

SKRIPSI
ANALISA PENGARUH VARIASI ELEKRODA
PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN LOGAM BAJA JIS G
3131 SPHC DENGAN BAJA AISI SS 201 TERHADAP SIFAT
MEKANIS



DISUSUN OLEH:

Nama : DWI KURNIAWAN
NIM : 1511056

PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2019

SKRIPSI
ANALISA PENGARUH VARIASI ELEKTRODA
PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN LOGAM BAJA JIS G
3131 SPHC DENGAN BAJA AISI SS 201 TERHADAP SIFAT
MEKANIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST)
jurusan Teknik Mesin

DISUSUN OLEH:
Nama: DWI KURNIAWAN
NIM: 1511056

PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2019

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**ANALISA PENGARUH VARIASI ELEKRODA
PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN LOGAM BAJA JIS G
3131 SPHC DENGAN BAJA AISI SS 201 TERHADAP SIFAT
MEKANIS**



DISUSUN OLEH :

Nama : DWI KURNIAWAN
NIM : 1511056

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin S-1

Sibut, ST., MT.
NIP.Y.1030300379

Malang,
Diperiksa / Disetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Rahardjo, MT.
NIP. 199570601 199202 1001

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

PERNYATAAN KEASLIAN ISI TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dwi Kurniawan

NIM : 1511056

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Menyatakan

Bahwa Skripsi yang saya buat ini adalah hasil karya sendiri dan bukan hasil dari karya orang, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian Surat Pernyataan keaslian saya buat dengan data yang sebenarnya.

Malang, Juli 2019

Dwi Kurniawan

NIM. 1511056

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Dwi Kurniawan
NIM : 1511056
Jurusan / Bidang : Teknik Mesin S-1 / Proses Produksi
Judul Skripsi : **Analisa Pengaruh Variasi Elektroda Pengelasan SMAW Sambungan Logam Baja JIS G 3131 SPHC Dengan Baja AISI SS 201 Terhadap Sifat Mekanis.**
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Rahardjo, MT.

No	Materi Bimbingan	Waktu Bimbingan	Paraf Dosen Pembimbing
1	Pengajuan Judul Skripsi	11 April 2019	
2	Konsultasi Bab I & II	14 Mei 2019	
3	Konsultasi Bab III	14 Mei 2019	
4	Konsultasi Bab IV	3 Juli 2019	
5	Konsultasi Bab V	3 Juli 2019	
6	Makalah Seminar	17 Juli 2019	
7	Acc Laporan Skripsi	21 Juli 2019	

Diperiksa / Disetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Rahardjo, MT
NIP. 199570601 199202 1001

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Dwi Kurniawan
NIM : 1511056
Jurusan / Bidang : Teknik Mesin S-1 / Proses Produksi
Judul Skripsi : **Analisa Pengaruh Variasi Elektroda Pengelasan SMAW Sambungan Logam Baja JIS G 3131 SPHC Dengan Baja AISI SS 201 Terhadap Sifat Mekanis.**
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Rahardjo, MT..

Tanggal Mengajukan Skripsi : 11 April 2019
Tanggal menyelesaikan Skripsi : 24 Juli 2019
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Rahardjo, MT..
Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 90 (A)

Diperiksa / Disetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Rahardjo, MT.
NIP. 19570601 199202 1001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala ridho, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi tepat pada waktunya. Dalam penyusunan Proposal Skripsi ini Penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT., selaku Rektor ITN Malang
2. Ibu Dr. Elly Nursanti, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang
3. Bapak Sibut, ST. MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin S-1 ITN Malang
4. Bapak Ir. Teguh Rahardjo, MT., selaku dosen pembimbing yang tak henti-hentinya memberikan arahan, dukungan, serta motivasi sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin S-1 ITN Malang, atas semua ilmu yang tak ternilai harganya.
6. Bapak dan Ibu tercinta, serta keluarga yang senantiasa mendukung penulis lewat doa, perhatian dan kasih sayang dan seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Mesin S-1 ITN Malang yang memberikan dukungan serta masukan untuk menyelesaikan proposal ini.

Penulis menyadari Proposal Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna , oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan Proposal Skripsi yang dibuat.

Malang, ... Maret 2019

Penulis

**ANALISA PENGARUH VARIASI ELEKTRODA
PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN LOGAM BAJA JIS G
3131 SPHC DENGAN BAJA AISI SS 201 TERHADAP SIFAT
MEKANIS**

Dwi Kurniawan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional

Malang

Jl. Raya Karanglo km 2, Malang 65145

Email: dkjaya3@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) terhadap sifat mekanis pada sambungan las baja JIS G 3131 SPHC dengan AISI SS 201. Untuk bahan pembuatan penahan sirip kemudi kapal biasanya menggunakan bahan yang sama untuk pembuatan lambung kapal yaitu baja JIS G 3131 SPHC. Pengelasan SWAM dengan menggunakan variasi elektroda. Sifat baja sendiri mudah terkorosi jika berinteraksi dengan air laut, maka diperlukan bahan lain yang memiliki sifat tahan karat yang bagus seperti stainless steel. Stainless steel yang biasanya digunakan adalah baja AISI SS 201 karena memiliki sifat ketahanan terhadap korosi intergranular mengikuti pengelasan. Untuk hasil uji tarik pengelasan dengan menggunakan elektroda AWS E 6016 memiliki nilai uji tarik yaitu 34,424 kgf/mm². nilai hasil uji kekerasan elektroda AWS E 6010 memiliki nilai HAZ baja paling tinggi yaitu 43,33 HRC. sedangkan nilai rata-rata tertinggi uji kekerasan ialah pengelasan menggunakan elektroda AWS E 6016 dengan nilai kekerasan mencapai 76,39 HRC. Dan nilai uji impak paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan dengan elektroda AWS E 6016 yaitu 10,11506 untuk satuan energy (joule) dan 0,10116 untuk HI.

Kata Kunci : pengelasan, SMAW, JIS G 3131 SPHC, AISI SS 201, sifat mekanik

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN ISI TULISAN	iv
LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI	v
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DATAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK	xv
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II	5
LANDASAN TEORI	5
2.2 Pengelasan (Welding)	8
2.3. SMAW (Las Shilded Metal Arc Welding)	8
2.4 Siklus Termal Daerah Las	9
2.4.1 Pembekuan Dan Struktur Logam Las	11
2.4.2 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)	12
2.4.3 Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ	14
2.4.4 Ketangguhan Logam Las	21
2.5 Retak Pada Daerah Las	23
2.5.1 Jenis Retak Las	23
2.5.2 Penyebab Retak Las Dan Cara Menanggulangi	25

2.6 Jenis Sambungan Las	35
2.7 Jenis Elektroda	37
3.7.1 Pengaruh jenis elektroda	39
2.8 Elektroda AWS E 6010	40
2.8.1 Spesifikasi Elektroda AWS E 6010	40
2.8.2 Komposisi Elektroda AWS E 6010	41
2.9 Elektroda AWS E 6013	41
2.9.1 Spesifikasi Elektroda AWS E 6013	41
2.10 Elektroda AWS E 6016	43
2.10.1 Spesifikasi Elektroda AWS E 6016	43
2.11 Uji Tarik	44
2.11.1 Tegangan Dan Regangan Pada Baja	44
2.11.2 Kurva Tegangan Dan Regangan	45
2.12 Uji Impak	47
2.12.1 Perumusan Pada Uji Impact Charpy	49
2.12.2 Jenis Patahan.....	50
2.13 Uji Kekerasan Rockwell	51
BAB III	55
METODOLOGI PENELITIAN	55
3.1 Diagram Alir Penelitian	55
3.2 Bahan Yang Digunakan	56
3.3 Alat Yang Digunakan	57
3.4 Cara Pembuatan Spesimen	57
3.5 Dasar Pemilihan Spesimen	59
3.6 Waktu Dan Tempat Pengujian	61
3.7 Prosedur Penelitian	61
3.8 Pelaksanaan Pengujian	63
3.8.2 Hasil Pengujian	66
BAB IV	68
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	68
4.1 Pengolahan Data Uji Tarik	68
4.1.1 Data Hasil Pengujian Tarik.....	68

4.1.2 Analisa Dan Pembahasan Pengujian Tarik	69
4.2 Pengolahan Data Pengujian Kekerasan	70
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	70
4.2.2 Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan	72
4.3 Pengolahan Data Pengujian Impak	73
4.3.1 Data Hasil Pengujian Impak	73
4.3.2 Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Impak.....	74
4.4 Pengolahan Data Pengamatan Struktur Mikro	75
4.4.1 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	75
4.4.2 Analisa Dan Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro	78
4.5 Hasil Foto Makro SS 201	79
4.6 Foto Hasil Makro Baja SPHC	80
BAB V.....	81
PENUTUP.....	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran.....	81
Daftar Pustaka.....	82
Lampiran	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pencairan Elektroda	9
Gambar 2.2 Siklus Termal Dalam Las Busur Tangan	10
Gambar 2.3 Siklus Thermal Las Pada Beberapa Jarak Dari Batas Las	10
Gambar 2.4 Arah Pembekuan Dari Logam Las	12
<i>Gambar 2.5 Diagram CCT Pada Pengelasan Baja Kekuatan BJ55.</i>	13
Gambar 2.6 Diagram CCT Dan Hubungan Antara Waktu Pendingin Dengan Kerasan Dan Struktur	15
Gambar 2.7 Skema Struktur Mikro Daerah HAZ	17
Gambar 2.8 Perubahan Temperatur Transisi Pada Lasan	17
Gambar 2.9 Hubungan Antara Waktu Pendinginan, Struktur Mikro dan Kekuatan Tumbuk pada Daerah HAZ	18
Gambar 2.10 Diagram CCT untuk Baja BJ60 (a) dan BJ80 (b)	19
Gambar 2.11 Pengaruh Masukan Panas Pada Sifat Tumbuk	20
Gambar 2.12 Hubungan Antara Sifat Tumbuk dan Kadar O ₂ Dalam Logam Lasan	23
Gambar 2.13 Retak Dingin	24
Gambar 2.14 Retak Panas	24
Gambar 2.15 Skema Retak Bebas Tegang	25
Gambar 2.16 Kelarutan Hidrogen Dalam Besi Pada Tekanan 1 atm	26
Gambar 2.17 Pengaruh Udara Terhadap Kadar Hidrogen Difusi Dalam Logam Lasan	27
Gambar 2.18 Penyerapan Uap Oleh Elektroda Terbungkus	27
Gambar 2.19 Retak Lamel Yang Dimulai Dari Retak Akar	29
Gambar 2.20 Pengaruh Kadar Belerang Pada Kepakaan Retak Lamel	30
Gambar 2.21 Hubungan Antara Retak Lamel dan Kepekaan P _L	30
Gambar 2.22 Hubungan Antara Kepekaan P _L dan Tegangan Kritik Pada Arah Tebal	31
Gambar 2.23 Skema Dari Retak Lintang	31
Gambar 2.24 Hubungan Antara Retak Bebas Tegang Dan Temperatur Waktu Pemanasan Dengan Pengujian Lengkung U	32

Gambar 2.25 Retak Bebas Tegang Pada Pengujian Celah Y Dari Baja BJ 80 Yang Dibebaskan.....	33
Gambar 2.26 Diagram Schaeffler	34
Gambar 2.27 Macam-macam Bentuk Kapuh Pada Butt Joint	35
Gambar 2.28 Macam-macam Sambungan T (Fillet) joint	36
Gambar 2.29 Sambungan Corner Joint	36
Gambar 2.30 Macam-Macam Sambungan Lap Joint.....	37
Gambar 2.31: Pengaruh jenis elektroda	40
Gambar 2.32 Ukuran Batang Uji Tarik Menurut AWS	45
Gambar 2.33 Kurva Tegang-Regang Teknik	46
Gambar 2.34 Batas Elastik Dan Tegangan Luluh 0,2%.....	46
Gambar 2.35 Alat Uji Impact Charpy	47
Gambar 2.36 Jenis Takik.....	51
Gambar 2. 37 Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	51
Gambar 2. 38 Cara Kerja Mesin Rockwell	52
Gambar 2.39 indentor type <i>Ball</i> dan <i>Diamond</i>	53
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	55
Gambar 3.2 Bentuk Kapuh.....	58
Gambar 3.3 Variasi Elektroda Yang Digunakan.....	58
Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji Tarik	59
Gambar 3.5 Dimensi Spesimen Uji Impak	59
Gambar 3.6 Spesimen Uji Kekerasan	60
Gambar 3.7 Spesimen Uji Mikro	60
Gambar 3.8 Bahan Uji Tarik Tiap Variasi	62
Gambar 3.9 Bahan Untuk Pengamatan Struktur Mikro	62
Gambar 3.10 Bahan Uji Impak Dan Kekerasan.....	63
Gambar 3.11 Rockweel Hardness Tester	64
Gambar 3.12 Charpy Impact Tester	64
Gambar 3.14 Hasil Uji Tarik.....	66
Gambar 3.15 Hasil Uji Impak	67
Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	77
Gambar 4.2 Hasil Foto Makro	80

DATAR TABEL

Tabel.2.1 Komposisi kimia Baja SPHC (JIS) G 3131, Pelat Hitam	7
Tabel 2.2 Komposisi AISI SS 201 dengan % berat setiap unsur	7
Tabel 2.3 Kekuatan Mekanik	8
Tabel 2.4 Perkiraan Waktu Pendinginan Pada Beberapa Cara Las Busur	11
Tabel 2.5 Suhu Transisi Dan Kriteria Patahan	16
Tabel 2.6 Komposisi Kimia Elektroda AWS E 6010	41
Tabel 2.7 Sifat Mekanik	41
Tabel 2.8 Temperatur Pengelasan	41
Tabel 2.9 Komposisi Kimia Elektroda AWS E 6013	42
Tabel 2.10 Sifat Mekanik	42
Tabel 2.11 Temperatur Pengelasan	42
Tabel 2.12 Komposisi Elektroda AWS E 6016	43
Tabel 2.13 Sifat Mekanik	43
Tabel 2.14 Temperatur Pengelasan	43
Tabel 2.15 Energi Pada Setiap Sudut Ayun	49
Tabel 2. 9 Klasifikasi Indentor pada Uji Kekerasan Rockwell	54
Tabel 3.1 Ukuran Spesimen Uji Tarik	59
Tabel 3.2 Ukuran Spesimen Uji Impak	60
Tabel 3.3 Ukuran Spesimen Uji Kekerasan	60
Tabel 3.4 Ukuran Spesimen Uji Mikro	61
Tabel 4 . 1 Hasil Uji Tarik	68
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan	71
Tabel 4.3 Rata-rata Hasil Pengujian Kekerasan (HRC)	71
Tabel 4.4 Hasil Pengujian dampak	73
Tabel 4.5 rata-rata hasil pengamatan struktur mikro	77

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hubungan Variasi Elektroda Terhadap Nilai T.S (Tensile Strength)...	69
Grafik 4.2 Hubungan Variasi Elektroda Dengan Nilai Kekerasan (HRC)	71
Grafik 4.3 Hubungan Variasi Elektroda Dengan Energi(Joule)	74
Grafik 4.4 Hubungan Variasi Elektroda Dengan HI.....	74
Grafik 4.5 Hubungan Variasi Elektroda Dengan Perlite dan Ferit	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang konstruksi, pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan industri, karena mempunyai peranan yang sangat penting dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir pada setiap pembangunan suatu konstruksi dengan logam melibatkan unsur pengelasan.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap penyambungan logam berbeda jenis yang semakin banyak dan disesuaikan dengan kebutuhan untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Industri pembuatan pesawat terbang, perkapalan, mobil dan industri pengangkutan merupakan contoh industri yang sekarang mengaplikasikan bahan-bahan berbeda jenis dan tipe dalam proses penyambungan pengelasan yang memiliki sifat tahan karat, kuat, tahan terhadap keausan dan fatigue serta ekonomis sebagai bahan baku industrinya. Hal ini mendorong pengembangan teknologi proses pengelasan dengan penyambungan berbeda jenis logam.

Dewasa ini kita telah mengetahui bahwa dalam industri perkapalan salah satu problem yang dihadapi adalah korosi. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan pemasangan anode korban, akan tetapi anode korban biasanya dipasangkan pada bagian kapal yang relatif besar seperti lambung kapal dan sirip kemudi. Akan tetapi bagian-bagian kecil sering diabaikan sehingga menimbulkan korosi dan kerusakan pada bagian tersebut seperti pada penahan sirip kemudi kapal. Hal ini tentu menjadi suatu problem yang sangat serius pada industri perkapalan, karena jika penahan sirip kemudi ini terkorosi maka dapat menimbulkan keretakan dan juga terjadi putusnya penahan sirip tersebut.

Pengembangan teknologi proses pengelasan dengan penyambungan berbeda jenis logam ini dapat diaplikasikan pada industri perkapalan. Untuk bahan pembuatan penahan sirip kemudi kapal biasanya menggunakan bahan yang sama untuk pembuatan lambung kapal yaitu baja JIS G 3131 SPHC.

Sifat baja sendiri mudah terkorosi jika berinteraksi dengan air laut, maka diperlukan bahan lain yang memiliki sifat tahan karat yang bagus seperti stainless steel. Stainless steel yang biasanya digunakan adalah baja AISI SS 201 karena memiliki sifat ketahanan terhadap korosi intergranular mengikuti pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas, maka perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap kekuatan tarik ?
2. Bagaimana pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap uji impact ?
3. Bagaimana pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap kekerasan ?
4. Bagaimana pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap mikro?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini sistematis maka ruang lingkup permasalahan perlu dibatasi guna menghindari penambahan masalah yang melebar dan tidak terarah pada permasalahan utama maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut:

1. Bahan Logam yang dipakai adalah baja paduan jenis Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201.
2. Dengan menggunakan Elektroda baja AWS A5.1 E 6010, AWS E 6013, AWS E 6016 diameter elektroda \varnothing 2.6 mm.
3. Proses pengelasan menggunakan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan arus 90 amp.

4. Proses penyambungan logam menggunakan tipe But Joint.
5. Pengujian yang diberikan Uji Tarik, Uji Impact, Uji Kekerasan dan Pengamatan Mikro.
6. Proses pendinginan cepat diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda yang digunakan terhadap hasil sambungan daerah pengelasan dengan logam berbeda antara Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap kekuatan Tarik.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap uji impact.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap kekerasan.
4. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja JIS G 3131 SPHC dengan Baja AISI SS 201 terhadap mikro.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi pengguna, penelitian ini di harapkan dapat memberikan informasi dan pengetahuan tentang pengaruh arus pada proses pengelasan dengan beda jenis logam.
2. Bagi bidang keilmuan, penelitian ini di harapkan dapat memberikan pengetahuan yang baru tentang sifat mekanik hasil proses las dengan beda jenis logam.
3. Diharapkan dapat dijadikan acuan bagi penelitian selanjutnya, khususnya proses perngelasannya dengan menggunakan material lainnya dengan perbedaan spesifikasi material.

1.6 Metodologi Penelitian

- a. Metode Literature
Melakukan studi literatur terkait jurnal-jurnal penelitian pengelasan serta bahan material Baja JIS G 3131 SPHC dan Baja AISI SS 201.
- b. Metode Eksperimental

Metode ini yaitu melakukan proses penelitian dan pengambilan data langsung dilapangan untuk dijadikan data yang akan diolah lebih lanjut.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Menejelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan yang diberikan dari hasil penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Memberikan penjelasan tentang material logam baja JIS G 3131 SPHC dan baja AISI SS 201, serta memberikan penjelasan mengenai pengelasan beda logam. Dari dasar teori diharapkan dapat menunjang penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Menerangkan rancangan penelitian yang akan dilakukan untuk memperoleh data.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Merupakan rangkaian dari data yang berkaitan dengan hasil penelitian yang di laksanakan dan dibahas berdasarkan fakta dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN

Merupakan hasil ringkasan dari proses penelitian yang dilakukan, kesimpulan mecakup hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Baja

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).
2. Baja karbon menengah Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (medium carbon steel) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).
3. Baja karbon tinggi Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

2.1.1 Baja JIS 3131 SPHC

Baja JIS 3131 SPHC adalah singkatan dari Steel Plate Hot Rolled Coiled adalah pelat baja yang dihasilkan lewat proses canai panas dengan kualitas komersial. Plat SPHC sering disebut plat hitam karena pelat ini berwarna kehitam – hitaman.

SPHC baja adalah baja berkualitas komersial canai panas. SPHC adalah kelas bahan dan penunjukan didefinisikan dalam JIS G 3131 standar. JIS G 3131 adalah standar bahan Jepang untuk baja canai panas. Kualitas komersial baja canai panas adalah jenis baja yang dapat digunakan secara komersial untuk membentuk tujuan yang juga dapat mencakup geser dari lembaran logam.

1. Karakteristik dimensi SPHC Baja

Ketebalan berlaku untuk bahan SPHC ini sebagaimana didefinisikan dalam JIS 3131 dimulai dari 1,2 mm sampai 14 mm. Namun lebar bahan SPHC berkisar sampai 2000 mm.

2. Komposisi Kimia SPHC Baja

JIS G 3131 mendefinisikan komposisi kimia baja SPHC seperti di bawah:

Persentase maksimum **Carbon** (C) adalah **0.15** persen.

Persentase maksimum **Mangan** (Mn) adalah **0,60** persen.

Persentase maksimum **Fosfor** (P) adalah **0.050** persen.

Persentase maksimum **Sulphur** (S) adalah **0.050** persen.

Sisa adalah **besi** (Fe) dan persentase dengan beberapa kotoran diabaikan.

3. Sifat mekanis dari SPHC Baja

Kekuatan tarik dari SPHC Baja dinyatakan dalam Newton per milimeter dan itu harus di-sedikitnya 270 N / mm² (MPa). Properti pemanjangan SPHC baja bervariasi dengan rentang ketebalan. Rentang persentase minimum untuk perpanjangan adalah 27-31 persen mulai dari 1,2 mm sampai 4 mm dan lebih.

Tabel.2.1 Komposisi kimia Baja SPHC (JIS) G 3131, Pelat Hitam

CHEMICAL COMPOSITION x 100 %						Ceq	TENSILE TEST		
C	Si	Mn	P	S	Al		YS N/mm ²	TS N/mm ²	EL %
7.2	1.1	29.4	0.9	0.2	3.0	0.12	291	381	48

Sumber : Katalog PT Krakatau Steel

2.1.2 Baja AISI SS 201

Baja tahan karat adalah paduan berbasis besi. Dari berbagai jenis baja tahan karat, baja tahan karat jenis austenitik merupakan jenis baja tahan karat yang paling umum digunakan dalam industri[1]. Secara umum austenitik mempunyai komposisi kimia paling sedikit 16 % Chromium dan 6 % Nikel. Austenitik terdiri dari dua tipe yaitu tipe 200 dan tipe 300. Baja tahan karat austenitik seri SS 304 memiliki komposisi Cr dan Ni lebih tinggi dibandingkan dengan SS 201, dimana pada SS 201 komposisi Ni dikompensasi dengan unsur Mn dan tambahan nitrogen [2,3]. SS 201 bersifat non magnetik pada kondisi anneal dan menjadi magnetik pada pengerjaan dingin (cold worked). Tipe seri SS yang masuk dalam kategori austenitic, yaitu seri SS 300 dan seri SS 200. Perbedaan seri ini dipengaruhi oleh perbedaan komposisi metalurginya, yang akhirnya karakteristiknya pun ikut berbeda pula. Seri SS 300 lebih tahan karat jika dibandingkan seri SS 200. Namun, seri SS 200 memiliki harga yang lebih murah saat dibandingkan dengan tipe SS 300. Berikut adalah komposisi dan kekuatan mekanik pada Baja AISI SS 201 :

Tabel 2.2 Komposisi AISI SS 201 dengan % berat setiap unsur.

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	N
≤ 0,15	16 - 18	3,5 – 5,5	≤ 0,75	5,5 – 7,5	≤ 0,06	≤ 0,03	≤ 0,25

Sumber : Jurnal Sains Materi Indonesia Vol.19, No.3, April2018, hal.120-124

Tabel 2.3 Kekuatan Mekanik

T.S (MPa)	Y.S (MPa)	Elongation (%)	Hardness Brinel
min	min	min	(HB) min
655	292	40	194

Sumber : <http://beyond-steel.blogspot.com/2016/04/perbedaan-304-vs-316-mana-pilihan-terbaik.html>

2.2 Pengelasan (Welding)

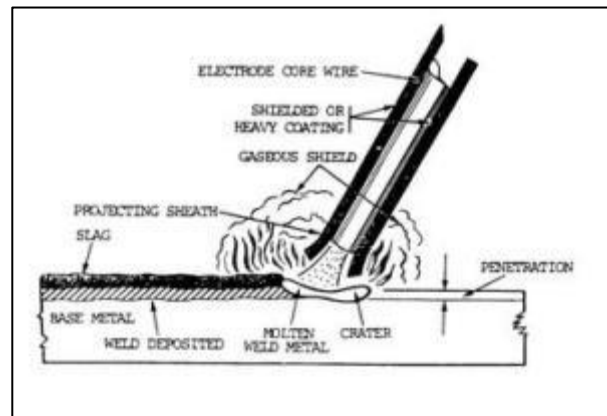
Pengelasan (Welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau Welding didefinisikan oleh DIN (Deutsche Industrie Normen) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antar logam. Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (Filler Metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. Kebutuhan las yang semakin berkembang berbanding lurus dengan perkembangan pada pengelasan, misalnya pada metode pengelasan. Metode pengelasan yang ada sekarang ini sudah mengalami perkembangan. Dijabarkan tentang berbagai macam las dan tahun penemuannya menurut (Alip, 1989).

2.3. SMAW (Las Shielded Metal Arc Welding)

Proses pengelasan (welding) merupakan salah satu proses penyambungan material (material joining). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (American Welding Society), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode

proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda).



Gambar 2.1 Proses Pencairan Elektroda

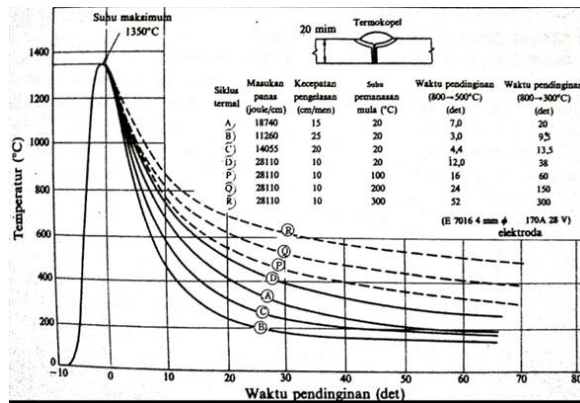
Sumber : <https://eduengineering.wordpress.com/2015/01/10/proses-welding-smaw-shielded-metal-arc-welding/>

2.4 Siklus Termal Daerah Las

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa inggrisnya adalah “Heat Affected Zone” dan disingkat menjadi daerah HAZ, dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih terdapat satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi

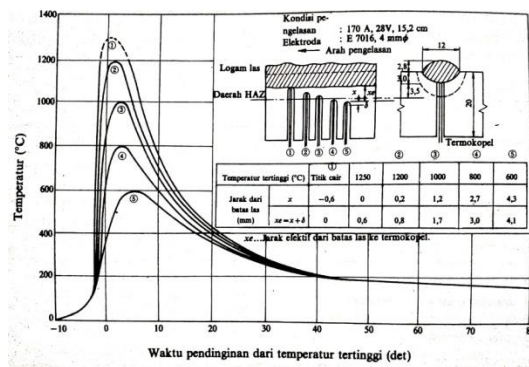
proses pembekuan, reaksi yang terjadi dan struktur mikro yang terbentuk yang masing-masing yang dibahas tersendiri.

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin, di mana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C.



Gambar 2.2 Siklus Termal Dalam Las Busur Tangan

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



Gambar 2.3 Siklus Thermal Las Pada Beberapa Jarak Dari Batas Las

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Tabel 2.4 Perkiraan Waktu Pendinginan Pada Beberapa Cara Las Busur

$$S = \frac{K \cdot J^n}{(\bar{T} - T_0)^2 \left\{ 1 + \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{t - t_0}{\alpha} \right) \right\}}$$

Cara pengelasan	Indeks masukan panas n	Konstanta							
		Waktu pendinginan dari 800°C ke 500°C				Waktu pendinginan dari 800°C ke 300°C			
		K	t_0	α	T	K	t_0	α	T
Las busur terbungkus	1,5	1,35	14,6	6	600	2	14,6	4,5	400
Las busur gas CO ₂	1,7	1/2,9	13	3,5	600	1/2,5	14	5	400
Las busur dengan kawat berisi fluks.	1,35	—	—	—	600	11	14	5	400
Las busur rendam	$\begin{cases} (t < 32) 2,5 - 0,05t \\ (t \geq 32) 0,95 \end{cases}$	$\begin{cases} 9,5/10^5 - 0,22t \\ 950 \end{cases}$	—	—	600	$\begin{cases} 7,3/10^5 - 0,22t \\ 730 \end{cases}$	14	5	400
		950	12	3	600	730	20	7	400

J : Masukan panas = $\frac{60EI}{V}$ (Joule/cm)

E : Tegangan busur (Volt)

I : Arus Las (Amper)

V : Laju las (cm/men)

T : Suhu daerah HAZ (°C)

T_0 : Suhu mula pelat (°C)

t : Tebal pelat (mm)

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

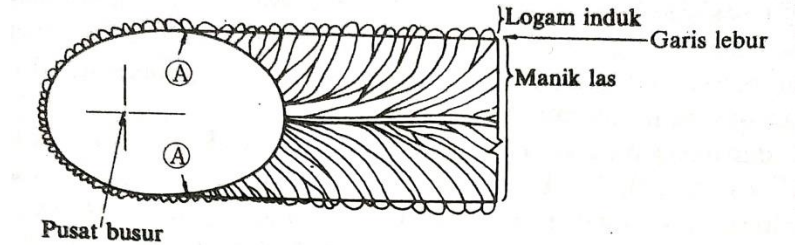
2.4.1 Pembekuan Dan Struktur Logam Las

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macam cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah :

1. Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
2. Sumber panas dalam las bergerak terus.
3. Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.
4. Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam Gambar 2.3 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dala logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber

panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



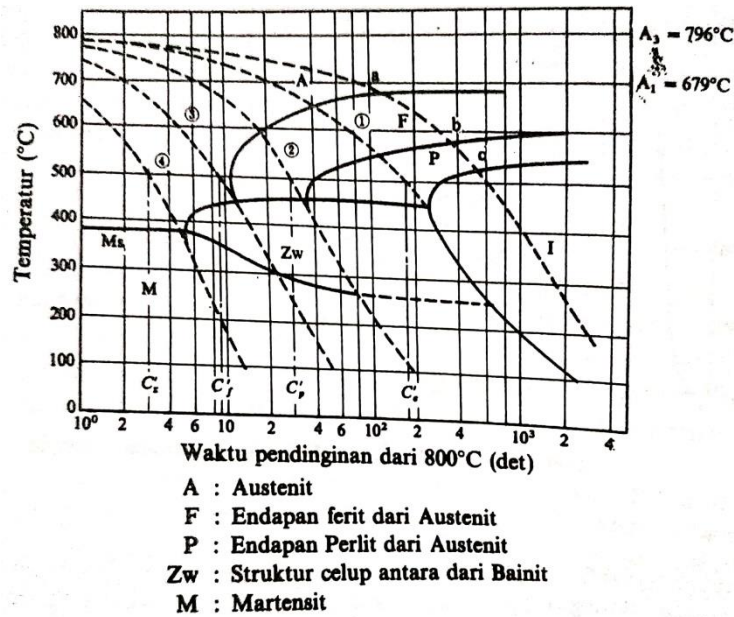
Gambar 2.4 Arah Pembekuan Dari Logam Las

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2.4.2 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Suatu contoh dari diagram CCT ditunjukkan dalam gambar 2.4 . Disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal), untuk baja kuat 55 kg/mm² yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabungkan dengan garis tebal dari diagram CCT dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk.



Gambar 2.5 Diagram CCT Pada Pengelasan Baja Kekuatan BJ55.

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Sebagai contoh misalnya dalam hal siklus termal las 1, bila baja telah mendingin sampai titik “a” ($\pm 680^{\circ}\text{C}$), maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” ($\pm 590^{\circ}\text{C}$) dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik “c” ($\pm 520^{\circ}\text{C}$). Dari pembahasan di atas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

Dengan analisa yang sama, dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur seperti berikut :

- 1) Dengan siklus termal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit, struktur antara dan martensit.
- 2) Dengan siklus termal las antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.
- 3) Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.
- 4) Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

Karakteristik dari siklus termal las (1), (2), (3) dan (4) ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperatur 800°C ke 500°C masing-masing

adalah 200 detik (ditunjukkan oleh $C'e$ dalam diagram), 32 detik (C'_p), 9,6 detik (C'_f) dan 3 detik (C'_g).

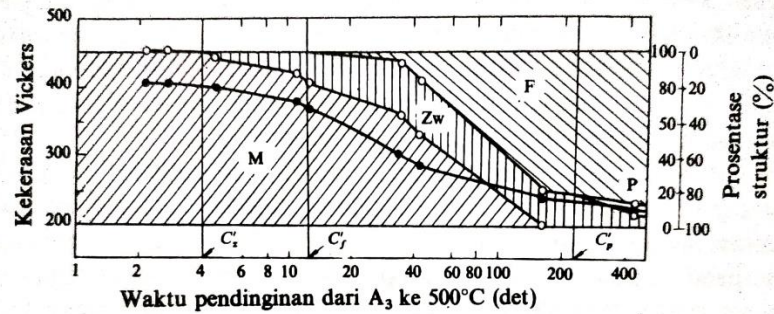
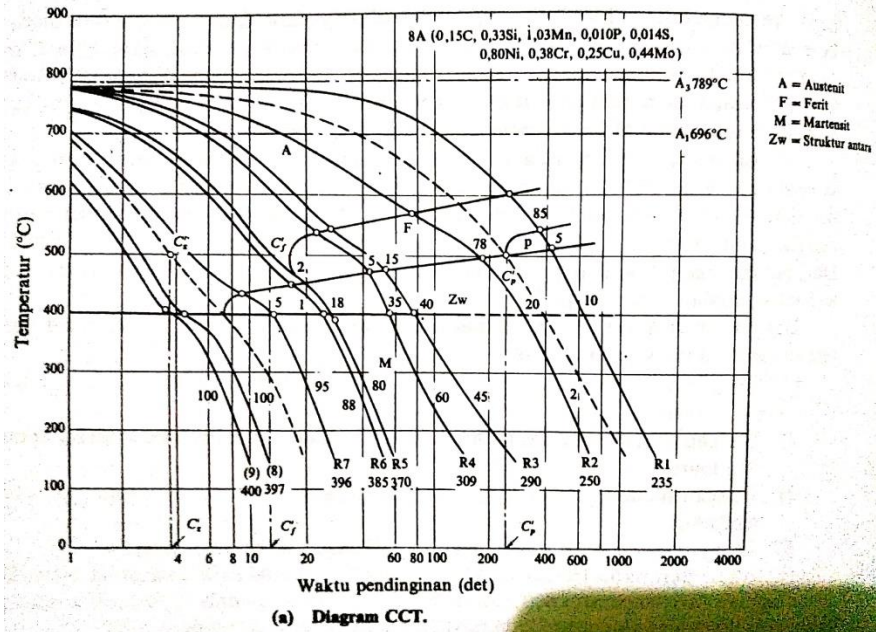
Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti suatu siklus termal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendingin dari 800°C sampai 500°C dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ sudah dapat ditentukan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut untuk baja kekuatan 80 kg/mm² ditunjukkan pada gambar 2.5 di dalam gambar (b) ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang dapat dengan melalui beberapa macam waktu pendinginan (dari 787°C sampai 500°C) seperti yang terlihat pada gambar (a). Diagram semacam ini memungkinkan untuk mengetahui kecepatan terbentuknya struktur, kekerasan dan lain sebagainya, yang terjadi karena pengelasan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut dapat berubah karena dapat berubah karena berubahnya temperatur maksimum yang terjadi. pada umumnya bila temperatur maksimum naik, kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur-struktur tertentu di dalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada pemantapan pembentukan martensit. bila ini terjadi jelas bahwa hasil pengelasan menjadi lebih keras.

2.4.3 Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat sekali. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi lebih penting lagi karena adanya faktor-faktor yang membantu seperti : konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan. berhubung dengan hal ini maka dalam usaha mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah las terhadap patah getas.



Gambar 2.6 Diagram CCT Dan Hubungan Antara Waktu Pendingin Dengan Kerasan Dan Struktur

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

1. Pengujian Ketangguhan Dari Daerah Las

Untuk menilai ketahanan daerah las terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, seperti kecepatan regang, takik, tebal plat, tegangan sisa, konsentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya. Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dengan skala besar, baik dalam jumlah maupun dalam dimensi. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan, karena itu dibuat pengujian skala kecil yang distandarkan yang disebut

pengujian takik. Temperatur transisi dan kriteria pengujian takik ditunjukkan dalam Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Suhu Transisi Dan Kriteria Patahan

Perkiraan suhu transisi patahan getas	Berdasarkan energi yang diserap	<ol style="list-style-type: none"> 1) Suhu di mana energi yang diserap sampai patah atau energi yang diserap setelah beban maksimum terlampaui mencapai $\frac{1}{2}$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan minimum. 2) Suhu di mana terjadi gradien energi yang tertinggi.
	Berdasarkan penampakan patahan	<ol style="list-style-type: none"> 1) Suhu di mana luas patahan butir atau patahan getas mencapai $\frac{1}{2}$ dari luas penampang semula. 2) Suhu di mana ujung patahan serat atau patahan ulet mencapai $\frac{1}{2}$ dari seluruh permukaan patah.
Perkiraan suhu transisi patahan ulet	Berdasarkan energi yang diserap	<ol style="list-style-type: none"> 1) Suhu di mana energi yang diserap sebelum beban maksimum terlampaui mencapai $\frac{1}{2}$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan yang minimum. 2) Suhu di mana terjadi gradien energi yang tertinggi 3) Suhu di mana energi yang terserap mencapai harga tertentu, misalnya dalam uji Charpy 10 ft-lb (T_{10}) atau 15 ft-lb (T_{15}).
	Berdasarkan ketangguhan	<ol style="list-style-type: none"> 1) Suhu di mana sudut tekuk pada beban maksimum turun dengan mendadak. 2) Suhu di mana laju kontraksi patahan pada dasar takik menurun atau mencapai harga prosentase tertentu, misalnya 2%.
	Berdasarkan kekuatan	Suhu di mana kekuatan luluh sama dengan kekuatan tertinggi
	Berdasarkan penampakan patahan	Suhu di mana patahan serat atau patahan ulet mulai terjadi atau mencapai suatu prosentase tertentu (rendah) terhadap seluruh luas permukaan patahan.

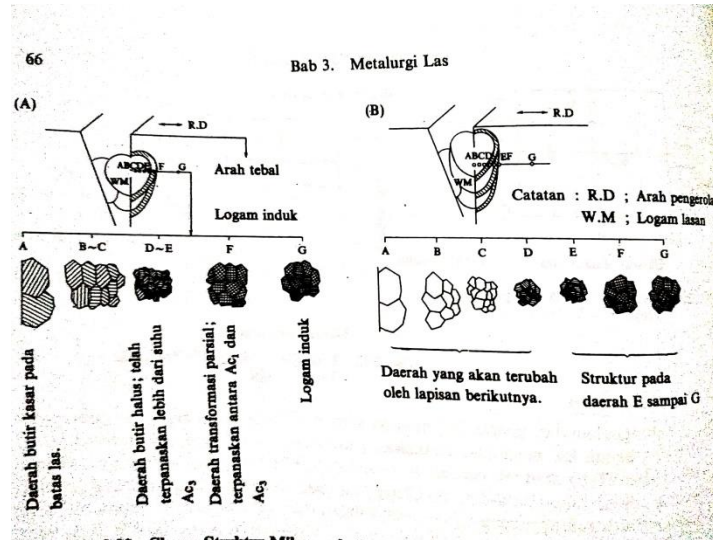
Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2. Ketangguhan Dan Penggetasan Batas Las

Struktur logam pada daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti yang terlihat dalam Gambar 2.6. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan batas las.

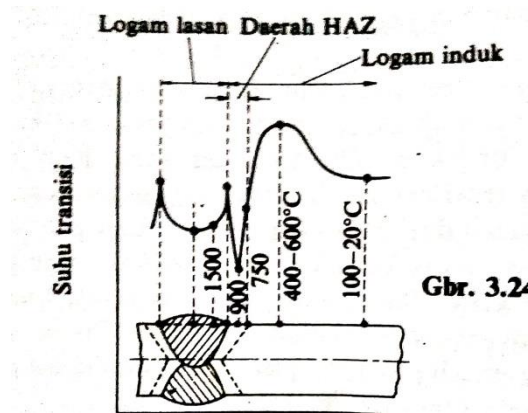
Di dalam daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Karena siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya juga sangat rumit. Pada daerah batas las dimana buti-butir nya sangat kasar logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las dan lain sebagainya. Kegetasan dari batas las ini, disamping

disebabkan oleh butir-butir yang kasar, mungkin juga karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting dalam menjamin ketangguhan sambungan las.



Gambar 2.7 Skema Struktur Mikro Daerah HAZ

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



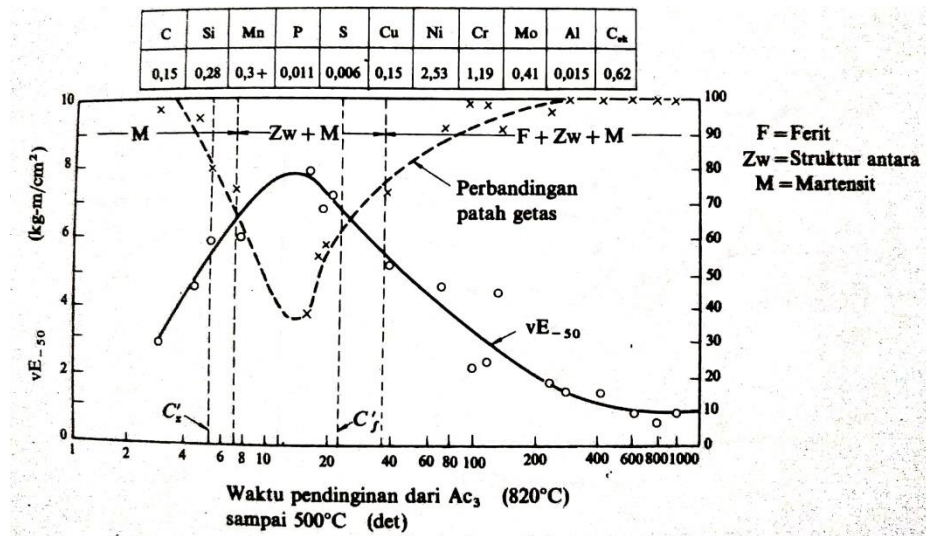
Gambar 2.8 Perubahan Temperatur Transisi Pada Lasan

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Ketangguhan yang terjadi tergantung pada suhu pemanasan maksimum dan kecepatan pendinginan dari 800°C sampai 500°C. Berdasarkan pada kecepatan pendinginan, perubahan struktur yang terjadi sebagai berikut :

Martensit → bainit bawaan → bainit atas → ferit + perlit

Bila didingin-cepatkan atau dilup bainit bawah dan bainit atas akan membentuk struktur antara (Z_w).



Gambar 2.9 Hubungan Antara Waktu Pendinginan, Struktur Mikro dan Kekuatan Tumbuk pada Daerah HAZ

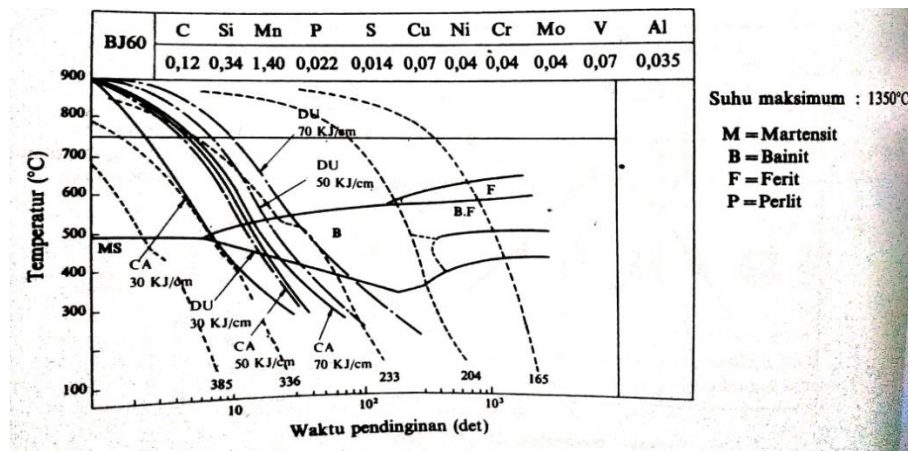
Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Ketangguhan yang paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari martensit dan bainit bawah. Sedangkan bila terjadi bainit atas dan ferit kasar ketangguhan baja menjadi sangat rendah. Perubahan struktur diatas disebabkan oleh perbedaan sifat mampu keras baja yang disebabkan karena adanya perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut merubah besarnya penggetasan batas las secara rumit sekali. Untuk menjelaskan terjadinya perubahan struktur ini biasanya digunakan diagram CCT. Disamping hal di atas juga dikembangkan usaha pembuatan pelat baja yang mempunyai penggetasan batas las sekecil-kecilnya dengan mengatur komposisi kimia.

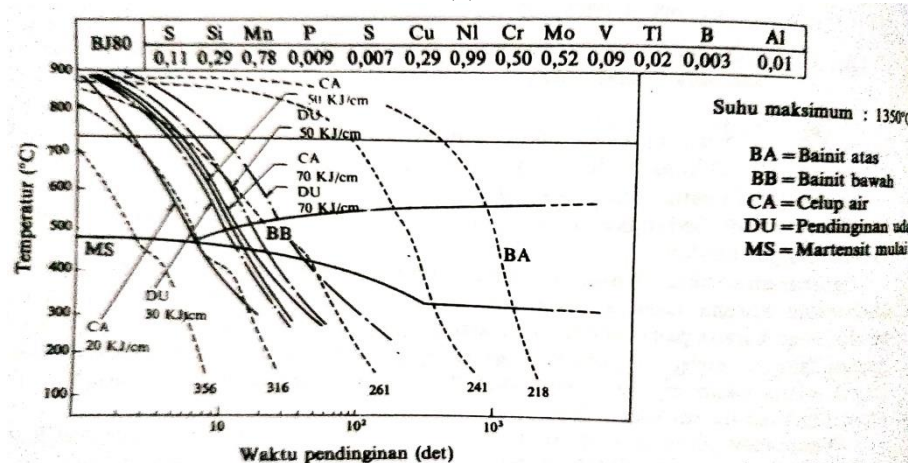
3. Pengaruh Komposisi Kimia Dan Masukan Panas Las Terhadap Penggetasan Batas Las.

Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butir-butir kasar atau karena terbentuknya struktur bainit atas. Karena itu dalam hal ini sangat penting untuk menjalankan hubungan antara

ketangguhan batas las, komposisi kimia logam induk dan kecepatan pendinginan.



(a)



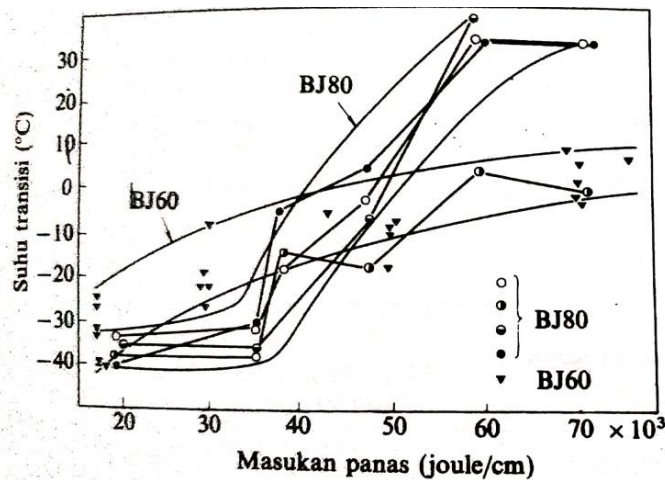
(b)

Gambar 2.10 Diagram CCT untuk Baja BJ60 (a) dan BJ80 (b)

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Pada baja kekuatan 80 kg/mm², tingkat kegetasan yang terjadi karena perubahan masukan panas lebih besar bila dibandingkan dengan baja kekuatan 60 kg/mm². Dalam hal baja kekuatan 80 kg/mm², karena banyaknya macam dan tingginya kadar unsur paduan, maka pada pendinginan cepat, baja akan menjadi keras tetapi tangguh karena terbentuknya struktur martensit dan bainit bawah pada batas las. Sebaliknya pada kecepatan pendinginan rendah akan terbentuk struktur bainit atas yang akan mengurangi ketangguhan dari batas las.

Bila terbentuk struktur bainit atas, maka akan terbentuk butir-butir martensit karbon tinggi yang sangat getas di antara bainit atas. Kalau hal ini terjadi ketangguhan batas las akan lebih rendah lagi bila dibandingkan terbentuknya struktur ferit-perlit. Dalam hal baja kekuatan 80 kg/mm², karena mengandung banyak unsur paduan dengan kadar yang tinggi, maka kemungkinan terbentuknya bainit atas sangat besar, sehingga dengan kecepatan pendinginan yang rendah tingkat kegetasannya lebih tinggi dari pada baja dengan kadar unsur paduan yang rendah



Gambar 2.11 Pengaruh Masukan Panas Pada Sifat Tumbuk

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Dari uraian ini, jelas bahwa pengaruh komposisi kimia logam induk terhadap ketangguhan bata las dapat berubah secara rumit sekali, tidak hanya karena banyaknya macam dan besarnya kadar tiap-tiap unsur, tetapi juga karena kecepatan pendinginan yang terjadi selama pengelasan. Sehingga jelas lah bahwa penggetasan batas las sebagian besar tergantung pada komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las serta masukan panas. Karenaitu diperlukan pengawasan yang ketat terhadap syarat-syarat pengelasan, sehingga untuk pengawasan ini diperlukan diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT dan nomografi dari bermacam-macam pelat baja.

1) Cara Untuk Menurunkan Penggetasan Batas Las

- a) Penggunaan baja yang kurang peka terhadap penggetasan batas las.

Cara yang banyak digunakan adalah mengurangi kadar paduan dan karbon dalam baja dan mempertinggi kadar nikel. Penurunan kadar unsur paduan dan karbon tidak hanya efektif untuk mengurangi penggetasan batas las tetapi juga sangat baik untuk menghindari terjadinya retak las. Cara ini banyak sekali digunakan untuk memproduksi baja kekuatan 60 kg/mm² atau yang lebih kuat.

- b) Pembatasan masukan panas.

Pembatasan masukan panas digunakan juga sebagai suatu cara untuk mengurangi penggetasan batas las misalnya dalam pengelasan baja kekuatan 70 kg/mm² dan 80 kg/mm², biasanya diusahakan agar masukan panas yang kurang dari 50 atau 40 KJ/Cm. dengan masukan panas yang rendah ini dapat dicapai temperatur transisi uji takik Charpy dari batas las, dibawah 0°C. Dalam hal ini jelas bahwa pemanasan mula yang berlebihan, dengan tujuan untuk memperlambat pendinginan, tidak dikehedaki karena ini akan menambah besarnya masukan panas. karena itu pemanasan mula harus diusahakan serendah mungkin asal cukup untuk menghidari terjadinya retak las.

- c) Penurunan Penggetasan Melalui Cara Pengelasan

Cara lain untuk untuk menurunkan penggetasan batas las adalah memperbaiki struktur mikro yang terjadi dengan cara pemansan kembali melalui panas las. Jadi di dalam pengelasan lapis banyak sebenarnya secara tidak langsung telah dilakukan usaha penurunan penggetasan. Dalam hal ini lapisan las yang ada di bawah dipanaskan oleh lapisan di atasnya sehingga dicapai temperatur di atas titik transformasi Ac₃ yang menyebabkan terbentuknya butir-butir kristal yang halus.

2.4.4 Ketangguhan Logam Las

Tidak perlu dijelaskan lagi bahwa ketangguhan logam las juga tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam ynag dalam proses pengelasan mencair dan

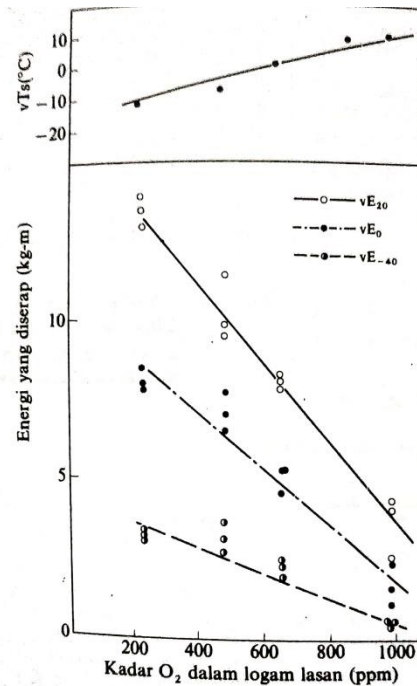
kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain.

Komposisi logam las sudah barang tentu tergantung dari proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari strukturnya sendiri.

1. Pengaruh Oksigen

Pada waktu logam las masih cair, oksigen dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam las cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las mengandung lebih banyak oksigen bila dibanding dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya. Pada umumnya oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan menurunkan kekuatan tumbuk charpy. Sama halnya seperti oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap ke dalam logam las dan ini pun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

Pada umumnya, dalam las busur gas, banyaknya oksigen yang diserap tergantung dari macam gas pelindungnya. Dalam las dengan pelindung gas argon, kadar oksigen yang terserap sangat rendah, sedangkan dalam pelindung CO₂, oksigen yang terserap lebih tinggi. Dalam pengelasan manual dan pengelasan busur rendam, kandungan oksigen dalam logam las sangat tergantung dari bahan selubung dan kebiasaan dari fluks.



Gambar 2.12 Hubungan Antara Sifat Tumbuk dan Kadar O₂ Dalam Logam Lasan

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2. Pengaruh Struktur

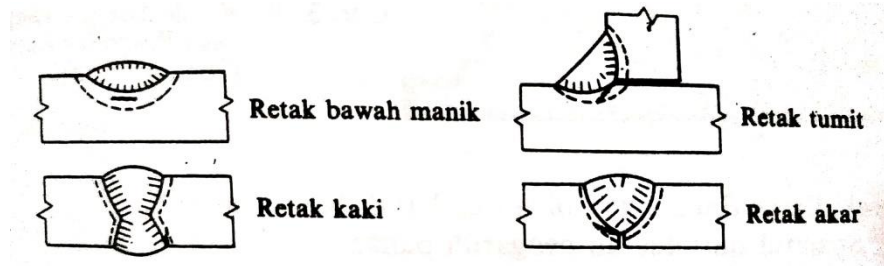
Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama saja seperti pada batas las. Tetapi karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen. Jadi jelas bahwa kecuali terjadinya pemisahan, pengaruh struktur terhadap batas las yaitu struktur bainit atas dan ferit kasar menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah dan martensit mempertinggi ketangguhan.

2.5 Retak Pada Daerah Las

2.5.1 Jenis Retak Las

Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan kelompok retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu di bawah suhu transformasi martensit (M_s) yang tingginya kira-kira 300°C, sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu di atas 550°C.

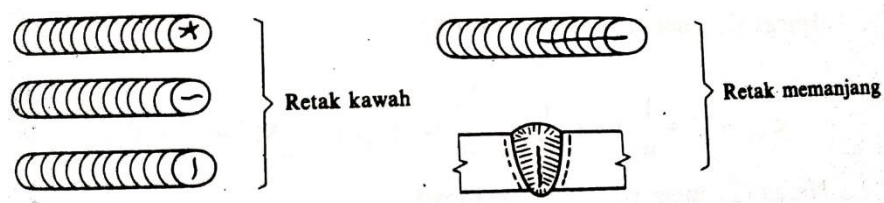
Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin daerah pengaruh panas yang sering terjadi dapat dilihat dalam gambar 2.12. Retak dingin utama pada daerah ini adalah retak bawah manik las, retak akar dan retak kaki. Sedangkan retak dingin pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan retak melintang.



Gambar 2.13 Retak Dingin

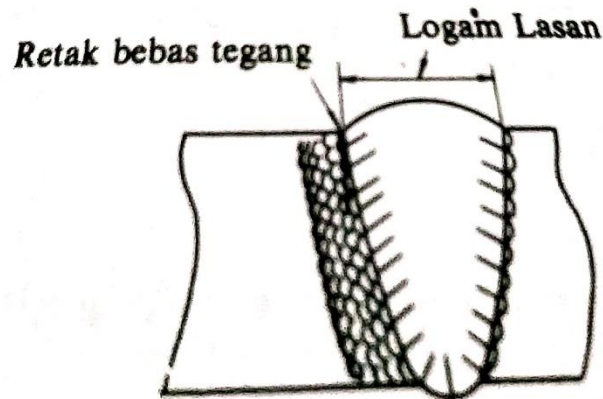
Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Retak panas dibagi menjadi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebanan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada suhu antara 550°C - 700°C dan retak yang terjadi pada suhu di atas 900°C yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah, dan retak memanjang. Pada pengelasan baja tahan karat austenit, biasanya terjadi retak panas di daerah HAZ dan logam las. Retak panas karena pembebasan tegangan pada umumnya terjadi pada daerah kaki di dalam daerah pengaruh panas.



Gambar 2.14 Retak Panas

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



Gambar 2.15 Skema Retak Bebas Tegang

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2.5.2 Penyebab Retak Las Dan Cara Menanggulangi

1. Retak dingin di daerah pengaruh panas (HAZ)

Retak dingin di daerah pengaruh panas atau HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan. Karena itu retak ini disebut juga retak lambat. Retak dingin disebabkan oleh 3 hal berikut :

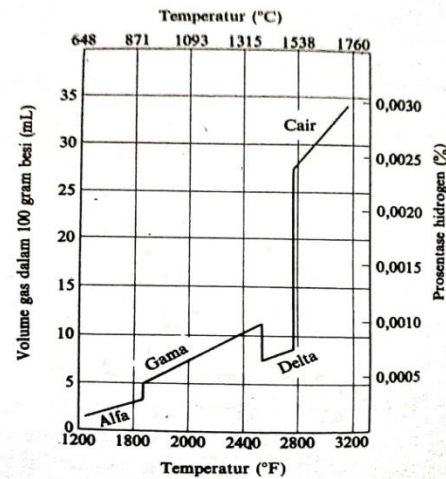
a) Struktur daerah pengaruh panas (HAZ).

Struktur dari daerah pengaruh panas ditentukan oleh komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las. Retak dingin di daerah HAZ dalam pengelasan baja biasanya terjadi pada daerah martensit. Pengaruh dari unsur paduan terhadap kepekaan retak dingin dari daerah HAZ biasanya dapat dilihat dari harga ekuivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung (C_{ek}) dan harga parameter retak (P_{CM}). Dalam hal ini jika nilai dari C_{ek} dan P_{CM} turun, maka kepekaan terhadap retak dingin dari daerah pengaruh panas juga turun. Kekuatan baja yang turun karena turunnya C_{ek} dan P_{CM} dapat diperbaiki dengan mengatur jenis dan banyaknya unsur yang dicampurkan pada waktu pembuatan baja. Selain itu dapat juga diperbaiki dengan memilih kondisi pengerolan, misal dilakukan pada suhu rendah atau memilih dan mengatur proses perlakuan panas yang digunakan.

b) Hidrogen difusi dalam daerah las.

Retak las juga dipengaruhi oleh adanya difusi hidrogen dari logam las ke dalam daerah pengaruh panas. Pada waktu logam las mencair,

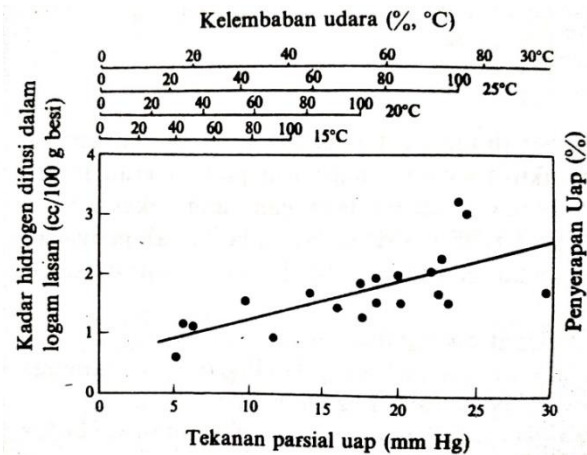
logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan terjadinya retak di daerah pengaruh panas.



Gambar 2.16 Kelarutan Hidrogen Dalam Besi Pada Tekanan 1 atm

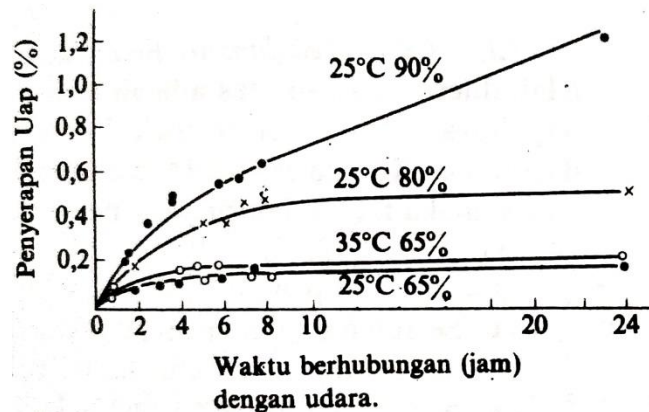
Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Sumber dari hidrogen yang diserap adalah air dan zat organik yang terkandung di dalam fluks atau kelmebaban udara atmosfer. Di samping itu minyak, zat organik dan air yang melekat pada rongga-rongga dan permukaan pelat atau kawat las juga merupakan sumber hidrogen. Hubungan antara tekanan parsial uap air dalam atmosfer dan hidrogen difusi dalam logam las serta hubungan antara lamanya elektroda di atmosfer dan kadar uap dalam fluks ditunjukkan pada gambar 2.15 dan 2.16. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bila elektroda terlalu lama diletakkan di luar, fluksnya akan mengisap uap air dan akibatnya logam yang dilas dengan elektroda ini kepekaannya terhadap retak las akan naik.



Gambar 2.17 Pengaruh Udara Terhadap Kadar Hidrogen Difusi Dalam Logam Lasan

Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



Gambar 2.18 Penyerapan Uap Oleh Elektroda Terbungkus

Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Usaha untuk menghindari retak las dapat dilakukan dengan menghilangkan sumber hidrogen dan melepaskan hidrogen yang telah diserap. Untuk hal ini dilakukan penurunan kecepatan pendinginan dengan memberikan pemanasan mula pada temperatur antara 50 sampai 200°C atau memberikan pemanasan kemudian pada temperatur antara 200°C sampai 300°C.

Dalam usaha mengurangi hidrogen difusi ini dapat juga digunakan fluks yang mengandung banyak karbonat. Dengan fluks ini akan dihasilkan gas karbon dioksida yang dapat menurunkan tekanan parsial

hidrogen di dalam busur listrik yang dengan sendirinya akan mengurangi hidrogen difusi.

c) Tegangan.

Tegangan yang dapat mempengaruhi terjadinya retak las adalah tegangan sisa dan tegangan termal. Tegangan sisa banyak sekali tergantung pada rancangan las, proses pengelasan yang digunakan dan pengawasannya. Kenaikan dari tebal plat akan mempertinggi besarnya tegangan sisa dan akan menyebabkan terjadinya retak las. Untuk menghindari retak las dalam las sudut pada pengelasan baja dengan kepekaan retak las yang tinggi dapat digunakan elektroda terbungkus yang mempunyai logam las dengan kekuatan rendah dan keuletan tinggi.

d) Cara menghindari retak las.

Sebab utama dari terjadinya retak las seperti telah diterangkan diatas adalah terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ. Terjadinya hidrogen difusi pada logam las dan besarnya tegangan yang bekerja pada daerah las. Karena itu dalam menghindari terjadinya retak las pada daerah pengaruh panas, maka faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya hal-hal di atas harus diusahakan serendah-rendahnya. Usaha penanggulangan retak las dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sejauh mungkin menggunakan baja dengan harga C_{ek} dan P_{CM} rendah, sehingga terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ dapat dihindari.
2. Sedapat mungkin menggunakan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hidrogen rendah.
3. Menghilangkan kristal air yang terkandung dalam fluks basa yang sering digunakan dalam las busur rendam.
4. Elektroda yang akan digunakan harus dipanggang lebih dahulu dan penyimpanannya harus sedemikian rupa sehingga elektroda yang sudah dipanggang tersebut tidak menyerap uap air.
5. Sebelum mengelas, pada daerah sekitar kampuh harus dibersihkan dari air, karat, debu, minyak dan zat organik yang dapat menjadi sumber hidrogen.

6. Penggunaan CO₂, sebagai gas pelindung akan sangat mengurangi terjadinya difusi hidrogen.
7. Untuk melepaskan kadar hidrogen difusi dapat digunakan las dengan masukan panas tinggi, atau dilakukan pemanasan mula dan penahanan suhu lapisan las yang dapat memperlambat pendinginan.
8. Penurunan kadar hidrogen difusi dapat juga dilakukan dengan perlakuan panas kemudian.
9. Menghindari pengelasan pada waktu hujan atau di tempat di mana daerah las dapat kebasahan.
10. Tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan pemilihan dan pengawasan rancangan dan cara pengelasannya yang tepat.

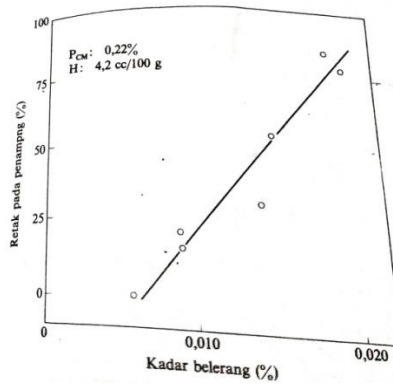
2. Retak lamel

Pada konstruksi kerangka yang besar seperti bangunan laut, biasanya digunakan plat tebal, sehingga pada daerah las terjadi tegangan yang besar pula. Butiran dengan bentuk kubus seperti MnS atau Mn Si O₃ biasanya lebih peka terhadap retak lamel dari pada butiran berbentuk bulat. Karena hal tersebut, maka pada baja tahan retak biasanya kadar belerang diusahakan serendah-rendahnya. Penambahan unsur Ce atau Ca pada baja dapat membentuk butiran bukan logam yang berbentuk bulat, sehingga pengurangan kepekaan baja terhadap retak lamel di samping pengurangan kadar S, dapat juga dilakukan dengan penambahan Ce dan Ca. Sifatnya yang khusus, retak lamel juga mempunyai sifat seperti retak las pada umumnya. Karena itu retak lamel di samping sangat dipengaruhi oleh bentuk butir bukan logam, juga dipengaruhi oleh harga C_{ek} atau P_{CM} kadar hidrogen difusi dan tegangan sisa.



Gambar 2.19 Retak Lamel Yang Dimulai Dari Retak Akar

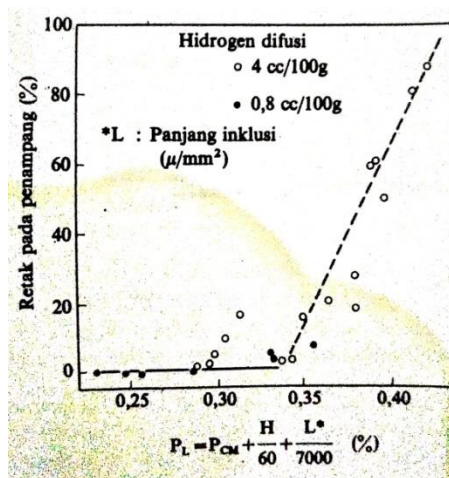
Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



Gambar 2.20 Pengaruh Kadar Belerang Pada Kepakaan Retak Lamel

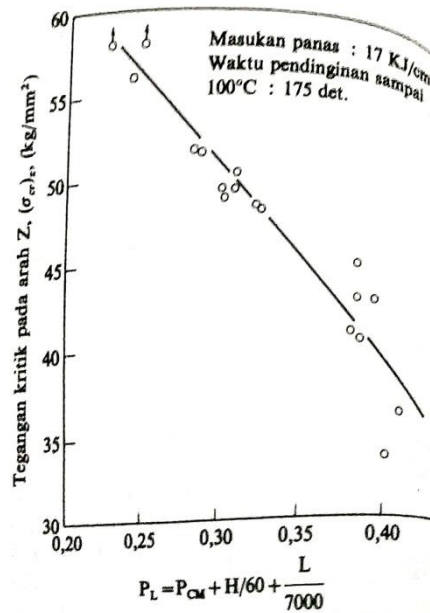
Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Hubungan antara kepekaan retak lamel dengan indeks kepekaan P_L , yang mencakup komposisi kimia, kadar hidrogen difusi dan butiran bukan logam ditunjukkan dalam gambar 2.19. Hubungan antara P_L dan tegangan kritik pada uji tarik dengan bebas tarik searah dengan tebal plat dapat dilihat pada gambar 2.20



Gambar 2.21 Hubungan Antara Retak Lamel dan Kepekaan P_L

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



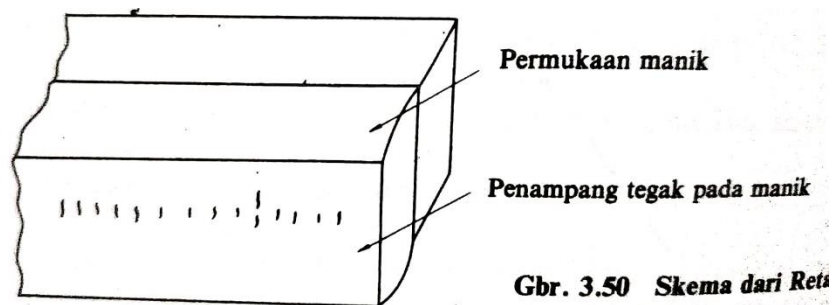
Gambar 2.22 Hubungan Antara Kepekaan P_L dan Tegangan Kritis Pada Arah Tebal

Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

1. Retak lintang pada logam las

Retak dingin di samping terjadi pada daerah HAZ juga dapat terjadi pada logam las. Retak ini biasanya terjadi dengan arah tegak lurus atau melintang terhadap garis las seperti yang ditunjukkan pada skema dalam gambar 2.22, dan disebut retak lintang.

Retak lintang dapat terjadi pada pengelasan busur rendam atau pada las busur listrik dengan elektroda terbungkus dan juga pada pengelasan yang menggunakan logam las dengan kekuatan lebih dari 75 kg/mm^2 .



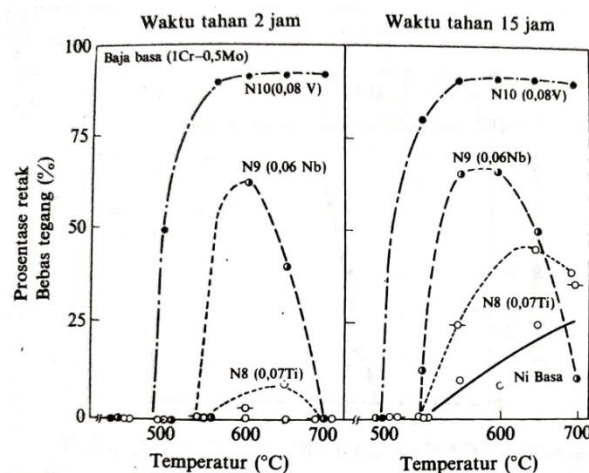
Gambar 2.23 Skema Dari Retak Lintang

Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Retak lintang sama halnya dengan retak dingin, terjadi karena adanya hidrogen difusi yang keluar dari fluks atau pembungkus elektroda. Pada permukaan manik las, hidrogen difusi yang dikandung dapat dilepaskan dengan mudah bila dibandingkan dengan hidrogen yang ada bagian dalam. Karena itu lintang biasanya terdapat pada tengah-tengah tebal lasan tanpa menembus permukaan. Dengan penjelasan tersebut, jelaslah bahwa cara menghindari retak lintang adalah menurunkan kadar hidrogen difusi. Di samping pengeringan dan penyimpanan yang baik dari bahan-bahan las terhadap uap air, pemanasan mula dan pemanasan kemudian sangat membanut sekali dalam melepaskan hidrogen difusi.

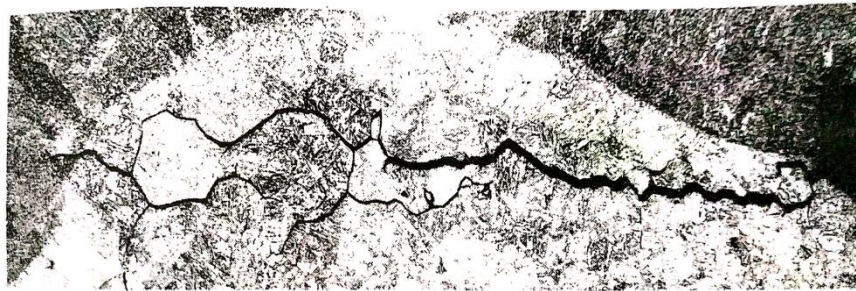
2. Retak pada daerah las karena proses pembebasan tegangan

Retak yang terjadi karena perlakuan panas sesudah pengelasan adalah retak karena anil pembebasan tegangan, yang dilakukan pada suhu 500°C sampai 700°C. Tempat terjadinya retak anil ini adalah pada batas butir, terutama butir kasar pada daerah pengaruh panas.



Gambar 2.24 Hubungan Antara Retak Bebas Tegang Dan Temperatur Waktu Pemanasan Dengan Pengujian Lengkung U

Sumber : Harsono Wiryo Sumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



Pembesaran 100 x

Gambar 2.25 Retak Bebas Tegang Pada Pengujian Celah Y Dari Baja BJ 80 Yang Dibebaskan

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

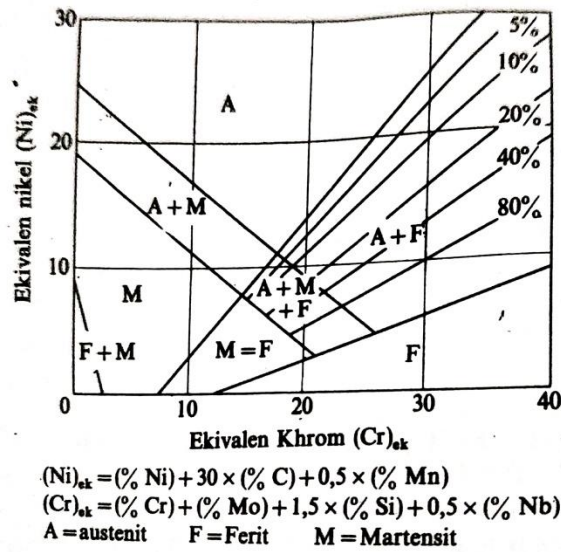
Bila dilihat dari bahan, baja kekuatan 80 kg/mm^2 dan baja paduan rendah Cr-Mo-V adalah baja yang sangat peka terhadap retak karena pembebasan tegangan. Pengaruh komposisi kimia pada kepekaan retak tersebut dapat diperkirakan dengan menggunakan perumusan sebagai berikut. Menurut Nakamura, Achiki dan Okabayashi :

$$\Delta G = (\text{Cr}) + 3,3 (\text{Mo}) + 8,1 (\text{V}) - 2$$

Menurut Ito dan Nakanashi :

$$P_{\text{SR}} = (\text{Cr}) + (\text{Cu}) + 2(\text{Mo}) + 10(\text{V}) + 7(\text{Ne}) + 5(\text{Ti})$$

Dari kedua rumus tersebut bila ΔG atau P_{SR} mempunyai harga positif maka terjadi keretakan. Bila baja mengandung karbon kurang dari 0,1% atau kromium lebih dari 1,5% , kepekaannya terhadap retak karena pembebasan tegangan menjadi rendah sehingga persamaan P_{SR} tidak berlaku. Di samping unsur-unsur diatas ternyata bahwa unsur : P, S, B, As dan Sb juga mempertinggi kepekaan baja terhadap retak karena pembebasan tegangan.



Gambar 2.26 Diagram Schaeffler

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Untuk menghindari keretakan ini, harus diusahakan untuk menggunakan baja dengan harga ΔG dan P_{SR} rendah. Karena retak ini juga terjadi oleh adanya konsentrasi tegangan seperti pada bagian kaki dari lasan, maka bagian ini harus diselesaikan sehalus mungkin sehingga tidak ada takikan. Di samping itu juga harus dihindari adanya garis las yang menyilang atau terlalu dekat satu sama lain.

3. Retak Panas

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul yang disebabkan oleh penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu sedikit dibawah suhu pembekuan. Dengan demikian maka retak ini akan terjadi pada batas butir, karena pada tempat tersebut biasanya terbentuk senyawa dengan titik cair rendah. Karena itu unsur seperti Si, Ni, S, dan P akan mempertinggi kepekaan baja terhadap retak jenis ini.

Usaha menghindari retak panas adalah menurunkan kadar Si dan Ni serendah mungkin dan menghilangkan kandungan S dan P sejauh mungkin. Dalam hal baja tahan karat austenit menghindarinya adalah mengusahakan agar 5 sampai 10% dari ferit δ terdapat dalam struktur

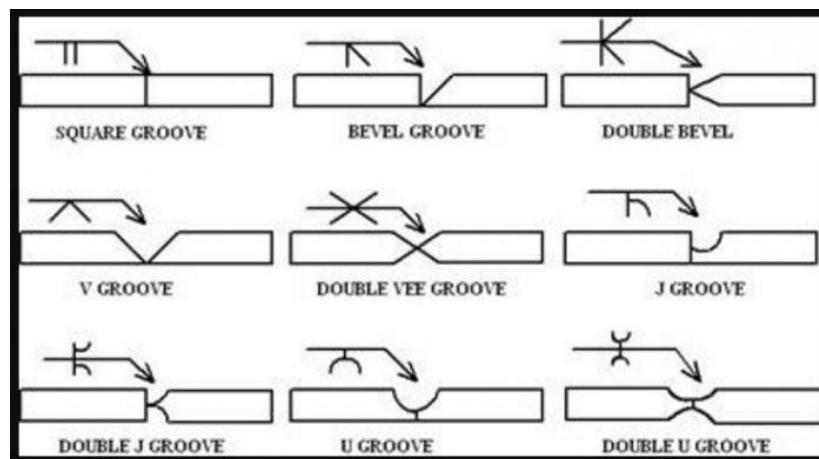
austenit. Dalam memperkirakan jumlah ferit yang ada dalam austenit biasanya digunakan diagram Schaeffler seperti terlihat dalam gambar 2.25.

2.6 Jenis Sambungan Las

Jenis Sambungan Pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan. Jenis sambungan las mempunyai beberapa macam yang menjadi jenis sambungan utama yaitu Butt Joint, Fillet (T) Joint, Corner Joint, Lap Joint dan Edge Joint.

1) Butt Joint

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove untuk melihat *macam macam kampuh las* lebih detail silahkan lihat gambar berikut ini.

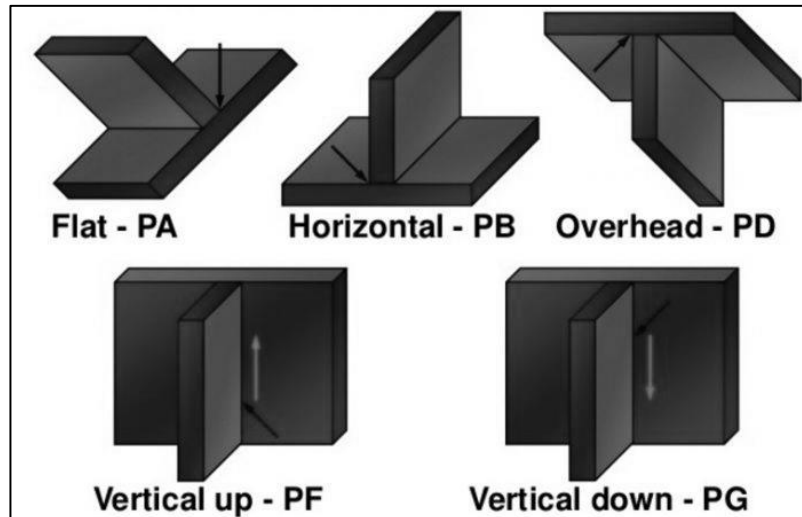


Gambar 2.27 Macam-macam Bentuk Kampuh Pada Butt Joint

Sumber : <https://www.pengelasan.net/sambungan-las/>

2) T (Fillet) Joint

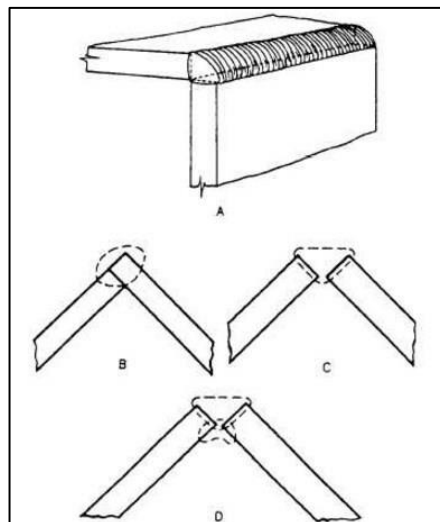
T Joint adalah jenis sambungan yang berbentuk seperti huruf T, tipe sambungan ini banyak diaplikasikan untuk pambutan konstruksi atap, konveyor dan jenis konstruksi lainnya. Untuk tipe groove juga terkadang digunakan untuk sambungan fillet adalah double bevel, namun hal tersebut sangat jarang kecuali pelat atau materialnya sangat tebal. Berikut ini gambar sambungan T pada pengelasan.



Gambar 2.28 Macam-macam Sambungan T (Fillet) joint
 Sumber : <https://www.pengelasan.net/sambungan-las/>

3) Corner Joint

Corner Joint mempunyai desain sambungan yang hampir sama dengan T Joint, namun yang membedakannya adalah letak dari materialnya. Pada sambungan ini materialnya yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung. Ada dua jenis corner joint, yaitu close dan open. Untuk detailnya silahkan lihat pada gambar di bawah ini.

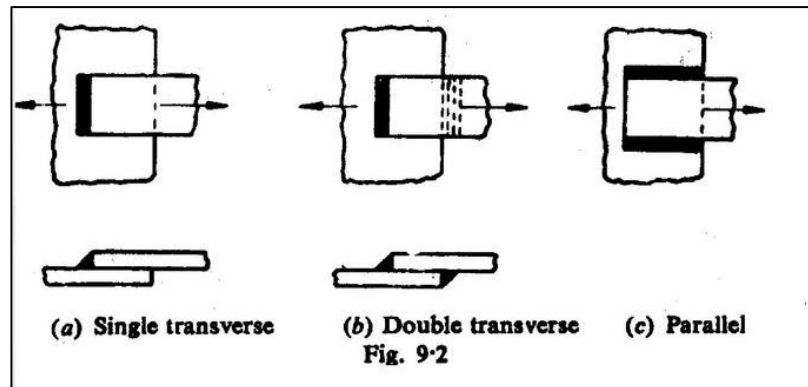


Gambar 2.29 Sambungan Corner Joint

Sumber : <https://www.pengelasan.net/sambungan-las/>

4) Lap Joint

Tipe sambungan las yang sering digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Karena materialnya ini ditumpuk atau disusun sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada bagian body kereta dan cenderung untuk plat plat tipis. Jika menggunakan proses las SMAW, GMAW atau FCAW pengelasannya sama dengan sambungan fillet.



Gambar 2.30 Macam-Macam Sambungan Lap Joint

Sumber : <https://slideplayer.info/slide/12369808/>

2.7 Jenis Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik dari satu media ke yang lain, biasanya dari sumber listrik ke perangkat atau bahan. Elektroda dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda, termasuk kawat, piring, atau tongkat, dan yang paling sering terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik nonlogam, seperti grafit. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis. Berikut adalah macam-macam dari elektroda :

a) Elektroda Berselaput

Elektroda berselaput yang dipakai pada Ias busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat Inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (Ca CO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida

mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda.

Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO₂ yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O₂ dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

b) Klasifikasi Elektroda

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (American Welding Society) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

- E : menyatakan elektroda busur listrik
- XX (dua angka) : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan lb/in² lihat table.
- X (angka ketiga) : menyatakan posisi pengelasan.
- angka 1 untuk pengelasan segala posisi. angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan
- X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan lihat table.
- Contoh : E 6013 Artinya:
- Kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000 lb/in² atau 42 kg/mm²
- Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi

Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC –

c) Elektroda Baja Lunak

Dan bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama, berikut macam-macam elektroda baja lunak :

- E 6010 dan E 6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan.

➤ E 6012 dan E 6013

Kedua elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah.

➤ E 6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan.

➤ Elektroda dengan Selaput Serbuk Besi Selaput

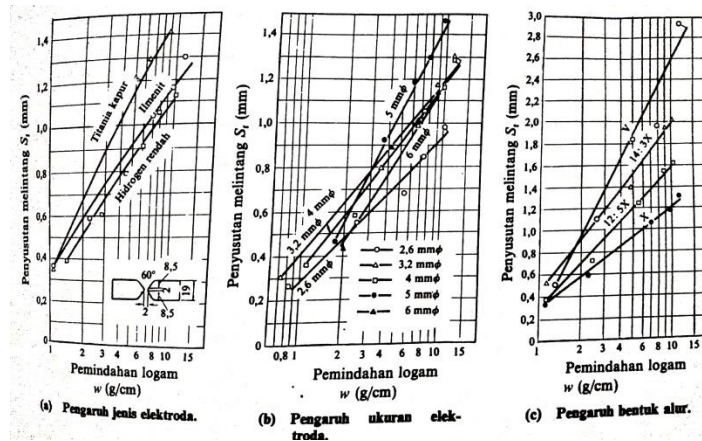
Elektroda jenis E 6027, E 6016, E 7014, E 7018, E 7024 dan E 7028 mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi.

➤ Elektroda Hydrogen Rendah Selaput

Elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Jenis-jenis elektroda hydrogen rendah misalnya E 7015, E 7016 dan E 7018.

3.7.1 Pengaruh jenis elektroda

Dalam gambar 2.31 (a) dan (b) dapat dilihat pengaruh dari jenis dan ukuran elektroda terhadap penyusutan lintan dan dalam gambar 2.32 (c) ditunjukkan pengaruh dari alur kampuh. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kampuh V menyebabkan perubahan bentuk yang lebih besar dari kampuh X. Hal ini disebabkan karena pada pelat yang sama tebalnya, kampuh V memerlukan bahan las yang lebih besar daripada kampuh X.



Gambar 2.31: Pengaruh jenis elektroda

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2.8 Elektroda AWS E 6010

2.8.1 Spesifikasi Elektroda AWS E 6010

Elektroda mengandung sekitar 35% bahan organik yang di dalam busur berubah menjadi gas pelindung dan berkontribusi pada busur tembus dalam yang terkonsentrasi dengan terak yang membeku cepat. Fluks diekstrusi ke kawat inti baja ringan hanya menggunakan natrium silikat yang menjamin kekuatan lapisan.

Elektroda ini cocok untuk digunakan hanya pada DC + dan sangat ideal untuk menjalankan akar penetrasi penuh menggunakan celah akar yang dikendalikan dan wajah akar dan teknik manik stringer. Penggilangan sedikit dari stringer bead dengan sikat kawat mencegah inklusi lateral yang diikuti oleh hot pass yang khususnya pada baja dengan tekanan tinggi dan atau karbon tinggi meningkatkan difusi hidrogen dan dengan demikian mengurangi kemungkinan pemecahan hidrogen.

Elektroda ini cocok di aplikasikan untuk jenis logam dibawah ini:

Mild Steels: St 360, C-St 510 C, St 34.2, St 37.2, St 46.2, St 37.3, St 46.3, St 52.3.

Pressure vessel steels: H1, H11, St 35 KKW, St 41 KKW.

High strength steels: St 52, St 35.4, St 45.4, St 52.4, St E210.7-St E415.7, St E290.7, TM-St E415.7TM, St 35.8, S t45.8.API 5LX: X42 , X46, X52, X56, X60.

2.8.2 Komposisi Elektroda AWS E 6010

Komposisi yang terkandung dalam elektroda AWS E 6010 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Elektroda AWS E 6010

MIN	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Fe
MAX	0.2	1.2	1.0	-	-	0.2	0.3	0.3	0.08	
TYPICAL	0.1	0.6	0.2	0.03	0.02	0.04	0.05	0.02	0.01	Bal.

Sumber: <https://www.kobelco-welding.jp/handbook/products/view/125/>

Tabel 2.7 Sifat Mekanik

PROPERTY	UNITS	MINIMUM	TYPICAL
Tensile strength 0.2% Proof stress	N/mm ²	430	580
Elongation on 4d	N/mm ²	330	450
Reduction of Area (RA)	%	22	30
Impact energy -30 °C	J	27	50

Sumber: <https://www.kobelco-welding.jp/handbook/products/view/125/>

Tabel 2.8 Temperatur Pengelasan

Ø (mm)	2.6	3.2	4.0
MIN	70	80	120
MAX	90	120	150

Sumber: <https://www.kobelco-welding.jp/handbook/products/view/125/>

2.9 Elektroda AWS E 6013

2.9.1 Spesifikasi Elektroda AWS E 6013

Penekanan desain fluks dirancang untuk menghasilkan slag pembekuan yang cepat namun fluida sehingga memudahkan semua pengelasan posisi termasuk vertikal ke bawah. Rutil seimbang, fluks selulosa yang

mengandung elemen paduan dan deoksidasi diekstrusi ke kawat baja ringan dengan campuran silikat yang memastikan kekuatan dan stabilitas lapisan.

Elektroda dilas dengan busur stabil halus pada AC dan DC. Hujan rintik-rintik minimal. Jahitan las halus, cerah, dan bergelombang rata. Untuk pengelasan bawah dan vertikal ke bawah gunakan ampere menuju ujung atas dan untuk pengangkatan vertikal dan overhead ke arah bawah kisaran. Pelepasan terak sangat baik dan pemulihan logam hingga 90% sehubungan dengan berat kawat inti.

Baja karbon-mangan ringan dan sedang hingga setebal 15 mm dengan UTS maks 500 N / mm². Nilai umum:

BS 1449 plate and sheet, BS 4360 grades 43A and 43C, Lloyds A & D ship steel BS 4360 grade 50B Lloyds grades AH and DH, BS 3059 and BS 3601 grade 320-410, API 5L A-B and X42.

Tabel 2.9 Komposisi Kimia Elektroda AWS E 6013

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Fe
MIN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAX	0.2	1.2	1.0	-	-	0.2	0.3	0.3	0.08	
TYPICAL		0.08	0.5	0.3	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01

Sumber: <https://www.nikkosteel.com/assets/1-mild-and-medium-tensile-steels>

Tabel 2.10 Sifat Mekanik

PROPERTY	UNITS	MINIMUM	TYPICAL
Tensile strength	N/mm ²	430	520
0.2% Proof stress	N/mm ²	330	430
Elongation on 4d	%	17	28
Reduction of Area (RA)	%	-	70
Impact energy 0°C	J	-	60

Sumber: <https://www.nikkosteel.com/images/1-mild-and-medium-tensile-steels>

Tabel 2.11 Temperatur Pengelasan

Ø (mm)	1.6	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
MIN	20	30	60	80	120	160
MAX	40	80	110	140	190	230

Sumber: <https://www.nikkosteel.com/images/assets/1-mild-and-medium-tensile-steels>

2.10 Elektroda AWS E 6016

2.10.1 Spesifikasi Elektroda AWS E 6016

Kategori kawat las standart AWS SFA 5.1: E 6016 kawat las multi fungsi untuk industri, repair & maintenance. Alur lasnya halus dan bersih, penetrasinya dalam tanpa 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 segala posisi. Alur lasnya memiliki peforma X-ray yang sangat baik.

Tabel 2.12 Komposisi Elektroda AWS E 6016

Composition (all-weld metal mass%)		
	Typical (AC)	Guaranty ^a
C	0.08	0.15
Si	0.64	0.75
Mn	0.86	1.60
P	0.012	0.035
S	0.008	0.035
Ni	0.01	0.30
Cr	0.02	0.20
Mo	<0.01	0.30
V	0.01	0.08
Others ^b	0.90	1.75

Sumber: <http://www.raajratnaelectrodes.com>

Tabel 2.13 Sifat Mekanik

All-weld mechanical properties		
	Typical (AC)	Guaranty
0.2%YS (MPa) TS	480	400min.
(MPa)	560	483min.
El on 4d (%)	31	22min.
IV -29°C (J)	80	27min.

Sumber: <http://www.raajratnaelectrodes.com>

Tabel 2.14 Temperatur Pengelasan

Welding parameters (A)			
φ mm	1F, 1G, 2F, 2G	3G uphill, 4G	Root pass ^c
2.6	60~90	50~80	30~80
3.2	90~130	80~120	60~110
4.0	130~180	110~170	90~140
5.0	180~240	150~200	130~180

Sumber: <http://www.raajratnaelectrodes.com>

2.11 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan-lahan, kemudian akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini terus berlanjut sampai bahan sampai titik propotionality limit. Setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan penambahan panjang yang lebih besar dan suatu saat terjadi penambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Hal ini dikatakan batang uji mengalami yield (luluh). Keadaan ini hanya berlangsung sesaat dan setelah itu akan naik lagi.

Kenaikan beban ini akan berlangsung sampai mencapai maksimum, untuk batang yang ulet beban mesin tarik akan turun lagi sampai akhirnya putus. Pada saat beban mencapai maksimum, batang uji mengalami pengecilan penampang setempat (local necking) dan penambahan panjang terjadi hanya disekitar necking tersebut. Pada batang getas tidak terjadi necking dan batang akan putus pada saat beban maksimum.

2.11.1 Tegangan Dan Regangan Pada Baja

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktur lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah yang sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang.

Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan. Dua batang uji tarik untuk sambungan las ditunjukkan pada Gambar 2.33 yang satu dengan arah tarikan melintang garis las dan yang lain dengan arah tarikan sejajar garis las. Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang

uji patah. Kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

di mana: F = beban (kg)

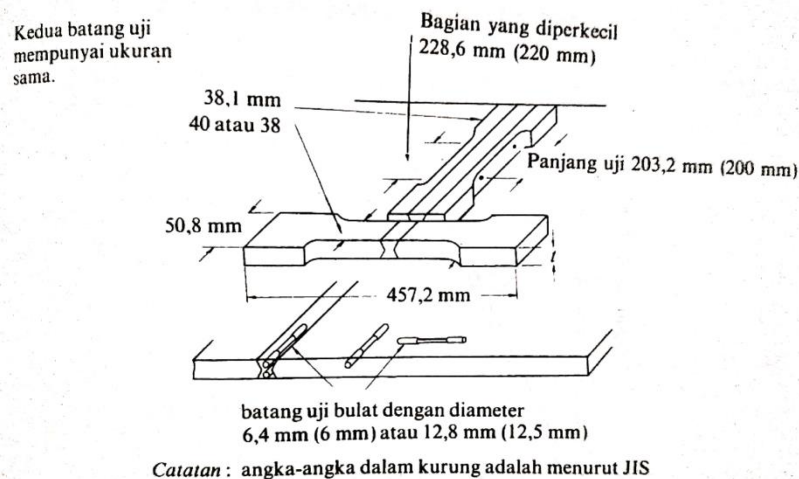
A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm²)

Regangan :

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

di mana: L_0 = panjang mula dari batang uji

L = panjang batang uji yang dibebani



Gambar 2.32 Ukuran Batang Uji Tarik Menurut AWS

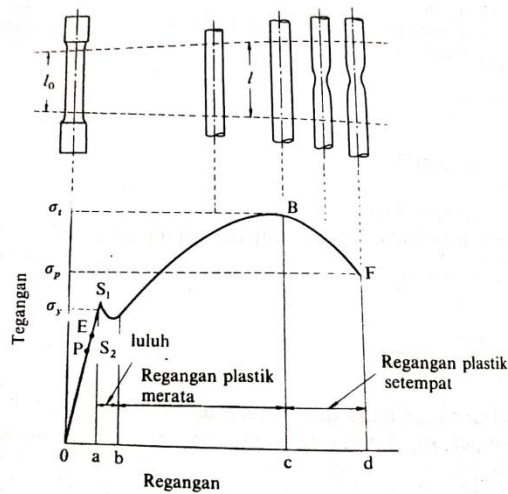
Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi

Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2.11.2 Kurva Tegangan Dan Regangan

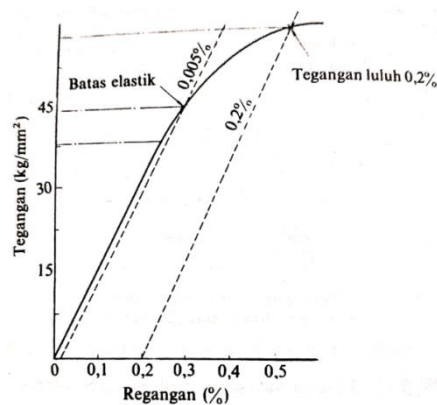
Hasil-hasil pengujian biasanya tergantung pada benda uji. Karena sangat kecil kemungkinannya kita menggunakan struktur yang ukurannya sama dengan ukuran benda uji, maka kita perlu menyatakan hasil pengujian dalam bentuk yang dapat diterapkan pada elemen struktur yang berukuran berapapun. Cara sederhana untuk mencapai tujuan ini adalah dengan mengkonversikan hasil pengujian tersebut ke tegangan dan regangan.

Setelah melakukan uji tarik atau tekan dan menentukan tegangan dan regangan pada berbagai taraf beban, kita dapat memplot diagram tegangan dan regangan. Diagram tegangan-regangan merupakan karakteristik dari bahan yang diuji dan memberikan informasi penting tentang besar mekanis dan jenis perilaku. Bahan baja struktural, yang dikenal dengan baja lunak atau baja karbon rendah. Baja struktural adalah salah satu bahan metal yang paling banyak digunakan untuk gedung, jembatan, menara, dan jenis struktur lain. Diagram tegangan-regangan untuk baja struktural tipikal yang mengalami tarik diperlihatkan pada gambar berikut .



Gambar 2.33 Kurva Tegang-Regang Teknik

Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)



Gambar 2.34 Batas Elastik Dan Tegangan Luluh 0,2%

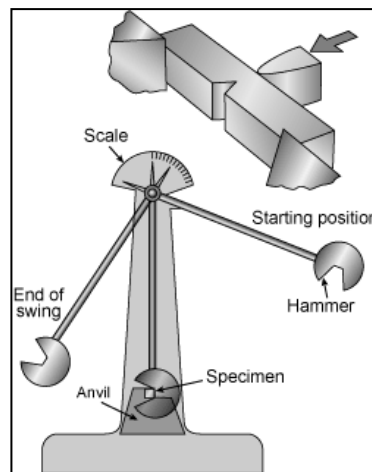
Sumber : Harsono Wirjosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2.12 Uji Impak

Uji impact adalah jenis pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan material tersebut. Ada 2 metode uji impact yang biasa dilakukan dalam dunia industry, yaitu uji impact charpy dan uji impact izod. Cara kerja alat uji impact adalah dengan memukul benda yang akan diuji kekuatannya dengan pendulum yang berayun. Pendulum tersebut ditarik hingga ketinggian tertentu lalu dilepas, sehingga pendulum tersebut memukul benda uji hingga patah. Berikut adalah bagian dari alat uji impact charpy :

1. Badan Alat Uji Impact

Badan alat uji impact terbuat dari baja profil U 70 mm × 40 mm dengan tebal baja 5mm. Sedangkan dimensi dari badan alat uji impact ini adalah 750 mm × 400mm × 1000 mm. Proses pengerjaan yang dilakukan dalam pembuatan badan alat uji impact ini adalah proses penyambungan atau proses pengelasan. Badan alat uji impact berfungsi sebagai tempat dudukan dari bearing dan tempat benda uji.



Gambar 2.35 Alat Uji Impact Charpy

Sumber : <https://mirfandaniputra.wordpress.com/2017/01/07/uji-impact-charpy/>

2. Pendulum

Pendulum berfungsi sebagai beban yang akan diayunkan ke benda uji dan juga terdapat pisau pemukul untuk mematahkan benda uji. Pendulum terbuat dari baja pelat silinder dengan berat 8 kg. Pada bagian atas pendulum dihubungkan ke bagian lengan pengayun dengan cara dilas.

3. Lengan Pengayun

Lengan pengayun berfungsi untuk menentukan gerakan ayunan dari poros ke pendulum. Lengan pengayun ini terbuat dari baja silinder $\text{Ø } 20 \times 600$ mm dan pada bagian atasnya dihubungkan ke poros dengan dilas, serta pada bagian bawahnya dihubungkan ke pendulum dengan cara dilas.

4. Poros Pengayun

Poros pengayun berfungsi sebagai penerus ayunan dari bearing kelengan pengayun dan pendulum. Poros pengayun terbuat dari baja silinder. Pada bagian ujung kanan dan kirinya dihubungkan ke bearing dan pada bagian tengahnya dihubungkan ke lengan pengayun dengan cara dilas.

5. Bearing

Bearing berfungsi sebagai pengayun poros dan bearing yang digunakan adalah bearing dengan ukuran diameter dalam atau diameter poros 25 mm. Bearing ditempatkan pada bagian kanan atas dan kiri atas pada badan alat uji impact dengan cara dibaut.

6. Tempat Benda Uji

Tempat benda uji berfungsi sebagai tempat diletakkannya benda uji yang akan dilakukan pengujian. Tempat benda uji ini terbuat dari baja profil. Tempat benda uji dilas menyatu dengan badan alat uji impact.

7. Busur Derajat dan Jarum Penunjuk

Busur derajat berfungsi sebagai alat pengukur atau alat baca dari hasil pengujian. Jarum penunjuk berfungsi untuk menunjukkan angka pada busur derajat yang merupakan hasil dari pengujian. Jarum penunjuk dihubungkan ke poros pengayun dengan dibaut sehingga arah ayunannya sesuai dengan arah ayunan poros pengayun.

8. Pisau Pemukul

Pisau pemukul berfungsi untuk memukul benda uji yang telah dibuat takikan. Posisi pisau pada saat akan memukul adalah di belakang takikan benda uji. Bahan pisau pemukul ini harus lebih keras dari benda yang akan diuji dan sudut pisau pemukul adalah 30° . Besar energi (W1) pada setiap sudut ayun dapat diketahui dari data pada tabel berikut ini :

Tabel 2.15 Energi Pada Setiap Sudut Ayun

Besar Sudut (α)	Energi (W_1) (kg m)	Energi (W_1) (Joule)
10°	0,0768	0,768
20°	0,292	2,92
30°	0,6432	6,432
40°	1,1232	11,232
50°	1,7184	17,184
60°	2,4	24
70°	3,1584	31,584
80°	3,9667	39,667
90°	4,8	48
100°	5,6332	56,332
110°	6,4416	64,416
120°	7,2	72
130°	7,8816	78,816
140°	8,4768	84,768

Sumber : <https://mirfandaniputra.wordpress.com/2017/01/07/uji-impact-charpy/>

2.12.1 Perumusan Pada Uji Impact Charpy

- a) Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W_1 = G \times h_1 \text{ (kg m)}$$

Atau dapat juga diselesaikan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$W_1 = G \times \lambda(1 - \cos \alpha) \text{ (kg m)}$$

dimana :

W_1 = usaha yang dilakukan (kg m)

G = berat pendulum (kg)

h_1 = jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

λ = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \lambda$ = sudut posisi awal pendulum

- b) Sedangkan sisa usaha setelah mematahkan benda uji dapat diketahui melalui rumu sebagai berikut :

$$W_2 = G \times h_2 \text{ (kg m)}$$

Sehingga dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$W_2 = G \times \lambda(1 - \cos \beta) \text{ (kg m)}$$

dimana :

W_2 = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

- G = berat pendulum (kg)
- h₂ = jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)
- λ = jarak lengan pengayun (m)
- cos β = sudut posisi akhir pendulum

c) Besarnya usaha yang diperlukan untuk memukul patah benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut :

$$W = W_1 - W_2 \text{ (kg m)}$$

Sehingga persamaan yang diperoleh dari rumus di atas adalah sebagai berikut :

$$W = G \times \lambda(\cos \beta - \cos \lambda) \text{ (kg m)}$$

dimana :

- W = usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg m)
- W₁ = usaha yang dilakukan (kg m)
- W₂ = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)
- G = berat pendulum (kg)
- λ = jarak lengan pengayun (m)
- cos λ = sudut posisi awal pendulum
- cos β = sudut posisi akhir pendulum

d) Dan besarnya harga impact dapat diketahui dari rumus berikut ini :

$$K = \frac{W}{A_o}$$

dimana :

- K = nilai impact (kg m/mm²)
- W = usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg m)
- A_o = luas penampang di bawah takikan (mm²)

2.12.2 Jenis Patahan

Takik (notch) dalam benda uji standar ditunjukkan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga diharapkan terjadi di bagian tersebut. Selain bentuk V dengan sudut, takik dapat pula berbentuk lubang kunci (key hole). secara umum perpatahan dibagi tiga yaitu :

a) Perpatahan berserat (fibrous fracture)

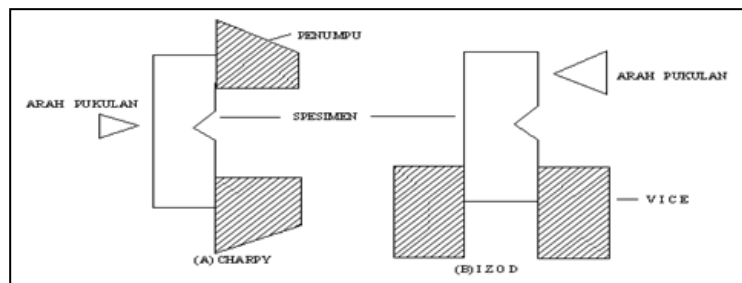
Melibatkan mekanisme pergeseran bidangbidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (ductile). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

b) Perpatahan granular/kristalin

Dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (cleavage) pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (brittle). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).

c) Perpatahan campuran (berserat dan granular).

Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.



Gambar 2.36 Jenis Takik

Sumber : <http://hima-tl.ppns.ac.id/impact-test-pengujian-takik/>

2.13 Uji Kekerasan Rockwell

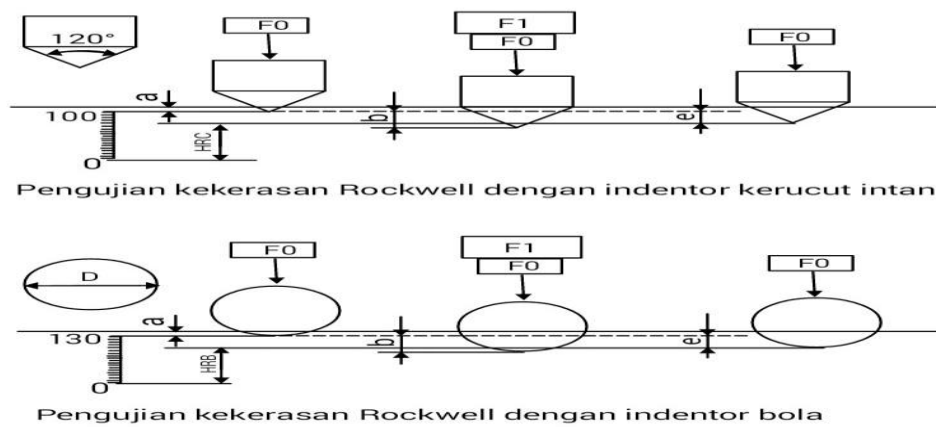


Gambar 2. 37 Alat Uji Kekerasan Rockwell

(Sumber : <https://alatlab.unand.ac.id>)

Pengujian kekerasan Rockwell merupakan salah satu pengujian kekerasan bahan yang banyak digunakan, hal ini dikarenakan pengujian kekerasan Rockwell yang : sederhana, cepat, tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak. Pengujian kekerasan Rockwell dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indenter. Penekanan indenter ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.(Michael Elkan,2017).

Besarnya beban minor ini adalah 10 kgf sedangkan besarnya beban utama biasanya adalah 50 kgf, 90 kgf, atau 140 kgf. Penerapan beban minor pada hakekatnya dimaksudkan untuk membantu mendudukan indenter di dalam benda uji (spesimen) dan menghilangkan pengaruh dari penyimpangan permukaan sehingga menciptakan permukaan spesimen yang siap untuk menerima beban utama. Dengan demikian permukaan benda uji tidak perlu dibuat dengan sehalus dan selicin mungkin.



Gambar 2. 38 Cara Kerja Mesin Rockwell

(Sumber : <http://pusat-lingkar.blogspot.com>)

Keterangan :

- F0 = beban pendahuluan (beban minor)
- F1 = beban utama (beban mayor)
- a = kedalaman penetrasi oleh beban minor
- b = kedalaman penetrasi oleh beban total ($F_0 + F_1$)

e = kedalaman penetrasi setelah beban utama dilepaskan

Pengujian rockwell yang umumnya biasa dipakai ada tiga jenis yaitu HRA, HRB, dan HRC. HR itu sendiri merupakan suatu singkatan dari kekerasan rockwell atau rockwell hardness number dan kadang-kadang disingkat dengan huruf R saja. Pengujian kekerasan dengan metode rockwell ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Tingkat skala kekerasan menurut metode rockwell adalah berdasarkan pada jenis indentor yang digunakan pada masing-masing skala.

Dalam metode rockwell ini terdapat dua macam indentor yang digunakan pada pengujian kekerasan yaitu intan berbentuk kerucut yang memiliki sudut puncak 120° di mana bagian ujungnya sedikit dibulatkan dengan jari-jari 0,2 mm dan indentor bola yang terbuat dari baja yang dikeraskan atau dari tungsten karbida yang memiliki diameter 1/16", 1/8", 1/4", dan diameter 1/2". Indentor kerucut intan sering disebut juga sebagai 'Brale'.



Gambar 2.39 indentor type *Ball* dan *Diamond*

(Sumber :www.indiamart.com)

Pada pengujian kekerasan material dengan metode Rockwell dikenal ada beberapa skala, misalnya skala B yang biasanya diaplikasikan pada material yang lunak, seperti paduan-paduan tembaga, paduan aluminium dan baja lunak, dengan menggunakan indentor bola baja berdiameter 1/16" dan beban total sebesar 100 kgf. Sedangkan skala C diaplikasikan untuk material-material yang lebih keras, seperti besi tuang, dan banyak paduan-paduan baja yang memakai kerucut intan sebagai indentornya dengan beban total sampai 150 kgf.

Selain skala B dan skala C yang sering disebut sebagai skala umum, ada beberapa skala lainnya seperti skala A, D, E, F, G dan lain-lain. Tabel di bawah ini memperlihatkan berbagai skala pada pengujian kekerasan Rockwell.

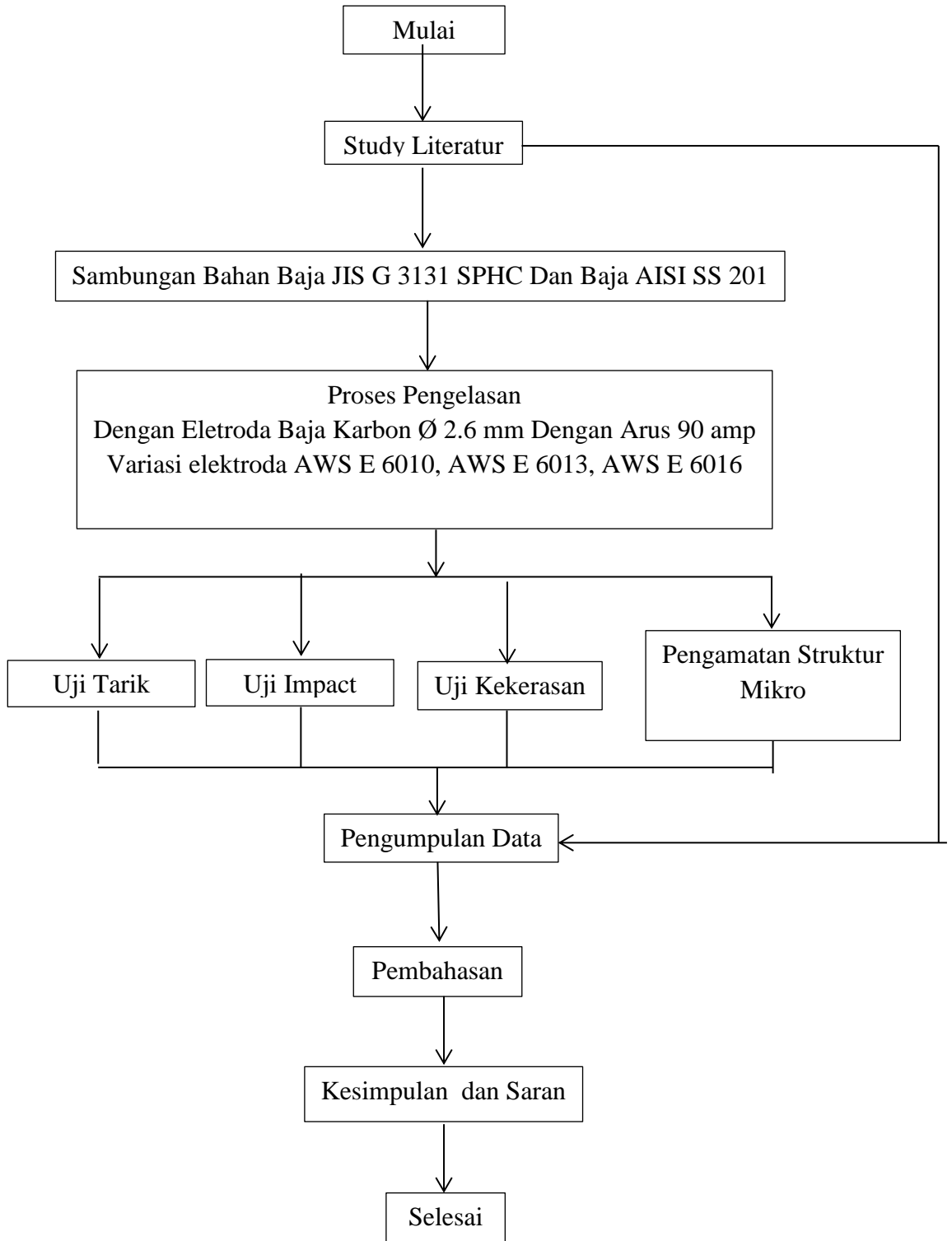
Tabel 2. 9 Klasifikasi Indentor pada Uji Kekerasan Rockwell

Skala	Indentor	Beban minor F0 (kgf)	Beban mayor F1 (kgf)	Beban total F (kgf)
A	Kerucut intan	10	50	60
B	Bola baja 1/16"	10	90	100
C	Kerucut intan	10	140	150
D	Kerucut intan	10	90	100
E	Bola baja 1/8"	10	90	100
F	Bola baja 1/16"	10	50	60
G	Bola baja 1/16"	10	140	150
H	Bola baja 1/8"	10	50	60
K	Bola baja 1/8"	10	140	150
L	Bola baja 1/4"	10	50	60
M	Bola baja 1/4"	10	90	100
P	Bola baja 1/4"	10	140	150
R	Bola baja 1/2"	10	50	60
S	Bola baja 1/2"	10	90	100
V	Bola baja 1/2"	10	140	150

Berbeda dengan pengujian kekerasan Brinell dan Vickers yang mengukur luas dari jejak, pada pengujian kekerasan Rockwell yang diukur adalah kedalaman jejak hasil penetrasi indentor. Dalam hal ini, seberapa jauh indentor bergerak turun secara vertikal ketika melakukan penetrasi.

**BAB III
METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Keterangan diagram alir :

- Mulai : Melakukan bimbingan awal pengajuan
- Study literatur : Mencari referensi atau jurnal untuk dasar pengambilan judul
- Bahan :
 - a. Baja JIS G 3131 SPHC adalah baja jenis plain carbon steel atau juga disebut baja karbon rendah.
 - b. Baja AISI SS 201 adalah baja stainless steel atau baja tahan karat.
- Proses pengelasan : Proses pengelasan dilakukan di BLK (Balai Latihan Kerja) Singosari
- Uji Tarik : Pengujian tarik dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang
- Uji Impak : Pengujian impak dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang
- Uji Kekerasan : Pengujian kekerasan dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang
- Pengamatan Struktur Mikro : Pengujian mikro dilakukan di Lab. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang

3.2 Bahan Yang Digunakan

1. Baja JIS G 3131 SPHC

Dalam kasus ini menggunakan baja karbon rendah yang digunakan untuk perkapalan. Dengan komposisi $C = 0,072\%$; $Si = 0,011\%$; $Mn=0,0294\%$; $P = 0,09\%$; $S = 0,002\%$; $Al = 0,030\%$. Seperti dalam tabel 2.1.

2. Baja AISI SS 201

Dalam kasus ini menggunakan baja tainless stell sebagai bahan untuk memperbaiki kerusakan pada lambung kapal. Dengan komposisi sebagai

berikut : C = 0,15%; Cr = 16%; Ni = 3,5%; Si = 0,75%; Mn = 5,5%; P = 0,06%; S = 0,03%; N = 0,25%. Seperti dalam tabel 2.2.

3. Elektroda

Dalam analisa ini filler atau elektroda yang digunakan adalah elektroda AWS E 6010, elektroda AWS E 6013, elektroda AWS E 6016. Dimana penggunaan elektroda jenis ini untuk menambah kekuatan dari hasil sambungan pengelasan logam berbeda logam. Seperti yang tercantum pada tabel 2.6, 2.9 dan 2.12.

3.3 Alat Yang Digunakan

a) Alat Pembuatan Spesimen :

- Gerinda
- Perlengkapan Mesin Las (Inverter)
- Ragum
- Penggaris
- Jangka Sorong / Vernier Caliper
- Sarung Tangan

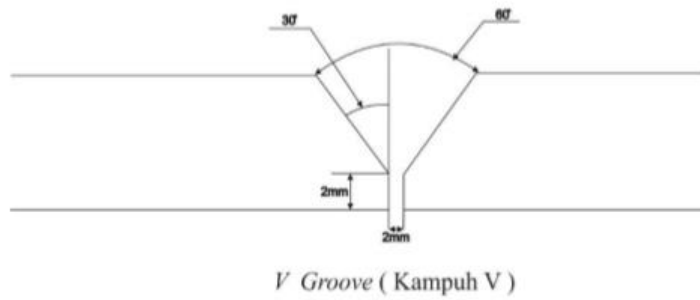
b) Alat Penelitian :

- Mesin uji tarik
- Mesin uji kekerasan
- Mesin uji impak
- Mesin uji struktur mikro
- Alat tulis untuk mencatat data hasil pengujian

3.4 Cara Pembuatan Spesimen

1. Pemotongan bahan

- Persiapan alat dan bahan
- Potong logam baja JIS G 3131 SPHC dan AISI SS 201 dengan ukuran awal proses las 5 mm x 150 mm x 210 mm (tiap variasi)
- Bentuk sudut kampuh menggunakan mesin bubut dan frais dengan sudut yang sudah ditentukan pada sisi panjang logam



Gambar 3.2 Bentuk Kapuh

Sumber : Dokumen Pribadi

2. Pengelasan logam

- Persiapan alat dan bahan
- Persiapkan mesin las dan mengelas sesuai prosedur pengelasan
- Proses pengerjaan penyambungan logam berbeda harus diperhatikan karena perbedaan jenis dan kadar dari logam yang berbeda
- Bersihkan terak hasil pengelasan SMAW sebelum pembentukan spesimen



(A) AWS E 6010

(B) AWS E 6013



(C) AWS E 6016

Gambar 3.3 Variasi Elektroda Yang Digunakan

Sumber : Dokumen Pribadi

3. Pembentukan spesimen uji

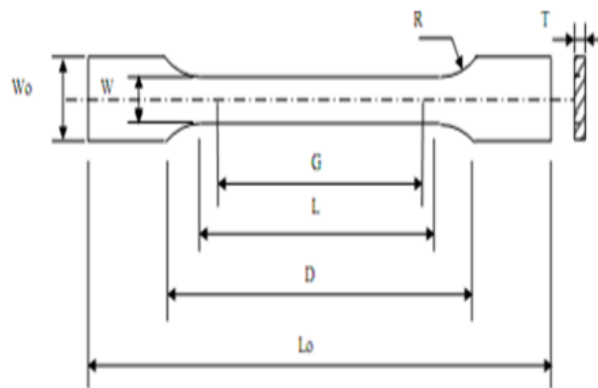
- Persiapan alat dan bahan
- Pastikan logam hasil las bersih dari terak hasil pengelasan
- Persiapkan mesin bubut dan frais

→ Tempatkan logam hasil proses pengelasan pada mesin bubut atau frais dan bentuk sesuai ukuran spesimen uji tarik, uji impact, uji kekerasan dan uji struktur mikro yang sudah ditentukan

3.5 Dasar Pemilihan Spesimen

1. Spesimen uji tarik

Untuk spesimen yang dipilih dalam pengujian tarik ini menggunakan spesimen dengan dimensi pada tabel ASTM E8 yang berbentuk persegi panjang.



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji Tarik

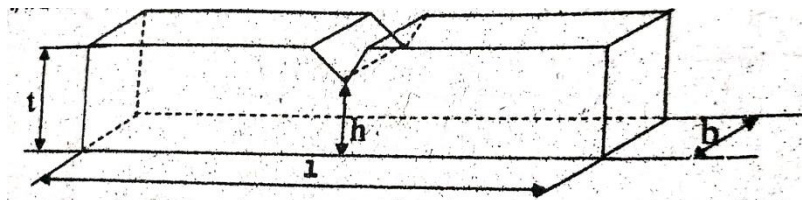
Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 3.1 Ukuran Spesimen Uji Tarik

Dimensi	W	G	D	LO	R	WO	L	T
Ukuran (mm)	12,5	50	70	250	10	20	60	5

Sumber : Dokumen Pribadi

2. Spesimen uji impact



Gambar 3.5 Dimensi Spesimen Uji Impact

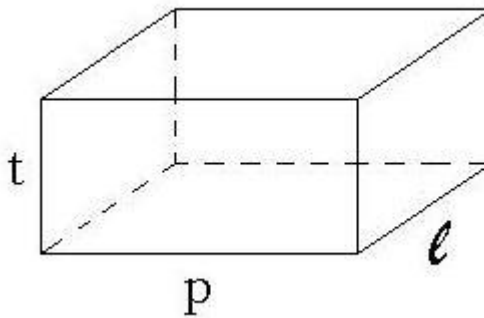
Sumber : Laporan Praktikum Karakteristik Dan Pengujian Bahan

Tabel 3.2 Ukuran Spesimen Uji Impak

Dimensi	l	b	T	H
Ukuran (mm)	55	10	5	3

Sumber : Dokumen Pribadi

3. Spesimen uji kekerasan



Gambar 3.6 Spesimen Uji Kekerasan

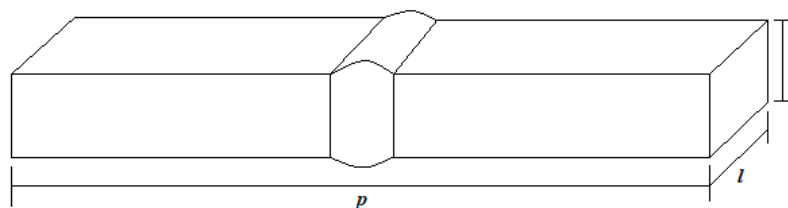
Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 3.3 Ukuran Spesimen Uji Kekerasan

Dimensi	p	l	T
Ukuran (mm)	55	10	5

Sumber : Dokumen Pribadi

4. Spesimen uji mikro



Gambar 3.7 Spesimen Uji Mikro

Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 3.4 Ukuran Spesimen Uji Mikro

Dimensi	p	L	T
Ukuran (mm)	55	10	5

Sumber : Dokumen Pribadi

3.6 Waktu Dan Tempat Pengujian

1. Pengujian kekerasan

Uji kekerasan dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang pada tanggal 25 Juni 2019.

2. Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang pada tanggal 26 Juni 2019.

3. Pengujian dampak

Uji dampak dilakukan Pengujian kekerasan dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang pada tanggal 26 Juni 2019

4. Pengujian struktur mikro

Uji struktur mikro dilakukan di Lab. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang pada tanggal 4 Juli 2019.

3.7 Prosedur Penelitian

Diawali dengan langkah-langkah pemrosesan spesimen.

a) Langkah – langkah pemrosesan spesimen :

→ Siapkan baja yang digunakan untuk penelitian yaitu baja JIS G 3131 SPHC dan AISI SS 201.

→ Lakukan pembentukan kapuk pengalasan.

→ Lakukan proses pengelasan pada baja sesuai welding prosedur.

→ Lakukan pembersihan terak pada hasil lasan.

→ Lakukan pemotongan pada baja yang telah dilas dengan gergaji.

b) Langkah – langkah pembuatan spesimen :

→ Persiapkan baja yang telah dipotong.

→ Marker / tandai spesimen sesuai ukuran standar ASTM E8

→ Mulai pembentukan spesimen menggunakan mesin bubut dan frais.



(a) AWS E 6010



(b) AWS E 6013



(c) AWS E 6016

Gambar 3.8 Bahan Uji Tarik Tiap Variasi

Sumber : Dokumen Pribadi

→ Pemberian resin pada spesimen untuk pengamatan struktur mikro



Gambar 3.9 Bahan Untuk Pengamatan Struktur Mikro

Sumber : Dokumen Pribadi



(a) AWS E 6010



(b) AWS E 6013



(c) AWS E 6016

Gambar 3.10 Bahan Uji Impak Dan Kekerasan

Sumber : Dokumen Pribadi

3.8 Pelaksanaan Pengujian

3.8.1 Pelaksanaan Pengujian

a) Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Lab. Mesin ITN Malang.

Langkah-langkah pengujian kekerasan sebagai berikut :

- Mempersiapkan bahan yang akan diuji.
- Peletakan bahan yang akan diuji pada alat uji.
- Kalibrasi alat uji kekerasan (Rockweel Hardness Tester).
- Lakukan pengukuran kekerasan.
- Baca dan catat hasil pengujian bahan.
- Pelepasan spesimen bahan.



Gambar 3.11 Rockweel Hardness Tester

Sumber : Dokumen Pribadi

b) Pengujian impact

Pengujian impact dilakukan di Lab. Mesin ITN Malang. Langkah-langkah pengujian impact sebagai berikut :

- Mempersiapkan spesimen bahan uji.
- Pasang spesimen bahan uji ke anvil.
- Atur alfa pada sudut yang sudah ditentukan.
- Lepas kunci pada hammer dari strating potition.
- Catat hasil beta pada scale pada alat uji.



Gambar 3.12 Charpy Impact Tester

Sumber : Dokumen Pribadi

c) Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan di Lab. Mesin ITN Malang. Dengan standart pengujian menggunakan ASTM E8.

Langkah – langkah pengujian tarik sebagai berikut :

- Mempersiapkan bahan uji.
- Kalibrasi alat uji tarik.
- Pasang spesimen bahan uji pada chuck alat uji tarik.
- Atur kecepatan grafik dan kecepatan penarikan.
- Jalankan mesin tarik
- Setelah terjadi patahan pada spesimen catat hasil pengujian.
- Print out hasil grafik yang diperoleh saat pengujian.

d) Pengujian mikro

Pengujian mikro dilakukan di Lab. Mesin Universitas Muhammadiyah Malang. Langkah-langkah pengujian mikro sebagai berikut :

- Mempersiapkan bahan.
- Pembentukan resin untuk spesimen bahan.
- Frinding dan polishing.
- Etching.
- Melakukan pengamatan dimikroskop dan pengambilan foto metalografi.
- Print out hasil pengujian mikro.



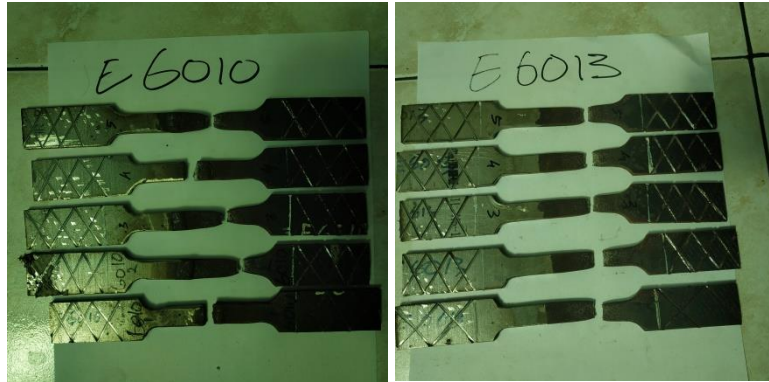
Gambar 3.13 Alat Pengamat

Sumber : Dokumen Pribadi

3.8.2 Hasil Pengujian

Adapun hasil pengujian atau kerusakan yang diakibatkan oleh pengujian yang dilakukan pada spesimen benda uji yakni sebagai berikut :

1. Pengujian tarik



(a) AWS E 6010

(b) AWS E 6013

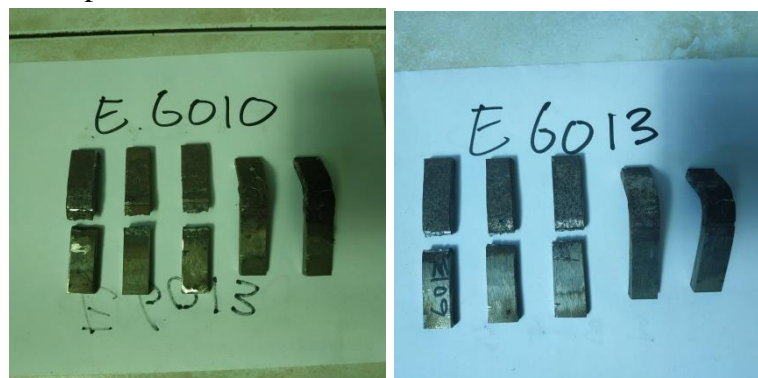


(c) AWS E 6016

Gambar 3.14 Hasil Uji Tarik

Sumber : Dokumen Pribadi

2. Pengujian impak



(a) AWS E 6010

(b) AWS E 6013



(c) AWS E 6016

Gambar 3.15 Hasil Uji Impak

Sumber : Dokumen Pribadi

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data Uji Tarik

4.1.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian sampel uji dibuat dengan tiga variasi elektroda (E 6010, E 6013, E 6016), serta masing-masing sampel dibuat rangkap tiga sebagai pembanding. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan pada tabel hasil uji tarik.

Tabel 4 . 1 Hasil Uji Tarik

No	Variasi Elektroda	Jumlah Spesimen	Area (mm ²)	Max Force (Kgf)	0,2% Y.S (Kgf/mm ²)	Tensile Strain (Kgf/mm ²)	Elongition %
1	Elektroda AWS E 6010	A	62,50	2090	28,50	33,44	21
		B	62,50	2108	27,53	33,73	18
		C	62,50	1807	9,58	28,91	13,5
		D	62,50	2109	27,06	33,74	18
		E	62,50	832	13,31	13,31	6
		Rata-rata			1789,2	21,196	28,626
2	Elektroda AWS E 6016	A	62,50	1951	22,80	31,21	18
		B	62,50	1937	22,50	30,99	16,5
		C	62,50	1912	21,61	30,59	14
		D	62,50	1965	10,82	31,44	16
		E	62,50	1981	24,26	31,70	16
		Rata-rata			1949,2	20,398	31,186
3	Elektroda AWS E 6016	A	62,50	2172	28,35	34,75	17
		B	62,50	2147	27,79	34,35	19
		C	62,50	2161	28,96	34,57	20
		D	62,50	2148	27,38	34,37	20
		E	62,50	2130	26,43	34,08	19
		Rata-rata			2151,6	28,5	34,424

Grafik 4.1 Hubungan Variasi Elektroda Terhadap Nilai T.S (Tensile Strength)



4.1.2 Analisa Dan Pembahasan Pengujian Tarik

Berdasarkan grafik 4.1 hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian tarik dimana elektroda E 6010 memiliki kekuatan tarik sebesar 28,626 kgf/mm². Pada pengelasan menggunakan elektroda E 6013 kekuatan tarik memiliki nilai sebesar 31,186 kgf/mm². Dibandingkan elektroda E 6010 dan elektroda E 6013 kecenderungan memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah. Untuk elektroda E 6016 memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dari pada elektroda E 6010 dan elektroda E 6013. Kekuatan tarik pada elektroda E 6016 memiliki kekuatan tarik dengan nilai tinggi yaitu 34,424 kgf/mm². Dari nilai kekuatan tarik grafik diatas pengelasan beda logam baja JIS G 3131 SPHC dengan baja AISI 201 SS memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi pada elektroda AWS E 6016. Dimana dari hasil uji tarik dihasilkan perpatahan spesimen pada logam induk baja, dikarenakan pada baja JIS G 3131 SPHC terdapat kandungan unsur C = 0,072%; Si = 0,011%; Mn = 0,0294%; P = 0,09%; S = 0,002%; Al = 0,030%. Sedangkan pada kandungan AISI SS 201 sebesar C = 0,15%; Cr = 16%; Ni = 3,5%; Si = 0,75%; Mn = 5,5%; P = 0,06%; S = 0,03%; N = 0,25%. Sehingga kedua unsur logam memiliki selisih kandungan

C=0,078%; Si = 0,739%; Mn = 5,206%, dan pada AISI SS 201 memiliki kandungan chrome (Cr) tinggi dan JIS G 3131 SPHC tidak memiliki kandungan tersebut. Karena kandungan karbon (C) pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, kandungan manganese (Mn) meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan ditemper dan tahan terhadap aus, sedangkan unsur silisium (Si) meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkas tahan aus, ketahanan terhadap panas dan korosi, dan unsur krom (Cr) meningkatkan kekerasan, kekuatan, ketahanan aus, kemampuan diperkeras, ketahanan panas dan karat. Data ini dapat dilihat pada Sub bab 2.7 untuk komposisi variasi elektroda, sedangkan Tabel 2.1 komposisi unsur logam Baja JIS G 3131 SPHC, dan Tabel 2.2 adalah komposisi unsur logam Baja AISI SS 201. Perbedaan komposisi unsur dari kedua logam dan komposisi elektroda tersebut sehingga mengakibatkan perpatahan terjadi pada logam baja JIS G 3131 SPHC. Pengelasan dengan menggunakan elektroda AWS E 6016 memiliki nilai uji tarik paling tinggi yaitu 34,424 kgf/mm² dikarenakan memiliki kandungan C sebesar 0,08% seperti yang tercantum dalam table 2.12, sedangkan Tabel 2.1 komposisi unsur logam Baja JIS G 3131 SPHC, dan Tabel 2.2 adalah komposisi unsur logam Baja AISI SS 201. Perbedaan komposisi unsur dari kedua logam dan komposisi elektroda tersebut sehingga mengakibatkan perpatahan terjadi pada logam baja JIS G 3131 SPHC.

4.2 Pengolahan Data Pengujian Kekerasan

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian sampel uji dibuat dengan tiga variasi elektroda (AWS E 6010, AWS E 6013, AWS E 6016), serta masing-masing sampel dibuat rangkap lima sebagai pembandingan. Pada pengujian kekerasan dilakukan pada 11 titik pengujian tiap spesimen bahan diantaranya : 1 titik pada logam induk JIS G 3131 SPHC, 3 titik pada daerah HAZ JIS G 3131 SPHC, 3 titik pada bagian daerah las an, dan 3 titik pada daerah HAZ AISI

SS 201, 1 titik pada induk logam AISI SS 201. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan pada tabel hasil uji kekerasan.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Jenis Variasi	Daerah Titik	Hasil Uji Kekerasan (HRC)					Rata-rata (HRC)
			Spesi men 1	Spesi men 2	Spesi men 3	Spesi men 4	Spesi men 5	
1	Elektroda AWS E 6010	Induk SS 201	56	71	45	63	59	59,66
		HAZ SS 201	66,66	66,33	62,66	60,33	68,66	64,928
		Daerah Las	59,66	65	60	60	76	64,132
		HAZ Baja	46	43,33	37	43,66	46,66	43,33
		Induk Baja	37	35	90	57	97	63,2
2	Elektroda AWS E 6013	Induk SS 201	50	63	54	65	65	59,4
		HAZ SS 201	65	68	75,33	78,33	82	73,732
		Daerah Las	75	78,66	77,66	48,33	80	71,93
		HAZ Baja	33	47,66	49	34,66	42	41,264
		Induk Baja	33	25	26	23	27	26,8
3	Elektroda AWS E 6016	Induk SS 201	63	66	65	68	64	65,2
		HAZ SS 201	67,33	68	69,33	76	69	69,932
		Daerah Las	74,33	73,33	82	73	79,33	76,398
		HAZZZ Baja	38,33	40	37,33	37	38,33	38,198
		Induk Baja	29	26	32	30	32	29,8

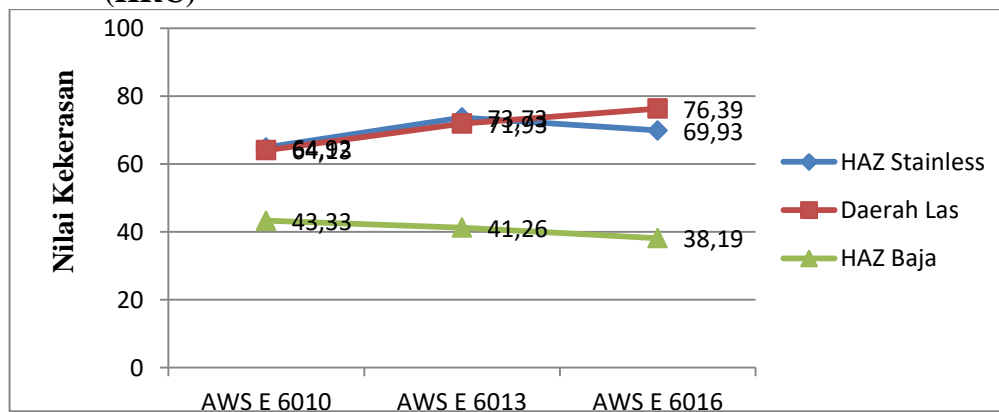
Keterangan:

SS 201 : Stainless Steel 201

Tabel 4.3 Rata-rata Hasil Pengujian Kekerasan (HRC)

No	Daerah Titik Uji	AWS E 6010	AWS E 6013	AWS E 6016
1	Induk Stainless	59,66	59,4	65,2
2	HAZ Stainless	64,92	73,73	69,93
3	Daerah Las	64,13	71,93	76,39
4	HAZ Baja	43,33	41,26	38,19
5	Induk Baja	63,2	26,8	29,8

Grafik 4.2 Hubungan Variasi Elektroda Dengan Nilai Kekerasan (HRC)



4.2.2 Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

Pada analisa grafik 4.2 diatas hubungan variasi elektroda pengelasan dan daerah titik terhadap nilai kekerasan (HRC). Didapat nilai rata-rata pada logam induk AISI SS 201 ialah 65,2 HRC sedangkan untuk JIS G 3131 SPHC memiliki nilai rata – rata 29,8 HRC. Kemudian untuk elektroda AWS E 6010 didaerah HAZ AISI SS 201 dengan nilai rata-rata kekerasan 64,92 HRC, dan pada elektroda AWS E 6013 terdapat nilai HAZ AISI SS 201 dengan nilai rata - rata 73,73 HRC. Sedangkan untuk nilai kekerasan pada elektroda AWS E 6016 lebih kecil dibandingkan kedua arus sebelumnya yang memiliki nilai kekerasan pada daerah HAZ AISI SS 201 dengan nilai rata - rata 69,93 HRC.

Untuk daerah las elektroda AWS E 6010 dengan nilai kekerasan 64,13 HRC. Pada elektroda AWS E 6013 memiliki nilai kekerasan daerah las dengan nilai kekerasan 71,93 HRC. Dan pada elektroda AWS E 6016 terdapat nilai kekerasan tertinggi pada daerah las dengan nilai 76,39 HRC. Untuk daerah kekerasan HAZ JIS G 3131 SPHC menggunakan elektroda AWS E 6010 terdapat nilai tertinggi dengan nilai 43,33 HRC. Pada elektroda AWS E 6013 terdapat nilai kekerasan pada daerah HAZ JIS G 3131 SPHC dengan nilai 41,26 HRC, dan mengalami penurunan pada daerah HAZ baja dengan nilai pada elektroda AWS E 6016 dengan nilai 38,19 HRC. Ini disebabkan karena fraksi volume pearlite yang terbentuk dapat mempengaruhi besar atau kecilnya nilai kekerasan suatu logam. Semakin besar volume pearlite yang terbentuk, nilai kekerasan akan meningkat. Sedangkan jika volume ferit semakin besar, nilai kekerasan akan menurun. secara keseluruhan, nilai volume pearlite dapat membuktikan bahwa volume pearlite dapat mempengaruhi besarnya nilai kekerasan di daerah lasan maupun di daerah HAZ. Hal tersebut dapat dibuktikan oleh hasil perhitungan volume pearlite yang akan dibahas pada sub bab 4.4 dan bisa dilihat pada gambar diagram CCT 2.5 dan grafik 4.5.

4.3 Pengolahan Data Pengujian Impak

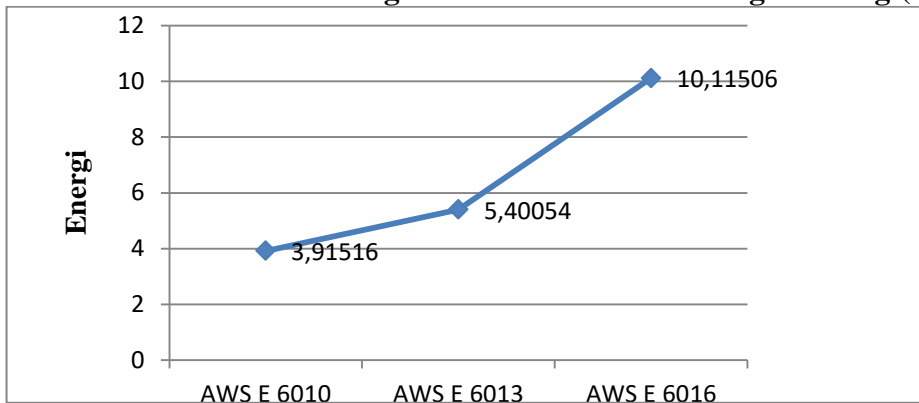
4.3.1 Data Hasil Pengujian Impak

Dari hasil pengujian sampel uji dibuat dengan tiga variasi arus (70Amp, 80Amp dan 90Amp), serta masing-masing sampel dibuat rangkap lima sebagai pembanding. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan pada tabel hasil uji impact.

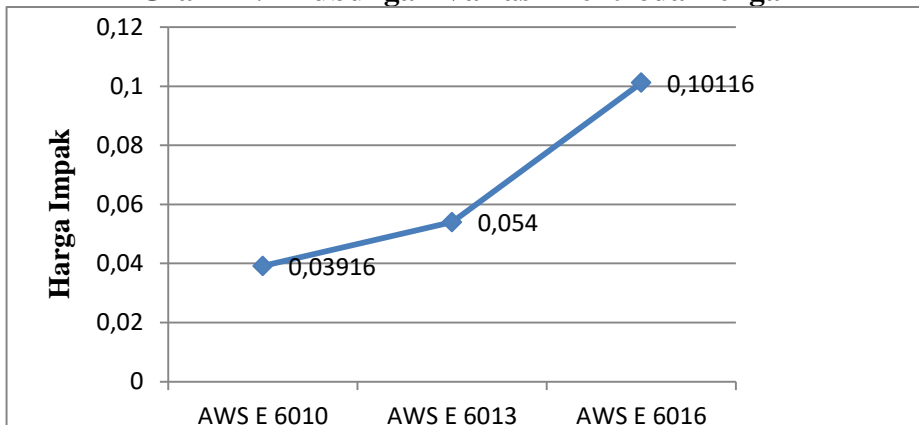
Tabel 4.4 Hasil Pengujian impact

Variasi Elektroda	Jumlah Sampel	l (mm)	b (mm)	t (mm)	h (mm)	α (°)	β (°)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm)
Elektroda AWS E 6010	1	55	10	10	10	90	83	2,0753	0,0208
	2	55	10	10	10	90	69	6,1027	0,0610
	3	55	10	10	10	90	68	6,3792	0,0638
	4	55	10	10	10	90	86	1,1879	0,0119
	5	55	10	10	10	90	77	3,8307	0,0383
	Rata-rata							76,6	3,91516
Elektroda AWS E 6013	1	55	10	10	10	90	78	3,5405	0,0354
	2	55	10	10	10	90	68	6,3792	0,0638
	3	55	10	10	10	90	63	7,7310	0,0773
	4	55	10	10	10	90	79	3,2493	0,0325
	5	55	10	10	10	90	69	6,1027	0,0610
	Rata-rata							71,4	5,40054
Elektroda AWS E 6016	1	55	10	10	10	90	63	7,7310	0,0773
	2	55	10	10	10	90	50	10,9461	0,1095
	3	55	10	10	10	90	54	10,0094	0,1001
	4	55	10	10	10	90	49	11,1721	0,1117
	5	55	10	10	10	90	51	10,7167	0,1072
	Rata-rata							53,4	10,11056

Grafik 4.3 Hubungan Variasi Elektroda Dengan Energi(Joule)



Grafik 4.4 Hubungan Variasi Elektroda Dengan HI



4.3.2 Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Impact

Berdasarkan grafik 4.3 hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian impact dimana elektroda AWS E 6010 memiliki Energi yang diserap sebesar 3,91516 Joule. Pada pengelasan elektroda AWS E 6013 memiliki Energi yang diserap sebesar 5,40054 Joule. Dan pada elektroda AWS E 6016 memiliki Energi yang diserap terbesar diantara kedua varian yakni 10,11506 Joule. Hal ini mengakibatkan selisih Energi yang diserap oleh logam pengelasan elektroda AWS 6016 dan elektroda AWS E 6010 mencapai 0,61999 Joule. Dari nilai Energi grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pengelasan beda logam baja JIS G 3131 SPHC dengan baja AISI SS 201 memiliki nilai Energi tertinggi pada elektroda 6016.

Berdasarkan grafik 4.4 hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian impact dimana elektroda AWS E 6010 memiliki Harga Impact

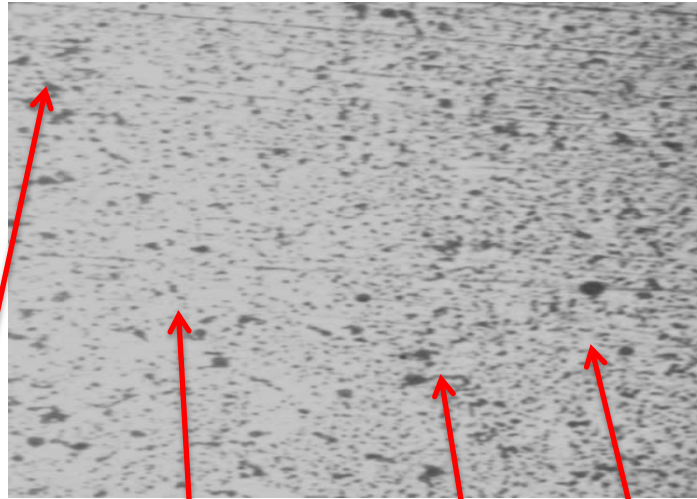
(HI) sebesar 0,03916 Joule/mm². Pada pengelasan dengan elektroda AWS E 6013 memiliki Harga Impak (HI) sebesar 0,054 Joule/mm². Dan pada elektroda AWS E 6016 memiliki Harga Impak (HI) terbesar diantara kedua varian yakni 0,10116 Joule/mm². Dari nilai Energi grafik diatas pengelasan beda logam baja JIS G 3131 SPHC dengan baja AISI SS 201 memiliki nilai HI tertinggi pada pengelasan elektroda AWS E 6016.

Berdasarkan literatur yang ada, besarnya kuat arus akan mempengaruhi masukan panas yang diterima oleh logam induk. Besarnya masukan panas akan mengakibatkan reskristalisasi butir logam sehingga ukuran butir logam akan semakin besar. Ukuran butir yang besar akan meningkatkan kekuatan impak lasan, tetapi hal tersebut dapat mengurangi nilai kekerasan lasan dan daerah HAZ. Hasil pengujian impak yang telah dilakukan tidak sesuai dengan literatur yang telah disebutkan sebelumnya. Hal ini dapat dibuktikan dengan energi impak yang cenderung menurun pada pengelasan dengan menggunakan elektroda E6010 maupun pengelasan dengan elektroda E6013 dikarenakan pengelesan yang dilakukan menggunakan arus 100 Amp. Gharibshahiyani dkk (2010) di dalam jurnalnya mengatakan bahwa pertumbuhan butir yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya nilai kekuatan dan meningkatkan inisiasi dan pertumbuhan retak pada logam. Hal tersebut dapat mempengaruhi ketangguhan retak yang mungkin timbul karena siklus pemanasan dan pendinginan.

4.4 Pengolahan Data Pengamatan Struktur Mikro

4.4.1 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Dari hasil pengujian sampel pengamatan dibuat dengan tiga variasi elektroda (AWS E 6010, AWS E 6013, AWS E 6016), serta pengamatan tiap variasi pada daerah lasan. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan dengan gambar dibawah ini :



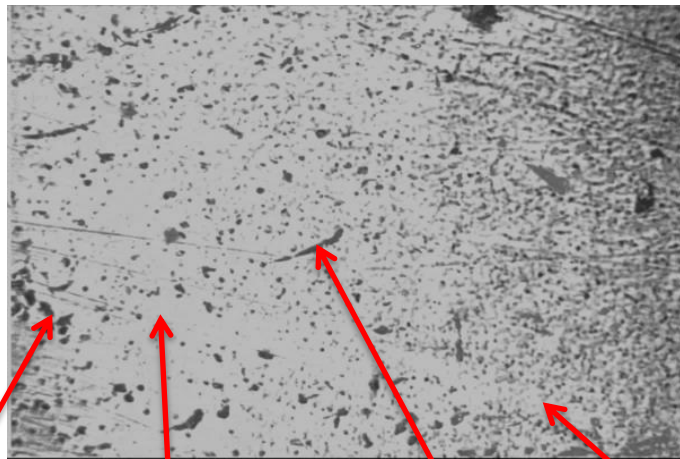
(a) AWS E 6010

Perlit

Austenit

Bainit

Ferit



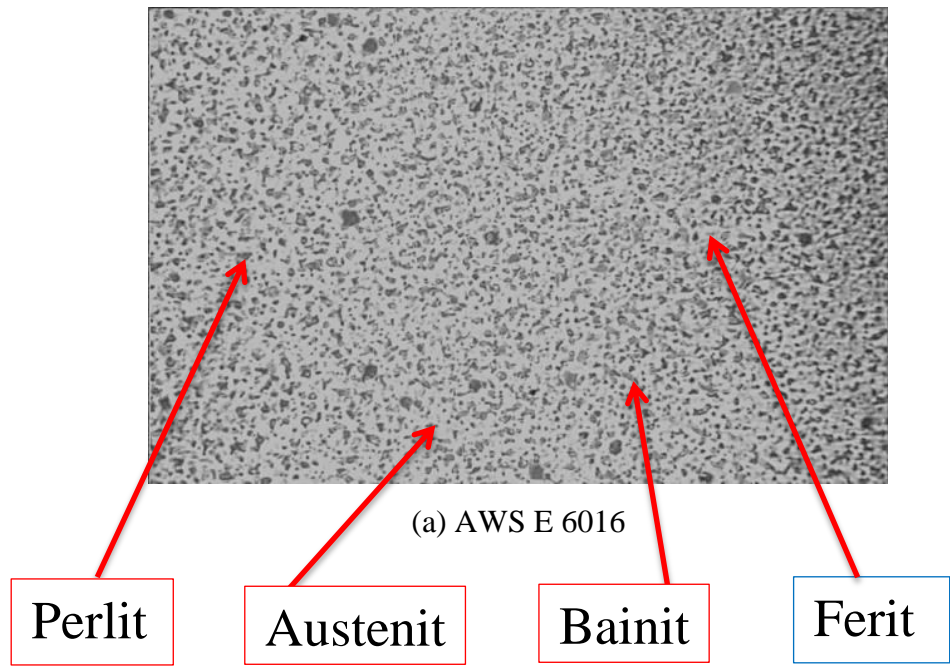
(b) AWS E 6013

Perlit

Austenit

Bainit

Ferit



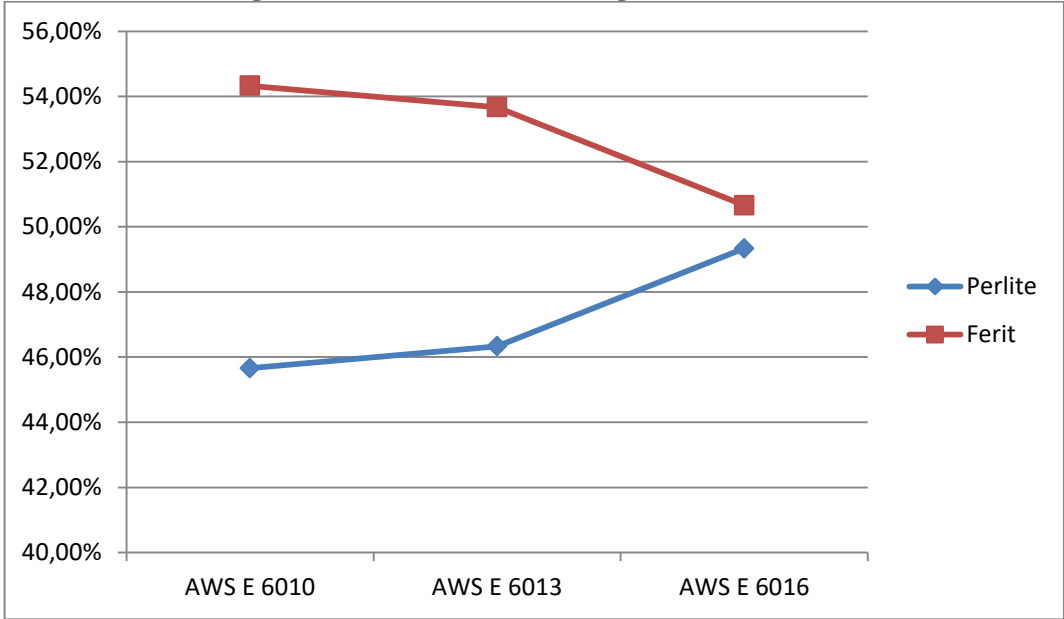
Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 4.5 rata-rata hasil pengamatan struktur mikro

No	Variasi Elektroda	Perlite	Ferit
1	AWS E 6010	45,66	54,33
2	AWS E 6013	46,33	53,67
3	AWS E 6016	49,33	50,66

Grafik 4.5 Hubungan Variasi Elektroda Dengan Perlite dan Ferit



4.4.2 Analisa Dan Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro

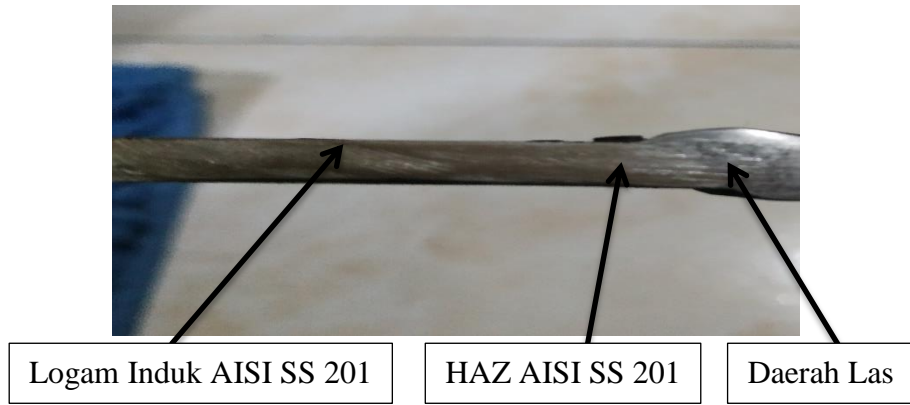
Setelah proses pengelasan yang dilanjutkan dengan pendinginan udara secara perlahan-lahan, pada Gambar 2.5 Diagram CCT dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan. Siklus termal las 1 bila baja telah mendingin sampai titik “a”, maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang berakhir pada titik “c”. Dengan hal ini dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur ferit dan perlit. Dan pada analisa yang sama setelah pendinginan akan terbentuk struktur ferit, struktur antara dan martensit.

Setelah dilakukan proses pengelasan SMAW tampak adanya perubahan jumlah perlit dan ferit setelah pengamatan struktur mikro. Dijelaskan hasil struktur perlit pada daerah las (AWS E 6010 45,66%, AWS E 6013 46,33%, AWS E 6016 49,33), struktur mikro ferit pada daerah las (AWS E 6010 54,33%, AWS E 6013 53,67%, AWS E 6016 50,66%).

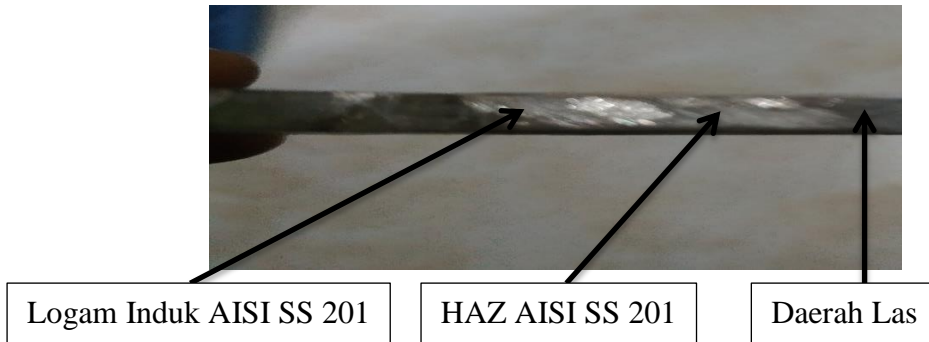
Jumlah presentase kandungan struktur perlit lebih sedikit dibandingkan dengan presentase ferit yang lebih banyak disebabkan oleh unsur karbon yang terperangkap oleh daerah lasan pada waktu didinginkan dengan udara.

Pada semua hasil foto struktur mikro dapat dilihat bertambahnya butiran perlit pada pengelasan baja JIS G 3131 SPHC dengan baja AISI SS 201. Hal ini disebabkan akibat suhu pengelasan beda logam dapat merubah butiran perlit dan ferit. Semakin sedikit jumlah presentase butiran perlit, semakin menurun pula kekuatan dari material tersebut. Karena sifat butiran perlit yang lebih kuat, keras dan sedikit getas. Sedangkan jumlah presentase struktur ferit yang ditampilkan semakin banyak dengan sifatnya lunak dan ulet yang membuat kekuatan material lebih kuat dari pada yang lebih banyak butiran perlitnya.

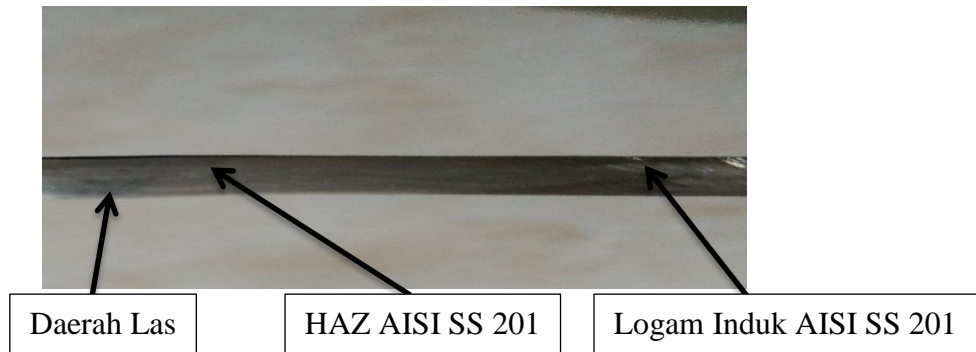
4.5 Hasil Foto Makro SS 201



(a) Elektroda AWS E 6010

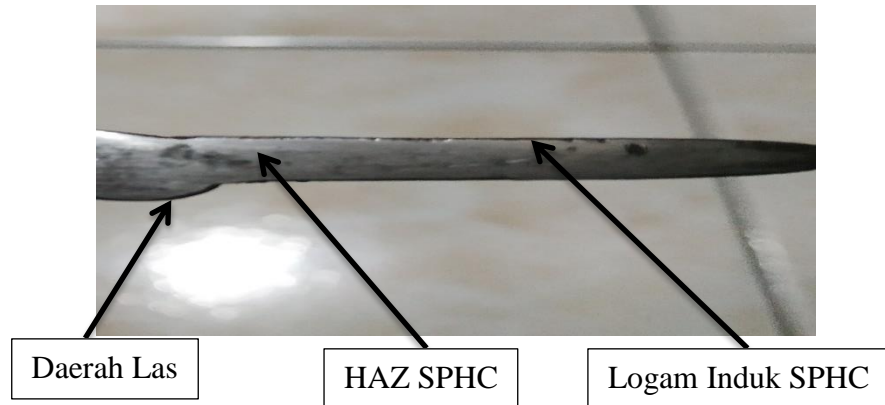


(b) Elektroda AWS E 6013

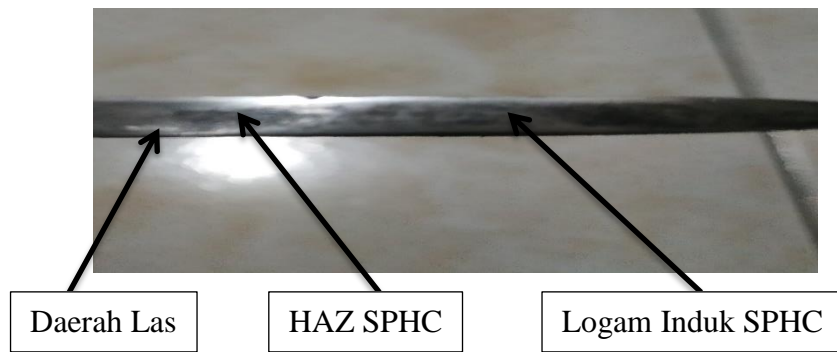


(c) Elektroda AWS E 6016

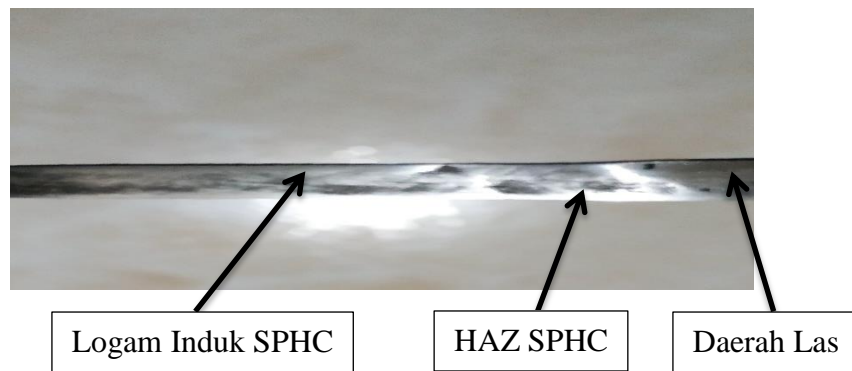
4.6 Foto Hasil Makro Baja SPHC



(a) Elektroda AWS E 6010



(b) Elektroda AWS E 6013



(c) Elektroda AWS E 6016

Gambar 4.2 Hasil Foto Makro

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan yaitu pengaruh variasi elektroda terhadap pengelasan beda logam JIS G 3131 SPHC dan AISI SS 201 terhadap poros penahan sirip kapal dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan dengan menggunakan elektroda AWS E 6016 memiliki nilai uji tarik paling tinggi yaitu 34,424 kgf/mm² dikarenakan memiliki kandungan C sebesar 0,08% seperti yang tercantum dalam table 2.12.
2. Untuk nilai hasil uji kekerasan elektroda AWS E 6010 memiliki nilai HAZ baja paling tinggi yaitu 43,33 HRC, akan tetapi memiliki nilai pada daerah las paling rendah dengan nilai 64,13 HRC sedangkan nilai rata-rata tertinggi uji kekerasan ialah pengelasan menggunakan elektroda AWS E 6016 dengan nilai kekerasan mencapai 76,39 HRC.
3. Dari hasil pengujian impak dalam satuan energy (joule) dan HI telah didapat nilai paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan dengan elektroda AWS E 6016 yaitu 10,11506 untuk satuan energy (joule) dan 0,10116 untuk HI.
4. Dapat disimpulkan bahwa setelah pengelasan SMAW terlihat adanya perubahan jumlah perlit dan ferit setelah pengamatan struktur mikro. Dengan hasil pengamatan pada daerah las yaitu las (AWS E 6010 45,66%, AWS E 6013 46,33%, AWS E 6016 49,33), struktur mikro ferit pada daerah las (AWS E 6010 54,33%, AWS E 6013 53,67%, AWS E 6016 50,66%).

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, peneliti mengajukan beberapa saran:

1. Menambahkan proses Hardening untuk meningkatkan kekerasan pada spesimen setelah proses pengelasan.
2. Sebaiknya materi siklus thermal las dimasukkan kedalam materi perkuliahan dengan porsi yang memadai.

Daftar Pustaka

- Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura, 2008, Teknologi Pengelasan Logam, PT Balai Pustaka (Persero), Jakarta.
- Supardi, E., 1996, Pengujian Logam, Angkasa, Bandung.
- Widharto, S. Teknologi dan Proses Pengelasan. Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Bandung.
- Jokosisworo, S., 2009, Pengaruh Besar Arus Listrik dengan Menggunakan Elektroda SMAW Terhadap Kekuatan Sambungan Las Butt Joint pada Plat Mild Steel.
- Sonawan, H., Suratman, R., 2004, Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam, Alfa Beta, Bandung.
- Laurence H. Van Vlack, 1995, Ilmu Dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta.
- Syamsul Hadi, 2016, Teknologi Bahan, CV Andi Offset, Yogyakarta.
- Arifin, S, 1997, Las Listrik dan Otogen, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Amanto, H. dan Daryanto, 1993, Ilmu Bahan, Bumi Aksara, Jakarta.
- Sonawan, H., Suratman, R., 2004, Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam, Alfa Beta, Bandung.
- Widharto, Sri. 2007, Inspeksi Teknik Buku 6, Pradnya Paramita, Jakarta.

Lampiran