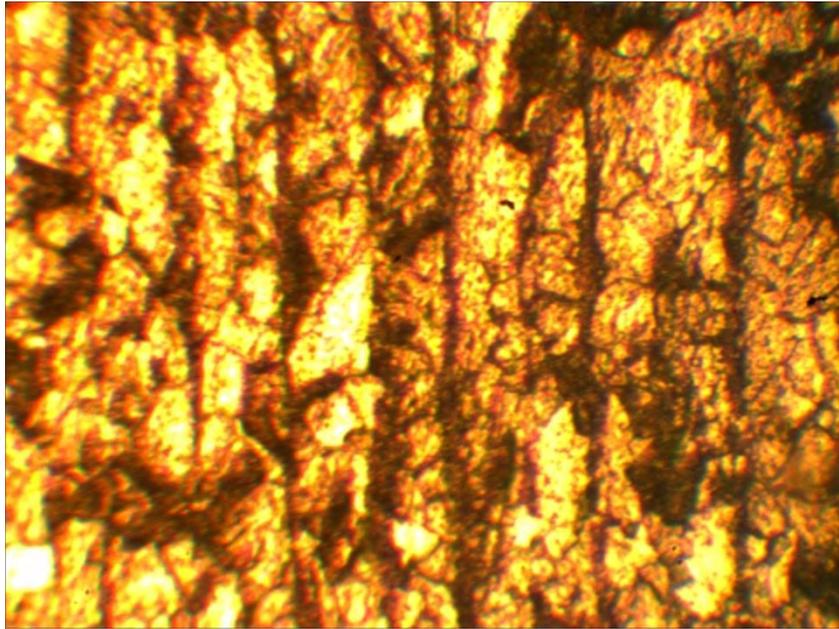
Dari perlakuan yang diberikan, maka dari ketiga spesimen uji dengan variasi lebar *root* yang berbeda akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda pula. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh laju pendinginan selama proses pengelasan. Material baja yang dilas dengan pendinginan normal tanpa adanya perlakuan lain akan merubah struktur mikro dari material dari austenit menjadi ferrit-perlit. Dan apabila material paska pengelasan mengalami pendinginan cepat maka material tersebut akan berubah struktur mikronya dari austenit menjadi martensit. Sehingga apabila suatu material mempunyai kandungan martensit tinggi akan berakibat material tersebut menjadi *brittle*.



Gambar 4.5. Gambar struktur mikro base metal *root gap* 3 mm perbesaran 400x.

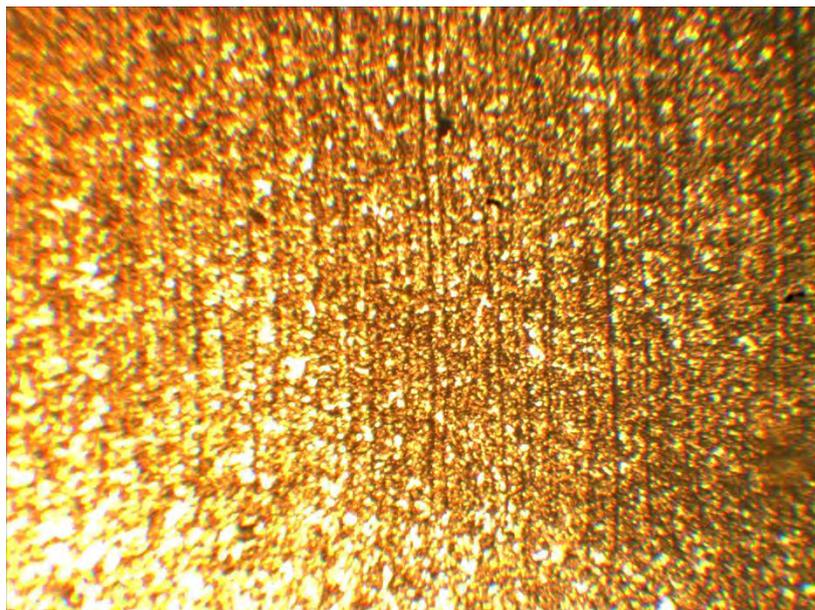


Gambar 4.6. Gambar struktur mikro base metal *root gap* 4 mm perbesaran 400x.

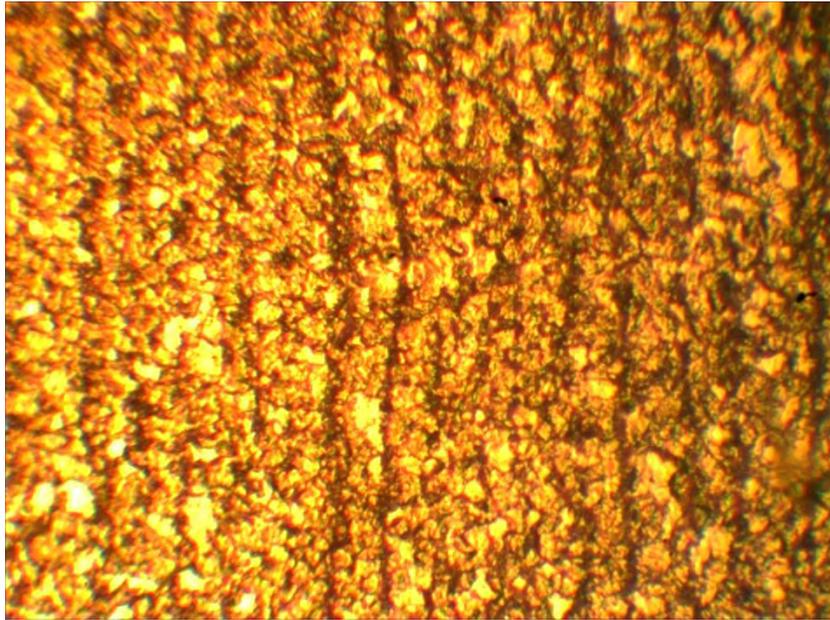


Gambar 4.7. Gambar struktur mikro base metal *root gap* 5 mm perbesaran 400x.

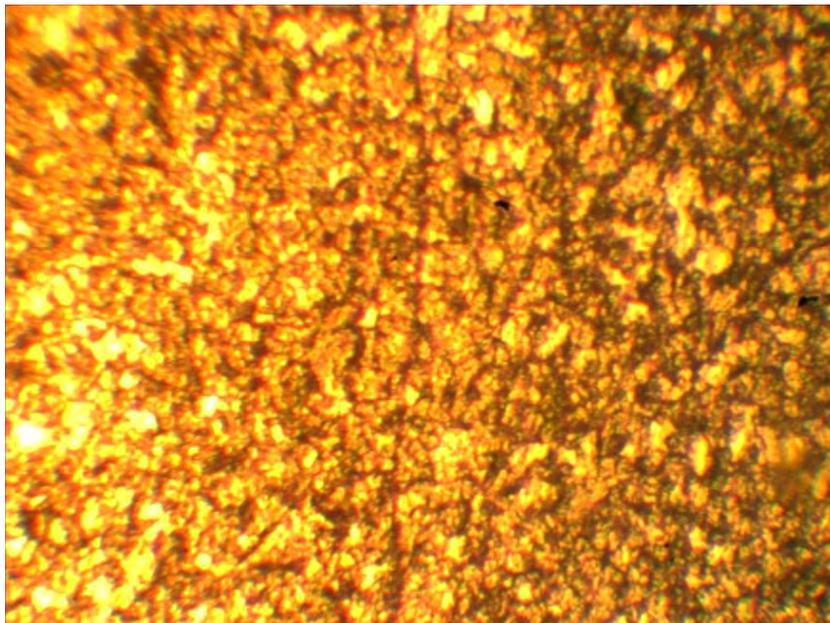
Sebagian besar pada base metal dengan variasi lebar *root* 3 mm, 4 mm, dan 5 mm didominasi oleh struktur ferrit. Dalam Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7 di atas struktur ferrit ditunjukkan dengan warna terang sedangkan perlit ditunjukkan dengan warna gelap. Semakin rendah kadar karbon pada baja maka akan semakin tinggi pula presentase struktur ferrit di dalamnya. Dalam segi bentuk butir atau ukuran dari struktur butir base metal sebagian besar berbentuk kecil dan halus. Base metal tidak mengalami perubahan struktur dikarenakan base metal tidak mengalami pengaruh panas.



Gambar 4.8. Gambar struktur mikro HAZ *root gap* 3 mm perbesaran 400x.

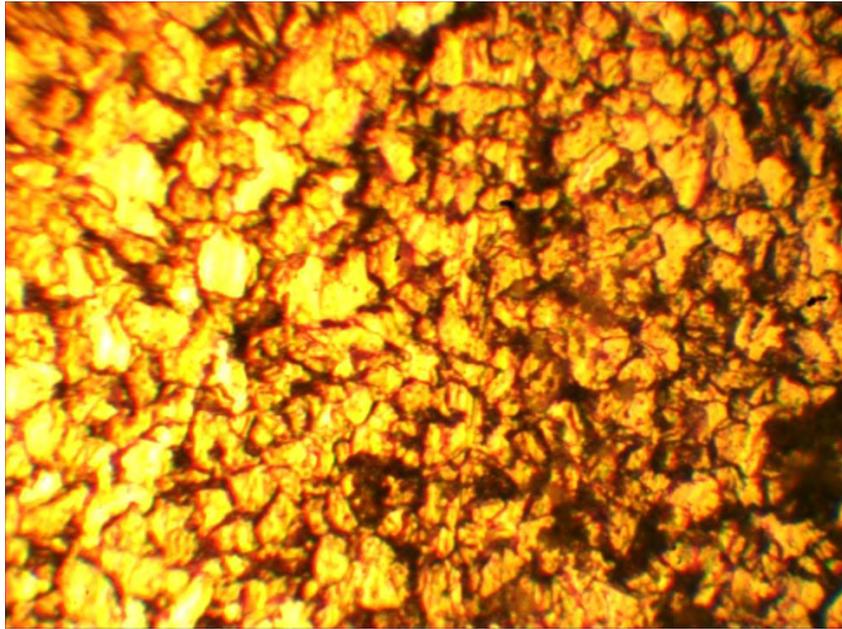


Gambar 4.9. Gambar struktur mikro HAZ *root gap* 4 mm perbesaran 400x.

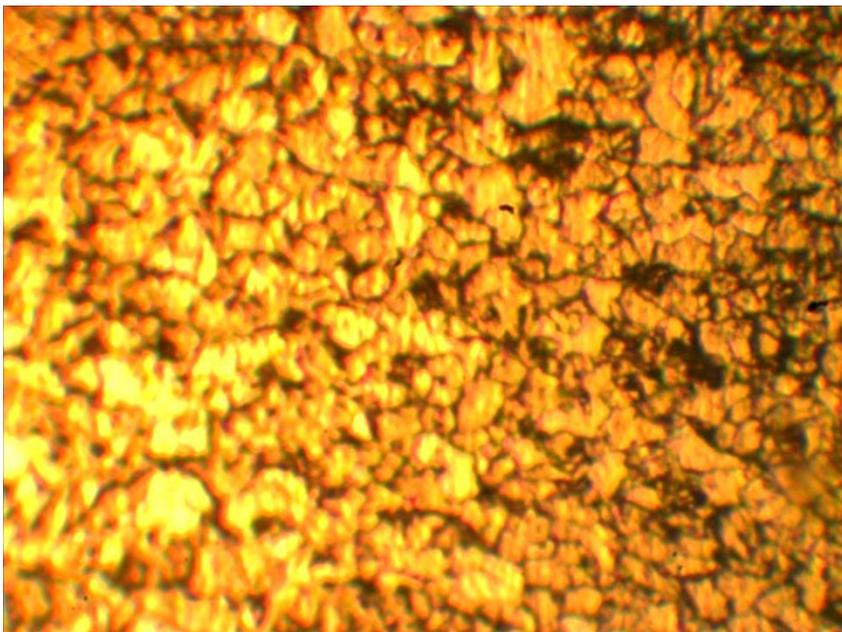


Gambar 4.10. Gambar struktur mikro HAZ *root gap* 5 mm perbesaran 400x.

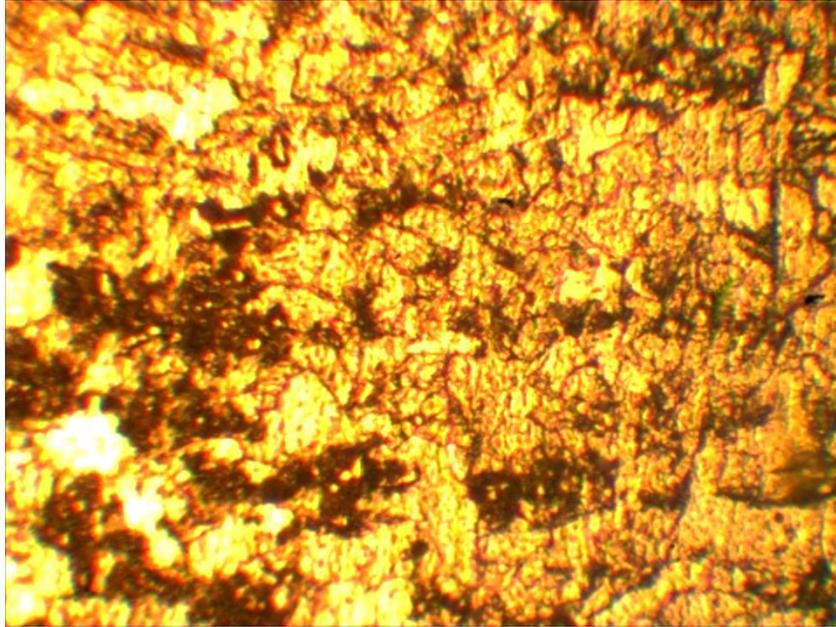
Terlihat bahwa pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10 tersebut bentuk dari butir-butirnya berubah yang pada awalnya butirannya titik-titik kecil dan halus (base metal) menjadi memanjang membentuk suatu garis alur. Pada daerah ini selain bentuk dan ukuran dari butirnya berubah, kandungan perlit (gelap) juga lebih banyak dibandingkan jumlah perlit pada base metal. Fenomena ini diakibatkan oleh adanya siklus pemanasan pada daerah HAZ pada saat proses pengelasan. Semakin banyak masukan panas yang diberikan pada material lasan, mengakibatkan daerah HAZ menjadi semakin lebar dan struktur kristalnya juga semakin kecil dan kasar.



Gambar 4.11. Gambar struktur mikro *weld metal root gap* 3 mm perbesaran 400x.



Gambar 4.12. Gambar struktur mikro *weld metal root gap* 4 mm perbesaran 400x.



Gambar 4.13. Gambar struktur mikro *weld metal root gap* 5 mm perbesaran 400x.

Dari Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13 diatas terlihat bahwa komposisi struktur mikro dari *weld metal* didominasi sebagian besar oleh struktur/fasa perlit (gelap). Pada pengelasan dengan variasi lebar *root* 3 mm komposisi feritnya lebih banyak dibandingkan pada hasil pengelasan dengan variasi lebar *root* 4 mm dan 5 mm.

Jika dibandingkan dengan komposisi perlit struktur mikro dari base metal, pada *weld metal* presentase perlit jauh lebih banyak. Sehingga *weld metal* menjadi lebih keras daripada base metal. Kekerasan dari base metal ini sendiri berbanding terbalik dengan semakin getasnya sifat *weld metal*. Karena adanya pendinginan cepat, maka *weld metal* mengalami kenaikan presentase perlit.

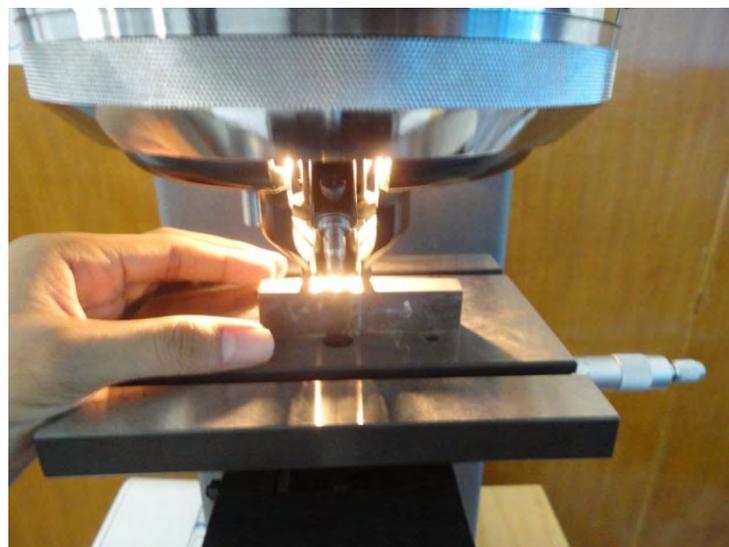
Dengan mengetahui struktur mikro yang terbentuk di sambungan las tersebut dari hasil pengamatan metallography, yang hasilnya terdiri dari austenite ferrite dan pearlite. Tentunya kita dapat juga memprediksi sifat-sifat mekanis yang ada pada sambungan las tersebut, ditinjau dari sifat-sifat struktur mikro pembentuknya. Struktur austenite, ferrite dan pearlite terbentuk di sambungan las, itu artinya sambungan las memiliki keuletan dan ketangguhan yang cukup baik, karena sifat dasar dari struktur mikro ketiganya memiliki keuletan yang cukup tinggi dibanding struktur mikro lain seperti martensite. Dalam aplikasinya pada konstruksi *engineering* dan permesinan, dengan mengetahui bentuk struktur akhir dari sambungan las antar logam *carbon steel* A36, tentunya kita dapat memprediksi sifat-sifat pada sambungan las tersebut. Karena sifat-sifat mekanik dari struktur mikro penyusun suatu sambungan las tersebut, tentunya akan sangat mempengaruhi sifat mekanis sambungan las

tersebut ketika di aplikasikan. Dan hal ini dapat membantu dalam proses pendesainan atau fabrikasi dari suatu konstruksi engineering atau permesinan. Agar didapat desain sambungan las yang berkualitas dan aman.

4.4. Analisa Pengujian Hardness

Pengujian hardness dilakukan dengan menggunakan alat uji hardness Wilson WOLPERT UH930 yang ada di Laboratoium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut dapat diketahui apakah material ulet atau getas. Makin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut semakin getas.

Pengujian hardness dilakukan untuk mendapatkan hasil dari pengelasan material baja. Adapun hasil yang didapat berupa distribusi kekerasan yang terdapat pada base metal, daerah HAZ dan *weld metal* yang dilakukan pada masing-masing variasi lebar *root* 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan bahan uji berjumlah 1 buah untuk masing-masing variasi lebar *root*. Dalam pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing posisi base metal, daerah HAZ dan *weld metal*. Dalam pengujian kekerasan ini diambil posisi bagian *top*.



Gambar 4.14. Pemasangan spesimen uji hardness.

Pengujian dilakukan dengan masing-masing line berjumlah tiga titik. Metode yang digunakan adalah HV-10 dengan durasi penekanan 10 detik. Peralatan pengujian ini sudah dikomputerisasi, sehingga tidak perlu dihaluskan permukaannya untuk menghitung diameter dan kedalaman lubang yang terjadi akibat tumbukan kristal dari alat uji.

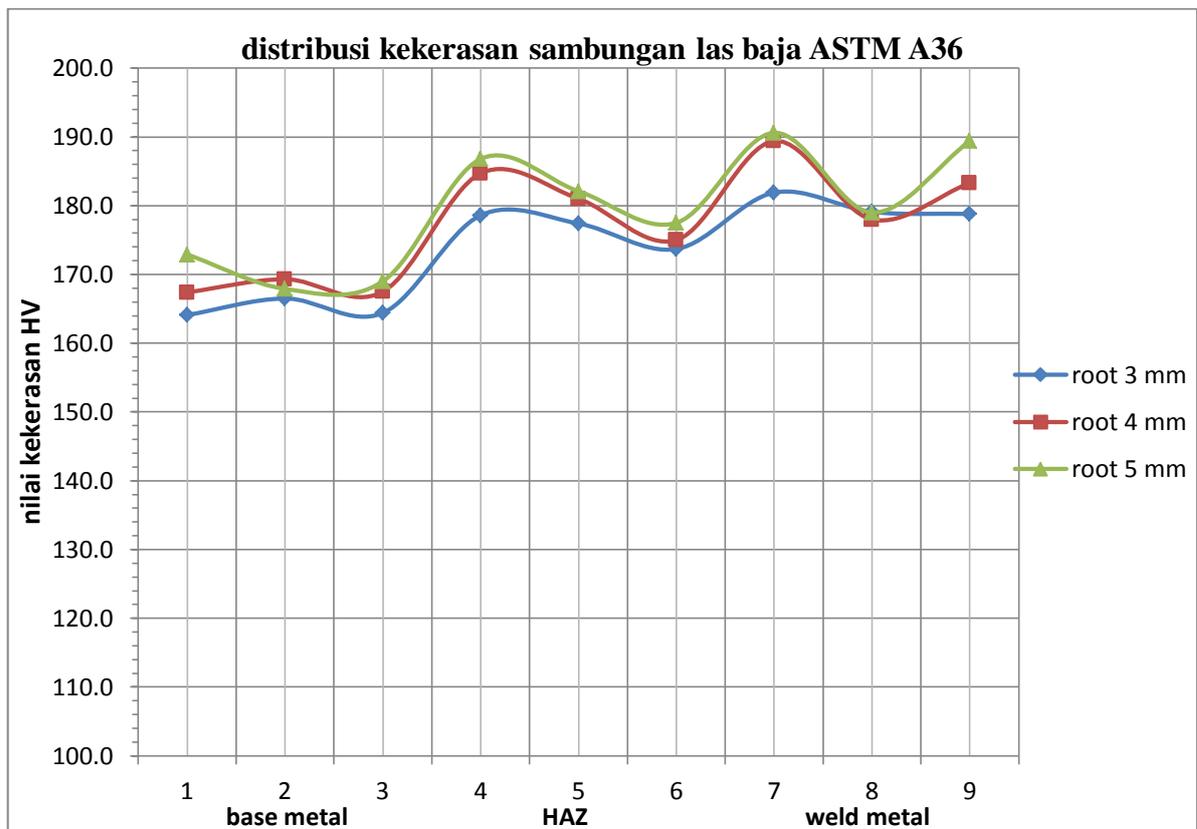
Tabel 4.5. Tabel hasil uji kekerasan Vickers (HV10).

Variasi lebar <i>root</i>	Posisi pengujian	Base metal	Daerah HAZ	<i>Weld metal</i>
3 mm	atas	164.1	178.6	181.9
		166.5	177.4	179.1
		164.4	173.7	178.8
	Rata-rata	165	176.57	179.93
Variasi lebar <i>root</i>	Posisi pengujian	Base metal	Daerah HAZ	<i>Weld metal</i>
4 mm	atas	167.4	184.7	189.4
		169.3	181	178
		167.5	175	183.3
	Rata-rata	168.07	180.23	183.57
Variasi lebar <i>root</i>	Posisi pengujian	Base metal	Daerah HAZ	<i>Weld metal</i>
5 mm	atas	172.9	186.8	190.6
		167.9	182.1	179
		169	177.5	189.4
	Rata-rata	169.93	182.13	186.33

Dari analisa yang didapat dari tabel diatas bahwa variasi lebar *root* pada pengelasan baja A36 yang menggunakan metode SMAW menghasilkan nilai kekerasan *base metal*, HAZ dan *weld metal* berbeda. Walaupun perbedaan yang didapat dari *base metal* pada setiap variasi berbeda, namun perbedaan yang dihasilkan tidak signifikan. Nilai kekerasan yang dimiliki dari *base metal* yaitu 165 HV untuk material uji yang dilas dengan variasi lebar *root* 3 mm. Sedangkan nilai kekerasan untuk material uji dengan lebar *root* 4 mm dan 5 mm yaitu 168.07 HV dan 169.93 HV. Selanjutnya untuk nilai kekerasan daerah HAZ setelah proses pengelasan mengalami kenaikan nilai kekerasan dibandingkan nilai kekerasan pada *base metal*. Nilai kekerasan dengan lebar *root* 3 mm yaitu 176.57 HV, kemudian untuk lebar *root* 4 mm mengalami kenaikan menjadi 180.23 HV dan untuk lebar *root* 5 mm menghasilkan nilai kekerasan 182.13 HV. Nilai kekerasan spesimen uji meningkat kembali pada daerah *weld metal*. Untuk lebar *root* 3 mm memiliki nilai kekerasan 179.93 HV. Sedangkan untuk lebar *root* pada spesimen uji dengan lebar 4 mm dan 5 mm yaitu 183.57 HV dan 186.33 HV.

Pada hasil yang diperoleh tersebut kenaikan nilai kekerasan spesimen uji setelah dilakukan pengelasan sebanding dengan hasil uji foto mikro yang didapat. Hal ini terjadi karena pada proses pengelasan, masukan panas yang diberikan pada lebar *root* 5 mm semakin besar karena berbanding terbalik terhadap kecepatan pengelasan, sehingga terjadi pendinginan cepat pada area HAZ. Pendinginan cepat itulah yang mengakibatkan perubahan struktur butiran dari baja semakin halus. Bertambahnya kekerasan material akan mengakibatkan material tersebut semakin getas.

Grafik 4.1. Grafik distribusi kekerasan pada masing-masing variasi lebar *root*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dengan proses pengelasan SMAW *butt joint* dapat diambil kesimpulan yang sesuai dari tujuan penelitian yaitu akibat dari pengaruh variasi lebar root, maka didapat :

1. Nilai lebar HAZ berkisar antara 1 sampai 2.5 mm dan lebar HAZ terkecil terdapat pada spesimen dengan variasi lebar root 3 mm. Sedangkan untuk lebar HAZ terbesar terjadi pada spesimen dengan variasi lebar root 5 mm.
2. Pada spesimen variasi lebar root 3 mm menghasilkan area *weld metal* yang lebih besar dari spesimen variasi lebar root 4 mm, hal ini dikarenakan pada saat proses pengelasan *ampere* yang digunakan terlalu besar, jarak busur terlalu pendek dan *travel speed*-nya terlalu kecil.
3. Semakin lebar root gap yang ditentukan, maka *heat input* semakin meningkat, karena semakin lambat kecepatan pada saat pengelasan.
4. Semakin lebar root gap yang ditentukan, maka makin lebar pula HAZ yang terbentuk. Hal ini dikarenakan semakin lebar root gap, mengakibatkan kecepatan pengelasan menjadi semakin lambat sehingga berpengaruh pada semakin besar nilai *heat input*. Dengan *heat input* yang semakin besar mengakibatkan daerah HAZ yang terbentuk semakin lebar.
5. Nilai kekerasan HAZ dan weld metal dari spesimen dengan variasi root gap 3 mm sebesar 176.57 HV dan 179.93 HV, pada variasi root gap 4 mm sebesar 180.23 HV dan 183.57 HV. Sedangkan untuk variasi root gap 5 mm sebesar 182.13 HV dan 186.33 HV.

5.2. Saran

Saran yang penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah agar melakukan studi dengan variasi bentuk karpas yang berbeda yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro.

A Quick Guide to Suitable Welding Consumables for Mild Steel and 490MPa High Tensile Strength Steel

For Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Applications	Brand name*1	AWS classification	Features
Thin to medium plate joints	[F] RB-26	A5.1 E6013	Capable of vertical downward welding.
	[F] Z-44	A5.1 E6013	Lower fume emissions.
	[F] B-33	A5.1 E6013	Better bead appearance.
	[F] B-10	A5.1 E6019	Deeper penetration than E6013.
	[F] B-14	A5.1 E6019	Better X-ray soundness.
	[F] B-17	A5.1 E6019	Higher resistance to hot cracking.
Thick plate joints	[F] LB-26	A5.1 E7016	For mild steel. Higher deposition rates.
	[F] LB-47	A5.1 E7016	For mild steel. Better X-ray soundness.
	[F] LB-52	A5.1 E7016	Typical electrode for 490MPa HT steel.
	[F] LB-M52	A5.1 E7016	Extra-low hydrogen. Harmless fumes.
	[F] LB-52A	A5.1 E7016	Extra-low hydrogen. Higher resistance to cold cracking.
	[F] LB-52UL	A5.1 E7016	Ultra-low hydrogen. Moisture resistant.
	[F] LB-57	A5.1 E7016	Suitable for 520MPa HT steel. Extra-low hydrogen.
	[F] LB-76	A5.5 E7016-G	Suitable for 520MPa HT steel.
	[F] LB-52RC	A5.1 E7016	Suitable for HIC resistant steel.
	[F] LB-52-18	A5.1 E7018	Higher deposition rates. Better usability with DCEP.
Horizontal and flat fillets	[T] LB-7018-1	A5.1 E7018-1	Higher deposition rates. Excellent low-temp notch toughness.
	[F] LT-B52A	A5.1 E7018	Typical electrode for 490MPa HT steel.
	[F] KOBE-7024	A5.1 E7024	Suitable for manual and gravity welding.
Pipelines	[F] LT-B50	-	Non-low hydrogen. Not suitable for thick sections.
	[F] KOBE-6010	A5.1 E6010	Suitable for API grades of up to X52.
	[F] KOBE-7010S	A5.5 E7010-P1	Suitable for API grades of X52-X60.
	[F] KOBE-8010S	A5.5 E8010-P1	Suitable for API grades of X60-X70.
	[F] LB-78 VS	A5.1 E7048	Extra-low hydrogen. Vertical downward welding.
	[F] LB-88 VS	A5.5 E8018-G	Extra-low hydrogen. Vertical downward welding.
Root passes	[F] LB-98 VS	A5.5 E9018-G	Extra-low hydrogen. Vertical downward welding.
	[F] LB-52 U	A5.1 E7016	Unsurpassed penetration bead appearance.
Tacking	[F] LB-52 T	A5.1 E7048	Excellent re-arcing with a low hydrogen coating.

1. [F] designates **FAMILIARC™**. [T] designates **TRUSTARC™**.

Tips for successful welding results

1. This guidance is to help users select appropriate welding consumables. Users are requested to confirm whether the selected brand can satisfy the job requirements before use.
2. Suitable electric polarity for SMAW electrodes are as follows: AC, DCEN or DCEP for EXX13, EXX19, and EXX24; AC or DCEP for EXX16, EXX18 and EXX48; DCEP for EXX10. Wires for FCAW and GMAW use DCEP (DW-A51B uses DCEN). For SAW flux-wire combinations, AC is recommended. Electric polarity can affect the usability of welding consumables and the chemical composition and mechanical properties of weld metals; therefore, it is recommended to confirm the performance of the consumable you selected, using the polarity of a power source available for a particular job.
3. The trade designations with a prefix of G or MF are fused-type fluxes for SAW, whereas those that begin with PF are bonded-type fluxes. The trade designations shown with a prefix of DW or MX are flux-cored wires, whereas those denoted with a prefix of MG or MIX are solid wires. Shielding gas composition can affect the usability of a wire, the chemical composition and mechanical properties of the weld metal.
4. The mechanical properties of weld metals can be affected by preheat and interpass temperatures and welding heat input. Therefore, these parameters must be controlled during welding to assure the weld quality.
5. For details of individual brands, refer to KOBELCO WELDING HANDBOOK.



LB-52U (E7016) is an unsurpassed covered electrode for melt-through root-pass welding, or one-sided root pass welding with penetration beads. With LB-52U your welding will be easier and faster, and you will have confidence in the quality of your welds in any kind of pipe welding of mild steel and 490MPa high tensile strength steel. Described here are the characteristics that have made LB-52U the best for one-sided pipe welding.

(1) EXCELLENT USABILITY IN ALL-POSITION WELDING

LB-52U features a very stable arc and low spatter over a wide range of welding currents. In particular, it really shines in the melt-through root-pass welding of horizontally fixed pipes due to the smooth, glossy penetration beads that protrude on the reverse side of the groove (Figure 1) and the wider tolerance of the root opening — an advantage in site welding.



Figure 1: The surface and macrosectional profiles of a penetration bead protruding on the reverse side of a single-V-groove weld.

(2) SUPERIOR CRACK RESISTANCE AND MECHANICAL PROPERTIES

LB-52U offers superior crack resistibility due to a lower amount of diffusible hydrogen in the weld metal. In addition, it excels in mechanical properties, particularly in impact strength at low temperatures (Table 1). Therefore, it can be used for low-temperature applications as well as moderate high-temperature applications.

Table 1: Typical chemical and mechanical properties of LB-52U weld metal

C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.07	0.55	1.05	0.011	0.006
0.2% OS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	IV (J)	(H) ¹ (ml/100g)
480	560	31	-29°C: 80	3.5

1. Diffusible hydrogen in the weld metal made in the welding atmosphere of 21°C × 10%RH (Gas-chromatographic method)

(3) FIELD-PROVEN ELECTRODE IN WORLD-WIDE MARKETS

The outstanding usability of LB-52U in the melt-through root-pass welding of pipe joints has satisfied users around the world. LB-52U has been popular for a variety of piping jobs across Russia, Asia and the pacific region. Particularly in Russia, LB-52U, with its extraordinary reliability, has made a great contribution to the construction of long, oil and gas pipelines in freezing weather. Since 1982, more than 33,000 metric tons of LB-52U have been consumed in the construction of the Russian pipelines (Figure 2).



Figure 2: A pipeline-welding site in Russia where LB-52U is used for joining the girth joints in freezing weather.



The No.1 low-hydrogen type electrode for both mild steel and 490 MPa high tensile strength steel suited for almost limitless applications.

Inception of LB-52

LB-52 was developed around 1958. "L" stands for low hydrogen, while "B" symbolizes a slag-shielding covered electrode. "52" refers to the level of approximate tensile strength of the deposited metal when it was developed.

Outstanding features

The outstanding features of LB-52 among other E7016 electrodes are:

- (1) Excellent usability in out-of-position welding with better arc concentration, easier slag removal and smoother bead appearance
- (2) Excellent mechanical properties with consistent tensile strength and high impact toughness
- (3) Excellent X-ray soundness

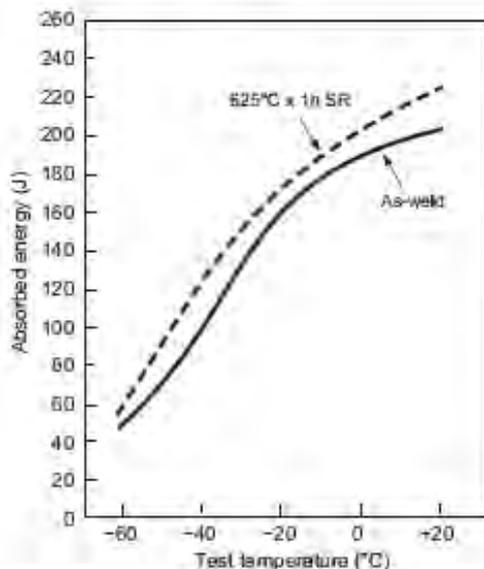


Figure 1: Charpy impact energy transition curves of LB-52 weld metals in the as-welded and postweld heat treated conditions.

Figure 1 shows the Charpy impact energy transition curves of LB-52 weld metals tested with 2mm-V-notch specimens at a wide range of temperatures. Due to high impact toughness in both as-welded and postweld heat treated conditions, LB-52 is used for low-temperature applications down to -20°C, in addition to room temperature and elevated temperature applications. Table 1 shows the typical chemical and mechanical properties of LB-52 weld metal tested in accordance with AWS A5.1.

Table 1: Typical chemical and mechanical properties of LB-52 weld metal tested in accordance with AWS A5.1

C%	S%	Mn%	P%	S%
0.08	0.60	0.94	0.011	0.006
0.2% OS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	IV (J)	PWHT (°C x h)
500	570	32	-29°C:120	As weld
420	520	33	-29°C:150	620 x 1

Highly reputed for 50 years

Since it was launched, LB-52 has seen its features refined and its markets expanded. Kobe Steel pursues keen quality control in order to maintain the outstanding features of LB-52 produced in Japan and overseas. The maintenance of quality is an important factor in persistently earning a high reputation for LB-52 in almost limitless applications in such various fields as pressure vessels, storage tanks, pipelines, machinery, offshore structures, ships, bridges, and steel structures. Kobe Steel is sure LB-52 will be a reliable electrode for your workshops.



LB-52 shines in such applications as structures, pipes and vessels in the construction of chemical plants and oil refineries.

OERLIKON SPEZIAL

For welding unalloyed and low alloy steels, basic covering

International Standards:

AWS SFA 5.1 : E 7016
DIN 1913 : E 51 43 B (R) 10
DIN EN 499 : E 38 2 B 12 H 10

Application & Properties:

Multi-purpose electrode suitable for structural steelwork, workshop, and maintenance welding. Smooth and clean welds, blending into base metal without undercuts. Excellent gap bridging properties. The covering of this electrode produces a stable, concentrated and directed arc, thus being ideally suited for root pass and positional welding. Welds are X-ray quality.

Aplikasi & Penggunaan:

Kawat las multi fungsi untuk industri konstruksi, repair & maintenance. Alur lasnya halus dan bersih, penetrasinya dalam tanpa terjadi undercut. Baik untuk pengelasan pada celah. Kawat las memiliki kestabilan nyala api yang sangat baik, terfokus, dan stabil, sehingga cocok untuk pengelasan root pass dan pengelasan pada segala posisi. Alur las memiliki performa X-Ray yang sangat baik.

Size and Recommended Current Range (DC+ and AC):

Size (mm)	2,5 x 350	3,25 x 350	4,0 x 400	5,0 x 400
Amperages	60 - 90	95 - 150	140 - 190	190 - 250

Mechanical Properties:

Yield strength : > 380 N/mm²
Tensile strength: 470 - 600 N/mm²
Elongation : > 20 %

Impact Charpy
+20°C : 150 J
-20°C : 80 J

Chemical Analysis (%):

C: 0,06 Mn: 0,9 Si: 0,7

Redrying:

Required at 200°C for 2 hrs

OERLIKON SUPERCITO

For welding unalloyed and low alloy steels, basic covering

International Standards:

AWS SFA 5.1 : E 7018
DIN 1913 : E 51 55 B 10
DIN EN 499 : E 42 5 B 42 H 10

Application & Properties:

Basic electrode for producing tough and crack-free welded joints even on steels having a carbon content of up to 0,4%. Weld metal recovery amounts to approx. 120%. Good operating characteristics, also in positional welding. Weld metal exhibits good toughness properties down to -60°C. Electrode is suitable for depositing buffer layers on higher carbon steels.

Aplikasi & Penggunaan:

Kawat las dengan coating type basic yang memiliki alur las yang ulet, dan bebas terjadi keretakan bahkan pada baja yang memiliki kadar karbon hingga 0,4%. Efisiensi pengelasannya 120%. Karakter pengelasannya sangat baik pada segala posisi. Alur las memiliki keuletan yang sangat baik pada temperatur hingga -60°C. Kawat las dapat digunakan sebagai buffer layer pada baja karbon tinggi.

Size and Recommended Current Range (DC+ and AC):

Size (mm)	2,5 x 350	3,25 x 350	4,0 x 400	5,0 x 400
Amperages	65 - 90	100 - 140	140 - 190	190 - 250

Mechanical Properties:

Yield strength : > 420 N/mm²
Tensile strength: 500 - 640 N/mm²
Elongation : > 20 %

Impact Charpy
+20°C : 200 J
-60°C : 70 J

Chemical Analysis (%):

C: 0,06 Mn: 1,1 Si: 0,5

Redrying:

Required at 200°C for 2 hrs

OERLIKON TENACITO WZ

For welding normalized and normalized + tempered fine grain and special structural steels, basic covering

International Standards:

AWS SFA 5.1 : E 7016-1
DIN 8529 : E SY 42 76 Mn B
DIN EN 499 : E 46 5 B 32 H 5

Application & Properties:

Electrode producing tough and crack-free welded joints. Suited for welding steels having a carbon content of up to 0,6%. The weld metal has a very low hydrogen content and is resistant to ageing. Electrode approved for rail joint welding and CTOD-tested for offshore applications. Particularly suited for welding root passes and for bridging wide gaps. The electrode features a stable and concentrated arc, making it well-suited for positional welding. Welds are of X-ray quality. Good operating characteristics, even on AC.

Aplikasi & Penggunaan:

Kawat las ini sangat cocok untuk pengelasan pada baja yang memiliki kadar karbon hingga 0,6%. Hasil lasnya memiliki kadar hidrogen yang sangat rendah serta memiliki kekuatan yang sangat baik. Sangat direkomendasikan untuk pengelasan pada proyek offshore. Keunggulan lainnya adalah: alur las yang sangat ulet dan sambungan yang bebas retak. Sangat cocok untuk pengelasan root pass dan pengelasan pada celah yang lebar. Kawat las memiliki kestabilan nyala api yang baik dan terfokus, sehingga dapat digunakan pada segala posisi. Alur las memiliki performa X-ray yang baik. Karakter pengelasannya sangat baik, bahkan pada arus AC.

Size and Recommended Current Range (DC+ and AC):

Size (mm)	2,5 x 350	3,25 x 350	4,0 x 400	5,0 x 400
Amperages	65 - 95	90 - 140	140 - 185	180 - 240

Mechanical Properties:

Yield strength : > 420 N/mm²
Tensile strength: 500 - 640 N/mm²
Elongation : > 20 %

Impact Charpy
+20°C : 200 J
-60°C : 100 J

Chemical Analysis (%):

C: 0,06 Mn: 1,5 Si: 0,3

Redrying:

Required at 200°C for 2 hrs

OERLIKON INOX AW

For welding stainless and heat resisting steels, rutile covering

International Standards:

AWS SFA 5.4 : E 308L-16
DIN EN 1600 : E 19 0 L R 12
DIN 8556 : E 19 9 L R 23

Application & Properties:

Electrode for welding austenitic stainless Cr-Ni steels or cast steels, having an extra low carbon content, as well as stainless or heat resisting chromium steels or cast steels. For operating temperatures of up to +350°C, non-scaling up to +800°C. Fine metal droplet transfer, good fusion of joint faces, finely rippled bead surface, easily removable slag. Easy arc striking and restriking.

Aplikasi & Penggunaan:

Kawat las untuk pengelasan stainless steel chromium-nikel austenite, memiliki kadar karbon yang rendah. Temperatur operasinya bisa mencapai hingga di atas 350°C, ketahanannya terhadap scaling bisa mencapai temperatur hingga 800°C. Penetrasinya dalam, penyambungannya sangat baik, alur lasnya halus, temak mudah lepas. Kestabilan nyala api dan restrikingnya sangat baik.

Size and Recommended Current Range (DC+ and AC):

Size (mm)	2,5 x 300	3,25 x 350	4,0 x 350
Amperages	45 - 80	70 - 120	100 - 150

Mechanical Properties:

Yield strength : 400 N/mm²
Tensile strength: 580 N/mm²
Elongation : 35 %

Impact Charpy
+20°C : 65 J

Chemical Analysis (%):

C: 0,025 Mn: 0,6 Si: 0,9
Cr: 19 Ni: 10

Redrying:

Required at 200°C for 2 hrs



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
 Gedung MTL Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

TEST REPORT

Order from : Randistya Fahmy
 Test Specimen :
 Material : ASTM A36
 Reference :
 Date :

HARDNESS TEST (VICKERS) LOAD = 10 KGF			TIME = 10 s				Sketch
No.	Sample stamp	No	Location	Position	Hardness value	average	
1	root gap 3m 1	1	BM		164.10		
		2	BM		166.50		
		3	BM		164.40		
		4	HAZ		178.6		
		5	HAZ		177.4		
		6	HAZ		173.7		
		7	WM		181.9		
		8	WM		179.10		
		9	WM		178.8		
2	root gap 4m 2	1	BM		167.4		
		2	BM		169.3		
		3	BM		167.5		
		4	HAZ		184.7		
		5	HAZ		181		
		6	HAZ		175		
		7	WM		189.4		
		8	WM		178.		
		9	WM		183		
3	root gap 5m 3	1	BM		172.9		
		2	BM		167.9		
		3	BM		169.		
		4	HAZ		186.8		
		5	HAZ		182.1		
		6	HAZ		177.5		
		7	WM		190.6		
		8	WM		179.		
		9	WM		189.4		

witnessed by	 Abdul Chanan.
1	
2	
3	
4	

DAFTAR PUSTAKA

ASM Handbook Committee. (2004). *ASM Handbook Volume 6-Welding, Brazing, and Soldering*. Ohio: American Society for Metals.

ASM Handbook Committee. (2004). *ASM Handbook Volume 8-Mechanical Testing and Evaluation*. Ohio: American Society for Metals.

ASM Handbook Committee. (2004). *ASM Handbook Volume 9-Metallography and Microstructures*. Ohio: American Society for Metals.

ASME Section VIII Division 1. (2013). *Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.

ASTM Volume E 3.01. (2004). *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

ASTM A36.(2004). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).

AWS D1.1. (2010). *Structural Welding Code-Steel*. Miami: American Welding Society

Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI. (2012). *Welding*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.

Aljufri. (2008). Undergraduate Thesis. *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal Dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium-Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Tig*. Sumatera: Universitas Sumatera Utara.

Hermawan, B. (2012). Undergraduate. *Pengaruh Posisi Pengelasan Dan Ketebalan Pelat Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Dari Sambungan Las Dissimilar Metal Stainless Steel 304 Dan Carbon Steel A36*. Jakarta: Program Studi Teknik Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Lancaster, J.F. (1999). *Metallurgy of Welding 6th*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Malau, V. (2003). *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*. Yogyakarta.

Okumura, T. and Wiryosumarto, H. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Prasetyawanto, L.O. (2012). *Sub Bidang Pengelasan SMAW*. Serang: Balai Besar Latihan Kerja Industri.

Soeweify. (2006). Lecture Handout. *Teknik Las*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Soeweify. (2010). Lecture Handout. *Welding Metalurgy*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Suarjana, I.N. (2012). Undergraduate Thesis. *Ketahanan Korosi Sambungan Las Dissimilar SS304 dan CS A36 yang Dipengaruhi Oleh Posisi Pengelasan dan Ketebalan Pelat*. Jakarta: Program Studi Teknik Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sujatmika, Hiro. (2013). Undergraduate. *Analisa Pengaruh Groove Dan Gap Terhadap Hasil Pengelasan Smaw Butt Joint Baja Aisi 1020*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Supervision Committee. (2008). *Advanced Welding And Joining Technologies Chapter 4-Materials and their Behaviuor during Welding*. Tokyo: The Japan Welding Engineering Society.

Surdia, T. and Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Widharto, Sri. (2007). *Inspeksi Teknik*. Jakarta: Pradnyana Paramita.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 5 Desember 1991 di kota Nganjuk “Kota Angin”. Meskipun lahir di Nganjuk, penulis pernah tinggal dan menghabiskan masa kecilnya di Bojonegoro dan Surabaya. Pendidikan penulis dimulai dari TK Pertiwi Pace Kulon, SD Negeri 1 Pace Kulon, SMP Negeri 1 Nganjuk, sampai SMA Negeri 2 Nganjuk. Pendidikan terakhir penulis yaitu menjalani perkuliahan di S1 Teknik Perkapalan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis adalah orang yang pandai bergaul, senang dengan hal bercandaan,

cenderung serius dan selalu fokus dalam suatu hal. Beberapa hobi yang penulis jalani sampai sekarang adalah membaca, melukis, menggambar, desain grafis, fotografi, jurnalistik, musik, *travelling*, modifikasi sepeda motor, sepak bola, futsal, basket dan forum diskusi kekinian. Selain mengisi waktu luang, hobi tersebut banyak menambah ilmu penulis yang sangat bermanfaat dalam berbagai hal. Selama masa studi penulis pernah menjabat sebagai staf divisi KESMA (Kesejahteraan mahasiswa) Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) periode 2012/2013, Staf Sie Acara *Surabaya Fisherman Sailing Competition* (SFSC) – Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) ITS dan staf Perlengkapan pada *Surabaya Fisherman Sailing Competition* SAMPAN ITS. Selain itu penulis juga tergabung dalam kegiatan-kegiatan non-akademis yaitu UKM Sepak Bola ITS dan UKM Futsal ITS untuk mengembangkan hobi dan bakat dibidang olahraga. Setelah mengikuti pelatihan Auto Cad dan Maxsurf penulis berharap akan terus memperbanyak menimba ilmu dan pengalaman untuk dapat mengembangkan potensi diri dari berbagai bidang dan yang pasti akan menambah kenalan dan memperluas jaringan.

e-mail : randyobert@rocketmail.com