



TUGAS AKHIR –TL184834

REVIEW

**PENGARUH PENGELASAN SMAW DI LINGKUNGAN
DARAT DAN BAWAH AIR TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN KEKERASAN**

**PRAWIRA AZIZ CENDEKIAWAN
NRP. 02511640000151**

**Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR–TL 184834

REVIEW: PENGARUH PENGELASAN SMAW DI LINGKUNGAN DARAT DAN BAWAH AIR TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN

PRAWIRA AZIZ CENDEKIAWAN
NRP. 02511640000151

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT–TL 184834

**REVIEW: THE EFFECT OF SMAW WELDING ON-LAND
AND UNDERWATER ENVIRONMENT TO
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS**

PRAWIRA AZIZ CENDEKIAWAN
NRP. 02511640000151

Advisor

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**REVIEW: PENGARUH PENGELASAN SMAW DI DARAT
DAN DI BAWAH AIR TERHADAP STRUKTUR MIKRO
DAN KEKERASAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PRAWIRA AZIZ CENDEKIAWAN

NRP 02511640000151

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. (Pembimbing II)



SURABAYA
Agustus 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW: PENGARUH PENGELASAN SMAW DI DARAT DAN DI BAWAH AIR TERHADAP MIKRO STRUKTUR DAN KEKERASAN

Nama : Prawira Aziz Cendekiawan
NRP : 0251164000151
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing 1 : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstrak

Struktur bangunan lepas pantai lambat laun akan mengalami kerusakan. Dalam proses perbaikannya banyak melibatkan proses pengelasan baik di darat maupun di bawah air. Apabila terjadi kerusakan di bawah air maka diperlukan teknologi pengelasan bawah air untuk memperbaikinya. Pengelasan wet welding dengan metode SMAW banyak digunakan dalam proses pengelasan bawah air karena lebih ekonomis dan peralatan yang fleksibel sehingga memungkinkan welder untuk langsung melakukan proses pengelasan di bawah air. Dalam paper review ini mengkaji pengaruh pengelasan SMAW di darat dan di bawah air terhadap struktur mikro dan kekerasan. Dari hasil paper review didapatkan perubahan struktur mikro dimana hasil pengelasan SMAW di bawah air memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan persentase perlit yang lebih tinggi. Pengelasan SMAW bawah air juga mempengaruhi nilai kekerasan dimana kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan di darat.

Kata Kunci: *Kekerasan, Metalografi, Pengelasan bawah air, SMAW*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW: THE EFFECT OF SMAW WELDING ON-LAND AND UNDERWATER ENVIRONMENT TO MICROSTRUCTURE AND HARDNESS

Student Name : Prawira Aziz Cendekiawan
NRP : 0251164000151
Department : Material and Metallurgical Engineering
Advisor 1 : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Advisor 2 : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstract

Offshore building structures will eventually suffer damage. In the process of improvement many involve welding processes both on land and underwater. For occasional case of underwater damage, it is required a special needs underwater technology to fix it. By using a wet welding technique with SMAW Method is a common widely used in the underwater welding process, which are the processes have lots of benefits, such as the economical cost and flexible equipments are allows the welder to directly perform the process of processing in underwater condition. In this paper review did examine the influence of SMAW welding both on land and underwater against micro structures and hardness. From the paper review obtained changes in the micro structure where the welding result of SMAW underwater has a smaller grain size and more percentage of perlite. The underwater SMAW welding also affects the value of hardness where the hardness is higher than on land.

Keywords: *Hardness, Metalografi, SMAW, Underwater Welding*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan baik dan tepat waktu.

Selama penyusunan laporan ini, penulis mendapat bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada kepada:

1. Allah SWT yang memberikan ilmu, kesempatan, kesehatan, dan kelancaran dalam serangkaian tugas akhir.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan dorongan dan motivasi.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, PhD. Selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
4. Bapak Wikan jatimurti, S.T., M.Sc. dan Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir.

Penulis mengharapkan kritik dan saran membangun supaya mampu memberikan manfaat dan pengembangan di masa mendatang.

Surabaya, 2020
Penulis

Prawira Aziz Cendekiawan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Review.....	2
1.5 Manfaat Review.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengelasan.....	5
2.2 Pengelasan Bawah Air (<i>Underwater welding</i>).....	5
2.3 Pengelasan <i>Shielded Metal Arc Welding</i>	6
2.4 Baja.....	7
2.5 Perbedaan Pengelasan di Darat dengan di Bawah Air.....	8
2.6 Pengujian Kekerasan.....	8
2.7 Pengujian Metalografi.....	10
BAB III METODOLOGI REVIEW JURNAL	13
3.1 Diagram Alir.....	13
3.2 Tabel Bahan dan Metode.....	15
BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil Data.....	19
4.1.1 Hasil Struktur Mikro pada <i>Paper Review</i>	19
4.1.2 Hasil Nilai Kekerasan pada <i>Paper Review</i>	42
4.2 Pembahasan.....	50
4.2.1 Analisis Struktur Mikro.....	50
4.2.2 Analisis Kekerasan.....	52

4.3	Kritisi Jurnal.....	55
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Macam – macam pengelasan bawah air	6
Gambar 2. 2	Ilustrasi pengelasan SMAW.....	6
Gambar 2. 3	Indentor uji Vickers	9
Gambar 2. 4	Indentor uji Brinell.....	10
Gambar 3. 1	Diagram alir <i>paper review</i>	14
Gambar 4. 1	Foto mikro <i>base metal</i> pengelasan SMAW di darat	20
Gambar 4. 2	Foto mikro <i>base metal</i> pengelasan SMAW di bawah air.....	21
Gambar 4. 3	Foto mikro HAZ pengelasan di darat.....	22
Gambar 4. 4	Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di bawah air.....	23
Gambar 4. 5	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di darat	24
Gambar 4. 6	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di bawah air.....	25
Gambar 4. 7	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di darat	26
Gambar 4. 8	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di bawah air	27
Gambar 4. 9	Foto mikro <i>base metal</i> pengelasan SMAW di darat	28
Gambar 4. 10	Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di darat	29
Gambar 4. 11	Foto mikro HAZ pengelasan di bawah air	30
Gambar 4. 12	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di darat	31
Gambar 4. 13	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di bawah air.....	32
Gambar 4. 14	Foto mikro <i>base metal</i> pengelasan SMAW di darat	33
Gambar 4. 15	Foto mikro <i>base metal</i> pengelasan SMAW di bawah air.....	34

Gambar 4. 16	Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di darat	34
Gambar 4. 17	Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di bawah air.....	35
Gambar 4. 18	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di darat	36
Gambar 4. 19	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di bawah air.....	36
Gambar 4. 20	Foto mikro pengelasan SMAW di darat (a) <i>weld metal</i> (b) <i>base metal</i> (c) HAZ (Yanek, 2013)	37
Gambar 4. 21	Foto mikro pengelasan SMAW di bawah air (a) <i>weld metal</i> (b) <i>base metal</i> (c) HAZ	38
Gambar 4. 22	Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di darat	39
Gambar 4. 23	Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di bawah air.....	40
Gambar 4. 24	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di darat	41
Gambar 4. 25	Foto mikro <i>weld metal</i> pengelasan SMAW di bawah air.....	42
Gambar 4. 26	Lokasi pengujian kekerasan spesimen uji	43
Gambar 4. 27	Grafik perbandingan nilai kekerasan hasil las	45
Gambar 4. 28	Titik pengujian kekerasan spesimen uji	46
Gambar 4. 29	Grafik perbandingan nilai kekerasan.....	48
Gambar 4. 30	Grafik perbandingan nilai kekerasan hasil las	49
Gambar 4. 31	Grafik perbandingan nilai kekerasan hasil las	50
Gambar 4. 34	Grafik perbedaan nilai kekerasan menurut (a) Anggraeni, 2016 (b) Kelvin, 2016 (c) Muhayat, 2020 (d) Kalila, 2017	53
Gambar 4. 35	Porositas pada daerah <i>weld metal</i>	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel bahan dan metode	15
Tabel 3. 2 Komposisi kimia bahan	17
Tabel 3. 3 Tabel ruang lingkup pembahasan	17
Tabel 4. 1 Hasil uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan darat	43
Tabel 4. 2 Hasil Uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan bawah air.....	44
Tabel 4. 3 Hasil uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan darat	46
Tabel 4. 4 Hasil uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan bawah air.....	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan lepas pantai merupakan bangunan yang dibangun di lepas pantai dengan tujuan untuk mendukung proses eksplorasi dan eksploitasi. Pada umumnya bangunan lepas pantai dirancang untuk tahan selama 20 tahun. Namun, bukan tidak mungkin sebelum jangka waktu tersebut kontruksi mengalami kerusakan. Kerusakan pada bangunan lepas pantai dapat terjadi di atas maupun di bawah permukaan air. Apabila kerusakan terjadi di atas permukaan air maka proses perbaikan tidak terlalu rumit, tetapi bila kerusakan terjadi di bawah garis permukaan air maka diperlukan teknologi bawah air dalam proses perbaikannya (Herman, 2010)

Proses pengelasan bawah air merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan lepas pantai, kapal, dan kontruksi-konstruksi lainnya yang berada di bawah permukaan air. Pengelasan bawah air dilakukan dengan pertimbangan kedaruratan, efisiensi, dan keterbatasan waktu (Ferdy, 2017). Terdapat 3 metode dalam pengelasan bawah air, yaitu: *wet welding*, *local dry chamber*, dan *dry welding*. Namun dari 3 metode tersebut *wet welding* lebih umum dilakukan karena biaya produksi ekonomis dan peralatan yang digunakan lebih fleksibel sehingga memungkinkan penyelam untuk melaksanakan proses pengelasan di dalam air.

Pengelasan yang paling banyak digunakan saat ini adalah pengelasan dengan cara busur listrik terlindungi (Wiryosumarto, 2008). Pengelasan bawah air (*underwater welding*) khususnya metode *wet welding* umum dilaksanakan dengan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau biasa disebut pengelasan busur las terbungkus. Berbeda dengan pengelasan SMAW pada kondisi atmosferik, elektroda yang akan digunakan pada pengelasan SMAW bawah air terlebih dahulu dibungkus dengan lapisan polimer (*Waterproof*) agar fluks tidak

kontak langsung dengan air. Apabila fluks kontak dengan air maka penyalaan busur menjadi sulit, fluks menjadi rusak dan proses pengelasan akan gagal (Ferdy, 2017).

Hasil las yang baik sangat penting perannya dalam perbaikan menggunakan teknik pengelasan bawah air, ini dibuktikan dengan meningkatnya penelitian tentang hasil las pada pengelasan bawah air. Dalam *review* ini membandingkan hasil las dari pengelasan SMAW di darat dan di bawah air, yang kemudian dapat ditarik kesimpulan pengaruh pengelasan SMAW di darat dan di bawah air terhadap struktur mikro dan kekerasan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pengelasan SMAW pada lingkungan darat dan bawah air terhadap mikro struktur?
2. Bagaimana pengaruh pengelasan SMAW pada lingkungan darat dan bawah air terhadap sifat kekerasan?

1.3 Batasan Masalah

Supaya diperoleh hasil akhir yang baik serta tidak menyimpang dari permasalahan, maka batasan masalah pada pembahasan ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan dalam bentuk *paper review*
2. Proses Pengelasan sesuai dengan WPS (*welding procedure specification*) dan PQR (*procedure qualification record*)

1.4 Tujuan Review

Dengan adanya rumusan masalah di atas, maka dapat ditarik tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pengelasan SMAW pada lingkungan darat dan bawah air terhadap struktur mikro.
2. Menganalisis pengaruh pengelasan SMAW pada lingkungan darat dan bawah air terhadap kekerasan.

1.5 Manfaat Review

Didapatkan sejumlah data hasil dari pengelasan SMAW di darat dan di bawah air yang dimana data tersebut diharapkan bisa digunakan oleh dunia industri ataupun digunakan oleh dunia akademis untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

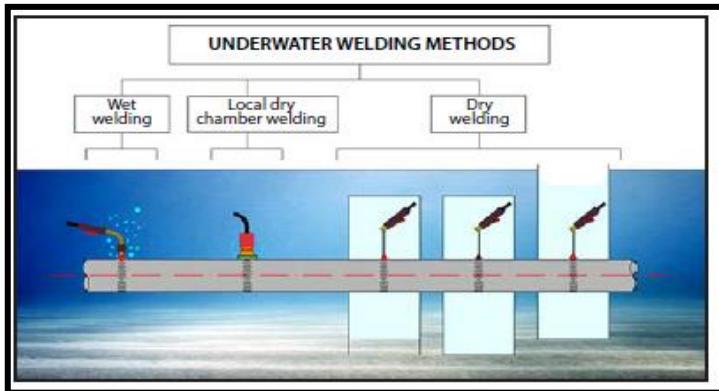
2.1 Pengelasan

Definisi pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (AWS D1.1, 2002). Menurut Agraeni (2016), dalam proses penyambungan ini ada kalanya disertai material tambahan (*filler material*). Pengelasan merupakan metode penyambungan material paling populer di dalam dunia industri dan konstruksi. Keuntungan dari pengelasan:

1. Sambungan las memberikan kekuatan yang relatif sama dengan logam aslinya
2. Mudah mendesain sambungan dan sangat fleksibel
3. Dapat dipakai disegala tempat dan posisi manapun
4. Dapat digunakan untuk menyambung sebagian besar logam komersil

2.2 Pengelasan Bawah Air (*Underwater welding*)

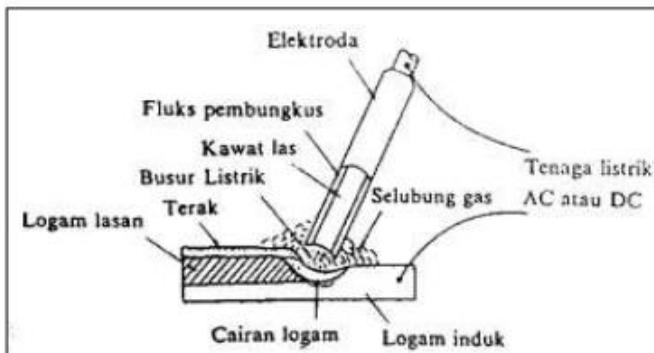
Pengelasan bawah air umumnya diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan *area*, yaitu pengelasan bawah (*wet welding*) dan kering (*dry welding*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. pada *wet welding* pengelasan dilaksanakan dimana *welder*, benda kerja dan elektroda kontak langsung dengan air, sedangkan untuk pengelasan kering membutuhkan *chamber* untuk memisahkan antara pengelasan dengan air. Metode berikutnya adalah pengelasan *local dry-chamber*. Metode ini membutuhkan volume *chamber* yang lebih kecil, tujuannya untuk memisahkan sementara busur listrik dan benda kerja dari lingkungan air.



Gambar 2. 1 Macam – macam pengelasan bawah air
(Ferdy, 2017)

2.3 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding*

Proses pengelasan *shielded metal arc welding* (SMAW) umumnya disebut las listrik. Gambar 2.2 merupakan ilustrasi dari pengelasan SMAW.



Gambar 2. 2 Ilustrasi pengelasan SMAW
(Anggraeni, 2016)

Proses pengelasan menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Panas tersebut ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Panas yang timbul dari lonjakan ion listrik dapat mencapai 4000°C sampai 4500°C. Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut *welder* harus menarik elektrode sehingga terbentuk busur listrik yaitu lonjakan ion yang menimbulkan panas. Panas akan mencairkan electrode dan material dasar sehingga cairan electrode dan cairan material dasar akan menyatu berbentuk logan lasan.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC), dan mesin las arus ganda yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) maupun dengan arus bolak-balik (AC). Mesin las DC dapat digunakan dengan 2 cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik lebur bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk negative (Anggraeni, 2016).

2.4 Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran bijih besi yang kadarnya ditekan serendah mungkin. Sebagian lagi unsur yang digunakan pada

proses pembuatan besi atau baja. Selain itu, sering kali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam paduan untuk memperoleh sifat tertentu sehingga jenis baja akan beragam.

Baja digolongkan menjadi tiga jenis berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu: baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel/Mild Steel*) merupakan baja karbon yang mempunyai kadar karbon maksimal 0.30%. Jenis baja ini umum digunakan sebagai konstruksi bangunan, rangka kendaraan, pipa, lambung kapal dan masih banyak lagi. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah dan lunak tetapi memiliki keuletan yang tinggi (Kelvin, 2016)

2.5 Perbedaan Pengelasan di Darat dengan di Bawah Air

Pada pengelasan bawah air membutuhkan arus listrik yang lebih besar jika dibandingkan dengan pengelasan di permukaan, sehingga mendapatkan *heat input* yang lebih tinggi. Ukuran lasan (*weld nugget*) umumnya relatif sama untuk pengelasan bawah air (*Underwater Welding*) dan pengelasan di atmosferik. Akan tetapi, pengelasan basah (*wet welding*) memiliki lasan lebih kecil dan penguatan lebih tinggi daripada pengelasan di darat. Bentuk lasan antara pengelasan di darat dengan pengelasan bawah air tidak berbeda. Ini membuktikan bahwa efek kritis dari air hanya mulai saat cairan las mulai membentuk dan membeku. HAZ pada pengelasan bawah air berkurang 30 sampai 50% jika dibandingkan dengan pengelasan di darat, hal ini menunjukkan bahwa panas menghilang dengan cepat dari *base metal*. Lasan bawah air memiliki bentuk lebih lebar dan kurang penetrasi dari hasil pengelasan di darat. Struktur HAZ cenderung berubah dalam pengelasan bawah air dan tidak seperti pengelasan di darat yang lebih homogen. Lebar HAZ untuk pengelasan di darat 20 sampai 50% lebih lebar dari pengelasan bawah air (Ferdy, 2017).

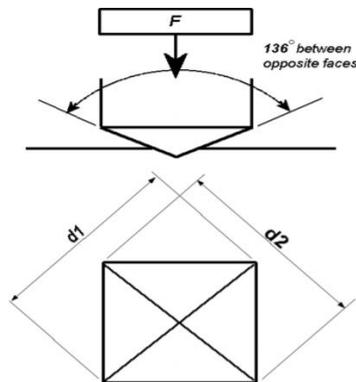
2.6 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material penting diketahui nilainya

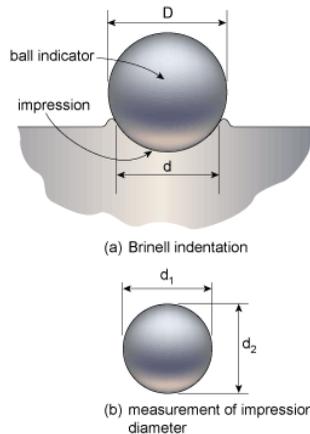
terlebih untuk material yang dalam penggunaannya mengalami gesekan dan deformasi plastis. Lebih ringkasnya kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi.

Terdapat 3 skala kekerasan yaitu Brinell, Rockwell, atau Vickers. Perbedaan yang mencolok dari ketiga skala tersebut adalah pada beban dan bentuk indenter yang digunakan. Ketiga skala tersebut memiliki kelebihan masing-masing dimana Rockwell memberikan kesalahan operator yang lebih kecil karena tidak perlu mikroskop, Brinell dapat dengan mudah dikonversikan kedalam kekuatan ultimatenya, sedangkan untuk Vickers hanya membutuhkan satu *setup* pengujian untuk semua material.

Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter berbentuk piramida yang terbuat dari intan dengan bentuk dasar bujur sangkar dengan besar sudut 136° terhadap kesua sisi yang berhadapan. Besar sudut tersebut digunakan karena merupakan perkiraan rasio terideal indentasi diameter bola uji Brinell. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg disesuaikan dengan tingkat kekerasan material spesimen. Uji kekerasan Vickers sesuai dengan standar ASTM E93. Gambar 2.3 merupakan bentuk dari indenter uji Vickers dan Gambar 2.4 merupakan bentuk indenter uji Brinell.



Gambar 2. 3 Indenter uji Vickers (Anggraeni, 2016)



Gambar 2. 4 Indentor uji Brinell (Anggraeni,2016)

2.7 Pengujian Metalografi

Struktur mikro dapat mempengaruhi sifat mekanis dari suatu material disamping komposisi kimianya. Pengujian metalografi suatu cara untuk melihat struktur mikro dari suatu material. Pengamatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron. Material yang akan dilakukan pengujian metalografi harus melewati preparasi spesimen terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengamatan.

Pengujian mikro merupakan pengujian mengenai struktur bahan menggunakan mikroskop elektron. Dengan dilakukannya pengujian struktur mikro, proses perlakuan panas, bentuk dan ukuran kristal, serta kerusakan material akibat deformasi dapat diamati. Terdapat 4 tahapan saat melakukan preparasi spesimen uji metalografi yaitu, proses mounting, grinding, polishing dan etsa.

Pada dasarnya pengujian metalografi adalah dengan melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam dari suatu material yang akan diuji sehingga akan terjadi gambar gelap atau terang. Semakin tidak rata permukaan logam tersebut maka semakin sedikit intensitas sinar yang dipantulkan sehingga kita melihatnya akan semakin gelap. Sebaliknya, apabila permukaan

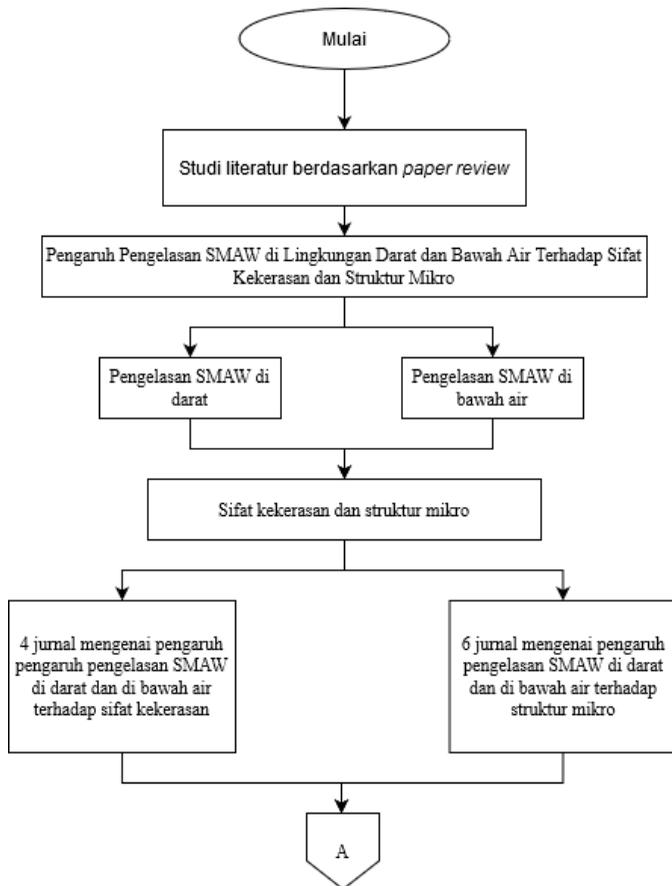
material tersebut rata atau hanya sedikit yang terkorosi akibat larutan etsa maka akan semakin terang.

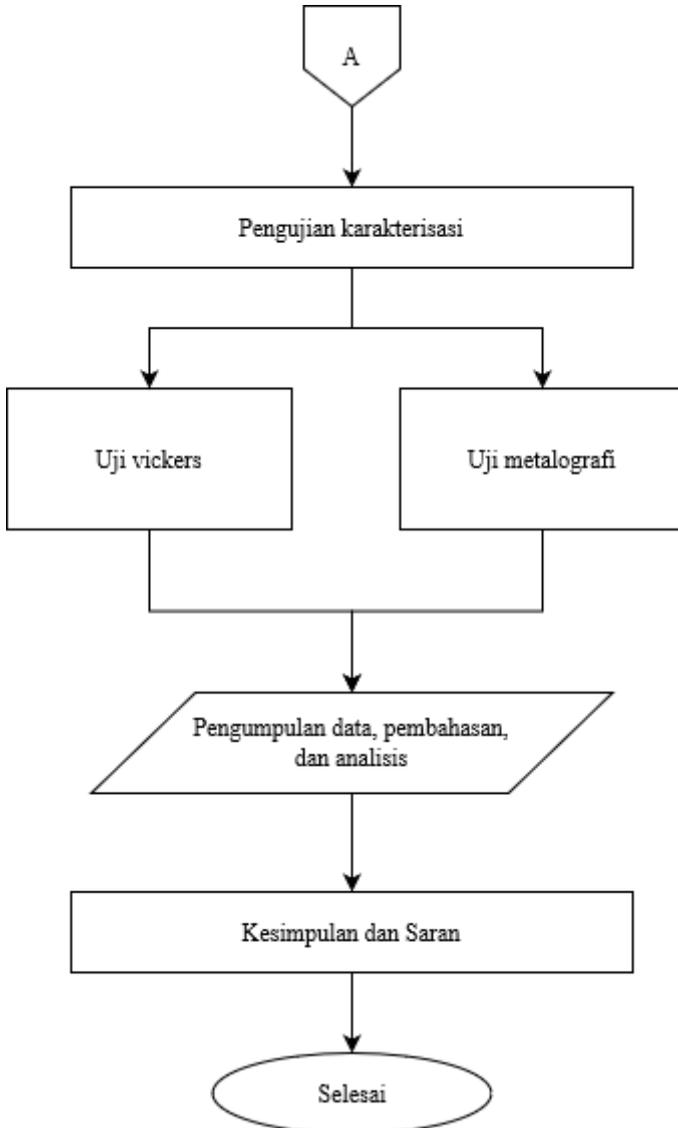
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI REVIEW JURNAL

3.1 Diagram Alir

Pada *review* jurnal ini terkumpulkan sebanyak 10 jurnal yang meliputi pengaruh lingkungan pengelasan SMAW di darat dan di bawah air terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada baja karbon rendah yang akan diuji untuk menganalisis pengaruh dari lingkungan terhadap pengelasan tersebut.





Gambar 3. 1 Diagram alir *paper review*

3.2 Tabel Bahan dan Metode

Tabel 3. 1 Tabel bahan dan metode

Topik	Parameter Pengelasan	Lingkungan	Referensi
Perbandingan proses pengelasan SMAW di darat dan di bawah air terhadap ketahanan uji bending material A36	Material: Plat ASTM A36 Panjang: 300 mm Lebar: 150 mm Tebal: 10 mm Kampuh: <i>Single V-grove</i> Arus: 80 A <i>Voltage</i> : 22 V Filler: E6013 Diameter Filler: 2,6 mm <i>Welding Position</i> : 1G	Di darat dan di bawah air	Anggraeni, 2016
Perbandingan sifat lasan SMAW dan GMAW pada plat A36 di lingkungan darat dan bawah air	Material: Plat ASTM A36 Panjang: 150 mm Lebar: 200 mm Tebal: 10 mm Kampuh: <i>Single V-groove</i> Arus: 120 A <i>Voltage</i> : 24 V Filler: E6013 Diameter filler: 2,6 mm <i>Welding Position</i> : 1G	Di darat dan di bawah air	Kelvin, 2016
Pengaruh pengelasan SMAW bawah air terhadap ketahanan <i>fatigue</i> baja SS400	Material: Silinder SS 400 Diameter material: 18 mm Kampuh: <i>Single V-groove</i> Arus: 90 A <i>Voltage</i> : Tidak disebutkan Filler: E6014 Diameter filler: 3,2 mm <i>Welding position</i> : 1G	Di darat dan di bawah air	Muhayat, 2020

<p>Analisa kekuatan hasil sambungan las SMAW baja ST 37 di dalam air dan di darat</p>	<p>Material: Plat ST 37 Tebal: 5 mm Kampuh: <i>Square butt joint</i> Arus: 140 A <i>Voltage</i>: Tidak disebutkan Filler: E6013 Diameter filler: 2,6 mm <i>Welding position</i>: 1G</p>	<p>Di darat dan di bawah air</p>	<p>Tommy, 2016</p>
<p>Analisa perbandingan laju korosi pelat ASTM A36 antara pengelasan di darat dan di bawah air</p>	<p>Material: Plat ASTM A 36 Panjang: 400 mm Lebar: 100 mm Tebal: 8 mm Kampuh: <i>Single V-groove</i> Arus: Tidak disebutkan <i>Voltage</i>: Tidak disebutkan Filler: E6013 Diameter filler: 2,6 mm <i>Welding position</i>: 1G</p>	<p>Di darat dan di bawah air</p>	<p>Yanek, 2013</p>
<p>Analisis <i>underwater welding</i> dengan variasi elektroda terhadap uji <i>impact</i></p>	<p>Material: plat ASTM A 36 Panjang: 250 mm Lebar: 150 mm Tebal: 12 mm Kampuh: <i>Single V-groove</i> Arus: 120 A <i>Voltage</i>: 30 V Filler: E6013 Diameter filler: 2,6 mm <i>Welding position</i>: 1G</p>	<p>Di darat dan di bawah air</p>	<p>Kalila, 2017</p>

Tabel 3. 2 Komposisi kimia bahan

Material	C	Mn	P	S	Si	Cu	Standarisasi
	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	
	%						
ASTM A36	0,25	1,20	0,04	0,05	0,40	0,20	ASTM A36 (2004)
SS400	0,22	0,60	0,05	0,05	0,70	-	JIS G 3101 (2010)
ST 37	0,20	-	0,05	0,05	-	-	DIN 17 100 (1980)

Tabel 3. 3 Tabel ruang lingkup pembahasan

Pengujian		Referensi
Metalografi	Kekerasan	
√	√	Anggraeni, 2016
√	√	Kelvin, 2016
√	√	Muhayat, 2020
√	-	Tommy, 2016
√	-	Yanek, 2013
√	√	Kalila, 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DATA DAN PEMBAHASAN

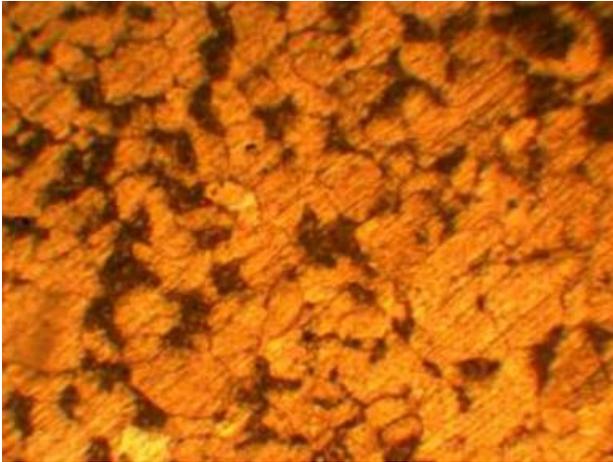
4.1 Hasil Data

Pada *paper review* ini dilakukan analisis data berbasis seperti berikut

4.1.1 Hasil Struktur Mikro pada *Paper Review*

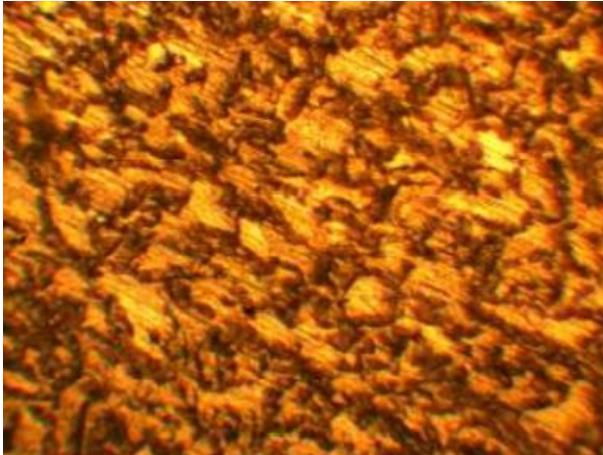
Pada *paper review* ini dilakukan pengamatan struktur mikro dengan tujuan untuk menganalisis fasa apa saja yang terbentuk dari hasil pengelasan SMAW di lingkungan darat dan di bawah air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Anggraeni, 2016) memiliki parameter yang sama antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air yaitu menggunakan plat baja jenis *mild steel* ASTM A36 dengan panjang 300 mm, lebar 150 mm, dan tebal 10 mm. Model kampuh yang digunakan jenis *Single V-groove* dengan posisi pengelasan 1G (datar). Elektroda yang digunakan adalah jenis E6013 berdiameter 2,6 mm. menggunakan jenis arus DC dengan arus 80 A dan *voltage* 22 V. Uji metalografi yang dilakukan oleh (Anggraeni, 2016) sesuai dengan ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Struktur mikro yang diambil yaitu pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Perbesaran yang digunakan yaitu 100x dan 400x.



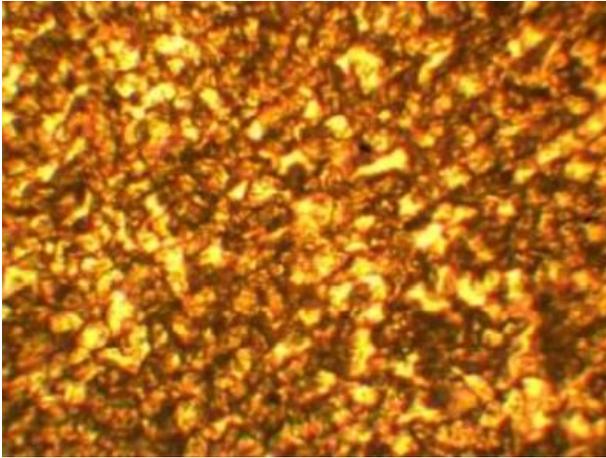
Gambar 4. 1 Foto mikro *base metal* pengelasan SMAW di darat (Anggraeni, 2016)

Gambar 4.1 merupakan foto mikro dari *base metal* pengelasan SMAW di darat yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016). Dapat dilihat struktur mikro yang terbentuk pada *base metal* terdiri dari fasa ferit dan perlit. Butir ferit bentuknya pipih dan berwarna terang sedangkan perlit berwarna gelap. Butir ferit cenderung lunak sedangkan butir perlit cenderung keras. Pada penelitian yang dilakukan (Anggraeni, 2016) juga menganalisis persentase dari masing-masing fasa yang terbentuk. Persentase untuk fasa ferit sebesar 75,44% sedangkan fasa perlit 24,56% pada base metal.



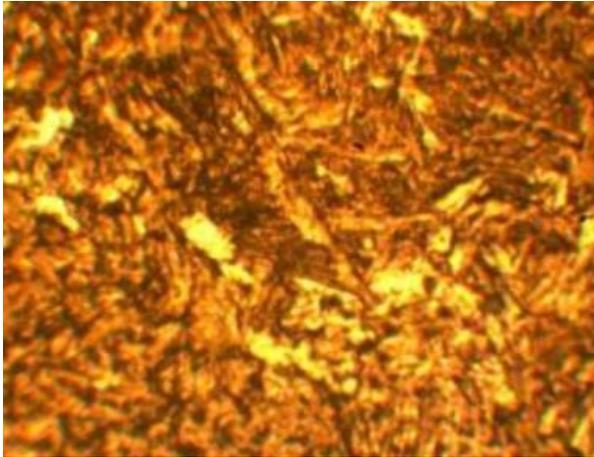
Gambar 4. 2 Foto mikro *base metal* pengelasan SMAW di bawah air (Anggraeni, 2016)

Pada Gambar 4.2 yang merupakan foto mikro dari *base metal* pengelasan SMAW di bawah air yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016) tampak kristalisasi antara ferit dan perlit. Butir perlit berwarna gelap dan ferit berwarna terang. Pada *base metal*, persentase struktur mikro ferit sebesar 74,89% dan perlit sebesar 25,11%. Tidak terlalu banyak perubahan yang dialami dari *base metal* yang di las pada bawah air dengan di darat.



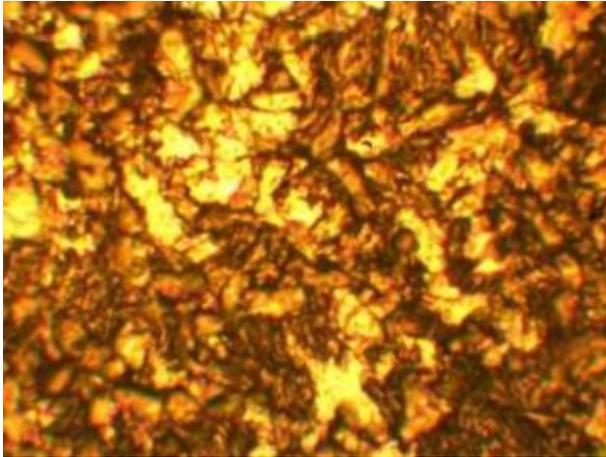
Gambar 4. 3 Foto mikro HAZ pengelasan di darat (Anggraeni, 2016)

Gambar 4.3 merupakan hasil foto mikro dari daerah HAZ pengelasan SMAW di darat yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016). Terlihat jelas terjadinya perubahan ukuran butir ferit maupun perlit yang menjadi lebih kecil. Butir ferit memiliki warna terang sedangkan perlit memiliki warna gelap. Butir ferit cenderung halus dan lunak sedangkan butir perlit cenderung kasar dan keras. Persentase struktur mikro pada daerah HAZ adalah ferit sebesar 70,11% dan untuk perlit sebesar 28,89%.



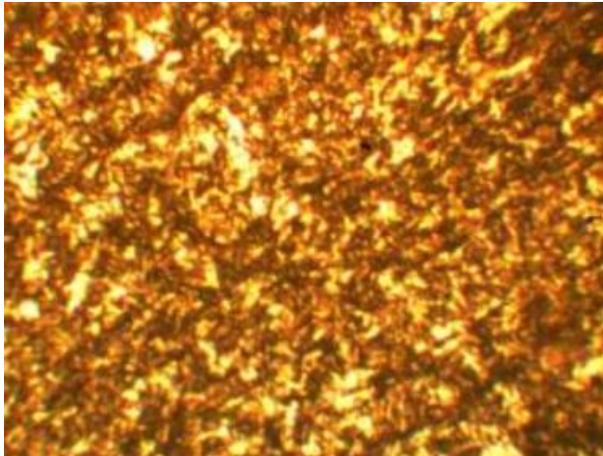
Gambar 4. 4 Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di bawah air
(Anggraeni, 2016)

Gambar 4.4 merupakan hasil foto mikro daerah HAZ pengelasan SMAW di bawah air yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016). Terdapat fasa martensit yang terbentuk karena ada transformasi ukuran butir dari fasa austenite ke ferit, pada transformasi ini terjadi proses penumbuhan butir baru yang dipengaruhi oleh waktu. Karena pengelasan dilakukan di dalam air maka terjadi pendinginan cepat dan mengakibatkan karbon tersebut terperangkap dalam larutan padat (*solid solution*) sehingga terbentuk fasa martensit. Persentase struktur mikro dari daerah HAZ ini yaitu ferit sebesar 18,22%, perlit sebesar 35,67%, dan untuk martensit sebesar 46,11%. Terdapat fasa ferit dan perlit pada daerah HAZ namun persentasinya tidak lebih banyak dari fasa martensit.



Gambar 4. 5 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di darat
(Anggraeni, 2016)

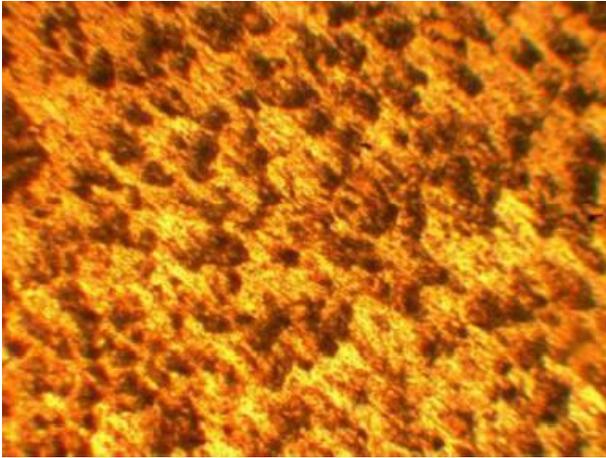
Gambar 4.5 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di darat yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016). Dapat dilihat pada daerah *weld metal* terdapat butir ferit yang memiliki warna terang dan butir ferit yang memiliki warna gelap. Butir ferit cenderung lunak sedangkan perlit cenderung keras. Persentase struktur mikronya adalah ferit sebesar 61,11% dan perlit 38,89%.



Gambar 4. 6 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air (Anggraeni, 2016)

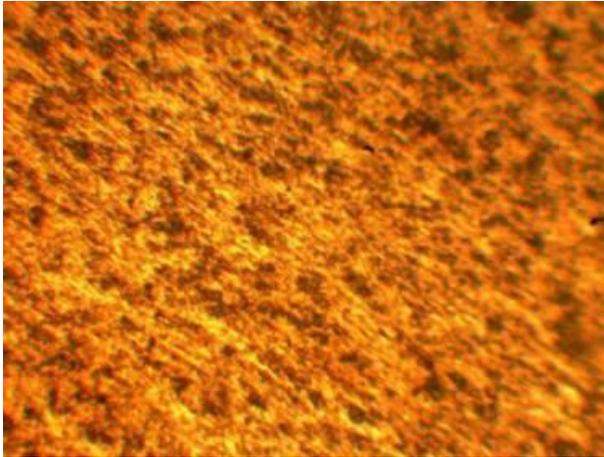
Gambar 4.6 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016). Butir ferit berwarna terang sedangkan butir ferit berwarna gelap. Pada *weld metal*, persentase struktur mikro untuk ferit sebesar 48.9% dan untuk perlit sebesar 51,1%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kelvin, 2016) memiliki parameter yang sama antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air yaitu menggunakan plat baja jenis *mild steel* ASTM A36 dengan panjang 200 mm, lebar 150 mm, dan tebal 10 mm. Model kampuh yang digunakan jenis *Single V-groove* dengan posisi pengelasan 1G (datar). Elektroda yang digunakan adalah jenis E6013 berdiameter 2,6 mm. menggunakan jenis arus DC dengan arus 120 A dan *voltage* 24 V. Uji metalografi yang dilakukan oleh (kelvin, 2016) menggunakan perbesaran 100x untuk menghitung persentase dari ferit dan perlit pada *weld metal* saja. Hasil foto mikro dengan perbesaran 100x sebelumnya dipotong terlebih dahulu menjadi lingkaran sesuai dengan standar ASTM E-112 dengan diameter 159,6 mm dan diameter lingkaran dalam sebesar 79,8 mm.



Gambar 4. 7 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di darat (Kelvin, 2016)

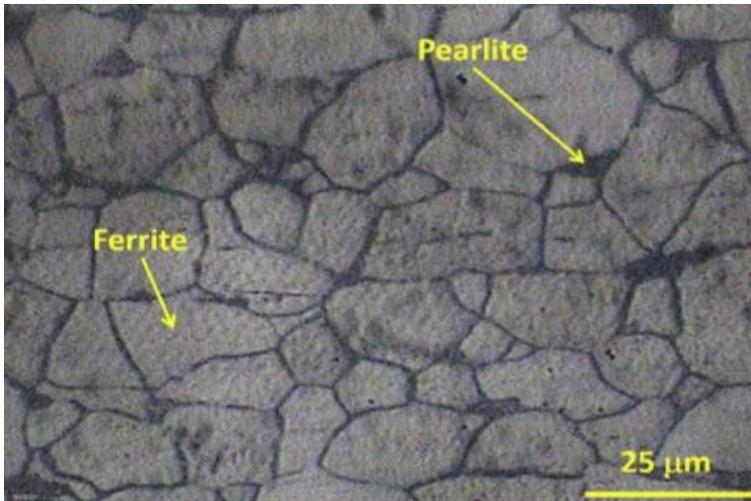
Pada Gambar 4.7 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di darat yang diteliti oleh (Kelvin, 2016). Butir yang terbentuk adalah ferit yang berwarna terang dan cenderung lunak sedangkan perlit berwarna gelap dan cenderung keras. Pada saat pendinginan, austenit bertransformasi menjadi ferit. Karena ferit hanya sedikit melarutkan karbon, maka sisa austenite bertransformasi menjadi perlit. Persentase ferit pada daerah *weld metal* sebesar 64,37% dan persentase perlit sebesar 36,63%



Gambar 4. 8 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air (Kelvin, 2016)

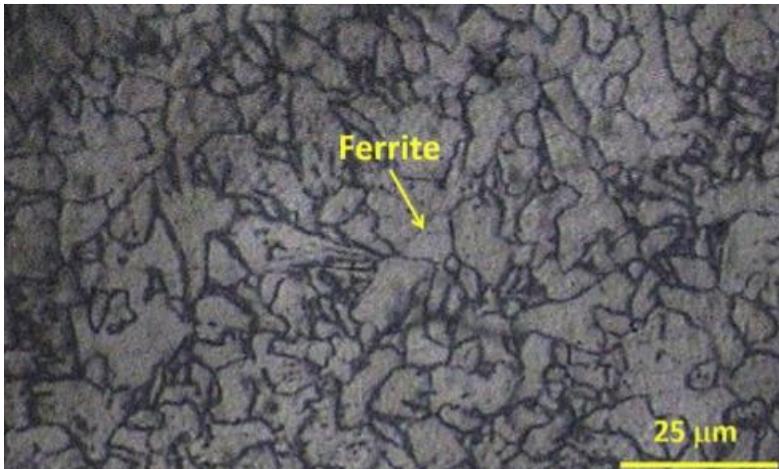
Pada Gambar 4.8 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Kelvin, 2016). Butir yang terbentuk adalah ferit dan perlit. Ferit memiliki warna terang sedangkan perlit berwarna gelap. Pada saat proses pengelasan SMAW di bawah air *weld metal* mengalami pencairan lalu membeku dengan cepat. Terdapat kristalisasi perlit dan ferit yang terbentuk. Persentase butir pada *weld metal* ferit sebesar 52,04% dan perlit sebesar 47,96%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020) menganalisis struktur mikro hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air menggunakan baja karbon rendah SS400 berbentuk silinder. Pengelasan tersebut memiliki parameter yang sama yaitu menggunakan jenis filler E6014 berdiameter 3,2 mm dengan arus pengelasan konstan sebesar 90 A. Model kampuh menggunakan *Single V-groove* dengan posisi 1G.



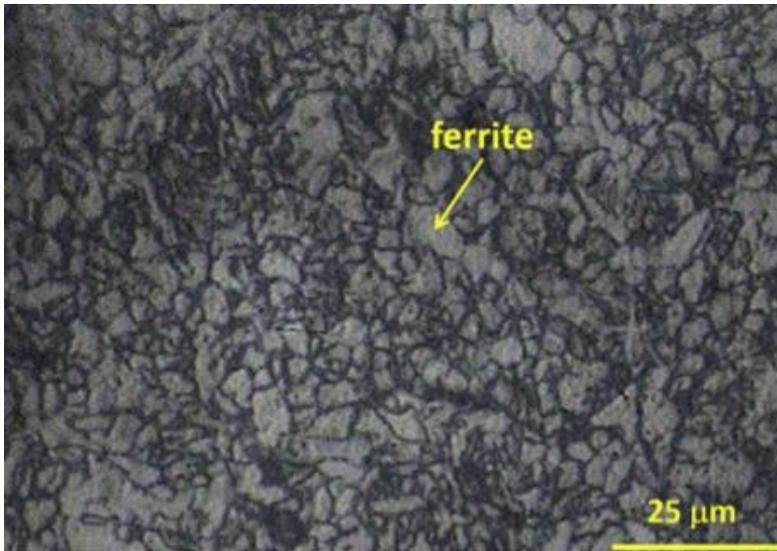
Gambar 4. 9 Foto mikro *base metal* pengelasan SMAW di darat (Muhayat, 2020)

Gambar 4.9 merupakan hasil foto mikro daerah *base metal* pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020). Butir yang terbentuk dalam *base metal* adalah butir ferit dan butir perlit. Butir ferit memiliki warna terang sedangkan perlit memiliki warna yang gelap. Butir-butir tersebut memang banyak ditemukan pada struktur mikro SS400 yang dimana merupakan baja karbon rendah.



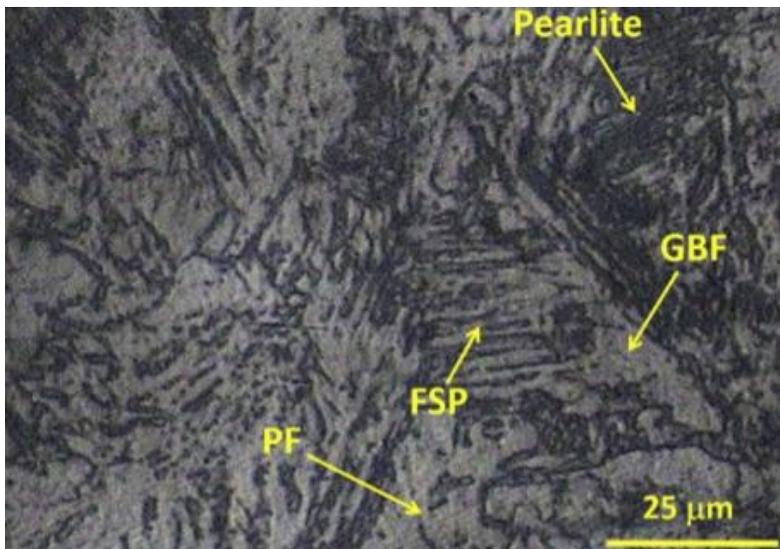
Gambar 4. 10 Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di darat (Muhayat, 2020)

Gambar 4.10 merupakan hasil foto mikro daerah HAZ pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020). Pada gambar tersebut butir fasa yang tampak di daerah HAZ tidak jauh berbeda dengan butir fasa yang terlihat pada daerah *base metal*. Ukuran ferit pada daerah HAZ hasil pengelasan SMAW di darat sebesar 10-20 μm. HAZ sendiri adalah daerah dari *base metal* yang tidak ikut melebur saat terjadinya proses pengelasan namun mengalami siklus *thermal* dari proses pengelasan.



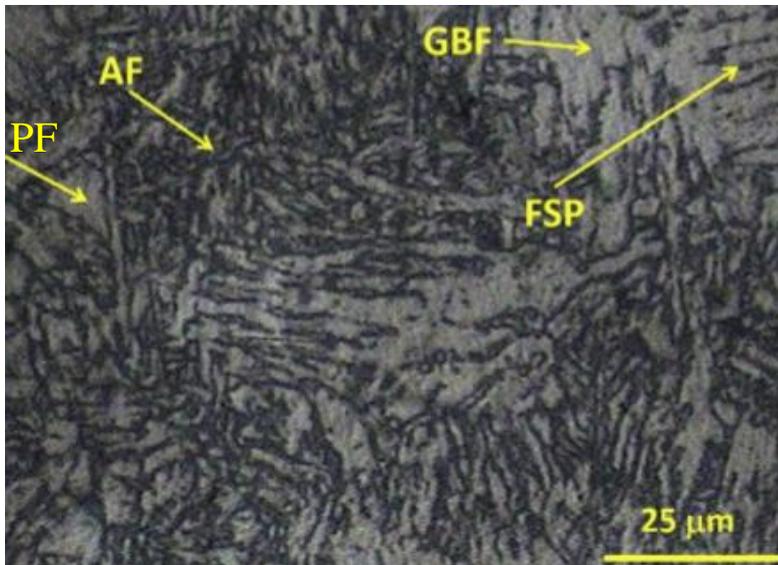
Gambar 4. 11 Foto mikro HAZ pengelasan di bawah air
(Muhayat, 2020)

Gambar 4.11 merupakan hasil foto mikro daerah HAZ pengelasan SMAW di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020). Pada gambar tersebut butir fasa masih sama dengan butir fasa yang ada pada daerah HAZ pengelasan SMAW di darat. Hanya saja ukuran butir ferit lebih kecil dari pengelasan SMAW di bawah air yakni sebesar 5-10 μm . Perbedaan ukuran ini terjadi akibat adanya perbedaan proses rekristalisasi karena laju pendinginan.



Gambar 4. 12 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di darat (Muhayat, 2020)

Gambar 4.12 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020). Pada gambar tersebut dapat dilihat butir fasa yang mendominasi adalah *polygonal* ferit (PF) dan *grain boundary* ferit (GBF). Dan juga terdapat butir perlit yang berwarna gelap.



Gambar 4. 13 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air (Muhayat, 2020)

Gambar 4.13 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2016). Pada gambar tersebut dapat dilihat butir fasa didominasi oleh *acicular* ferit (AF) dan *sideplate* ferit (FSP). Hal ini terjadi karena *weld metal* pada pengelasan SMAW di bawah air mendapatkan proses pendinginan yang cepat dari air. Sehingga membuat fasa didominasi oleh *acicular* ferit. *Acicular* ferit memiliki sifat kekuatan tarik yang lebih kuat dari GBF dan PF. FSP juga memiliki kekuatan tarik yang sama dengan AF namun keuletannya lebih rendah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Tommy, 2016) menganalisis struktur mikro hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air menggunakan material plat baja ST 37. Pengelasan di darat dan di bawah air memiliki parameter yang sama yaitu menggunakan filler E6013 berdiameter 2,6 mm dengan arus pengelasan 140 A. model kampuh yang digunakan *Square butt*

joint dengan posisi 1G. Pengujian metalografi yang dilakukan mengikuti standar ASTM E3.



Gambar 4. 14 Foto mikro *base metal* pengelasan SMAW di darat (Tommy, 2016)

Gambar 4.14 merupakan hasil foto mikro daerah *base metal* pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Tommy, 2016). Dari gambar tersebut dapat dilihat terdapat butir ferit dan perlit. Butir ferit yang berwarna terang sedangkan butir ferit yang berwarna gelap. Kedua jenis butir tersebut banyak ditemukan pada baja karbon rendah.



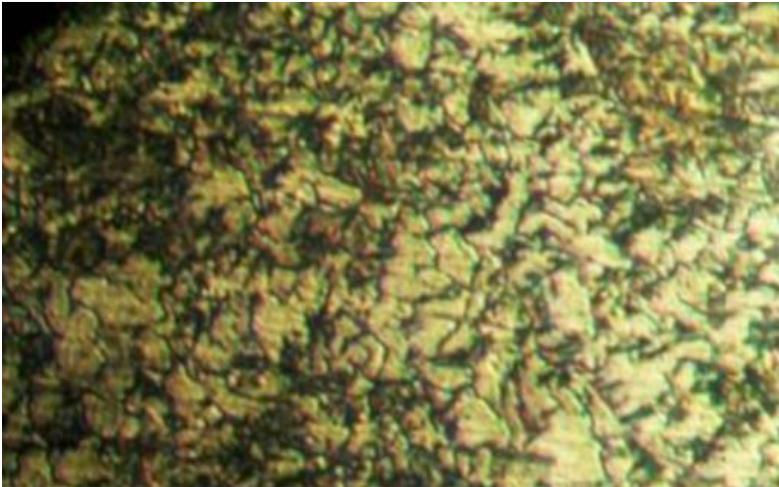
Gambar 4. 15 Foto mikro *base metal* pengelasan SMAW di bawah air (Tommy, 2016)

Gambar 4.15 merupakan hasil foto mikro daerah *base metal* pengelasan SMAW di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Tommy, 2016). Dari gambar tersebut dapat dilihat terdapat butir perlit dan butir ferit. Ferit memiliki warna terang sedangkan perlit memiliki warna gelap. Tidak terdapat perbedaan butir di daerah *base metal* antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air.



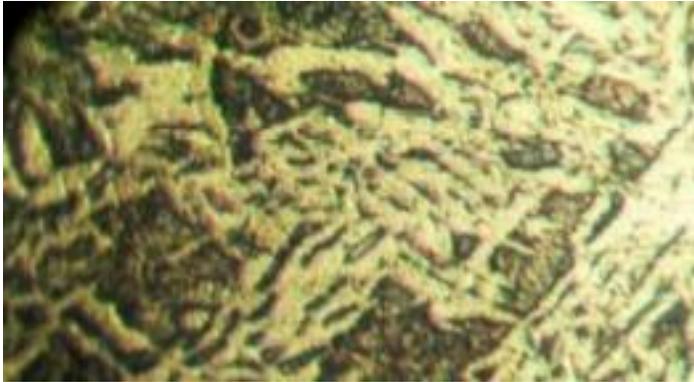
Gambar 4. 16 Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di darat (Tommy, 2016)

Gambar 2.16 merupakan hasil foto mikro daerah HAZ pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Tommy, 2016). Dari gambar tersebut dapat dilihat terdapat butir ferit dan perlit. Ferit yang berwarna terang sedangkan perlit berwarna gelap.



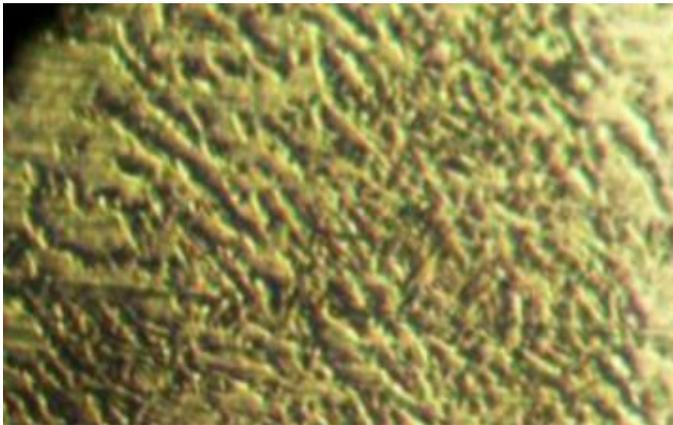
Gambar 4. 17 Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di bawah air (Tommy, 2016)

Gambar 4.17 merupakan hasil foto mikro daerah HAZ pengelasan SMAW di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Tommy, 2016). Dari gambar tersebut dapat dilihat butir ferit dan butir perlit. Butir ferit yang berwarna terang sedangkan perlit berwarna gelap. Struktur mikro yang dihasilkan dari daerah HAZ di bawah air memiliki ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah HAZ pengelasan di darat, sehingga kekerasan pada daerah HAZ pengelasan bawah air memiliki nilai yang lebih tinggi.



Gambar 4. 18 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di darat (Tommy, 2016)

Gambar 4.18 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di darat. Dari gambar tersebut terlihat butir ferit dan perlit. Butir ferit berwarna terang sedangkan perlit berwarna gelap.



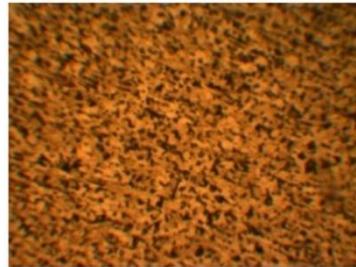
Gambar 4. 19 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air (Tommy, 2016)

Gambar 4.19 merupakan hasil foto mikro daerah *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air. Dari gambar tersebut dapat dilihat perbedaan antara daerah *weld metal* hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air. Struktur yang dihasilkan dari pengelasan bawah air lebih halus, sehingga kekerasannya lebih tinggi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Yanek, 2013) menganalisis struktur mikro hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air menggunakan material plat baja ASTM 36. Foto stuktur mikro yang diamati yaitu pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*.



(a) Daerah Weld Metal



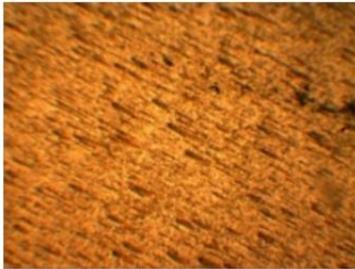
(b) Daerah Base Metal



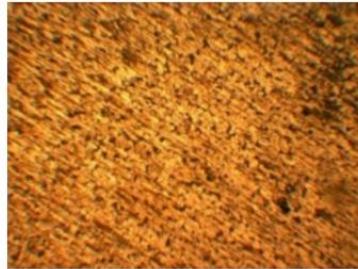
(c) Daerah HAZ

Gambar 4. 20 Foto mikro pengelasan SMAW di darat (a) *weld metal* (b) *base metal* (c) HAZ (Yanek, 2013)

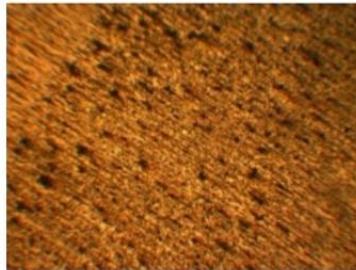
Gambar 4.20 merupakan hasil foto mikro pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Yanek, 2013). Terdapat butir ferit dan perlit yang terlihat pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ. Namun pada daerah *weld metal* dan HAZ ukuran butir lebih kecil jika dibandingkan pada daerah *base metal*.



(a) Daerah Weld Metal



(b) Daerah Base Metal



(c) Daerah HAZ

Gambar 4. 21 Foto mikro pengelasan SMAW di bawah air (a) *weld metal* (b) *base metal* (c) HAZ (Yanek, 2013)

Gambar 4.21 merupakan hasil foto mikro pengelasan SMAW di darat dari penelitian yang dilakukan oleh (Yanek, 2013). Dari gambar tersebut butir yang terlihat tidak jauh berbeda dengan foto mikro pengelasan SMAW di darat terutama pada daerah *base metal*. Hal ini dikarenakan *base metal* tidak terkena panas saat proses pengelasan berlangsung. Pada daerah *weld metal* dan HAZ terdapat perbedaan. Jumlah perlit pada hasil pengelasan SMAW

bawah air baik di daerah *weld metal* ataupun di daerah HAZ meningkat.

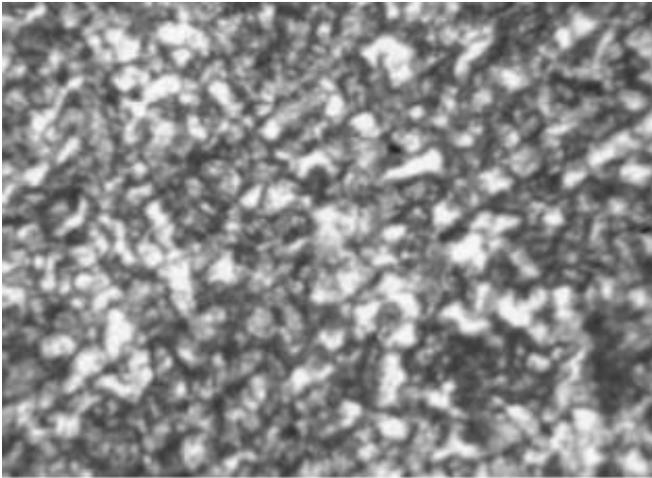
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kalila, 2017) memiliki parameter yang sama antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air yaitu menggunakan plat baja jenis *mild steel* ASTM A36 dengan panjang 250 mm, lebar 150 mm, dan tebal 12 mm. Model kampuh yang digunakan jenis *Single V-groove* dengan posisi pengelasan 1G (datar). Elektroda yang digunakan adalah jenis E6013 berdiameter 2,6 mm menggunakan jenis arus DC dengan arus 120 A dan *voltage* 30 V. Uji metalografi yang dilakukan oleh (Kalila, 2017) sesuai dengan ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Struktur mikro yang diambil yaitu pada daerah HAZ dan *weld metal*. Perbesaran yang digunakan yaitu 500x.



Gambar 4. 22 Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di darat (Kalila, 2017)

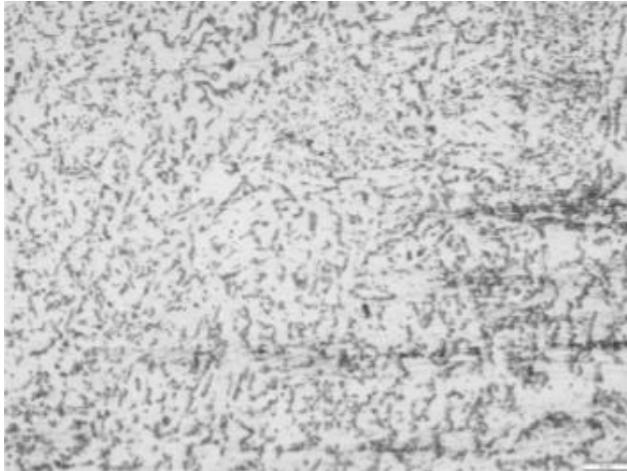
Gambar 4.22 merupakan foto mikro dari HAZ pengelasan SMAW di darat yang diteliti oleh (Kalila, 2017). Dapat dilihat struktur mikro yang terbentuk pada HAZ terdiri dari fasa ferit dan

perlit. Butir ferit berwarna terang sedangkan perlit berwarna gelap. Butir ferit cenderung lunak sedangkan butir perlit cenderung keras. Pada penelitian yang dilakukan (Kalila, 2017) juga menganalisis persentase dari masing-masing fasa yang terbentuk. Persentase untuk fasa ferit sebesar 75,6% sedangkan fasa perlit 24,4%.



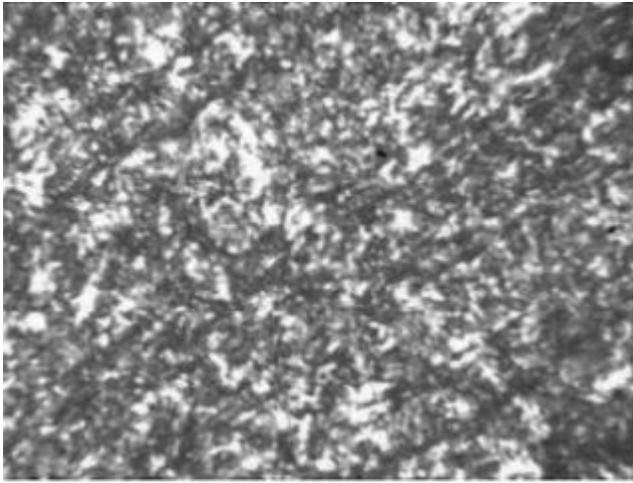
Gambar 4. 23 Foto mikro HAZ pengelasan SMAW di bawah air (Kalila, 2017)

Gambar 4.23 merupakan hasil foto mikro dari daerah HAZ pengelasan SMAW di bawah air yang diteliti oleh (Kalila, 2017). Dapat dilihat terdapat butir ferit dan perlit. Butir ferit memiliki warna terang sedangkan perlit memiliki warna gelap. Butir ferit cenderung halus dan lunak sedangkan butir perlit cenderung kasar dan keras. Persentase struktur mikro pada daerah HAZ adalah ferit sebesar 57,9% dan untuk perlit sebesar 42,1%.



Gambar 4. 24 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di darat (Kalila, 2017)

Gambar 4.24 merupakan hasil foto mikro dari daerah *weld metal* pengelasan SMAW di darat yang diteliti oleh (Kalila, 2017). Dapat dilihat terdapat butir ferit dan perlit yang terbentuk. Ferit memiliki warna terang dan cenderung lunak sedangkan perlit memiliki warna yang gelap dan cenderung keras. Persentase struktur mikro pada daerah *weld metal* adalah ferit sebesar 66,5% dan perlit 34,6%.



Gambar 4. 25 Foto mikro *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air (Kalila, 2017)

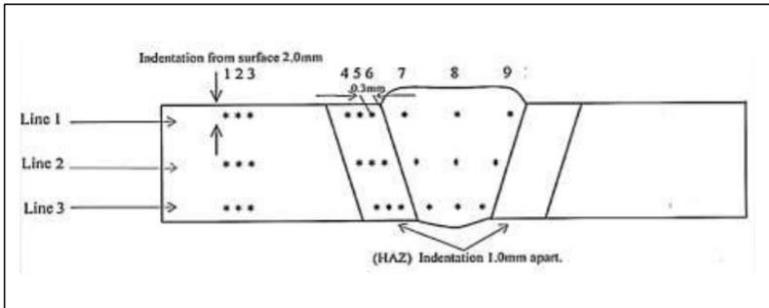
Gambar 4.25 merupakan hasil foto mikro dari daerah *weld metal* pengelasan SMAW di bawah air yang diteliti oleh (Kalila, 2017). Dapat dilihat terdapat butir ferit dan perlit yang terbentuk. Ferit memiliki warna terang dan cenderung lunak sedangkan perlit memiliki warna gelap dan cenderung keras, persentase struktur mikro pada daerah *weld metal* adalah ferit sebesar 46,8% dan perlit 53, 2%.

4.1.2 Hasil Nilai Kekerasan pada *Paper Review*

Pada *paper review* ini dilakukan pengujian Vickers dengan tujuan untuk menganalisis nilai kekerasan dari hasil pengelasan SMAW di lingkungan darat dan bawah air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Anggraeni, 2016) memiliki parameter yang sama antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air yaitu menggunakan plat baja jenis *mild steel* ASTM A36 dengan panjang 300 mm, lebar 150 mm, dan tebal 10 mm. Model kampuh yang digunakan jenis *Single V-groove* dengan posisi pengelasan 1G (datar). Elektroda yang digunakan adalah

jenis E6013 berdiameter 2,6 mm. Menggunakan jenis arus DC dengan arus 80 A dan *voltage* 22 V. Gambar 4.26 merupakan titik pengujian kekerasan terhadap benda uji yang dilakukan oleh (Anggraeni, 2016). Terdapat 9 titik meliputi daerah *base metal* pada titik 1 sampai titik 3, daerah HAZ pada titik 4 sampai titik 6, dan daerah *Weld Metal* pada titik 7 sampai titik 9.



Gambar 4. 26 Lokasi pengujian kekerasan spesimen uji (Anggraeni, 2016)

Hasil dari pengujian kekerasan pada pengelasan SMAW di lingkungan darat menggunakan metode Vickers dengan beban dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4. 1 Hasil uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan darat (Anggraeni, 2016)

Kondisi Pengelasan	Material	Titik Pengujian	No	Line 1	Line 2	Line 3	Rata-Rata
SMAW di lingkungan darat	ASTM A36	<i>Base metal</i>	1	156,3	183,9	200,5	180,2
			2	164,5	163	188,8	172,1
			3	151,1	163,5	178,1	164,2
		HAZ	4	141	140,1	154,5	145,2
			5	143,8	149,9	156,7	150,1
			6	135,1	146,6	160,5	147,4
		<i>Weld metal</i>	7	160,7	147,7	134,5	147,7
			8	135,1	144,3	137,9	139,1
			9	129,9	142,6	151,1	141,2

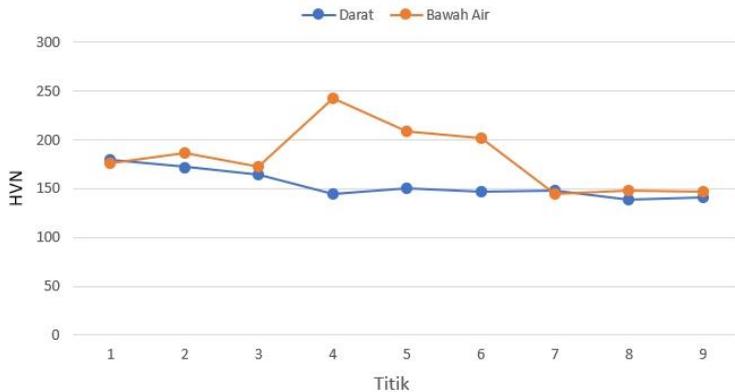
Dari Tabel 4.1 dapat dilihat hasil las SMAW di lingkungan darat yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016) memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi yaitu pada daerah *base metal* sebesar 178,5 HVN. Dan diikuti pada daerah HAZ sebesar 147,6 HVN dan *weld metal* sebesar 142,6 HVN.

Untuk hasil pengujian kekerasan pada pengelasan SMAW di lingkungan bawah air menggunakan metode Vickers dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4. 2 Hasil Uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan bawah air (Anggraeni, 2016)

Kondisi Pengelasan	Material	Titik Pengujian	No	Line 1	Line 2	Line 3	Rata-Rata	
SMAW di lingkungan bawah air	ASTM A36	<i>Base metal</i>	1	148,7	188,5	191,9	176,4	
			2	149,7	205,2	203,6	186,2	
			3	158,1	183,4	177	172,8	
		HAZ	4	290,2	206,6	233,2	243,3	
			5	216,8	194,1	216,8	209,2	
			6	212,2	184,8	208,8	201,9	
			<i>Weld metal</i>	7	127,8	142,1	162,4	144,1
				8	132,5	153,1	160,1	148,6
				9	146,9	123,6	172,1	147,5

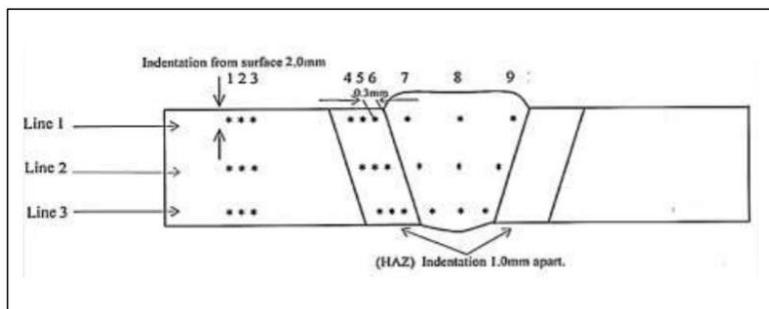
Dari Tabel 4.2 dapat dilihat hasil las SMAW di lingkungan bawah air yang diteliti oleh (Anggraeni, 2016) memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi yaitu pada daerah HAZ sebesar 218,1 HVN. Diikuti daerah *base metal* yakni sebesar 178,4 dan *weld metal* sebesar 146,7 HVN. Berdasarkan tabel 4.1 dan 4.2 dapat dibuat grafik berbandingan kekerasan seperti pada Gambar 4.27 berikut.



Gambar 4. 27 Grafik perbandingan nilai kekerasan hasil las (Anggraeni, 2016)

Dapat dilihat pada Gambar 4.27 untuk titik 1 sampai titik 3 merupakan titik uji pada daerah *base metal* tidak ada perbedaan terhadap nilai kekerasan. Pada titik 4 sampai titik 6 terjadi perbedaan nilai kekerasan yang cukup jauh antara pengelasan SMAW yang dilakukan di darat dengan di bawah air yang dimana titik tersebut merupakan titik uji pada daerah HAZ. Pada titik 7 sampai titik 8 merupakan titik uji pada daerah *weld metal*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kelvin, 2016) memiliki parameter yang sama antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air yaitu menggunakan plat baja jenis *mild steel* ASTM A36 dengan panjang 200 mm, lebar 150 mm, dan tebal 10 mm. Model kampuh yang digunakan jenis *Single V-groove* dengan posisi pengelasan 1G (datar). Elektroda yang digunakan adalah jenis E6013 berdiameter 2,6 mm. Menggunakan jenis arus DC dengan arus 120 A dan *voltage* 24 V. Gambar 4.28 merupakan titik pengujian kekerasan terhadap benda uji yang dilakukan oleh (Kelvin, 2016). Terdapat 9 titik meliputi daerah *base metal* pada titik 1 sampai titik 3, daerah HAZ pada titik 4 sampai titik 6, dan daerah *Weld Metal* pada titik 7 sampai titik 9.



Gambar 4. 28 Titik pengujian kekerasan spesimen uji (Kelvin, 2016)

Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan oleh (Kelvin, 2016) pada pengelasan SMAW di lingkungan darat menggunakan metode Vickers dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4. 3 Hasil uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan darat (Kelvin, 2016)

Kondisi Pengelasan	Material	Titik Pengujian	No	Line 1	Line 2	Line 3	Rata-Rata
SMAW di lingkungan darat	Plat A36	<i>Base metal</i>	1	163.6	165.2	170.1	166,3
			2	164.8	162.5	160.3	162,5
			3	173.8	176.8	168.7	173,1
	Plat A36	HAZ	4	183.6	186.6	188	186
			5	197.7	196.6	200.6	198,3
			6	196.4	196.8	203.6	198,9
			7	184.4	189.7	187.6	187,2
			8	189.4	187.3	191.3	189,3
			9	185.7	192.4	186.5	188,2

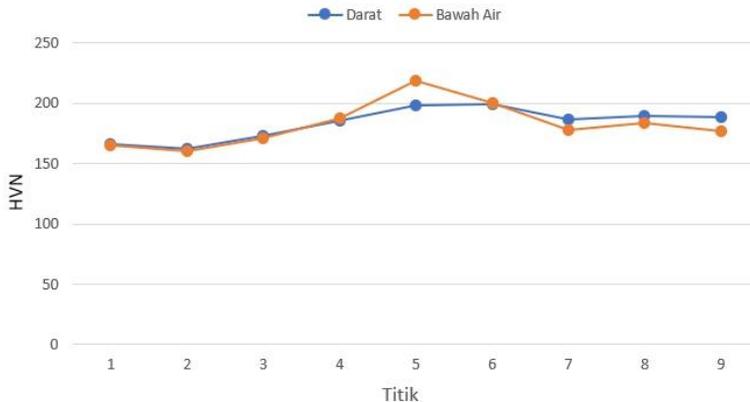
Dari Tabel 4.3 dapat dilihat hasil las SMAW di lingkungan darat yang diteliti oleh (Kelvin, 2016) memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah HAZ yakni sebesar 194.4 HVN. Sedangkan untuk nilai *weld metal* memiliki rata-rata nilai sebesar 188.2 HVN dan yang paling kecil adalah base metal yakni sebesar 167.3 HVN.

Untuk hasil pengujian kekerasan pada pengelasan SMAW di lingkungan bawah air menggunakan metode Vickers dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4. 4 Hasil uji kekerasan pengelasan SMAW di lingkungan bawah air (Kelvin, 2016)

Kondisi Pengelasan	Material	Titik Pengujian	No	Line 1	Line 2	Line 3	Rata-Rata
SMAW di lingkungan bawah air	Plat A36	<i>Base metal</i>	1	166.2	162.6	165.8	164,9
			2	171.6	156.2	154.3	160,7
			3	173.8	173.8	167.2	171,6
		4	192.7	187.5	182.8	187,7	
		HAZ	5	229.8	221.7	203.6	218,4
			6	196.4	208.4	196.8	200,5
			7	184.4	171.8	177.2	177,8
		<i>Weld metal</i>	8	196	175.5	179.8	183,8
			9	185.7	171.6	174.5	177,3

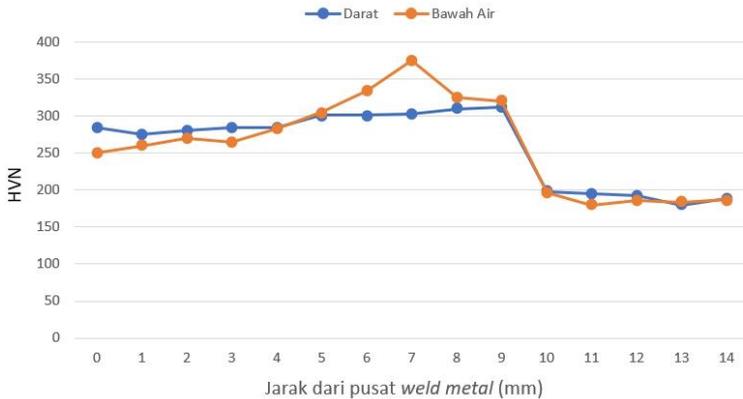
Dari Tabel 4.4 dapat dilihat kekerasan hasil las SMAW di lingkungan bawah air yang diteliti oleh (Kelvin, 2016) memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah HAZ yakni sebesar 202,2 HVN. Di bawahnya yaitu pada daerah *weld metal* dengan nilai kekerasan sebesar 179,6 HVN dan pada daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan sebesar 165,7 HVN. Berdasarkan tabel 4.3 dan 4.4 dapat dibuat grafik perbandingan nilai kekerasan seperti pada gambar 4.29 berikut.



Gambar 4. 29 Grafik perbandingan nilai kekerasan (Kelvin, 2016)

Gambar 4.29 menunjukkan adanya perbedaan nilai kekerasan pada titik 4 sampai titik 6 yang dimana titik tersebut merupakan titik uji di daerah HAZ.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020) menganalisis sifat kekerasan hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air menggunakan baja karbon rendah SS400 berbentuk silinder. Pengelasan tersebut memiliki parameter yang sama yaitu menggunakan jenis filler E6014 berdiameter 3,2 mm dengan arus pengelasan konstan sebesar 90 A. Model kampuh menggunakan *Single V-groove* dengan posisi 1G. Pengujian kekerasan menggunakan skala Vickers dengan pembebanan 1000g. Terdapat total 15 titik uji yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020) pada spesimen. Titik 0 sampai titik 4 merupakan titik uji pada daerah *weld metal*, titik 5 sampai titik 9 merupakan titik uji pada daerah HAZ, dan titik 10 sampai titik 14 merupakan daerah uji pada *base metal*. Gambar 4.30 merupakan grafik nilai kekerasan hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020)

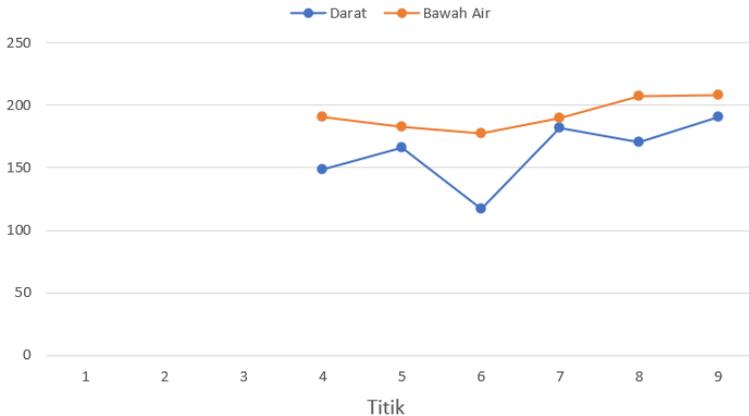


Gambar 4. 30 Grafik perbandingan nilai kekerasan hasil las (Muhayat, 2020)

Pada Gambar 4.30 dapat dilihat terdapat perbedaan nilai kekerasan yang sangat jauh pada jarak 4 sampai 9 mm dari dari pusat *weld metal* yang dimana merupakan daerah HAZ. Sedangkan untuk daerah *weld metal* pada jarak 0 sampai 4 mm terdapat sedikit perbedaan nilai kekerasan dan untuk *base metal* tidak terjadi perbedaan kekerasan antara pengelasan SMAW di darat dan di bawah air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kalila, 2017) menganalisis sifat kekerasan hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air menggunakan plat baja ASTM A36. Pengelasan tersebut memiliki parameter yang sama yaitu menggunakan jenis filler E6013 berdiameter 2,6 mm dengan arus sebesar 120 A dan *voltage* 30 V. Model kampuh menggunakan *Single V-groove* dengan posisi 1G. Pengujian kekerasan menggunakan skala Vickers sesuai dengan standar ASTM E93. Pengujian yang dilakukan hanya pada titik 4 sampai titik 9. Titik 4 sampai titik 6 merupakan titik uji pada daerah HAZ dan titik 7 sampai titik 9 merupakan titik uji pada daerah *weld metal*.

Gambar 4.31 merupakan grafik nilai kekerasan hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah air dari penelitian yang dilakukan oleh (Kalila, 2017)



Gambar 4. 31 Grafik perbandingan nilai kekerasan hasil las (Kalila, 2017)

Pada gambar 4.31 dapat dilihat terdapat perbedaan dimana hasil nilai kekerasan pada pengelasan SMAW di bawah air lebih tinggi daripada pengelasan SMAW di darat baik pada daerah HAZ maupun pada daerah *weld metal*.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Struktur Mikro

Dari hasil jurnal yang telah di *review*. Bahwa terjadi perbedaan struktur mikro yang dihasilkan dari hasil pengelasan SMAW yang dilakukan di darat dengan di bawah air.

Struktur mikro dari *base metal* hasil pengelasan SMAW di darat dan di bawah berdasarkan jurnal yang di *review* adalah ferit dan perlit. Struktur ferit dan perlit merupakan struktur asal dari baja karbon rendah. Pada daerah ini tidak terjadinya perubahan struktur karna sejatinya *base metal* tidak terpengaruh panas yang ditimbulkan saat proses pengelasan (Choirul, 2016). Struktur

mikro yang terbentuk pada pengelasan bawah air terutama pada daerah HAZ bergantung pada komposisi kimia dari suatu material dan kecepatan pendinginan.

Pada daerah HAZ struktur yang terbentuk pada pengelasan SMAW di darat maupun di bawah hampir sama dengan struktur pada *base metal* namun memiliki ukuran butir yang berbeda. Hal ini dikarenakan HAZ merupakan bagian dari *base metal* yang tidak ikut meleleh pada saat proses pengelasan namun mengalami perubahan struktur mikro akibat siklus termal dari pengelasan.

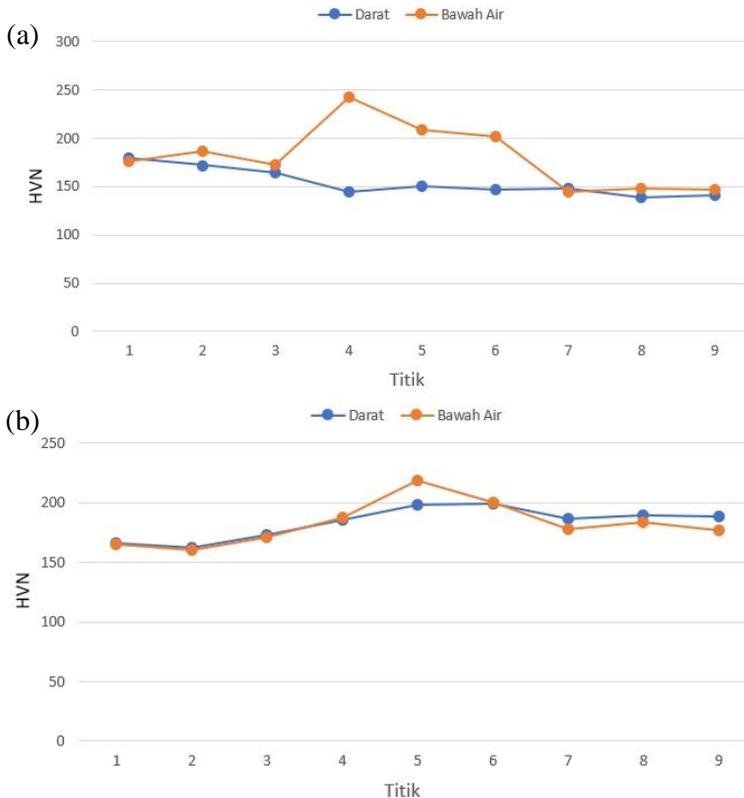
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Muhayat, 2020) pada daerah HAZ persentase perlit hasil pengelasan di bawah air lebih banyak di bandingkan dengan persentase perlit hasil pengelasan di darat serta ukuran butir yang lebih kecil. Perbedaan ukuran butir pada daerah HAZ ini terjadi karena adanya perbedaan proses rekristalisasi akibat kecepatan pendinginan antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air. Pada pengelasan di darat kecepatan pendinginan berjalan lebih lambat sehingga memberikan kesempatan bagi ferit untuk membesar. Sedangkan pada pengelasan bawah air proses pendinginan berjalan cepat sehingga butir ferit tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk membesar dan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil dan halus. Hasil yang sama juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh (Yanek, 2013) dan (Kalila, 2017). Namun, pada penelitian yang dilakukan oleh (Anggraeni, 2016) terdapat martensit pada hasil las SMAW bawah air di daerah HAZ sebesar 46,11%. Hal ini dapat terjadi akibat pendinginan yang sangat cepat akibat temperatur dari air yang rendah. (Bayu, 2013) dalam penelitiannya mengatakan, martensit adalah struktur yang terbentuk karena proses pendinginan non-ekuilibrium yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya. Komposisi kimia dari material juga juga dapat mempengaruhi tumbuhnya martensit.

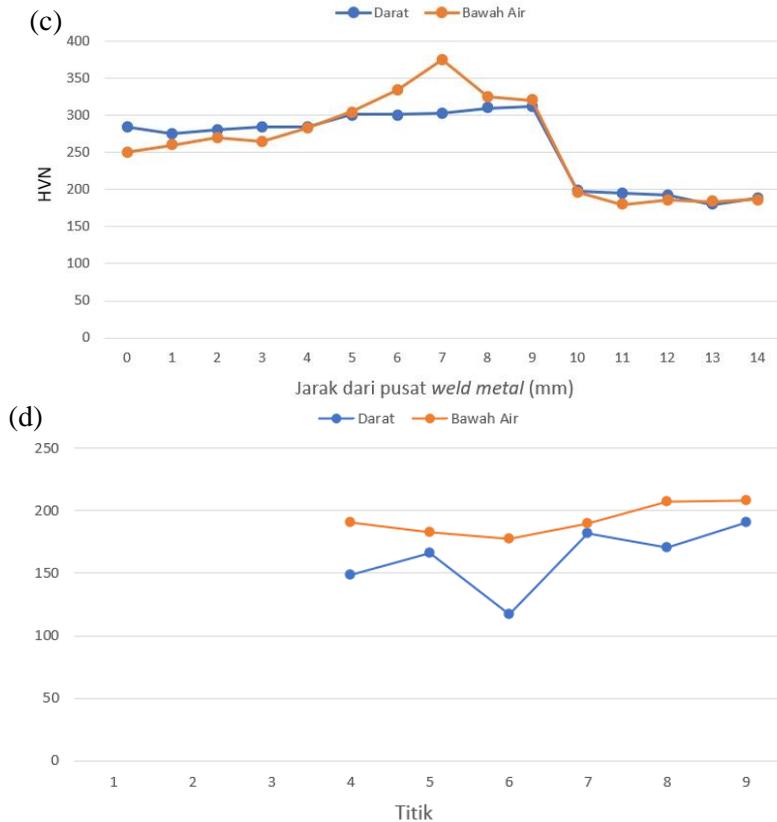
Pada daerah *weld metal* struktur didominasi oleh ferit dan sebagian perlit. Namun persentase perlit pada pengelasan SMAW di bawah air lebih banyak jika dibandingkan dengan di darat. Hal

ini terjadi akibat proses pendinginan yang cepat pada saat proses pengelasan. Karena persentase ferit lebih banyak daripada perlit mengakibatkan nilai kekerasan *weld metal* pengelasan SMAW bawah air lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan SMAW di darat.

4.2.2 Analisis Kekerasan

Dari hasil jurnal yang sudah di *review*, bahwa terjadi perbedaan nilai kekerasan yang dihasilkan dari hasil pengelasan SMAW yang dilakukan di darat dengan di bawah air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.32.





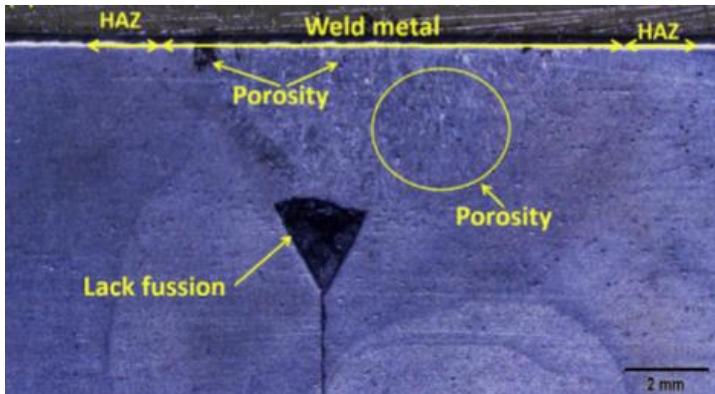
Gambar 4. 32 Grafik perbedaan nilai kekerasan menurut (a) Anggraeni, 2016 (b) Kelvin, 2016 (c) Muhayat, 2020 (d) Kalila, 2017

Dari Gambar 4.32 dapat diketahui nilai kekerasan paling tinggi adalah dari hasil pengelasan SMAW di bawah air. Hal ini dikarenakan pengelasan di bawah air mendapatkan pendinginan yang lebih cepat. Umumnya, kekerasan pada hasil pengelasan akan meningkat dari *weld metal* ke daerah HAZ dan akan menurun kembali pada daerah *base metal* (Zhao, 2014).

Dari keempat grafik tersebut terdapat kesamaan yaitu kekerasan pada daerah HAZ pengelasan SMAW di bawah air

memiliki nilai kekerasan paling tinggi. Hal ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan temperature pada daerah HAZ mencapai temperatur rekristalisasi namun tidak lebih tinggi. Karena pengelasan dilakukan dibawah air maka proses pendinginan berjalan cepat sehingga mengakibatkan butir-butir pada daerah HAZ menjadi lebih halus dan padat. Seperti yang dikatakan (Xinjie, 2015), ukuran butir yang kecil dan halus akan meningkatkan nilai kekerasan. Namun, pada grafik nilai kekerasan pada penelitian (Kalila, 2017) nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* pengelasan di bawah air. Hal tersebut dapat terjadi akibat temperature puncak pada daerah *weld metal* merupakan temperature puncak tertinggi dan mendapatkan proses pendinginan yang cepat akibat dari media air.

Daerah HAZ memiliki nilai kekerasan yang tinggi daripada daerah *weld metal*. Hal ini dikarenakan pada daerah HAZ struktur dan butir-butir tidak mengalami cacat namun tetap mendapatkan siklus termal dari proses pengelasan. Sedangkan pada daerah *weld metal* peluang terjadinya cacat lebih besar saat proses pengelasan. Porositas merupakan sebuah cacat berupa lubang-lubang kecil yang dapat terjadi di permukaan maupun di dalam material yang sering dijumpai pada bagian *weld metal*. (Ardhiyanto, 2011) mengatakan, semakin banyak persentase dari porositas maka semakin rendah nilai kekerasannya. Gambar 4.33 merupakan cacat porositas pada daerah *weld metal*.



Gambar 4. 33 Porositas pada daerah *weld metal* (Muhayat, 2020)

Pengelasan bawah air memiliki peluang terjadinya porositas lebih besar, hal ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan logam cair mengalami kontak langsung dengan air yang mengakibatkan terperangkapnya gas hydrogen pada logam.

Untuk daerah *base metal* tidak ada perbedaan nilai kekerasan antara pengelasan SMAW di darat dengan di bawah air. Ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan, daerah *base metal* tidak terpengaruh oleh siklus termal sehingga tidak terjadi perubahan.

4.3 Kritisi Jurnal

Pada jurnal yang telah direview terdapat kesamaan dimana persentase perlit yang meningkat pada pengelasan SMAW di bawah air. Perlit sendiri merupakan struktur yang berlapis-lapis yang terdiri dari lamel-lamel ferit dan sementit. Pada proses pendinginan austenite akan terlebih dulu bertransformasi menjadi ferit. Dikarenakan ferit tidak dapat banyak melarutkan karbon untuk itu austenite mengeluarkan karbon terlebih dahulu. Atom-atom karbon yang keluar dari austenite tersebut akan bergabung dengan inti sementit yang sudah ada. Karena kadar karbon dalam austenite sudah sangat rendah maka terbentuklah ferit. Keluarnya

karbon dalam asutenit ini berlangsung terus menerus, sehingga terbentuklah lamel-lamel ferit sementit.

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Anggraeni, 2016) terdapat martensit pada daerah HAZ hasil pengelasan SMAW di bawah air. Hal tersebut dapat terjadi akibat proses pendinginan yang sangat cepat dan banyaknya kadar karbon. Proses pembentukan martensit sendiri terjadi akibat dari austenite yang didinginkan dengan cepat. Pada temperature yang sangat rendah austenite mendapatkan *driving force* yang sangat besar untuk berubah dari struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCC (*Body Centered Cubic*), yang menimbulkan *shear force* terhadap atom – atom. Ini menyebabkan atom- atom tersebut sedikit bergeser untuk membentuk struktur kristal BCC, karena di dalam kristal tersebut masih banyak mengandung karbon dan karbon sudah tidak bisa berdifusi akibat termperatur yang terlalu rendah maka struktur kristal BCC tidak tercapai pada akhir tranformasi. Salah satu rusuk dari sel lebih panjang dari yang lain sehingga struktur kristal menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*) BCT ini lah yang disebut martensit. Pada mikroskop optic martensit benbentuk seperti jarum jarum (Wahid, 2001)

Struktur mikro yang terbentuk akan mempengaruhi sifat kekerasan dari suatu material. Perlit merupakan gabungan dari ferit dan sementit yang masing-masing tetap pada kristalnya sendiri. Perlit memiliki sifat yang cenderung keras dan getas. Persentase perlit yang semakin besar mengakibatkan material semakin keras. Begitu juga dengan martensit, martensit sendiri memiliki ketegangan yang lebih tinggi dari ferit, sehingga martensit lebih keras dibandingkan dengan ferit. Persentase martensit yang semakin besar mengakibatkan kekerasan akan semakin tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari *paper review* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengelasan SMAW di bawah air menghasilkan persentase perlit lebih banyak pada daerah HAZ dan *weld metal*. Ukuran butir pada pengelasan SMAW bawah air lebih kecil pada daerah HAZ dan *weld metal* dibandingkan dengan pengelasan SMAW di darat. Pada daerah *base metal* tidak terjadi perubahan struktur mikro.
2. Pengelasan SMAW di bawah air menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan SMAW di darat.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan uji komposisi terlebih dahulu terhadap material yang akan digunakan.
2. Mencatumkan perbesaran serta larutan etsa yang digunakan dalam proses metalografi.
3. Diharapkan menggunakan baja karbon menengah agar perbedaan struktur mikro dan kekerasan lebih terlihat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2004. *ASTM E92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Washington: ASTM Publishing
- _____. 2004. *ASTM A36 Standard Specification for Carbon Structural Steel*. Washington: ASTM Publishing
- _____. 1980. *DIN 17 100 Steels for General Structural Purposes*
- _____. 2010. *JIS G 3101 Rolled Steels for General Structure*. Tokyo: Japan
- AWS. 2002. AWS D1.1. *Structural Welding Code-Steel*. Florida: American welding Society
- AWS. 2010. AWS D3.6M. *Underwater Welding Code-Steel*. Florida: American Welding Society
- Aji, Mukhamad Nur. 2019. *Pengaruh Variasi Jenis Kampuh Pengelasan SMAW Pada Sambungan Pengelasan Logam Baja JIS G 3131 SPHC Dengan Baja AISI 201 Terhadap Sifat Mekanik*. Malang: Institut Teknologi Nasional
- Anggraeni, Safira Dwi. 2016. *Studi Perbandingan Proses Pengelasan SMAW Pada Lingkungan Darat dan Bawah Air Terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Joint Material A36*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ardhiyanto, N.K., 2011. *Pengaruh Bentuk Penampang Saluran Turun (Sprue) Terhadap Cacat Porositas, Batas Butir, dan Kekerasan pada Pengecoran Aluminium Paduan dengan Cetakan Pasir*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Biro Klasifikasi Indonesia. 2014. *Rules for Classification and Construction*, Part 1, Vol. V.
- Fajrin, Jauhar. 2016. *Aplikasi Metode Analysis of Variance (ANOVA) Untuk Mengkaji Pengaruh Penambahan*

-
- Silica Fume Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar.*
Jurnal Rekayasa Sipil
- Feelus, P. 2000. *Underwater Welding Explained-Wet Welding.*
Journal Noordhoek Offshore BV: UCI
- Haryadi, G. D. (2007). **Aalisa Kerusakan Hasil Pengelasan Bawah Air Pada Lambung Kapal Dengan Bahan Elektroda RB 26 Tersoloti**
- Irzal, dkk. 2018. *Analisa Pengaruh Arus Pada Hasil Pengelasan Baja Karbon Rendah Dengan Elektrode E7018 Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Jalus Las.*
Padang: Universitas Negeri Padang
- Irzal, dkk. 2018. *Pengaruh Posisi Pengelasan Dan Jenis Elektroda E7016 dan E7018 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Las Baja Karbon Rendah TRS 400.* Padang: Universitas Negeri Padang.
- Kurdi, Ojo. 2017. *Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Pelat AISI 444 Menggunakan Elektroda AWS E316L.*
Semarang: Universitas Diponegoro
- Mohruni, A.S. 2013. *Pengaruh Variasi Kecepatan dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E6013.*
Palembang: Universitas Sriwijaya
- Mukti, Tunjung Hari. 2017. *Analisa Kekuatan Sambungan Baja ST 37 Dengan Variasi Ampere 120, 160, 200 Menggunakan Metode SMAW Wet Underwater Welding.*
Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- N. Muhayat, Y.A. Matien, H. Sukanto, Y.C.N. Saputro, Triyono. 2020. *Fatigue life of underwater wet welded low carbon steel SS400*, Heliyon, Volume 6, Issue 2, e03366, ISSN 2405-8440
- Nugraha, Choirul. 2016. *Analisa Pengaruh Variasi Heat Input dan Salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja A36 pada Pengelasan SMAW Underwater Wet Welding.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
-

-
- Nugroho, Adi. 2018. *Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel ASTM 36*. Batam: Universitas Putera Batam
- Nurdiansyah, Wahyu Hidayat. 2018. *Pengaruh Variasi Arus Dan Travel Speed Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan CuNi 90/10 Dengan Metode TIG*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Oktalda, Kelvin. 2015. *Analisis Perbandingan sifat mekanik lasan SMAW dan GMAW pada Plat Baja A36 Pada Lingkungan Air Laut, Air Tawar, dan Darat*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Omajene, J.E., Martikainen, J., Wu, H. *et al.* 2014. *Optimization of underwater wet welding process parameters using neural network*. *Int J Mech Mater Eng* **9**, 26. <https://doi.org/10.1186/s40712-014-0026-3>
- Prasetyawan, Tommy. 2016. *Analisa Kekuatan pada Sambungan Las Baja ST37 Dengan Pengelasan SMAW di Dalam Air Tawar, Air Laut, dan Di Darat*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Pratikno, Herman. 2010. *Pengaruh Jenis Proses Las FCAW/SMAW dan Salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja pada Underwater Welding di Lingkungan Laut*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Raharjo, Samsudi. 2012. *Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW)*. Semarang: Universitas muhammadiyah Semarang
- Rahman, Yanek Fathur. 2013. *Analisis Perbandingan Laju Korosi Pelat ASTM A36 antara Pengelasan di Udara Terbuka dan Pengelasan Basah Bawah Air dengan Variasi Tebal Pelat*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
-

-
- Santhiarsa, I Gusti Ngurah Nitya. 2008. *Pengaruh Posisi Pengelasan Dan Gerakan Elektroda Terhadap Kekerasan Hasil Las Baja JIS SSC 41*. Bali: Universitas Udayana
- Septianto, Bayu Adie. 2013. *Pengaruh Media Pendinginan pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Suherman, Wahid. 2001. *Perlakuan panas*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Sriwahyudi, Eko. 2014. *Pengaruh Bentuk Saluran Turun (Sprue) Terhadap Cacat Porositas dan Nilai Kekerasan pada Pengecoran Aluminium Menggunakan Metode Lost Foam Coating*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Subuki, Nur. 2019. *Pengaruh Variasi Kuat Arus Pada Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Distorsi dan Sifat Mekanik Dessimilar Stainless Steel 304 dan Baja A36*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang
- Susilo, Ferdy Hendarto. 2017. *Studi Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Las Bawah Air Pada Baja Marine AH-36 dengan Menggunakan Elektroda Komersial Berbasis rutile Yang DI-coating Manual Dengan Bahan Polimer*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Wenbin Gao, Dongpo Wang, Fangjie Cheng, Xinjie Di, Caiyan Deng, Wei Xu. 2016. *Microstructural and mechanical performance of underwater wet welded S355 steel*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 238, Pages 333-340
- Wiriosumarto, H. Toshie Okumura. 2008. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- X. Di, S. Ji, F. Cheng, D. Wang, J. Cao. 2015. *Effect of cooling rate on microstructure, inclusions and mechanical properties of weld metal in simulated local dry underwater welding*, Mater. Des. 88 505–513.
-

-
- Y. Zhao, Q. Wang, H. Chen, K. Yan. 2014. *Microstructure and mechanical properties of spray formed 7055 aluminum alloy by underwater friction stir welding*, Mater. Des. 56 725–730.
- Ziva, Kalila. 2017. *Analisis Studi Eksperimen Underwater welding SMAW Di Lingkungan Laut Dengan Variasi Elektroda Terhadap Uji Impact*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Standar ASTM A36

Product	Shapes ^a	Plates ^b					Bars			
		All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 66], incl	Over 2½ to 4 [66 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl
Thickness, in. [mm]										
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

2. Standard JIS G 3101

JIS
JAPANESE
INDUSTRIAL
STANDARD

Translated and Published by
Japanese Standards Association

JIS G 3101 : 2010

(JISF)

Rolled steels for general structure

ICS 77.140.10

Reference number : JIS G 3101 : 2010 (J)

No	Material	C, max	Mn, max	P, max	S, max	Si, max	Cooper, min	Elongation, min (%)		Tensile		Yield, min	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	in 2"	in 8"	KSI	MPA	KSI	MPA
1	JIS SPHC	0.15	0.6	0.05	0.05	0.6	-		31				270
2	JIS SS400	0.12 - 0.22	0.6	0.05	0.05	0.3 - 0.7	-		17		400-510		245

3. Standar DIN 17 100

UDC 669.14.018.291 : 620.1 — 1986 — January 1980

Steels for General Structural Purposes
Quality Standard

DIN
17 100

Allgemeine Baustähle, Gütenorm

For connection with the Standard ISO 630 issued by the International Organization for Standardization (ISO) and Euronorm 25 issued by the European Community for Coal and Steel, see Explanations.

Contents

	Page		Page
1 Scope	2	9 Testing	10
2 Other relevant Standards and documents	2	9.1 General	10
3 Definition	2	9.2 Agreement on tests and certificates covering material tests	10
4 Dimensions and permissible dimensional deviations	2	9.3 Extent of tests	10
5 Weights	2	9.3.1 Tests to be carried out	10
6 Grade classification	6	9.3.2 Test unit and number of specimens for sample analyses	11
7 Designation of the steels	6	9.3.3 Test units and number of specimens for mechanical and technological tests	11
8 Requirements	8	9.4 Sampling	11
8.1 Manufacturing process	8	9.4.1 General	11
8.2 As delivered condition of the products	8	9.4.2 Specimens for the sample analysis	11
8.3 Chemical composition	8	9.4.3 Specimens for the mechanical and technical tests	11
8.4 Mechanical and technological properties	8	9.5 Test methods to be applied	14
8.4.1 Properties in the tensile test, notched bar impact bending test ("impact test") and bending test	8	9.6 Retests	15
8.4.2 Suitability for welding	9	10 Marking	15
8.4.3 Deformability	9		
8.4.4 Other requirements	10		
8.5 Surface condition	10	11 Complaints	15

Note: The printing mistake which has occurred in the original German version of this Standard has been corrected in this English translation.

**KONTROLLÜ
KOPYA**

Continued on pages 2 to 16
Explanations on pages 17 to 19

Steel grade		Chemical composition in % by wt.													Steel grade									
Code number	Material number new previous	Type of designation 1)	Ladle analysis										Sample analysis			Steel grade								
			for product thicknesses in mm					for product thicknesses in mm					for product thicknesses in mm											
			C					P					S			N								
			≤ 16	> 16 ≤ 30	> 30 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100	max.					≤ 16	> 16 ≤ 30	> 30 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100	max.				
St 33	1.0035 / 1.0033	optional	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	St 33
St 37-2	1.0037	-- optional	0,20	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,050	0,050	0,009	--	0,21	0,25	0,25	0,25	0,25	0,065	0,065	0,010	--	--	--	St 37-2
USI 37-2	1.0036	1.0112	U	0,17	0,20	0,20	0,20	0,20	0,050	0,050	0,007	--	0,21	0,25	0,25	0,25	0,25	0,065	0,065	0,009	--	--	--	USI 37-2
RSI 37-2	1.0038	1.0114	R	0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,050	0,050	0,009	--	0,19	0,19	0,19	0,22	0,23	0,060	0,060	0,010	--	--	--	RSI 37-2
St 37-3	1.0116	1.0116	RR	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,040	0,040	--	yes	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,050	0,050	--	--	--	St 37-3	
St 44-2	1.0044	--	R	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,060	0,050	0,009	--	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,060	0,060	0,010	--	--	St 44-2	
St 44-3	1.0144	--	RR	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,040	0,040	--	yes	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,050	0,050	--	--	--	St 44-3	
St 52-3 ¹⁾	1.0570	1.0841	RR	0,20 ²⁾	0,20 ²⁾	0,22	0,22	0,22	0,040	0,040	--	yes	0,22 ³⁾	0,22 ³⁾	0,24	0,24	0,24	0,050	0,050	--	--	--	St 52-3	
St 50-2	1.0050	1.0532	R	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	--	0,050	0,050	0,009	--	--	--	--	--	0,060	0,060	0,010	--	--	St 50-2	
St 60-2	1.0060	1.0642	R	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	--	0,050	0,050	0,009	--	--	--	--	--	0,060	0,060	0,010	--	--	St 60-2	
St 70-2	1.0070	1.0632	R	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	--	0,050	0,050	0,009	--	--	--	--	--	0,060	0,060	0,010	--	--	St 70-2	

1) U rimming, R killed (including balanced steel), RR special killed
2) It is permissible to exceed the maximum value indicated, provided a phosphorus content per 0,001 % N of 0,005 % P below the maximum value indicated is maintained. The nitrogen content may not, however, exceed a value of 0,012 % N in the ladle analysis and 0,014 % N in the sample analysis.
3) The content may not exceed 0,55 % Si and 1,60 % Mn in the ladle analysis or 0,60 % Si and 1,70 % Mn in the sample analysis.
4) Maximum 0,22 % C for steels KSt 52-3 and RSt 52-2 according to Table 3
5) In the case of steels suitable for bright drawing according to Table 3 the following guide values for the carbon content can be assumed:
0,30 % C for ZSt 50-2, 0,40 % C for ZSt 60-2, 0,50 % C for ZSt 70-2
6) Maximum 0,24 % C for steels KSt 52-3 and RSt 52-3 according to Table 3

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Orang tua serta keluarga penulis yang telah banyak memberikan motivasi, fasilitas, serta dalam pengerjaan Tugas akhir.
2. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. dan Bapak Ir, Rochman Rochiem, M.Sc. yang telah sabar membimbing dengan sepenuh hati.
3. Mas pompi yang telah berbagi ilmu serta pengalaman terkait pengelasan.
4. Mas Yopi selaku *welder* dari DISLAMBAIR yang menerima saya dengan senang hati.
5. Teman-teman enaena Squad (Vito, Henokh Erasmus, Daniel, Firman, Aria, Edwin, Afni, Mas Nabil, Rio, Vian, Iqbal) yang telah memberikan hiburan dan bantuan selama masa kuliah ini.
6. Teman-teman Metal Mentul (Jambrong, Nail, Eka, Febri, Vian, Abah, Fitra, Edwin, Erasmus, Handis, Mas Nabil, Aria, Rio) yang telah banyak bekerjasama sama dan memberi panduan serta bantuan terkait pengerjaan Tugas Akhir.
7. MT 18 serta seluruh angkatan di Departemen Teknik Material yang telah banyak memberikan cerita selama masa perkuliahan.
8. Fath Parahita yang telah memberi semangat serta cerita baru sejak ospek GERIGI 2016.
9. Vicky, Gugus, Aru yang telah memberikan banyak hiburan selama kos Bersama.
10. Sabil dan Mayor yang telah menemani penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir di malam hari.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis tuliskan satu per satu. Terima kasih banyak atas bantuan yang diberikan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dengan bernama lengkap Prawira Aziz Cendekiawan buah hati dari Bambang Eko Palgunadi dan Ribus Arizona. Lahir pada tanggal 04 September 1997 di Surabaya. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Pucang III Sidoarjo, dan melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama di SMPN 1 Sidoarjo, dan melanjutkan ke jenjang sekolah menengah atas di SMAN 1 Sidoarjo. Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Material FTIRS-ITS. Selama perkuliahan penulis sangat aktif di bidang kepanitian. Penulis pernah menjadi panitia GERIGI ITS tahun 2017 sie konsumsi dan GERIGI ITS 2018 sebagai Pemandu Integralistik. Selain itu, penulis juga pernah menjadi panitia LKMW FTI-ITS Teknik Material x Teknik Fisika sie konsumsi tahun 2017. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Steel Pipe Industry of Indonesia (SPINDO) Unit I Rungkut Surabaya selama 30 hari. Penulis tertarik dalam bidang Teknologi Pengelasan dan ingin mendalaminya, hal tersebut yang mendasari penulis mengambil topik tugas akhir Pengelasan. Dalam proses pembuatan Tugas Akhir tempat tinggal penulis terdampak pandemic virus Covid-19, sehingga Tugas Akhir dalam bentuk *paper review*. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: Prawiraaziz@gmail.com.