



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISA PENGARUH VARIASI HEAT INPUT
DAN TEMPERATUR PWHT TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADA
BAJA PADUAN RENDAH DENGAN PROSES
PENGELASAN SMAW**

**ANDHANU SURYA ISMAIL
NRP 27111 000 137**

**Dosen Pembimbing I
SUTARSIS, S.T., M.Sc.
WIKAN JATIMURTI, S.T., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TL141584

**ANALYZE THE EFFECT OF HEAT INPUT
VARIATION AND PWHT TEMPERATURE
TOWARDS MICROSTRUCTURE AND
MECHANICAL PROPERTIES AT LOW ALLOY
STEEL WITH SMAW WELDING PROCESS**

Andhanu Surya Ismail
NRP 2711 100 137

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

DEPARTMENT OF MATERIAL AND METALURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**ANALISA PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT*
DAN TEMPERATUR PWHT TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK
PADA BAJA PADUAN RENDAH DENGAN
PROSES PENGELASAN SMAW**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknologi Pengelasan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan
Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institu Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

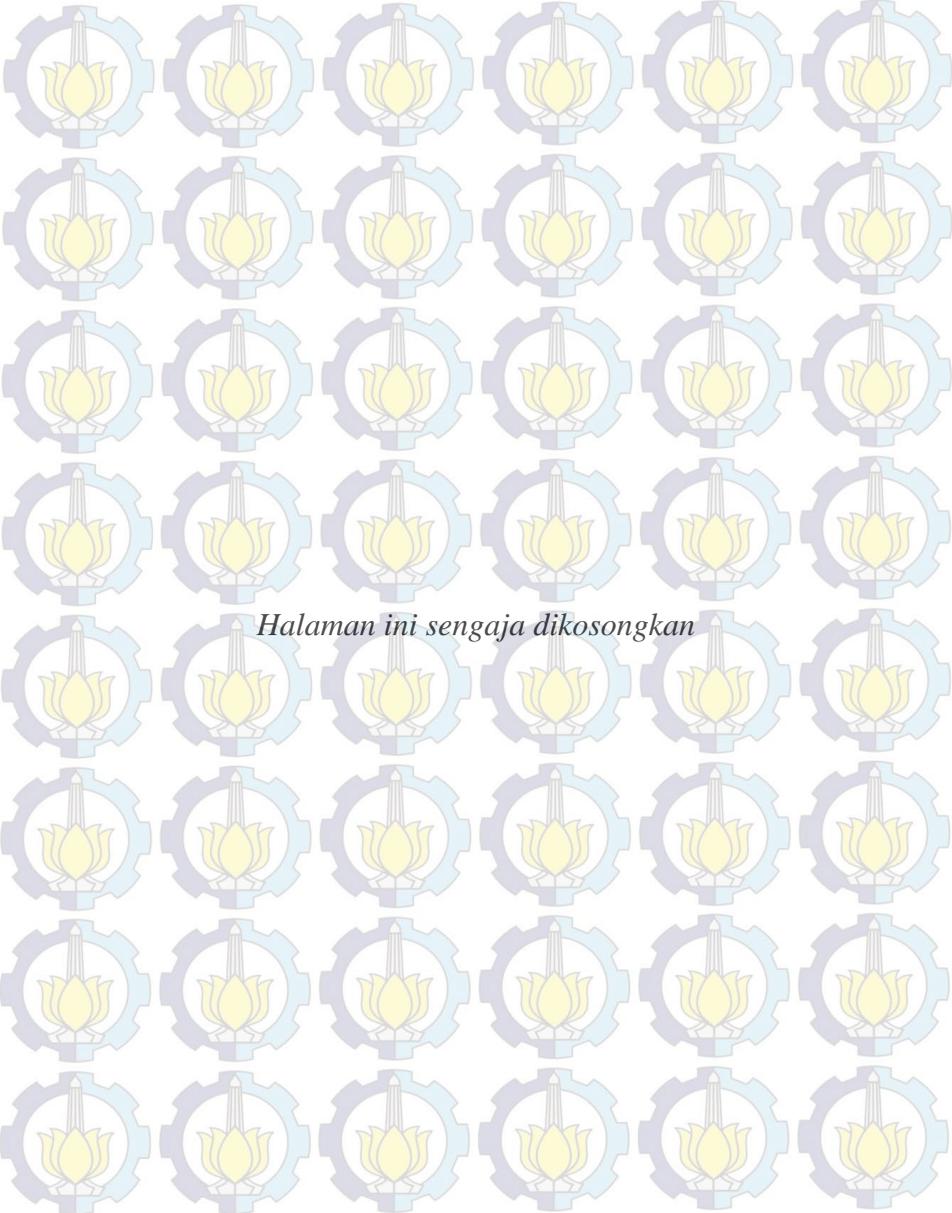
ANDHANU SURYA ISMAIL

NRP. 2711100137

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Sutarsis, S.T. (Pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurno, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)





Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT* DAN
TEMPERATUR PWHT TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADA BAJA
PADUAN RENDAH DENGAN PROSES
PENGELASAN SMAW**

Nama : Andhanu Surya Ismail
NRP : 2711100137
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Sutarsis, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

SA 516 Grade 70 adalah material yang digunakan dalam industri boiler (baja bertekanan). Dalam pengelasan SA 516 Grade 70 diperlukan perhatian yang khusus agar hasil pengelasan sesuai dengan yang diinginkan dan tidak terjadi cacat dalam pengelasan. Penelitian kali ini telah dilakukan pengelasan dengan variasi heat input dan temperatur PWHT untuk mengetahui pengaruhnya terhadap strukturmikro dan sifat mekanik. Besar heat input dalam penelitian ini dilakukan dengan penggunaan besar arus 80A dan 140A. Sedangkan temperatur PWHT yang digunakan adalah 450°C dan 600°C. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sample telah dilas dengan variasi heat input 80A dan 140A, setelah itu dilanjutkan dengan perlakuan postheat dengan tempertur 450°C dan 600°C. Selanjutnya telah dilakukan pengujian struktur mikro, uji tarik dan kekerasan untuk mengetahui kualitas sambungan. Pada hasil pengamatan strukturmikro terbentuk struktur accicular ferit pada HAZ sample A.1. Acciculr ferit terbentuk dari fasa austenit yang mengalami pendinginan cepat sehingga membentuk ferit dengan bentuk yang tajam. Sample B.1

mengalami degradasi struktur accicular ferit diakibatkan karena waktu pendinginan yang sedikit melambat didaerah HAZ. Selanjutnya dari hasil uji kekerasan sample yang tidak diberi perlakuan pwht memiliki nilai kekerasan paling rendah karena struktur accicular ferit mengakibatkan nilai kekerasn didaerah HAZ sample menurun. Dan dari hasil uji tarik diketahui bahwa sample yang tidak diberi perlakuan pwht memiliki nilai kekuatan tarik dan yield paling besar. Besar kekuatan tarik dan yield adalah 563 Mpa dan 387 Mp untuk sample yang dilas dengan heat input 80A sedangkan 541 Mpa dan 375 Mpa untuk sample yang dilas dengan heat input 140A.

KATA KUNCI: SMAW, SA 516 Grade 70, Input Panas, Temperatur pwht, Accicular ferit

**ANALYZE THE EFFECT OF HEAT INPUT
VARIATION AND PWHT TEMPERATURE
TOWARDS MICROSTRUCTURE AND
MECHANICAL PROPERTIES AT LOW ALLOY
STEEL WITH SMAW WELDING PROCESS**

Student name : Andhanu Surya Ismail
SIDN : 2711 100 137
Department : Material and Metalurgical
Engineering
Supervisor I : Sutarsis, S.T, M.Sc.
Supervisor II : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

SA 516 Grade 70 is material that is used in the boiler industry (pressure vessel). In the welding process of SA 516 Grade 70 is required particular attention to get the result that is accordance with the desired and to avoid defects in welding process. In this study, the welding process has done. This welding used heat input variation and PWHT temperature to recognize its impact to structure micro and mechanical properties. The amount of heat input in this study used the current of 80A and 140A. Whereas the PHWT temperature that is used are 450°C and 600°C. The method that is used in this study is samples have been welded with the variation of heat input 80A and 140A, after that followed with the postheat treatment with the temperatures of 450°C and 600°C. Afterwards the testing of microstructure, tensile and hardness testing have done. These testings are used to discover the connection quality. In the result of microstructure observation, there formed accicular ferrite structure on HAZ sample A.1. Accicular ferrite is formed by austenite which is undergoing a process

of rapid cooling, thus this process is forming ferrite with a sharp shape. Sample B.1 accicular ferrite degradation structure is occurred. This is happened because of the cooling time is a little slow in the area of HAZ. Subsequently from the hardness testing, sample A.1 and B.1 have the lowest hardness value, it is because accicular ferrite structure makes the hardness value in the area of HAZ sample is declining. And from the tensile testing, is known that the sample which is not get pwht have the biggest tensile strength values and the biggest yield. The values of tensile strength and yield are 563 Mpa and 387 Mpa for sample in 80A heat, while 541 Mpa and 375 Mpa for sample in 140 heat.

Keywords : SMAW, SA 516 Grade 70, Heat Input, PWHT temperature, Accicular ferrite

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji serta syukur tiada hentinya penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan kuasa-Nya, penulis senantiasa di berikan kesehatan dan kemudahan sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul : **Analisa Pengaruh Variasi *Heat Input* dan Temperatur PWHT Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Baja Paduan Rendah dengan proses pengelasan SMAW.**

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan adik-adik tercinta atas semua dukungan doa dan materil yang selalu dicurahkan.
2. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
3. Bapak Sutarsis, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan motivasi , serta bekal yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen Pembimbing atas saran dan bimbingannya.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Metalurgi dalam mengerjakan laporan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh teman-teman Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, khususnya saudara-saudaraku MT 13.

8. Semua pihak yang telah membantu kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Aamiin.

Surabaya, 5 Agustus 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

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.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengelasan	5
2.2 Proses Pengelasan SMAW	6
2.3 Parameter Pengelasan SMAW	8
2.4 Siklus Thermal pada Proses Pengelasan.....	11
2.4.1 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)	12
2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Pendinginan pada Daerah Pengaruh Panas (HAZ)	13
2.5 Pengaruh Heat Input Terhadap Proses Pengelasan	16
2.6 Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Proses Pengelasan	20
2.7 Pengendalian Proses PWHT pada Pengelasan	20
2.10 Pembuatan Prosedur Pengelasan	23
2.11 Kegagalan dalam Proses Pengelasan.....	27
BAB III METODOLOGI	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	32

3.2.1	Bahan Penelitian.....	32
3.2.2	Peralatan Penelitian	32
3.3	Variabel Penelitian	33
3.4	Pelaksanaan Penelitian	33
3.4.1	Persiapan Bahan	33
3.4.2	Pre-Heat.....	34
3.4.3	Pengelasan.....	36
3.4.4	Liquid Penetrant Test	36
3.4.5	Proses Perlakuan Panas PWHT.....	38
3.4.6	Pengujian.....	38
3.4.6.1	Pengujian Metalografi	38
3.4.6.2	Pengujian Tarik.....	39
3.4.6.3	Pengujian Kekerasan	40
3.5	Rancangan Penelitian	42
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Hasil Foto Makro Specimen.....	43
4.2	Hasil Pengujian Metalografi.....	45
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan.....	56
4.3.1	Pengaruh Heat Input terhdap Hasil Uji Kekerasan.....	57
4.4	Hasil Pengujian Tarik.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
RIWAYAT PENULIS.....		69
LAMPIRAN.....		71

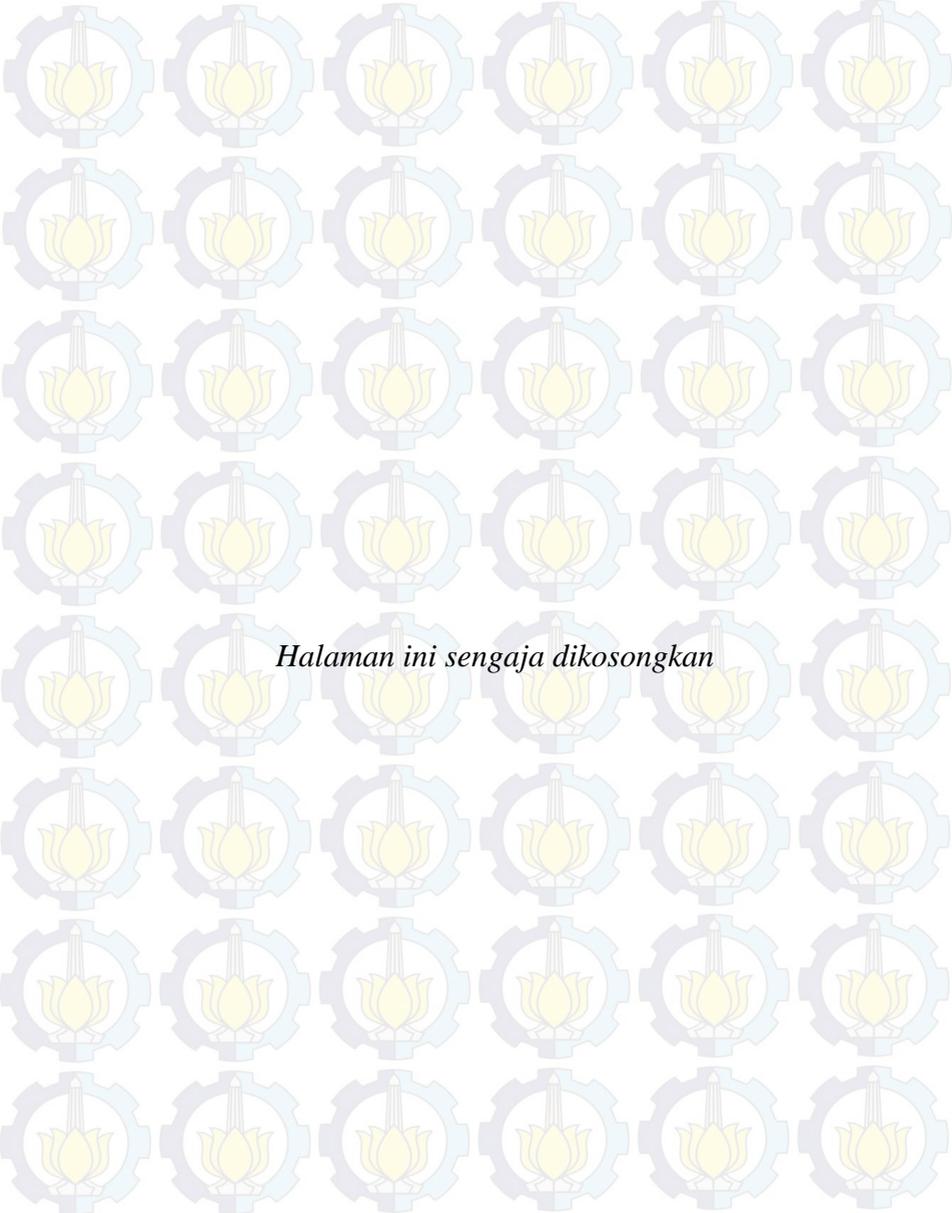
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Las Busur dengan Elektroda.....	6
Gambar 2. 2 Pemindahan Logam Cair.....	7
Gambar 2. 3 Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las. (20mm ; 170A ; 28V ; 15,2 cm/min).....	11
Gambar 2. 4 Diagram CCT	13
Gambar 2. 5 Laju pendinginan pada daerah pengaruh panas HAZ pada temperatur 700, 500 dan 300 sebagai pengaruh dari tebal plat dan temperatur preheat.....	14
Gambar 2. 6 Efek kondisi pengelasan terhadap laju pendinginan pada daerah pengaruh panas.....	15
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Pembentukan Bavel.....	34
Gambar 3. 3 Diagram Fasa Baja Karbon	35
Gambar 3. 4 Liquid Penetrant	37
Gambar 3. 5 Developer	37
Gambar 3. 6 Liquid Penetrant Test	38
Gambar 3. 7 Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF	39
Gambar 3. 8 Spesimen Uji Tarik.....	40
Gambar 3. 9 Peralatan Uji Hardness Tester HBRV	41
Gambar 3. 10 Posisi Pengujian Vickers Hardness Test	42
Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Makro specimen A.1 (80A ; tanpa perlakuan).....	43
Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan Makro specimen A.2 (80A ; 450°C).....	43
Gambar 4. 3 Hasil Pengamatan Makro specimen A.3 (80A ; 600°C).....	44
Gambar 4. 4 Hasil Pengamatan Makro specimen B.1 (140A ; tanpa perlakuan).....	44
Gambar 4. 5 Hasil Pengamatan Makro specimen B.2 (140A ; 450°C).....	44

Gambar 4. 6 Hasil Pengamatan Makro specimen B.3 (140A ; 600°C).....	45
Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample A.1 Dengan Perbesaran 500X.....	46
Gambar 4. 8 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample A.1 Dengan Perbesaran 500X.....	47
Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample A.1 Dengan Perbesaran 500X.....	47
Gambar 4. 10 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample B.1 Dengan Perbesaran 500X.....	48
Gambar 4. 11 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample B.1 Dengan Perbesaran 500X.....	49
Gambar 4. 12 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample B.1 Dengan Perbesaran 500X.....	49
Gambar 4. 13 Hasil Pengamatan Strukturmikro accicular .	50
Gambar 4. 14 Gambar 4. 14 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample A.2 Dengan Perbesaran 500X.....	51
Gambar 4. 15 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample A.2 Dengan Perbesaran 500X.....	51
Gambar 4. 16 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample A.2 Dengan Perbesaran 500X.....	51
Gambar 4. 17 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample B.2 Dengan Perbesaran 500X.....	52
Gambar 4. 18 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample B.2 Dengan Perbesaran 500X.....	52
Gambar 4. 19 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample B.2 Dengan Perbesaran 500X.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil data macro hardness.....	23
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia SA 516 Grade 70.....	32
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia AWS E8018 – B2	32
Tabel 3. 3 Parameter pengelasan.....	36
Tabel 3. 4 Alur Penelitian	42
Tabel 4. 1 Hasil Nilai Uji Kekerasan Sample A.1 (80A; Tanpa Perlakuan)	57
Tabel 4. 2 Hasil Uji Kekerasan Sample B.1 (140A ; tanpa perlakuan)	57
Tabel 4. 3 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample A.2 (80A;PWHT 4500C).....	58
Tabel 4. 4 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample B.2 (140A; pwht 450°C)	59
Tabel 4. 5 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample A.3 (80A; pwht 600°C)	60
Tabel 4. 6 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample B.3 (140A ; pwht 600°C)	60
Tabel 4. 7 Hasil Uji Tarik Berdasarkan Perbedaan Parameter Las.....	61
Tabel 4. 8 Hasil Uji Tarik Berdasarkan Perbedaan Parameter Las.....	62
Tabel 4. 9 Hasil Uji Tarik Berdasarkan Perbedaan Parameter Las.....	63



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam dunia industri penggunaan baja karbon sangat luas sekali. Baja karbon dengan kadar karbon menengah banyak digunakan pada komponen – komponen mesin dan aplikasi yang lainnya. Seringnya pada penggunaan komponen tersebut terjadi kerusakan dan diperlukannya penyambungan dengan pengelasan khususnya pengelasan SMAW. Pemilihan terhadap proses pengelasan SMAW dikarenakan metode pengelasan jenis ini lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya dan lebih efisien. [7]

Pada pengelasan SMAW banyak hal yang harus diperhatikan. Diketahui bahwa variasi yang terjadi pada morfologi mikrostruktur suatu material dapat dihasilkan dari penggunaan *single filler metal* yang menghasilkan perbedaan pada pengelasan dan kondisi thermal material tersebut. Hal ini akan berakibat pada kekuatan dan ketangguhan dari hasil lasan, maka dari itu pengawasan terhadap parameter pengelasan sangat penting agar tidak terjadi penurunan nilai kekuatan dan ketangguhan pada suatu material. [11]

Kekuatan tersebut dapat diatur jika kita dapat melakukan pengawasan ketat dalam penggunaan aplikasi parameter pengelasan saat proses berlangsung sehingga dapat mencegah terjadinya cacat las atau kerusakan lainnya. Heat input merupakan salah satu faktor penentu dalam proses pengelasan. Penggunaan *heat input* sangat mempengaruhi kekuatan dan kekerasan hasil pengelasan [5]

Heat Input yang berlebihan dapat mengakibatkan degradasi pada distribusi panas pada material sehingga dapat mengakibatkan potensi material memiliki struktur

akhir martensit lebih tinggi. Oleh karena itu pengawasan dalam besar atau kecilnya heat input harus diperhatikan sebelum proses pengelasan berlangsung.

Perubahan bentuk merupakan salah satu jenis cacat yang dihasilkan dari kurang tepatnya nilai heat input yang digunakan selama pengelasan. Perubahan bentuk yang terjadi dalam pengelasan tidak hanya mengurangi ketelitian ukuran dan penampakan luarnya saja tetapi juga menurunkan kekuatannya. Bila perubahan bentuk ini terjadi, untuk meluruskannya kembali diperlukan waktu dan kerja yang cukup banyak karena itu sedapat mungkin harus dihindari dengan menentukan prosedur lebih dahulu sebelum pelaksanaan pengelasan. Dalam penentuan prosedur yang tepat dalam pelaksanaan pengelasan hal pertama yang harus diperhatikan dalam mencegah terjadinya perubahan bentuk selama pengelasan adalah dengan mengurangi masukan panas pada logam lasan (*heat input*) / memperhatikan nilai heat input yang sesuai untuk proses pengelasan berlangsung.

Dengan mengurangi heat input lasan sampai seperlunya maka tidak akan terjadi suhu yang terlalu tinggi sehingga perubahan bentuk dapat dihindari sekecil – kecilnya. Bila logam las dikurangi, maka jumlah logam yang menyusut pada waktu pendinginan tidak terlalu banyak dan dengan sendirinya perubahan bentuk dapat dikurangi. [2]

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi heat input dan proses Post Weld Heat Treatment (PWHT) setelah proses pengelasan berlangsung terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari material baja paduan rendah pada proses pengelasan SMAW.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengotor yang masuk selama pengelasan diabaikan
2. Pengaruh variasi kondisi lingkungan diabaikan

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi besar heat input dan proses Post Weld Heat Treatment (PWHT) setelah proses pengelasan berlangsung terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari material baja paduan rendah pada proses pengelasan SMAW.

1.5. Manfaat Penelitian

Pada penelitian kali ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi mengenai pengaruh variasi heat input dan temperatur PWHT terhadap pengelasan baja paduan kekuatan tinggi.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

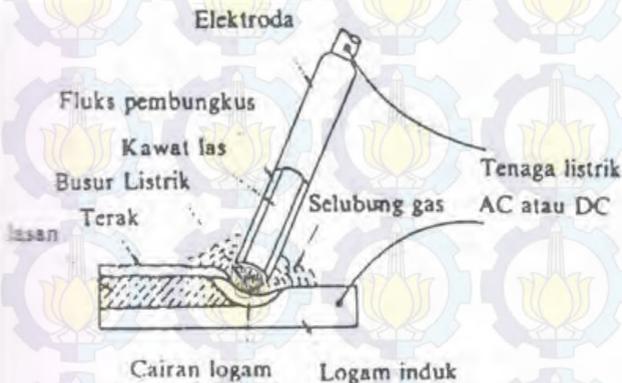
2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antrara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu diperhatikan metode dan prosedur pengelasan yang benar dan tepat, termasuk pemilihan bahan pengisi (*filler*) yang digunakan. [1]

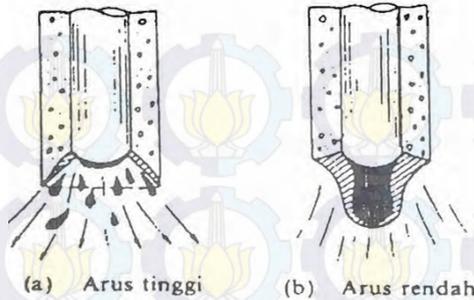
Luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, dan mudah serta bentuk konstruksi lebih variatif. Namun demikian disamping keuntungan, sambungan las juga memiliki kelemahan, diantaranya adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa, sert a adanya retak akibat proses pengelasan. [4]

2.2 Proses Pengelasan SMAW

Las Elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku secara bersamaan. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir – butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat pada gambar 2.2 (a) sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti gambar 2.2 [2]



Gambar 2. 1 Las Busur dengan Elektroda



Gambar 2. 2 Pemindahan Logam Cair

Pola pemindahan logam cair seperti yang diterangkan di atas sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan cairan di pengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti di terangkan di atas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur. [2]

Kualitas lasan, dan penetrasi pada hasil lasan dipengaruhi dari berbagai macam parameter pengelasan dan jenis sambungan. Parameter Pengelasan diantaranya sebagai berikut :

1. Arus / *Welding Current*
2. Tegangan / *Arc Voltage*
3. Kecepatan pengelasan / *Travel Speed*
4. Diameter Electrode

5. Polaritas

Dan semua parameter tersebut akan memberikan pengaruh pada hasil lasan diantaranya sebagai berikut :

1. Laju Deposit / *Deposit rate*
2. Bentuk Lasan
3. Kedalaman Penetrasi
4. Laju Pendinginan
5. Distorsi pada hasil lasan.

Oleh karena itu, pemahaman yang tepat mengenai akibat dari parameter tersebut adalah penting diketahui untuk menghasilkan hasil lasan yang baik dengan laju deposit yang memadai dan mengurangi kemungkinan terjadinya distorsi. Penyebab umum dari parameter tersebut akan dijelaskan dibawah ini.

Keuntungan menggunakan proses SMAW diantaranya adalah mudah di operasikan, biaya yang digunakan murah, tidak membutuhkan gas sebagai pelindung, dapat digunakan untuk semua posisi dan menjangkau tempat yang sulit diraih. Dan kekurangan dari proses SMAW diantaranya dapat menghasilkan spatter, dapat mengakibatkan terjadinya *slag inclusion*, laju deposit yang rendah, relatif menggunakan elektroda yang banyak.
[1]

2.3 Parameter Pengelasan SMAW

Pada proses pengelasan merupakan salah satu cara yang dilakukan dalam upaya mendapatkan suatu penyambungan logam dengan menggunakan energi panas. Dengan adanya energi panas maka logam pada lokasi penyambungan akan meleleh atau mencair, terjadi interksi

antara logam yang akan disambungkan dengan selanjutnya logam yang tersambung.

Pada proses pengelasan manual (Manual Welding Process), penyambungan logam dilakukan dengan menggunakan paduan gaya tekan dan energi panas yang dibangkitkan karena adanya tahanan listrik. Proses pengelasan ini biasa digunakan untuk aplikasi pengelasan plat atau pipa. Pada proses ini spesimen tersebut akan di jepit pada lokasi yang akan disambungkan dengan sepasang elektroda, kemudian dialiri arus listrik yang besar dalam waktu yang singkat. [6]

Proses pelelehan logam pada daerah lasan dan elektroda dengan sistem pendinginannya menciptakan proses perlakuan panas yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan tersebut. Secara umum terdapat tiga daerah pada daerah sambungan las, yaitu daerah lebur (*fusion zone*), daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*), dan daerah tak sampai pengaruh panas atau daerah logam induk (*base metal zone*).

Kualitas pada hasil pengelasan dan laju deposit keduanya dipengaruhi oleh variasi parameter yang digunakan. Berikut adalah beberapa parameter pengelasan yang mempengaruhi hasil pengelasan itu sendiri, diantaranya Arus, Tegangan, Kecepatan pengelasan, Kecepatan lelehan elektroda, dan diameter elektroda. Dan dari masing – masing parameter diatas memiliki pengaruh yang ditimbulkan pada hasil las, diantaranya pengaruh pada laju deposit, bentuk lasan, kedalaman penetrasi, laju pendinginan dan distorsi induksi las. Karena pemahaman yang sesuai akan akibat dari parameter pengelasan ini sangat penting maka hasil pengelasan dengan laju deposit metal yang sesuai pada pengelasan, dan minimum terjadinya distorsi sangat diharapkan. [1]

Menurut (Agaarwal, 1985) Pada Proses pengelasan SMAW, parameter yang berpengaruh pada kualitas hasil lasan adalah arus dan waktu pengelasan atau kecepatan pengelasan. Besar arus dan waktu pengelasan akan menentukan *heat input* pada daerah lasan dengan mengikuti rumus :

$$HI = \frac{I \times V \times 60}{T.s}$$

Dimana :

I = Arus

V = Voltase

T.s = Travel Speed (kecepatan pengelasan)

Pengaruh dari parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Arus

Arus las berpengaruh pada proses pelelehan dan penyambungan logam. Semakin besar arus yang diberikan maka akan semakin cepat proses pelelehan dan penyambungan yang terjadi. Akan tetapi hal ini dapat mengakibatkan semakin besarnya HAZ, persentase sambungan las dan perubahan struktur mikripada daerah sambungan. Sebaliknya bila arus kecil. Maka proses pelelehan dan penyambungan tidak terjadi.

b. Travel Speed

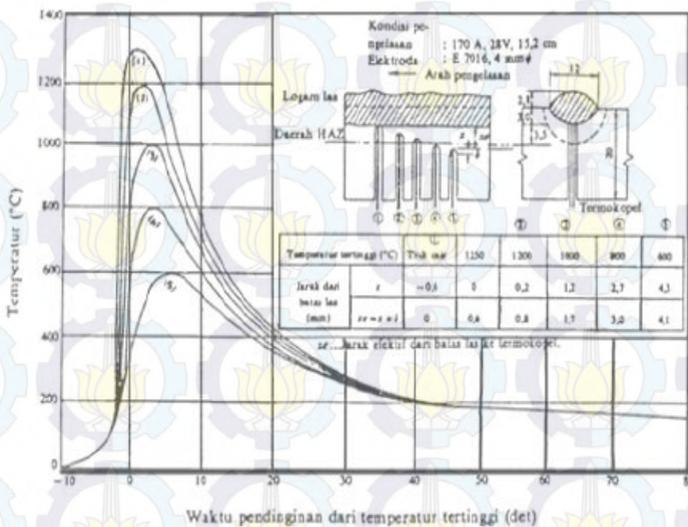
Semakin lama waktu pengelasan berarti semakin besar pula panas yang ditimbulkan. Hal ini mengakibatkan daerah pelelehan dan penyambungan logam akan semakin melebar. Sedangkan bila waktu yang dipergunakan terlalu singkat maka panas yang

ditimbulkan sedikit, sehingga belum terjadi pelelehan dan tidak terjadi penyambungan. [6]

Untuk mendapatkan kualitas produk sesuai persyaratan maka perlu dicari kombinasi optimum dari kedua parameter diatas.

2.4 Siklus Thermal pada Proses Pengelasan

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi didaerah lasan. Lamanya pendinginan dalam proses pengelasan sangat mempengaruhi hasil akhir dari pengelasan tersebut. Untuk melihat fenomena siklus thermal pada pengelasan akan dijelaskan pada grafik berikut :

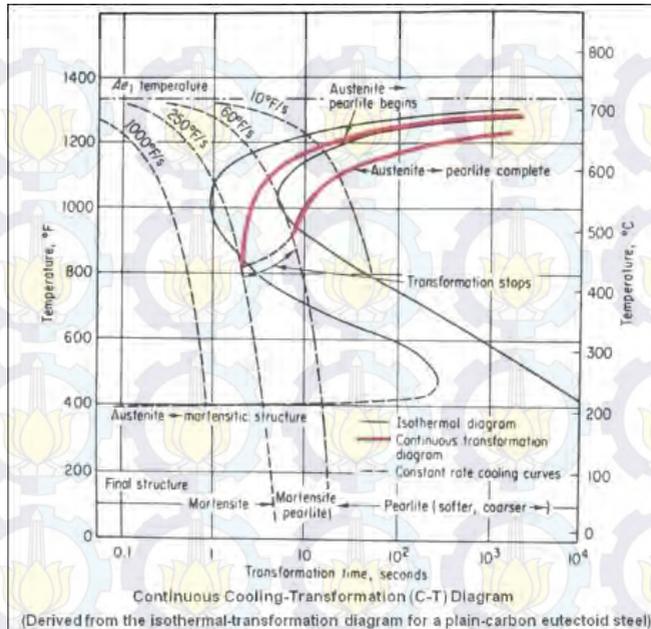


Gambar 2. 3 Siklus thermal las pada beberapa jarak dari batas las. (20mm ; 170A ; 28V ; 15,2 cm/min)

2.4.1 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C . Sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C .

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi pada daerah HAZ dapat dilihat dan di analisis menggunakan diagram CCT (Continuous Cooling Transformation). Diagram ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur mikro terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya. Dan setelah mengetahui karakteristiknya barulah dibuat prosedur pengelasannya. [2]

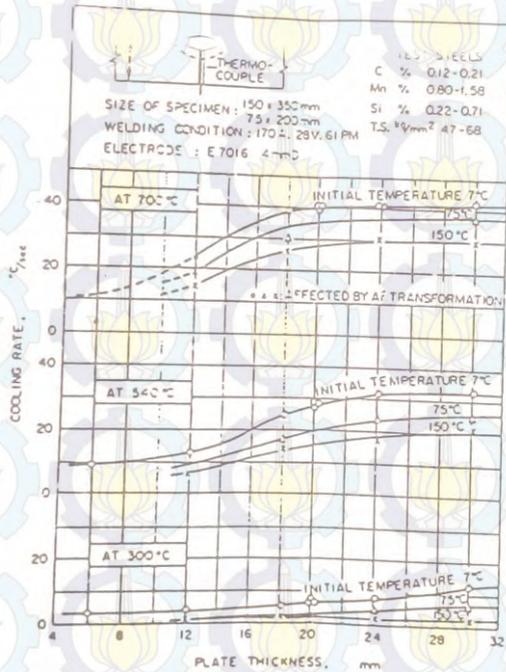


Gambar 2. 4 Diagram CCT

2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Pendinginan pada Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Mikrostruktur dan kekerasan pada daerah pengaruh panas (HAZ) tergantung pada seberapa besar laju pendinginannya. Laju pendinginan dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk ketebalan plat, kondisi parameter pengelasan yang digunakan, preheat, dan lain sebagainya. Sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variable pengelasan pada laju pendinginan di daerah pengaruh panas. Ketebalan plat dan temperatur preheat. Berdasarkan pada penelitian Kihara, pengaruh

ketebalan pada plat dapat mempengaruhi laju pendinginan pada daerah pengaruh panas.

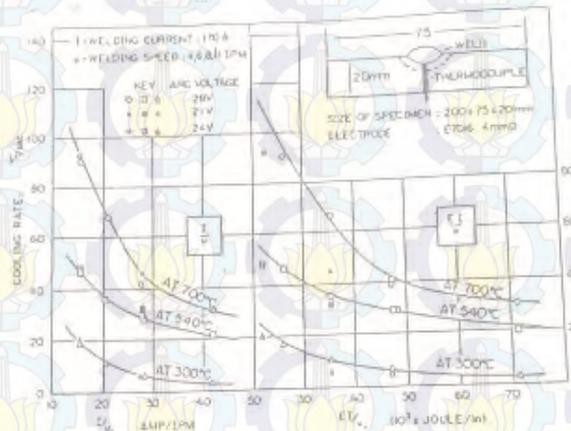


Gambar 2. 5 Laju pendinginan pada daerah pengaruh panas HAZ pada temperatur 700, 500 dan 300 sebagai pengaruh dari tebal plat dan temperatur preheat.

Dari diagram diatas dapat diketahui pengaruh dari ketebalan dan temperatur preheat terhadap laju pendinginan di daerah sekitar HAZ. Kampuh lasan adalah paduan rendah, baja kekuatan tinggi dengan dimensi lebar 3 in dan panjang 8 in. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan heat input 47600 joules/in. Siklus termal pada daerah pengaruh panas diukur dengan menggunakan thermokopel. Gambar diatas menunjukkan laju pendinginan dari tiga temperatur, 700°, 540°, dan 300°. Kesimpulan dari

gambar diatas dapat disimpulkan bahwa peningkatan ketebalan plat suatu spesimen maka laju pendinginan yang terjadi juga akan meningkat. [8]

Selanjutnya pengaruh lain yang dapat mengakibatkan perubahan pada laju pendinginan yaitu, heat input. Kihara juga melakukan penelitian mengenai perubahan laju pendinginan terhadap besar kecilnya heat input yang digunakan dalam pengelasan.

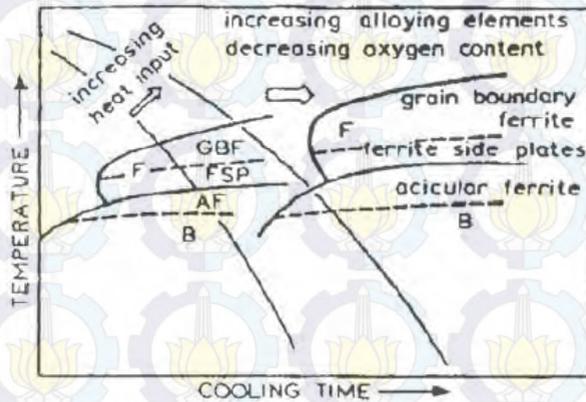


Gambar 2. 6 Efek kondisi pengelasan terhadap laju pendinginan pada daerah pengaruh panas

Dari hasil penelitian diatas dihasilkan dua variable yang proporsional dengan heat input. Dari diagram diatas dijelaskan pengaruh arus yang digunakan sangat berpengaruh dengan besarnya heat input dimana ini menghasilkan hubungan yang sangat erat dengan perubahan laju pendinginan pada daerah pengaruh panas. Kesimpulan dari penelitian diatas diketahui bahwa setiap kenaikan nilai heat input maka berakibat pada menurunnya laju pendinginan yang terjadi.

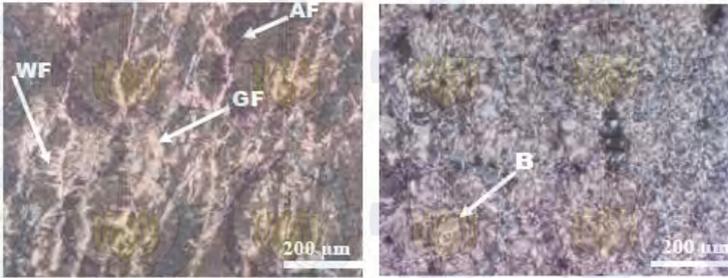
2.5 Pengaruh Heat Input Terhadap Proses Pengelasan

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari heat input yang digunakan pada pengelesan beberapa material. Yang pertama Pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan parameter pengelasan, heat input pada Baja C-Mn, baja SM490. Komposisi kimia dari baja SM490 adalah 0.1%C, 0.3% Si, 1.17%Mn. Pengamatan hasil struktur mikro dari hasil pengelasan diamati berdasarkan diagram *Continuous Cooling Transformations (CCT)*. Selanjutnya struktur mikro akan di analisis lebih lanjut mengenai pengaruhnya terhadap sifat mekanis material hasil lasan.



Gambar 2. 7 Diagram CCT pada proses pengelasan

Hasil uji struktur mikro terlihat dengan jelas bahwa besarnya masukan panas (heat input) yang sangat bergantung pada kecepatan pengelasan, ternyata memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap luasan daerah pengaruh panas hasil lasan. Dan dari hasil uji struktur mikro diketahui struktur mikro di beberapa daerah material las pada gambar 2.8.



(a) Las

(b) HAZ

Gambar 2. 8 Struktur Mikro Pengelasan untuk Heat Input 2.12 kJ/mm.

Keterangan :

AF = Accicular Ferrit

GF = Grain Boundary Ferrit

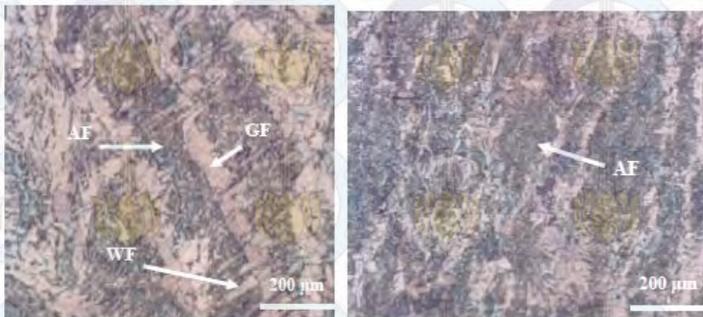
B = Bainit

WF = Widmanstätten Ferrit

Pada gambar 2.8(a) berdasarkan diagram CCT dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah lasan ini adalah ferit batas butir, *ferit widmanstätten*, dan *ferit accicular*. Nampak bahwa ferit accicular mempunyai jumlah cukup banyak pada daerah ini. Pada daerah HAZ terlihat adanya struktur bainit. Hal ini disebabkan karena terjadinya pengerasan pada butir austenit saat pemanasan dan laju pendinginan yang relatif lebih cepat dari pada daerah las. Struktur bainit berupa perlit dan cementit dan memiliki bentuk mirip dengan ferit *widmanstätten*. Perbedaannya terletak pada proses terbentuknya kedua struktur tersebut. Struktur bainit ini memiliki angka kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan ferit *widmanstätten*.

Selanjutnya masukan panas (heat input) terhadap struktur mikro logam las pada gambar 2.9. pada gambar

2.9(a) tampak bahwa struktur yang terbentuk didominasi oleh ferit batas butir dan ferit Widmanstatten, dan sedikit ferit accicular. Terbentuknya struktur yang demikian disebabkan oleh besarnya masukan panas dan waktu pendinginan yang relatif lebih lambat. Pada gambar 2.9(b) tampak bahwa jumlah struktur ferit accicular mengalami peningkatan tetapi ferit batas butir dan ferit Widmanstatten masih mendominasi. Sedangkan untuk gambar 2.9(c) terlihat bahwa jumlah struktur ferit accicular menunjukkan jumlah yang terbesar dibandingkan dengan ferit batas butir dan ferit Widmanstatten. Dari gambar 2.9 didapatkan heat input yang optimal adalah 2.12 kJ/mm. Pada heat input ini struktur mikro accicular ferit memiliki jumlah paling banyak.



(a) 3.99 kJ/mm

(b) 3.19 kJ/mm

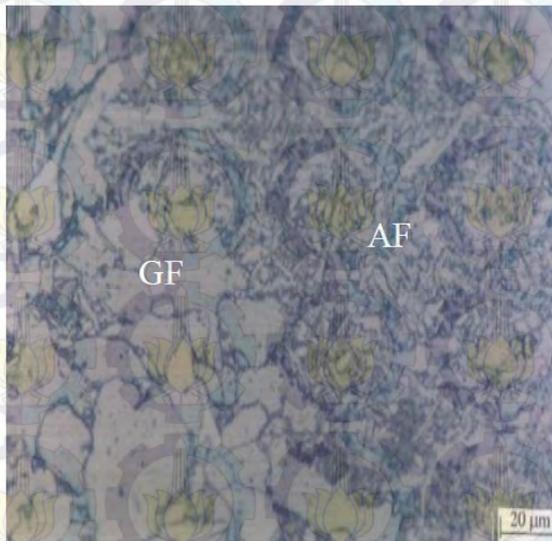


(c) 2.12 kJ/mm

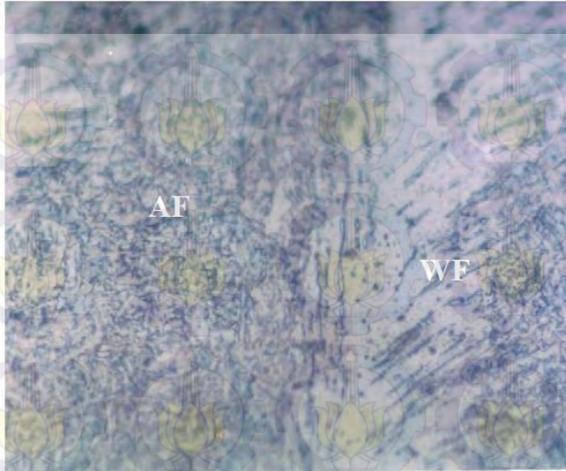
Gambar 2. 9 Mikrostruktur mikro daerah lasan

Dengan pembesaran struktur mikro yang lebih terlihat jelas pola dari ferit accicular yang berfungsi sebagai interlocking structure (gambar 2.10).

Seperti telah dikemukakan di depan bahwa keuletan dan ketangguhan logam las akan meningkat jika struktur mikro yang terbentuk berupa accicular ferit, sebaliknya penurunan ketangguhan dan keuletan terjadi pada logam las dengan struktur mikro yang terbentuk adalah ferit batas butir, ferit widmanstatten, bainit atau martensit. [10]



Gambar 2. 10 Struktur Mikro Accicular Ferit



Gambar 2. 11 Struktur Mikro Widmantstatten Ferit

2.6 Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Proses Pengelasan

Berdasarkan pada riset yang dilakukan oleh Arif, sarjana teknik material dan metalurgi 2006 mengenai Analisa hasil pengelasan pada baja AISI 1045 dengan variasi temperatur PWHT. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa variasi temperatur PWHT, yaitu proses postheat 450°C dan 600°C. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa proses PWHT mampu menurunkan tegangan sisa dan kekerasan maksimum pada hasil pengelasan. Adapun proses PWHT tidak memiliki pengaruh terhadap perubahan struktur mikro pada hasil pengelasan [7]

2.7 Pengendalian Proses PWHT pada Pengelasan

Pada pengelasan, kontrol temperatur dari suatu lasan dapat mencegah terjadinya masalah yang terkait langsung dengan proses pengelasan atau dapat mengurangi besarnya

pengaruh pengelasan. Karena itu proses heat treatment pada pengelasan menjadi salah satu bagian yang perlu diperhatikan. Heat treatment bisa dilakukan sebelum pengelasan maupun setelah pengelasan.

Heat treatment pada proses pengelasan biasa disebut sebagai Post Weld Heat Treatment (PWHT) atau postheat saja. Salah satu proses postheat yang paling sering dilakukan adalah *stress - relief heat treatment*. Stress relief sangat penting untuk hasil lasan terutama untuk hasil lasan pada baja dengan kadar carbon ekivalen yang tinggi atau ketebalan yang besar. Pada proses stress relief, pemanasan tidak akan menyebabkan terjadinya perubahan fasa logam hasil lasan, tetapi hanya menyebabkan rekristalisasi saja. Adapun tujuan dari PWHT adalah :

- Mengurangi tegangan sisa yang disebabkan oleh proses pengelasan.
- Untuk meningkatkan ketahanan terhadap brittle fracture.
- Untuk meminimalisir potesial hidrogen masuk kedalam hasil lasan.

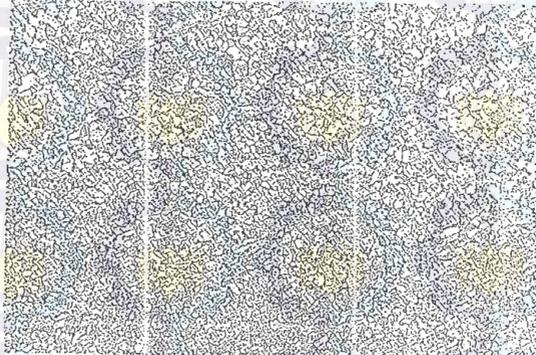
Pada baja karbon tinggi PWHT dilakukan untuk menghilangkan residual stress yang akan menaikkan kekerasan dan menurunkan sifat keuletan. Akibatnya, logam las memiliki kekerasan yang tinggi dan mempermudah terjadinya retak. Untuk baja karbon temperatur postheat dilakukan pada 600°C – 675°C dalam waktu satu jam setiap inchi. [12]

Dari hasil penelitian Olabi dan Hasymi (1996) terhadap baja karbon rendah (1020) diketahui bahwa proses PWHT memiliki efek yang berarti dalam mengurangi tegangan sisa dan temperatur 650°C adalah temperatur yang efektif untuk mengurangi tegangan sisa. Waktu tahanan yang lama dan pendinginan yang lebih lambat juga memberikan pengaruh yang besar dalam mengurangi tegangan sisa.

Selain itu, menurut Prasdiati (2006) bahwa proses PWHT yang dilakukan dengan temperatur 650°C dapat menurunkan kekerasan maksimum hasil pengelasan baja karbon medium akan tetapi tidak mempengaruhi struktur mikro.

2.8 Struktur Mikro Baja SA 516 Grade 70

Baja Karbon SA 516 Grade 70 adalah jenis baja ferit yang terdiri dari fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Struktur mikro baja karbon SA 516 Grade 70 (kandungan karbon maksimal 0.22%) ditampilkan dalam gambar 2.9.



Gambar 2. 12 Struktur Mikro Baja SA 516 Grade 70, Etsa Nital 2%, Perbesaran 100X

Dari hasil gambar struktur mikro baja SA 516 grade 70 didapatkan fasa ferit (putih) yang tersebar di seluruh permukaan baja dengan kandungan perlit (hitam). [13]

2.9 Nilai Kekerasan Pada Baja SA 516 Grade 70

Dari hasil penelitian mengenai pengujian kekerasan vickers pada material SA 516 Grade 70 didapatkan pengaruh parameter pengelasan terhadap kekerasan di daerah hasil

sekitar lasan. Berikut adalah data mengenai hasil penelitian dari Edwin, J, 2012. [14]

Tabel 2. 1 Hasil data macro hardness

Data Nilai Macro Hardness SA 516 Grade 70				
Parameter	275 A	235A	400A	
Nilai	254	257	254	
Macro Hardness	249	248	261	
	244	256	253	
	255	252	265	
	246	260	258	
	254	253	252	
	250	262	261	
	251	256	255	
	248	250	262	
	Average	250.1111	254.8889	257.8888889

2.10 Pembuatan Prosedur Pengelasan

Pada saat proses pembuatan *structures* dan *pressurised* dengan menggunakan pengelasan, ada hal-hal yang harus diperhatikan agar mendapatkan sifat material yang sesuai dengan aplikasinya. Untuk menentukan dan mengontrol pengelasan digunakan WPS yang berisi instruksi yang harus dilakukan dan diperhatikan saat proses pengelasan agar material yang dilas memiliki sifat yang diinginkan.

Walaupun WPS hanyalah lembaran dokumen sebagai instruksi kepada *welder*, dokumen tersebut harus diketahui oleh *welding inspector*. Hal ini WPS menjadi acuan bagi *welding inspector* untuk memeriksa apakah

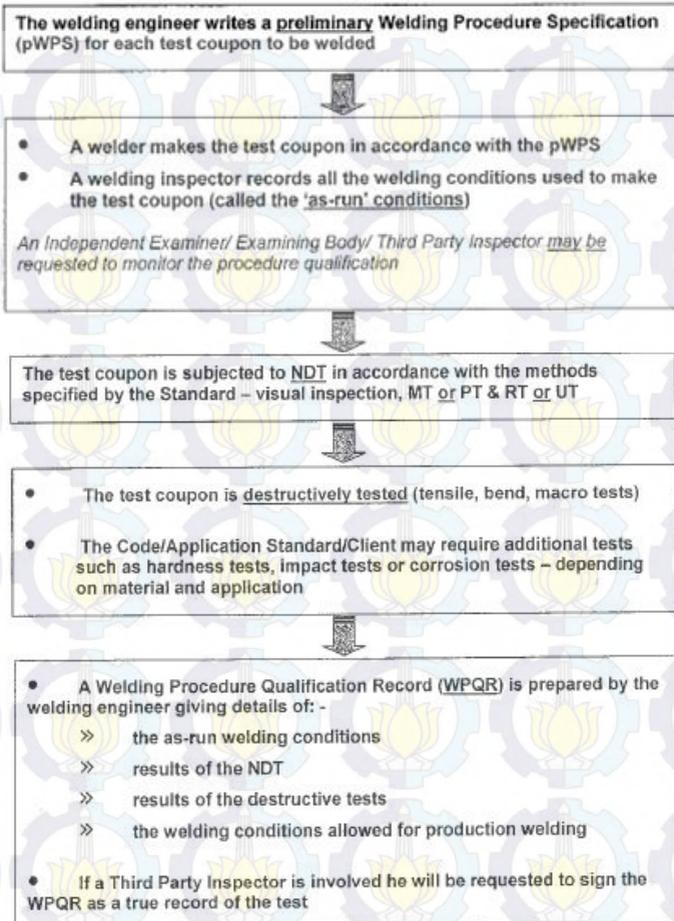
welder telah bekerja sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

Welder harus dapat memahami WPS dan harus memiliki kemampuan untuk menghasilkan hasil lasan yang tidak cacat dan harus mengikuti seleksi dengan persyaratan tertentu sebelum melakukan fabrikasi di bagian produksi.

Dibutuhkan suatu percobaan untuk menggunakan WPS yang memenuhi persyaratan untuk berbagai macam aplikasi. Prosedur pengelasan dikatakan memenuhi syarat dibuat dengan cara melakukan praktek pengelasan untuk menunjukkan bahwa sifat dari sambungan tekah memenuhi persyaratan yang spesifik terhadap aplikasi yang akan digunakan (*client/end user*).

Pembuktian sifat mekanik pada sambungan pengelasan merupakan tujuan utama dari *qualification test*, tetapi menunjukkan cacat lasan yang dihasilkan juga menjadi hal yang terpenting. Hasil lasan yang dibuat layaknya kondisi pengelasan yang sama dengan pada saat uji coba pengelasan harus memiliki sifat yang sama dan sesuai dengan yang diinginkan

Prosedur kualifikasi untuk Standar Eropa dengan cara pengujian pengelasan ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Diagram kualifikasi WPS

Semua standar (kode, spesifikasi, praktek yang direkomendasikan, metode, klasifikasi dan panduan) dari *American Weldings Society* merupakan pengembangan yang dilakukan berdasarkan aturan dari *American National Standards Institute (ANSI)*. *AWS* dipergunakan untuk *Structural Welding Code*. Kode yang dituliskan mencakup

persyaratan pengelasan dari berbagai tipe pengelasan baja karbon dan baja paduan. *Clause 1 – 8* merupakan satu kesatuan untuk peraturan pengelasan konstruksi baja. Terdapat 9 *normative* dan 12 lampiran informasi pada kode ini.

Clause 1 menjelaskan tentang Persyaratan Umum mengenai *Structural Welding Code*. Clause 2 menjelaskan tentang *Design of Welding Connection*. Clause 3 menjelaskan tentang *Prequalification of WPS*. Clause 4 menjelaskan tentang *Qualifications*. Clause 5 menjelaskan tentang *Fabrication*. Clause 6 menjelaskan tentang *Inspection*. Clause 7 menjelaskan tentang *Stude Welding*. Dan Clause 8 menjelaskan tentang *Strengthening and Repairing Existing Structures*. [3] [1]

Didalam AWS D1.1 dijelaskan bahwa toleransi untuk tebal plat yang dapat digunakan dengan menggunakan parameter pengelasan yang sama namun tidak mengakibatkan perubahan pada mikrostruktur dan sifat mekanik hasil lasan.

Tabel 2. 3 Ketebalan Minimum Plat untuk Pengelasan

Test On Plate		
Nominal Plate Thickness (T) tested, mm	Nominal Thickness mm	Plate Qualified, Max
3 < T < 10	3	2T
10 < T < 25	3	2T
25 and over	3	Unlimited

Dari tabel diatas dijelaskan bahwa plat yang memiliki ketebalan dengan perbedaan di antara 3 sampai 10 mm diperbolehkan mengelas plat yang sama dengan ketebalan minimum 3 mm atau 2 kali dari tebal plat tersebut. [3]

2.11 Kegagalan dalam Proses Pengelasan

Analisis kegagalan pada sambungan pengelasan antara mulut pipa dan ujung reaktor terjadi pada duplex stainless steel diketahui pada hasil dari mikroskop optik dan *scanning electron microscopy* (SEM). Yang dan tim melakukan analisis kegagalan pada pengelasan dari material 2205 duplex stainless steel pada mulut pipa.

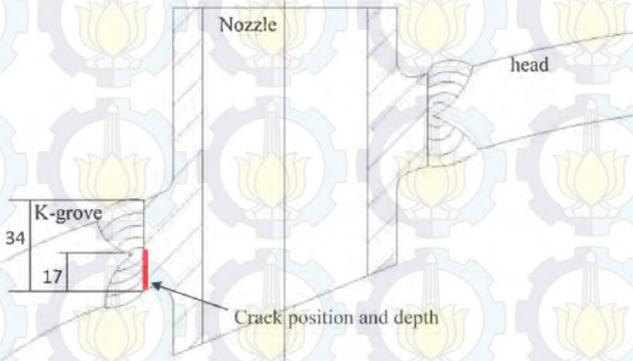
Crack ditemukan pada daerah sekitar HAZ pada pengelasan. Kedalaman dari crack sama dengan ketebalan dari penampang lasan dalam. Lokasi distribusi tidak merata antara ferit/austenit dengan kadar struktur ferit mencapai 80 – 90% ditemukan pada lokasi crack tersebut.

Duplex stainless steel (DSSs) dengan fasa feritik dan austenitik memiliki ketahanan terhadap lokalisasi korosi dibandingkan dengan stainless steel satu fasa autenitik. Akan tetapi DSSs memiliki peningkatan dalam beberapa tahun ini sebagai material yang digunakan sebagai dasar struktur dalam banyak industri, seperti kimia, petrokimia, pembangkit, dll.

Keunggulan dari Sifat mekanik yang baik dan ketahana terhadap korosi dari DSSs tergantung pada saat terbentuknya fasa austent dan ferit yang pada pengelasan berlangsung, berkisar 1:1 dan dengan tambahan kandungan Cr, Mo, dan N yang tinggi.

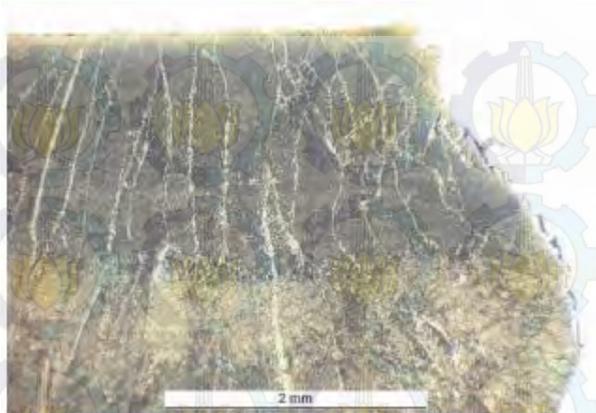
Pada kejadian kegagalan ini terjadi pada reaktor vessell setelah beroperasi selama 1 tahun. Sambungan antara mulut pipa dan ujung reaktor dilas dengan menggunakan metode pengelasan SMAW. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan 5 lapis pengelasan. Crack yang ditemukan di

seluruh ke lima lapisan pengelasan tersebut dibagian terluar ujung popa dan semua lokasi terluar tersebut sangat sulit dijangkau oleh welder dalam proses pengelasan berlangsung. Berikut adalah lokasi crack yang ditemui pada material tersebut.



Gambar 2. 14 Detail struktur pengelasan pada ujung mulut pipa dan kepala reaktor

Dari penelitian terhadap analisis terjadinya crack, ditemukan adanya persebaran yang tidak merata antara struktur akhir pada daerah pengelasan, yaitu ditemukannya 80 – 90 % Ferit. Hal ini disebabkan karena panas yang terjadi saat pengelasan tidak cukup sehingga energi untuk proses sambungan tersebut kurang optimal. [15]



Gambar 2. 15 Penampakan struktur mikro ferit (yang hitam) lebih dominan dari austenit (putih)

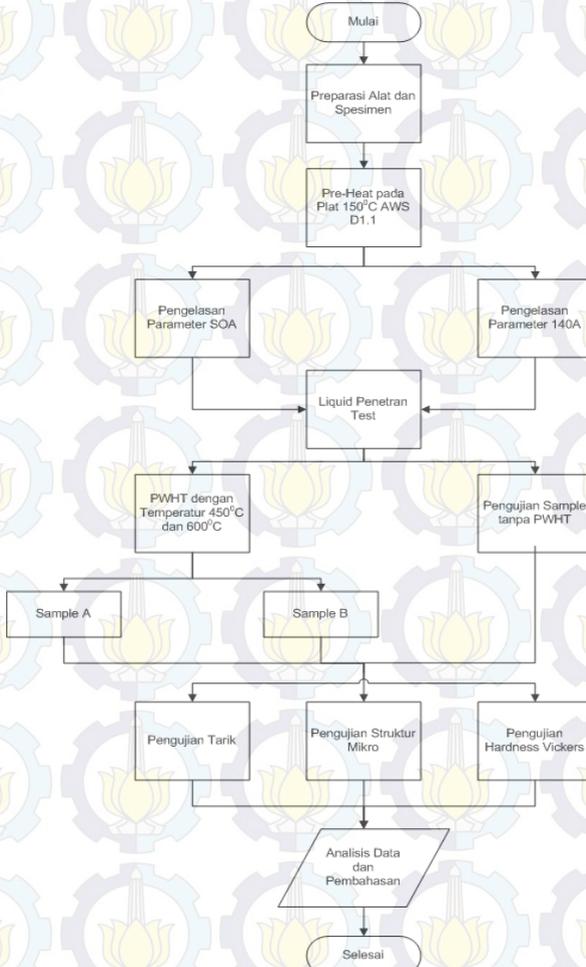


Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir sesuai Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Plate ASME SA 516 Grade 70
Dengan Dimensi sebagai berikut :
Thickness : 12,7 mm dan 9mm
Width : 300 mm
Long : 300 mm

ASME SA 516 Grade 70 merupakan material yang diaplikasikan pada pembuatan bejana bertekanan dimana Komposisi Kimia dari ASME SA 516 Grade 70 akan dijelaskan dalam tabel 2.2 berikut :

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia SA 516 Grade 70

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.2	0.22	1.2	0.001	0.003	0.003	0.004

2. Elektroda yang digunakan
AWS E8018- B2 Dengan diameter 3.2 mm.
Komposisi Kimia dari AWS E8018-B2 dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 3. 2 Komposisi Kimia AWS E8018 – B2

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.08	0.32	0.77	0.014	0.011	1.3	0.54

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Welding Mesin dengan spesifikasi MILLER SRH 500

2. Welding Torch
3. Welding Clamp
4. Helm Pelindung
5. Kacamata
6. Chipping
7. Mesin Optik
Digunakan untuk melihat struktur spesimen dalam skala mikro.
8. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk menguji kekerasan spesimen. Metode yang digunakan adalah uji kekerasan brinell.
9. Mesin Uji Tarik
10. Furnice
Digunakan untuk melakukan proses PWHT

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah besar dari parameter yang digunakan dalam pengelasan.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

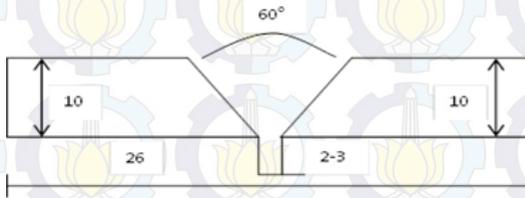
3.4.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah material ASME SA 516 Grade 70 dengan proses pengelasan menggunakan elektroda dengan klasifikasi E8018-B2.

Material SA 516 Grade 70 dipersiapkan sebanyak dua plat dengan ketebalan yang berbeda, untuk material sample A digunakan material SA 516 dengan tebal 12.7 mm dan untuk material sample B digunakan material SA 516 dengan tebal 9 mm.

Setelah melakukan persiapan bahan sesuai dengan tahapan di atas pertama plat yang sudah siap di las di

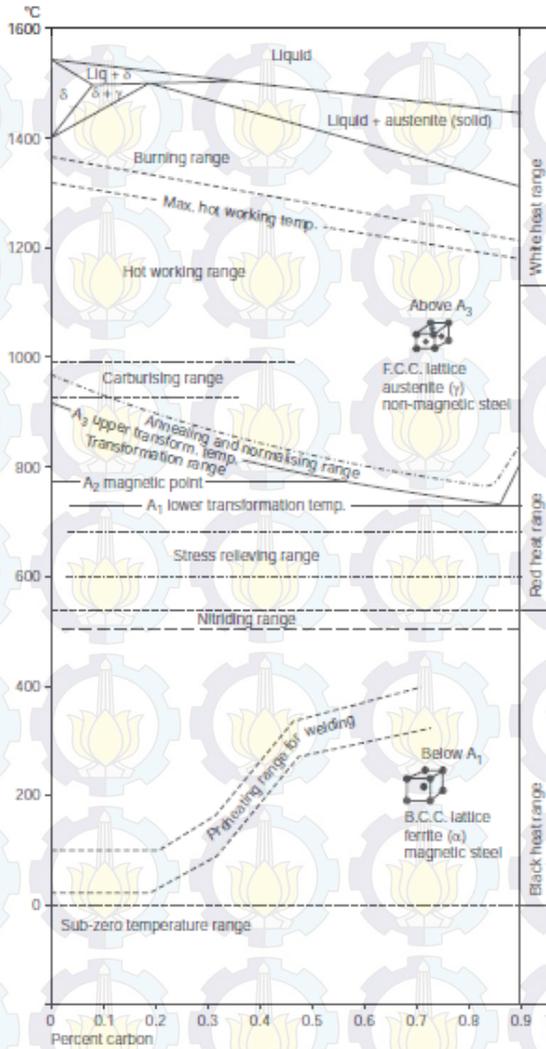
bentuk bawalnya dengan ketentuan yang sesuai dengan AWS D1.1 dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 3. 2 Pembentukan Bavel

3.4.2 Pre-Heat

Lalu tahap selanjutnya adalah melakukan pre-heat sebelum pengelasan di mulai dengan temperatur 150°C.



Gambar 3. 3 Diagram Fasa Baja Karbon

3.4.3 Pengelasan

Selanjutnya adalah proses pengelasan. Pengelasan dilakukan dengan acuan parameter sesuai yang dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 3. 3 Parameter pengelasan

No	Nama Specimen	Elektroda			Parameter Pengelasan			
		Spesifikasi	Diameter	Trade Name	AMPS	VOLTS	TRAVEL SPEED (mm/min)	HEAT INPUT (Kj/mm)
1	Sample A.1	AWS E8018 - B2	3.2 mm	ESAB	80 A	19 - 26	35 - 48	
2	Sample A.2	AWS E8018 - B2	3.2 mm	ESAB	80A	20 - 26	36 - 48	
3	Sample A.3	AWS E8018 - B2	3.2 mm	ESAB	80A	21 - 26	37 - 48	
4	Sample B.1	AWS E8018 - B2	3.2 mm	ESAB	140A	22 - 26	38 - 48	384
5	Sample B.2	AWS E8018 - B2	3.2 mm	ESAB	140A	23 - 26	39 - 48	384
6	Sample B.3	AWS E8018 - B2	3.2 mm	ESAB	140A	24 - 26	40 - 48	384

Mula – mula pengelasan dilakukan dengan memberikan pre – heat kepada plat sebesar 150°C. Lalu proses pengelasan dilakukan dengan parameter yang berbeda. Untuk plat A (9 mm) di las dengan besar arus 80A. Lalu untuk plat B (12,7 mm) di las dengan besar arus 140A.

Semua proses pengelasan menggunakan Elektroda AWS E8018 – B2 dimana kondisi eketroda sudah di oven terlebih dahulu selama dua jam dengan temperatur 200°C berdasarkan pada acuan buku manufaktur elektroda (ESAB).

3.4.4 Liquid Penetrant Test

Selanjutnya dilakukan proses Liquid Penetrant Test setelah proses pengelasan berlangsung untuk mengetahui apakah ada cacat las yang ditemukan pada hasil lasan. Liquid Penetrant Test dilakukan berdasarkan pada ASM Metal Handbook vol 17. Tahapan – tahapan yang perlu dilakukan dalam melakukan liquid penetrant test adalah:

1. Bersihkan permukaan yang akan di semprotkan oleh liquid penetrant hingga bersih.
2. Semprotkan Liquid Penetrant ke permukaan material.



Gambar 3. 4 Liquid Penetrant

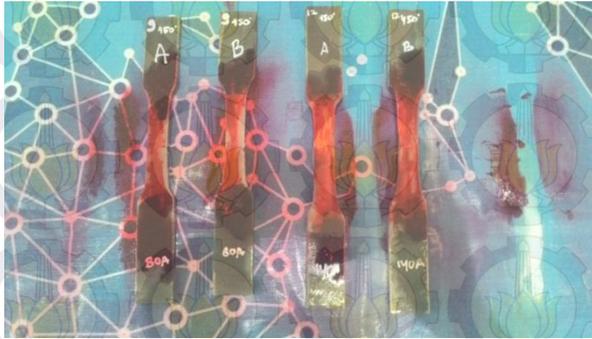
3. Tunggu 20 sampai 30 menit hingga liquid penetrant benar – benar masuk ke dalam permukaan material.
4. Bersihkan permukaan dari cairan penetrant hingga bersih.
5. Lalu semprotkan permukaan dengan developer dan tunggu hingga 10 menit.



Gambar 3. 5 Developer

6. Lalu bersihkan permukaan dari cairan developer.

7. Evaluasi permukaan dari deteksi cacat dan kerusakan pada hasil lasan.



Gambar 3. 6 Liquid Penetrant Test

3.4.5 Proses Perlakuan Panas PWHT

Setelah di inspeksi secara visual dengan liquid penetrant test, langkah selanjutnya adalah melakukan perlakuan panas berupa post weld heat treatment dengan menggunakan furnace pada temperatur 450oC dan 600oC. Metode pengerjaannya adalah dengan memasukkan spesimen ke dalam furnace dan men-set furnace pada temperatur pwht 450oC dan 600oC. Lalu setelah mencapai temperatur tersebut furnice dimatikan dan dilakukan holding selama 2 jam, setelah itu specimen di lakukan normalizing dengan temperatur kamar.

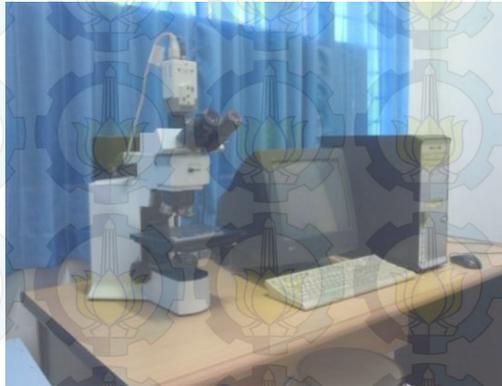
3.4.6 Pengujian

3.4.6.1 Pengujian Metalografi

Dari masing – masing proses pengelasan diambil 1 buah spesimen yang telah dibuat untuk pengujian foto mikro. Pada spesimen ls metalografi yang

diamati adalah pada base metal, daerah HAZ, dan weld metal nya sesuai dengan standart ASTM – E3.

1. Dilakukan persiapan spesimen dengan menggunakan mesin grinda dan pengamplasan.
2. Pemotongan menggunakan mesin geraji.
3. Hasil pemotongan dihaluskan menggunakan mesin grinda dan pengamplasan.
4. Permukaan yang akan diuji dihaluskan dengan mesin poles degan tingkat 120 – 2000.
5. Permukaan digosok dengan kain bludru yang ditaburi dengan serbuk alumina hingga permukaan bersih, mengkilap seperti cermin.
6. Proses etsa spesimen dicelupkan dalam larutan reagent kallers selama beberapa saat, kemudian dibilas dengan alkohol agar permukaan tidak terkorosi secara berlebihan.

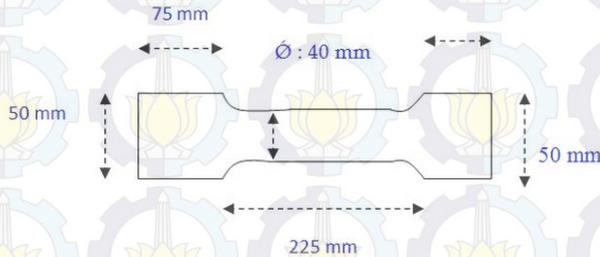


Gambar 3. 7 Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF

3.4.6.2 Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik (σ_u) dan kekuatan luluh (σ_y) dari sambungan las. Dari uji tarik ini akan diperoleh kualitas sambungan las, apakah specimen putus didaerah lasan atau didaerah lain.

Adapun bentuk specimen uji tarik mengikuti standar ASME sec. II A370 untuk uji tarik las, dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 3. 8 Spesimen Uji Tarik

3.4.6.3 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan dengan menggunakan metode vickers sesuai dengan ASTM E92 HV 10 dilakukan beberapa tahap pengerjaan. Tahap – tahap yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

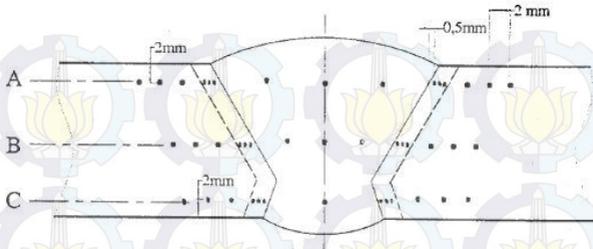
1. Mempersiapkan specimen sesuai dengan standart dari literatur yang digunakan.
2. Spesimen yang digunakan dalam pengujian hardness vickers adalah material yang sebelumnya telah dilakukan uji foto makro, mengingat bahwa uji hardness ini memerlukan tingkat kehalusan dari permukaan specimen uji hampir sehalus pada specimen foto makro, kurang lebih hingga grade 1500.
3. Mempersiapkan peralatan pengujian microhardness, untuk pengujian yang akan dilakukan 3 titik pengujian pada base metal, 3 titik pada HAZ , dan 3 titik pada weld metal.
4. Pengujian dilakukan pada posisi top, center dan bottom.

5. Meletakkan material uji pada meja kerja, menekan indenter pada masing – masing lokasi yang diinginkan pada masing – masing specimen dengan beban yang ditentukan sesuai standart.
6. Indenter berbentuk dimond diletakkan pada tempat yang akan diuji kekerasannya dengan cara menarik handle yang ada di samping mesin. Handle dilepas, sehingga indenter akan menekan specimen dengan dwell time 10 detik.
7. Mencatat hasil pengukuran.

$$HV_N = 1,854 \frac{p}{n^2}$$



Gambar 3. 9 Peralatan Uji Hardness Tester HBRV



Gambar 3. 10 Posisi Pengujian Vickers Hardness Test

3.5 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang akan dilakukan pada pengelasan ini adalah sebagai berikut :

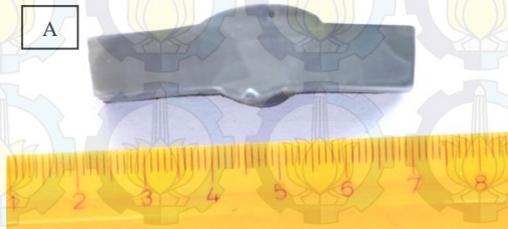
Tabel 3. 4 Alur Penelitian

Tabel Penelitian											
No	Nama Specimen	Parameter Pengelasan	Perlakuan Panas	Pengujian							
				Tensile Strength		Struktur Mikro			Hardness Test (Metode Vickers)		
				UTS	Yield Strength	Base Metal	Heat Affected Zone (HAZ)	Weld Metal	Base Metal	Heat Affected Zone (HAZ)	Weld Metal
1	Sample A.1	80 A	Non PWHT								
2	Sample A.2	80A	PWHT 450°C								
3	Sample A.3	80A	PWHT 600°C								
4	Sample B.1	140A	Non PWHT								
5	Sample B.2	140A	PWHT 450°C								
6	Sample B.3	140A	PWHT 600°C								

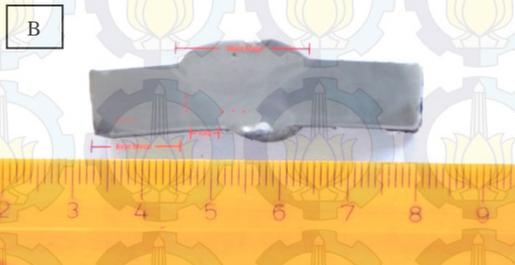
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Foto Makro Specimen

Dari hasil foto makro di dapatkan gambar daerah – daerah hasil lasan pada specimen, dari daerah base metal, HAZ dan weld metal. Bentuk dan lebar dari HAZ pada umumnya dipengaruhi oleh besar heat input dan kecepatan pengelasan. Hasil pengamatan makro terhadap specimen seperti gambar dibawah berikut :



Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Makro specimen A.1 (80A ; tanpa perlakuan)



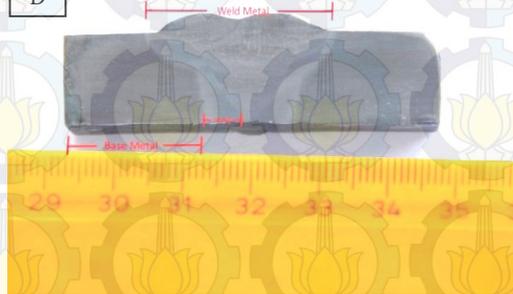
Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan Makro specimen A.2 (80A ; 450°C)

C



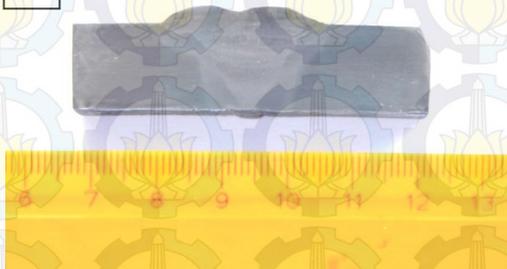
Gambar 4. 3 Hasil Pengamatan Makro specimen A.3 (80A ; 600°C)

D



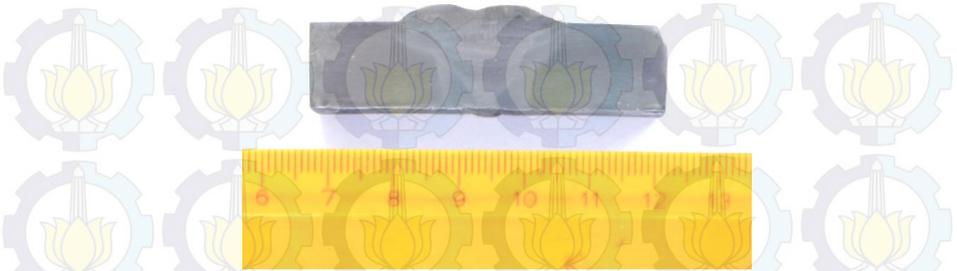
Gambar 4. 4 Hasil Pengamatan Makro specimen B.1 (140A ; tanpa perlakuan)

E



Gambar 4. 5 Hasil Pengamatan Makro specimen B.2 (140A ; 450°C)

F



Gambar 4. 6 Hasil Pengamatan Makro specimen B.3 (140A ; 600°C)

Pengamatan makro dilakukan dengan menggunakan etsa nital 2%. Pada gambar 4.1, 4.2, 4.3 menunjukkan lebar HAZ untuk hasil lasan dengan menggunakan heat input 80A, yaitu sebesar 5mm. Sedangkan pada gambar 4.4, 4.5, 4.6 menunjukkan lebar HAZ untuk hasil lasan dengan menggunakan heat input 140A, yaitu sebesar 7mm. Hal ini disebabkan karena besar heat input dan tebal plat memiliki pengaruh pada lebar HAZ sample uji. Semakin besar heat input dan tebal plat akan membuat daerah distribusi panas semakin besar karena masih ada daerah yang cukup luas untuk panas memperluas daerahnya akibat dari proses pengelasan berlangsung.

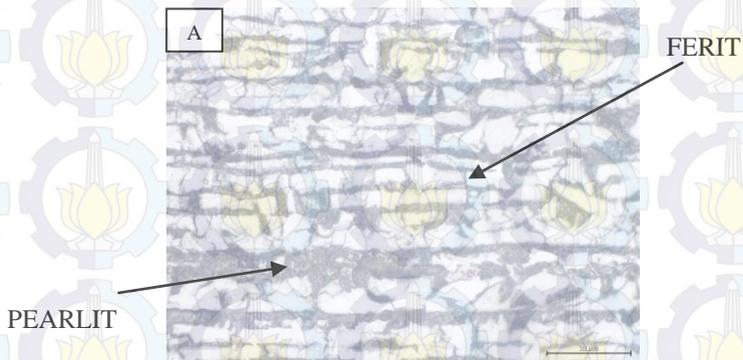
4.2 Hasil Pengujian Metalografi

Dari pengujian metalografi menggunakan Mikroskop Optik olympus BX51MRF dijelaskan hasil struktur mikro hasil lasan. Berikut akan dijelaskan kode sample sebagai berikut :

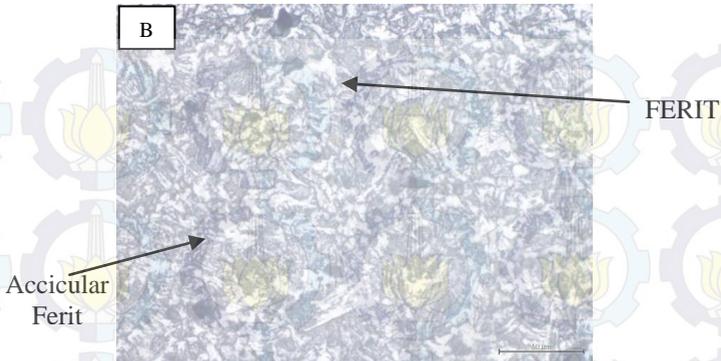
- A. Sample A.1 adalah sample yang dilas dengan heat input 80A dan tanpa perlakuan.
- B. Sample A.2 adalah sample yang dilas dengan heat input 80A dan pwht temperatur 450°C.

- C. Sample A.3 adalah sample yang dilas dengan heat input 80A dan pwht temperatur 600°C.
- D. Sample B.1 adalah sample yang dilas dengan heat input 140A dan tanpa perlakuan.
- E. Sample B.2 adalah sample yang dilas dengan heat input 140A dan pwht temperatur 450°C.
- F. Sample B.3 adalah sample yang dilas dengan heat input 140A dan pwht temperatur 600°C.

Dibawah ini akan dijelaskan pengaruh heat input 80A dan 140A terhadap transformasi strukturmikro. Gambar 4.7 sampai gambar 4.9 dijelaskan strukturmikro sample A.1 di daerah basemetal, HAZ dan weldmetal:



Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample A.1 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 8 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample A.1 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample A.1 Dengan Perbesaran 500X

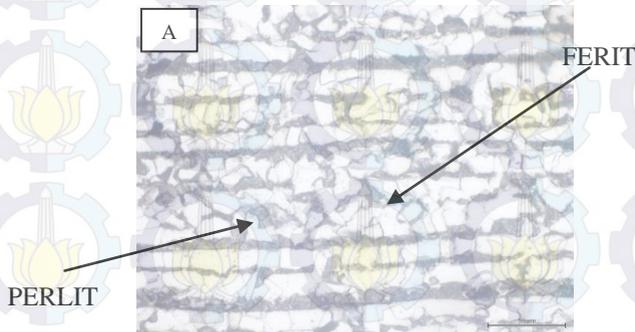
Dapat dilihat dari strukturmikro *sample* A.1 daerah base metal memiliki struktur mikro ferit (putih) yang dominan (gambar 4.7). Lalu untuk strukturmikro di daerah HAZ terbentuk accicular ferit yang tajam – tajam sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.8. Dan gambar 4.9 menjelaskan strukturmikro weldmetal yang terdiri dari ferit dengan ukuran yang kecil dan banyak.

Dari hasil pengamatan strukturmikro daerah HAZ mengalami transformasi strukturmikro, yaitu membentuk accicular ferit. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.8

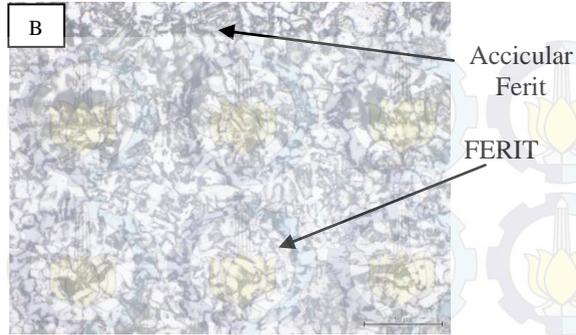
heat input 80A mengakibatkan terbentuknya strukturmikro accicular ferit. Accicular ferit merupakan fasa yang terbentuk akibat dari kecepatan pendinginan setelah proses pengelasan. Fasa austenit mengalami perubahan struktur menjadi ferit dengan bentuk yang tajam – tajam akibat dari cepatnya proses pendinginan di daerah HAZ.

Pada diagram transformasi strukturmikro sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.7 strukturmikro accicular ferit terbentuk disebabkan oleh fasa austenit yang mengalami perubahan pada proses pendinginan yang cepat di daerah HAZ sehingga strukturmikro ferit tidak sempurna dan membentuk butir yang tajam. [10]

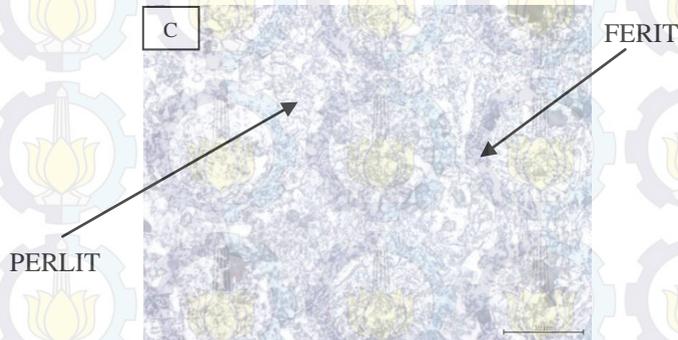
Selanjutnya gambar 4.10 sampai gambar 4.12 menjelaskan strukturmikro hasil pengelasan sample B.1 di daerah basemetal, HAZ dan weldmetal :



Gambar 4. 10 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample B.1 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 11 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample B.1 Dengan Perbesaran 500X



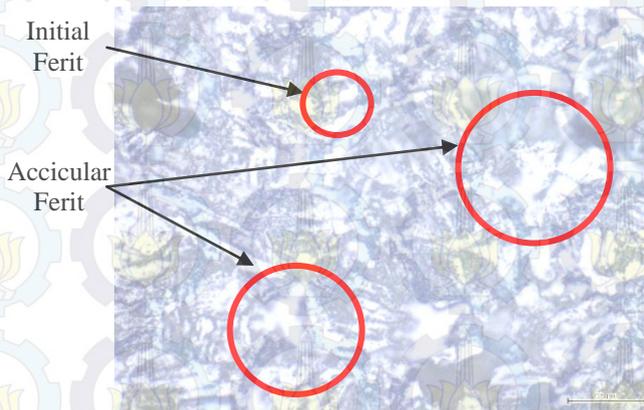
Gambar 4. 12 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample B.1 Dengan Perbesaran 500X

Dari gambar 4.10 dapat diketahui strukturmikro basemetal adalah ferit dan perlit dengan bentuk yang sama dengan basemetal sample A.1. Lalu pada gambar 4.11 dijelaskan strukturmikro HAZ pada sample B.1 adalah accicular ferit dan ferit, namun jumlah accicular ferit nya berkurang dibandingkan dengan sample A.1. Dan pada gambar 4.12 dijelaskan strukturmikro weldmetal sample B.1 yang mengandung strukturmikro ferit dan perlit.

Pada gambar 4.11 sample B.1 memiliki strukturmikro accicular ferit juga namun jumlahnya lebih

sedikit. Hal ini disebabkan karena heat input yang besar akan membuat kecepatan pendinginan sedikit menurun sehingga fasa austenit masih memiliki sedikit waktu untuk berubah menjadi fasa ferit granular dengan bentuk yang menyerupai pulau kecil. Namun masih didominasi oleh accicular ferit.

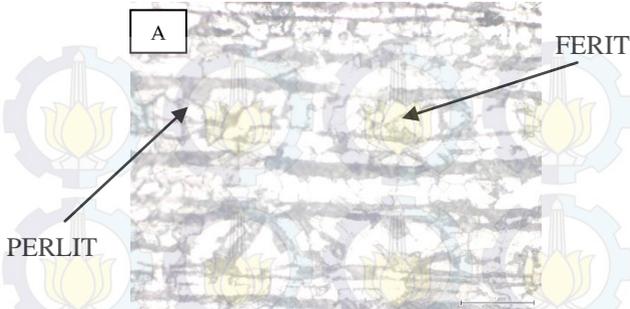
Pada gambar 4.13 dijelaskan strukturmikro accicular ferit yang terbentuk pada HAZ sample A.1 dan sample B.1



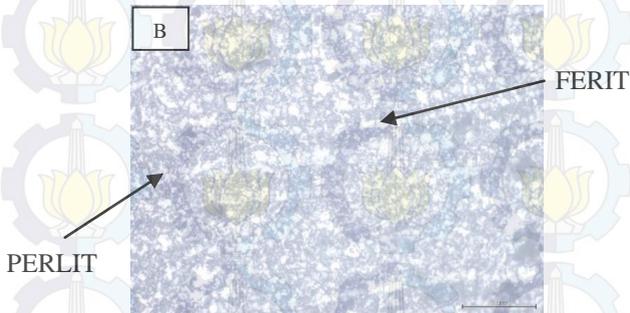
Gambar 4. 13 Hasil Pengamatan Strukturmikro accicular

Accicular ferit merupakan strukturmikro ferit yang berbentuk tajam. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan yang cepat sehingga transformasi austenit pada strukturmikro berubah menjadi ferit yang berbentuk tajam sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.7.

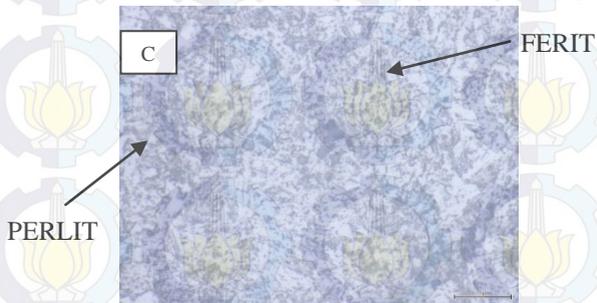
Selanjutnya akan dijelaskan pengaruh temperatur pwht 450°C terhadap strukturmikro untuk sample A.2 dan sample B.2. Gambar 4.14 sampai sampai gambar 4.16 menjelaskan strukturmikro pada sample A.2 di daerah basemetal, HAZ dan weldmetal :



Gambar 4. 14 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample A.2 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 15 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample A.2 Dengan Perbesaran 500X

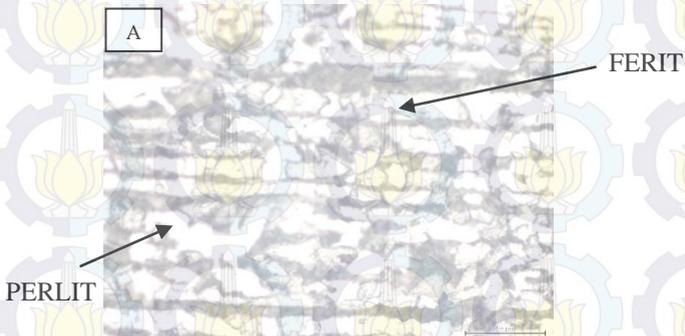


Gambar 4. 16 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample A.2 Dengan Perbesaran 500X

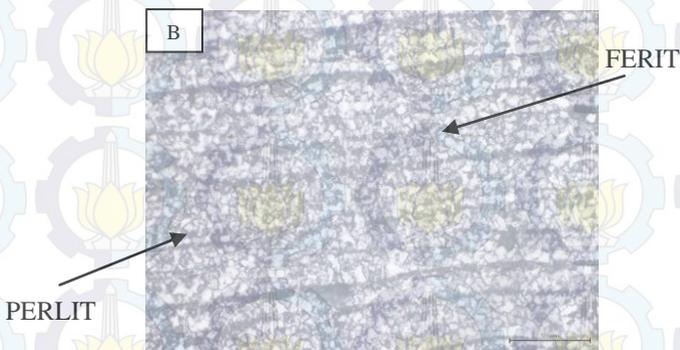
Dari gambar diatas dijelaskan strkturmikro pada sample A.2 di daerah basemetal (gambar 4.14) adalah ferit dan perlit. Lalu untuk strukturmikro daerah HAZ dijelaskan

pada gambar 4.15, yaitu ferit dengan ukuran kecil dan sedikit perlit. Sedangkan gambar 4.16 menjelaskan strukturmikro daerah weldmetal adalah ferit dan perlit.

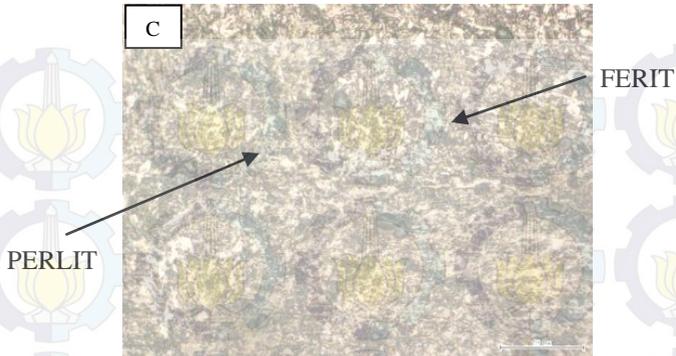
Selanjutnya gambar 4.17 sampai gambar 4.19 menjelaskan strukturmikro sample B.2 di daerah basemetal, HAZ dan weldmetal:



Gambar 4. 17 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample B.2 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 18 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample B.2 Dengan Perbesaran 500X

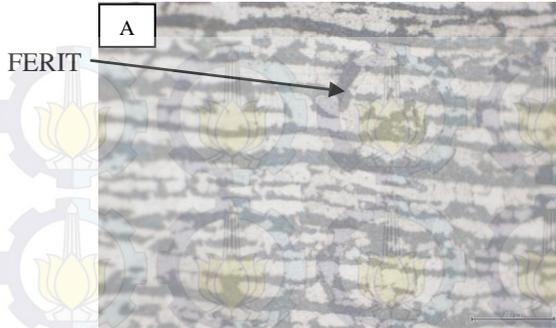


Gambar 4. 19 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample B.2 Dengan Perbesaran 500X

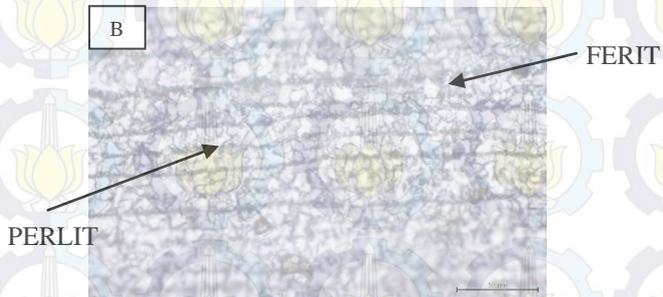
Gambar 4.17 menjelaskan strukturmikro basemetal sample B.2 yang terdiri dari ferit dan perlit. Lalu untuk gambar 4.18 menjelaskan strukturmikro HAZ sample B.2 yang terdiri dari ferit dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan ukuran ferit pada HAZ sample A.2. dan gambar 4.19 menjelaskan strukturmikro daerah weldmetal sample B.2 yang terdiri dari ferit dan perlit.

Dari hasil pengamatan pengaruh temperatur pwht 450°C terjadi transformasi strukturmikro didaerah HAZ pada sample A.2 dan B.2. Fasa accicular ferit mengalami degradasi menjadi ferit halus. Hal ini disebabkan perlakuan pemanasan kembali daerah HAZ membuat strukturmikro accicular ferit merubah bentuk tajam menjadi butiran halus dengan membentuk pulau kecil sehingga fasanya dinamai ferit halus.

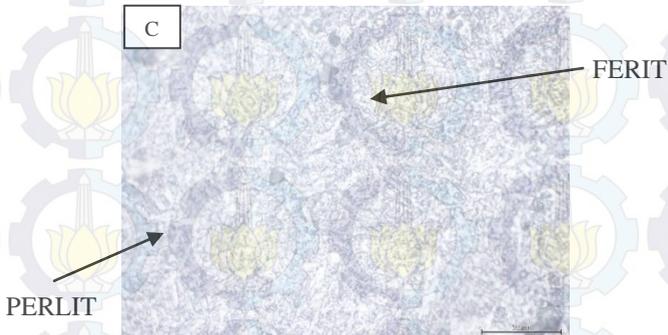
Selanjutnya akan dijelaskan pengaruh temperatur pwht 600°C terhadap strukturmikro untuk sample A.3 dan sample B.3. Gambar 4.20 sampai gmban 4.22 menjelaskan strukturmikro sample A.3 di daerah basemetal, HAZ dan weldmetal :



Gambar 4. 20 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample A.3 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 21 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample A.3 Dengan Perbesaran 500X



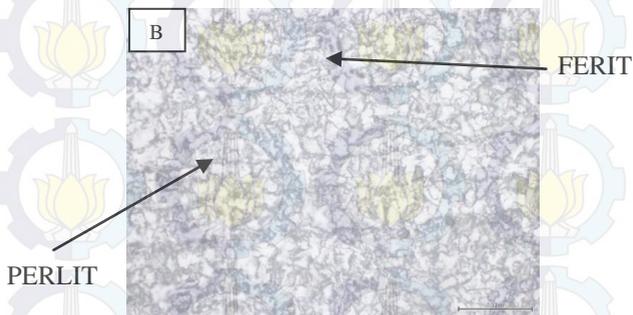
Gambar 4. 22 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample A.3 Dengan Perbesaran 500X

Gambar 4.20 menjelaskan strukturmikro daerah basemetal pada sample A.3 yang terdiri dari ferit dan perlit. Selanjutnya daerah HAZ pada sample A.3 memiliki strukturmikro ferit dengan ukuran butir yang besar dan sedikit perlit, sebagaimana dijelaskan pada gambar 4.21. Dan gambar 4.22 menjelaskan strukturmikro di daerah weldmetal pada sample A.3 yang terdiri dari ferit dan perlit.

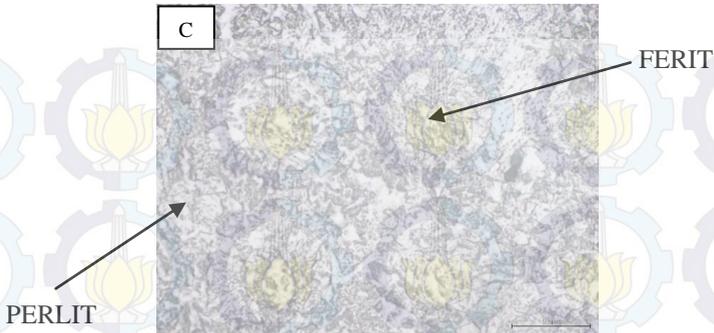
Gambar 4.23 sampai gambar 4.25 menjelaskan strukturmikro sample B.3 di daerah basemetal, HAZ dan weldmetal :



Gambar 4. 23 Hasil Pengamatan Strukturmikro Basemetal Sample B.3 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 24 Hasil Pengamatan Strukturmikro HAZ Sample B.3 Dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 25 Hasil Pengamatan Strukturmikro Weldmetal Sample B.3 Dengan Perbesaran 500X

Gambar 4.23 menjelaskan strukturmikro daerah basemetal pada sample B.3 yang terdiri dari ferit dan perlit. Lalu gambar 4.24 menjelaskan strukturmikro daerah HAZ pada sample B.3 yang terdiri dari strukturmikro ferit dengan ukuran yang lebih besar dari HAZ sample A.3. Dan gambar 4.25 menjelaskan strukturmikro weldmetal pada sample B.3 yang terdiri dari strukturmikro ferit dan perlit.

Dari hasil pengamatan pengaruh temperatur pwht 600°C terjadi transformasi strukturmikro didaerah HAZ pada sample A.3 dan B.3. Fasa ferit yang terbentuk sebelumnya pada sample A.2 dan B.2 mengalami transformasi kembali menjadi ferit yang lebih besar. Hal ini disebabkan perlakuan pemanasan kembali didaerah HAZ membuat strukturmikro ferit berubah menjadi butiran yang lebih kasar dengan membentuk butir yang lebih besr sehingga fasanya dinamai ferit kasar. [10]

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Metode yang digunakan adalah vickers sesuai dengan ASTM E92 HV 10. Tujuan pengujian kekerasan adalah mengetahui distribusi kekerasan di daerah – daerah hasil lasan, yaitu daerah base metal, HAZ dan weld metal. Dan

nilai dari distribusi kekerasan pada daerah hasil lasan dijelaskan sebagai berikut.

4.3.1 Pengaruh Heat Input terhadap Hasil Uji Kekerasan

Tabel 4.1 menunjukkan hasil kekerasan sample A.1. Nilai kekerasan untuk basemetal adlah 162 VHN, HAZ adalah 174 VHN dan weldmetal adalah 252 VHN.

Tabel 4. 1 Hasil Nilai Uji Kekerasan Sample A.1 (80A; Tanpa Perlakuan)

Nilai Uji Kekerasan (VHN)
Sample A.1 (80A ; tanpa perlakuan)

No	VHN (vickers hardness number)		
	Base	HAZ	Weld
1	171	179	257
2	163	181	253
3	154	164	247
average	162	174	252

Dan tabel 4.2 menunjukkan hasil uji kekerasan di sample B.1.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Kekerasan Sample B.1 (140A ; tanpa perlakuan)

Nilai Uji Kekerasan (VHN)
Sample B.1 (140A ; tanpa perlakuan)

No	VHN (vickers hardness number)		
	Base	HAZ	Weld
1	152	166	209
2	143	148	247
3	165	153	206
average	153	155	220

Nilai kekerasan untuk basemetal adalah 153 VHN, HAZ adalah 155 VHN dan weldmetal adalah 220 VHN. Dari hasil uji kekerasan tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil uji kekerasan sample A.1 dan B.1 Nilai kekerasan HAZ sample A.1 lebih besar, yaitu 174 VHN dibandingkan dengan HAZ sample B.1 sebesar 155 VHN. Nilai kekerasan turun dikarenakan komposisi Accicular ferit pada HAZ sample B.1 mengalami peningkatan. Besar heat input akan membentuk pertumbuhan struktur accicular ferit meningkat sehingga nilai kekerasan menurun. Hal ini diakibatkan karena pendinginan cepat yang diikuti dengan besar panas yang tinggi. [14]

Selanjutnya akan dijelaskan pengaruh dari temperatur pwht 450°C terhadap kekerasan sample A.2 dan B.2. Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji kekerasan sample A.2. nilai kekerasan di daerah basemetal adalah 155 VHN, HAZ 180 VHN dan 242 VHN.

Tabel 4. 3 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample A.2 (80A;PWHT 4500C)

Nilai Uji Kekerasan (VHN)
Sample A.2 (80A ; pwht 450°C)

No	VHN (vickers hardness number)		
	Base	HAZ	Weld
1	162	155	241
2	151	201	252
3	153	186	233
average	155	180	242

Dan Tabel 4.4 menunjukkan hasil uji kekerasan sample B.2. Nilai kekerasan untuk daerah basemetal adalah 153 VHN, HAZ 157 VHN dan weldmetal adalah 220 VHN.

Tabel 4. 4 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample B.2 (140A; pwht 450°C)

Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample B.2 (140A ; pwht 450°C)			
No	VHN (vickers hardness number)		
	Base	HAZ	Weld
1	152	145	209
2	143	166	247
3	165	161	206
Average	153	157	220

Berdasarkan hasil uji kekersan pada sample A.2 dan B.2 sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 4.3 dan 4.4 nilai kekerasan meningkat yaitu pada sample A.2 kekerasan HAZ 180 VHN dan sample B.2 kekerasan HAZ 157 VHN. Hal ini karena fasa yang terbentuk di daerah HAZ mulai didominasi oleh ferit halus. Namun ukuran ferit masih sangat kecil. Perlakuan pemanasan kembali sample A.2 dan B.2 membuat struktur accicular ferit berubah menjadi ferit halus dengan memperbesar ukuran butirnya menyerupai pulau kecil. Terbentuknya ferit halus dengan ukuran butir yang kecil membuat nilai kekerasan meningkat. Hal ini dikarenakan fasa ferit halus memiliki nilai kekerasan yang besar karena ukuran butir nya kecil.

Selanjutnya akan dijelaskan pengaruh dari temperatur pwht 600°C terhadap kekerasan sample A.3 dan B.3. Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil uji kekerasan dari sample A.3. Nilai kekerasan didaerah basemetal adalah 152 VHN, HAZ adalah 177 VHN dan weldmetal adalah 232 VHN.

Tabel 4. 5 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample A.3 (80A; pwht 600°C)

Nilai Uji Kekerasan (VHN)
Sample A.3 (80A ; pwht 600°C)

No	VHN (vickers hardness number)		
	Base	HAZ	Weld
1	147	178	246
2	156	179	216
3	153	174	235
Average	152	177	232

Dan tabel 4.6 menunjukkan hasil uji kekerasan sample B.3.

Tabel 4. 6 Nilai Uji Kekerasan (VHN) Sample B.3 (140A ; pwht 600°C)

Nilai Uji Kekerasan (VHN)
Sample B.3 (140A ; pwht 600°C)

No	VHN (vickers hardness number)		
	Base	HAZ	Weld
1	133	147	210
2	145	155	214
3	146	147	234
Average	141	149	219

Nilai kekerasan di daerah basemetal adalah 141 VHN, HAZ adalah 149 VHN dan weldmetal 219 VHN.

Dari hasil uji kekerasan pada sample A.3 dan B.3 sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 4.5 dan 4.6 nilai kekerasan HAZ menurun kembali. Sample A.3 memiliki kekerasan HAZ 177 VHN dan sample B.3 memiliki kekerasan HAZ 149 VHN. Hal ini disebabkan karena struktur ferit kecil pada sample sebelumnya bertransformasi kembali dengan membentuk ferit yang lebih besar sehingga

sample A.3 dan B.3 mengalami penurunan kekerasan akibat dari temperatur 600°C .

4.4 Hasil Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik (σ_u) dan kekuatan luluh (σ_y) dari sambungan las. Dari uji tarik ini akan diperoleh kualitas sambungan las, apakah specimen putus didaerah lasan atau didaerah lain. Adapun bentuk specimen uji tarik mengikuti standar ASME sec. II A370 untuk uji tarik las.

Dibawah ini akan dijelaskan mengenai pengaruh dari heat input 80A dan 140A terhadap kekuatan uji tarik dan yield . Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil uji tarik sample A.1 dan B.1. Nilai kekuatan tarik dan yield sample A.1 adalah 563 Mpa dan 387 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan tarik dan yield sample B.1 adalah 541 Mpa dan 375 Mpa.

Tabel 4.7 Hasil Uji Tarik Berdasarkan Perbedaan Parameter Las

Parameter Las	Hasil Uji Tarik (Mpa)	Hasil Yield Strength (Mpa)
80 A	563	387
140 A	541	375

Dari hasil Uji Tarik didapatkan nilai uji tarik dan yield strength menurun diikuti dengan besarnya nilai parameter las yang digunakan. Daerah putus yang terjadi adalah di daerah basemetal. Dari hasil uji kekerasan sample A.1 dan B.1, basemetal memiliki nilai kekerasan paling rendah dari HAZ dan weldmetal sehingga daerah putus terjadi dibasemetal. Sedangkan untuk menurunnya nilai kekuatan tarik dan yield dipengaruhi dari strukturmikro pada sample A.1 dan B.1. Transformasi ukuran butir ferit

pada basemetal sample B.1 yang besar dan merata menyebabkan nilai kekuatan tarik dan yield menurun.

Lalu akan dijelaskan mengenai pengaruh temperatur pwht 450°C terhadap hasil uji tarik. Pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil uji tarik sample A.2 dan B.2. Nilai kekuatan tarik dan yield sample A.2 adalah 531 Mpa dan 362 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan tarik dan yield sample B.2 adalah 528 Mpa dan 364 Mpa.

Tabel 4.8 Hasil Uji Tarik Berdasarkan Perbedaan Parameter Las

Temperatur PWHT 450°C	Hasil Uji Tarik (Mpa)	Hasil Yield Strength (Mpa)
Sample A (80A)	531	362
Sample B (140A)	528	364

Dari hasil Uji Tarik didapatkan nilai uji tarik dan yield strength menurun dari sample A.1 dan B.1 ke A.2 dan B.2. Hal ini disebabkan karena perlakuan panas (post heat) memberikan pengaruh pada strukturmikro untuk bertransformasi ke fasa baru. Pada sample A.2 dan B.2 ukuran ferit ada yang membentuk pulau besar seperti pada gambar 4.14 dan 4.17. Ukuran ferit yang bertransformasi tersebut akan mengakibatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik menurun.

Dan yang terakhir akan dijelaskan mengenai pengaruh temperatur pwht 450°C terhadap hasil uji tarik. Tabel 4.9 menunjukkan hasil uji tarik sample A.3 dan B.3. Nilai kekuatan tarik dan yield sample A.2 adalah 506 Mpa

dan 351 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan tarik dan yield sample B.3 adalah 515 Mpa dan 355 Mpa.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Tarik Berdasarkan Perbedaan Parameter Las

Temperatur PWHT 600°C	Hasil Uji Tarik (Mpa)	Hasil Yield Strength (Mpa)
Sample A (80A)	506	351
Sample B (140A)	515	355

Dari hasil Uji Tarik didapatkan nilai uji tarik dan yield strength menurun dari sample A.2 dan B.2 ke A.3 dan B.3. Hal ini disebabkan karena perlakuan panas (post heat) memberikan pengaruh pada strukturmikro untuk bertransformasi ke fasa baru. Pada sample A.3 dan B.3 ukuran ferit semakin besar dan ada yang membentuk pulau besar seperti pada gambar 4.20 dan 4.23. Ukuran ferit yang bertransformasi tersebut akan mengakibatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik menurun.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian *Variasi Heat Input dan Temperatur PWHT terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada pengelasan bahan paduan rendah (SA 516 Grade 70)* dapat disimpulkan bahwa :

1. Heat input 80A mengakibatkan terbentuknya struktur accicular ferit yang berbentuk tajam. Sedangkan pada heat input 140A accicular ferit yang terbentuk semakin berkurang dikarenakan semakin besar heat input maka kecepatan pendinginan sample akan sedikit melambat.
2. Heat input 140A mengakibatkan nilai kekerasan HAZ paling rendah, yaitu 155 VHN. Hal ini karena strukturmikro accicular ferit banyak terbentuk pada sample yang dilas dengan heat input tersebut. Semakin banyak accicular ferit yang terbentuk maka kekerasannya pun akan semakin menurun.
3. Temperatur pwht 450°C mengakibatkan perubahan strukturmikro accicular ferit menjadi ferit halus dengan ukuran butir kecil yang membuat nilai kekerasan HAZ sample yang dilas dengan heat input 80A semakin tinggi, yaitu 180VHN..
4. Perlakuan pemanasan yang lebih besar yaitu pwht 600°C mengakibatkan penurunan kekerasan didaerah HAZ sebesar 149 VHN karena ukuran ferit semakin membesar.
5. Daerah putus sample pada hasil uji tarik terjadi didaerah basemetal, hal ini disebabkan strukturmikro ferit pada basemetal memiliki kekuatan tarik dan yield rendah. Sample dengan heat input 80A memiliki nilai kekuatan

tarik dan yield paling tinggi yaitu 563 Mpa dan 387 Mpa.

6. Temperatur pwhit 450°C mengakibatkan nilai kekuatan tarik dan yield sample yang dilas dengan heat input 140A menurun yaitu 528 Mpa untuk kekuatan tarik dan 364 Mpa untuk yield nya.

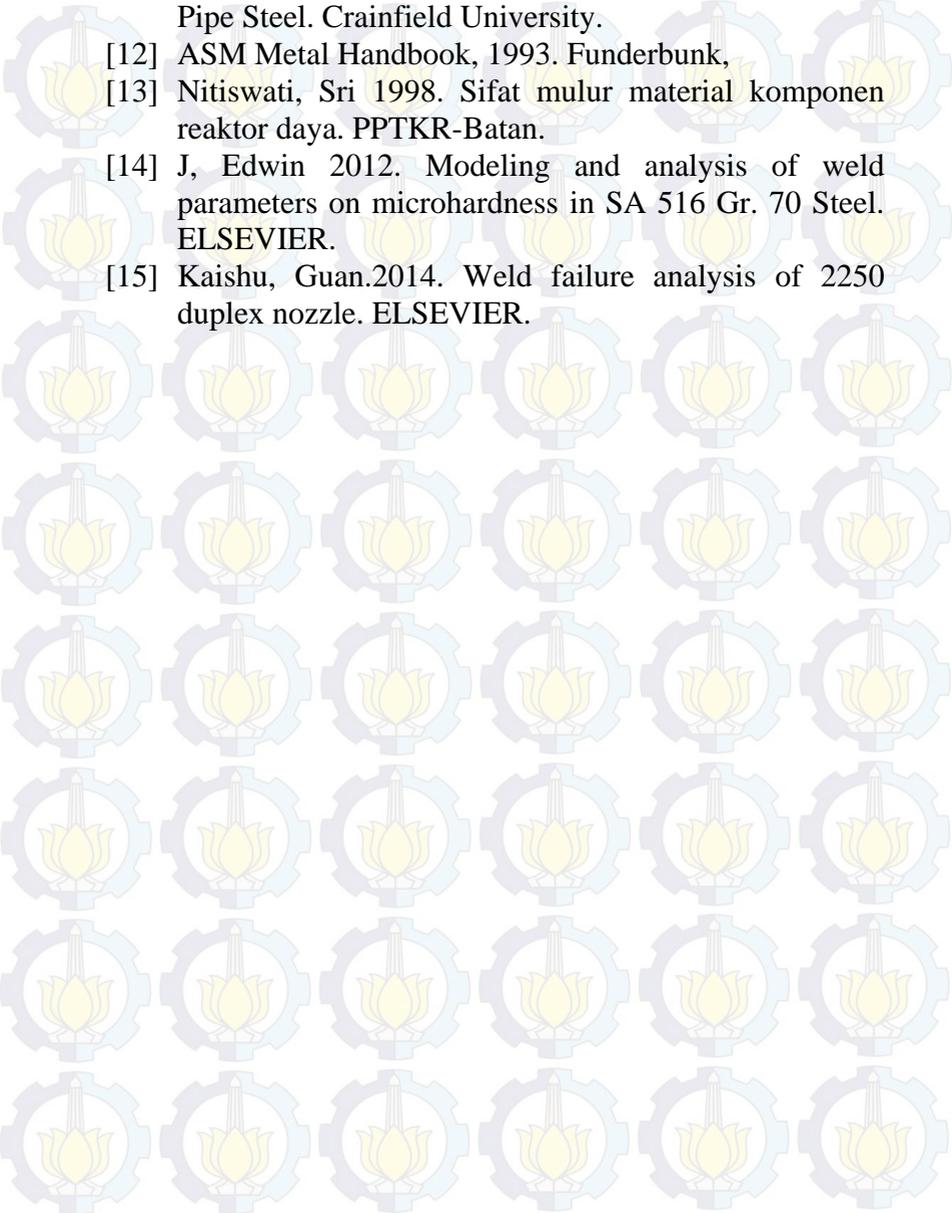
5.2 Saran

Untuk memberikan hasil yang lebih baik dari penelitian ini, diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Proses pengelasan diawasi dengan mencatat seluruh parameter dengan teliti dan benar.
2. Perhatikan parameter pengelasan dan proses selama berlangsungnya pengelasan agar tidak terjadi bengkok pada hasil akhir lasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khan, Md.Ibrahim. 2007. Welding Science and Technology. New age international (P) limited, publisher.
- [2] Wirgosumamoto, Prof.DR.Ir. Harsono. Okumura, Prof.DR.Toshi. 1996. Teknologi Pengelasan Logam. PT. Pradaya Paramita.
- [3] American Welding Society A5.5. Low Alloy Steel Covered Arc Welding Electrode. AWS, 1976
- [4] Popovic, Olivera. 2010. The Effect of Heat input on the weld metal toughness of surface welded joint. TMT.
- [5] Suharno, Iman, M.N, Jamari, 2004. Pengaruh Masukan Panas pada pengelasan busur terendam terhadap ketangguhan dan suhu transisi BAJA SM 490, Prosiding, ISBN : 979 – 98888-0-8, hal 36 - 42.
- [6] Agarwall, R.L., dan Manghnani,T., 1985. Welding engineering, Khan Publisher, New Delhi.
- [7] Risnawandi, Arif., 2010. Analisa hasil pengelasan SMAW Butt Joint baja AISI 1045 variasi temperatur PWHT. Tugas Akhir.
- [8] Ninggolan, Alamsa., 2010. Analisa pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanik hasil pengelasan SMAW pada baja AISI 4140. Tugas Akhir
- [9] Rangga, Danu., 2010. Analisa pengaruh variasi heat input pada proses pengelasan GTAW terhadap struktur mikro sifat mekanik pada sambungan FIN to FIN waterwalss panel boiler dengan material low alloy steel T24. Tugas Akhir
- [10] Suharno, 2008. Struktur mikro las baja C-Mn hasil pengelasan busur terendam dengan variasi masukan panas. UNS.

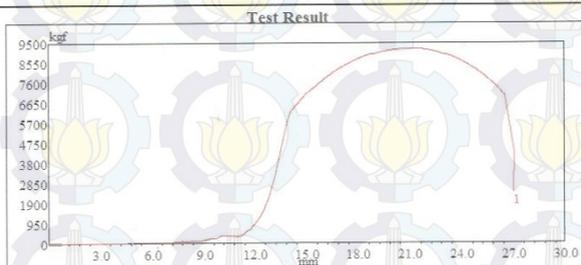
- 
- [11] Hardiyanto, L.A 2013. All weld properties API X65 Pipe Steel. Crainfield University.
- [12] ASM Metal Handbook, 1993. Funderbunk,
- [13] Nitiswati, Sri 1998. Sifat mulur material komponen reaktor daya. PPTKR-Batan.
- [14] J, Edwin 2012. Modeling and analysis of weld parameters on microhardness in SA 516 Gr. 70 Steel. ELSEVIER.
- [15] Kaishu, Guan.2014. Weld failure analysis of 2250 duplex nozzle. ELSEVIER.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Grafik Hasil Uji Tarik

ITS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

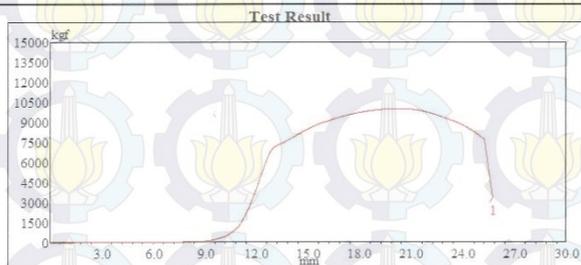


Sample Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield strength kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Sampel 9 non A	17.55	9.15	160.58	39.65	9243.61	57.56	

Gambar 1. Hasil Uji Tarik Sample A.1 (80A ; non perlakuan)

ITS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

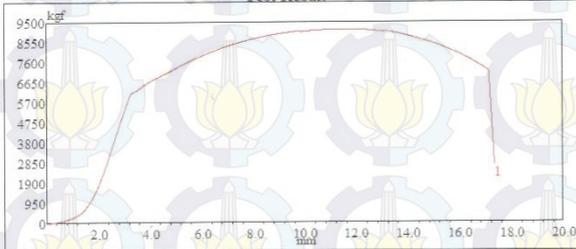
Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya



Sample Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield strength kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Sampel 9 450 A	19.65	9.10	178.82	39.33	10037.96	56.14	

Gambar 2. Hasil Uji Tarik Sample A.2 (80A ; pwht 450°C)

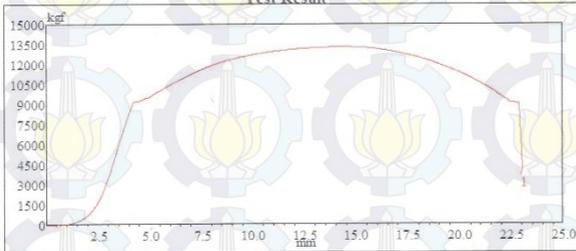
Test Result



Sample Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield strength kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Sampel 9 600 A	18.45	9.15	168.82	36.80	9167.95	54.31	

Gambar 3. Hasil Uji Tarik Sample A.3 (80A ; pwht 600°C)

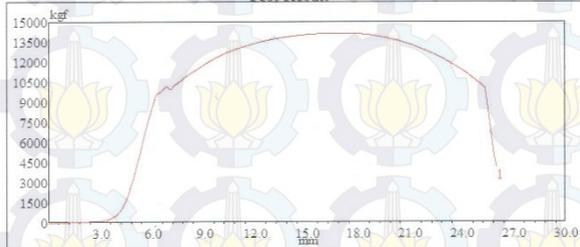
Test Result



Sample Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield strength kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Sampel 12 non A	18.90	13.00	245.70	37.82	13306.15	54.16	

Gambar 4. Hasil Uji Tarik Sample B.1 (140A ; non perlakuan)

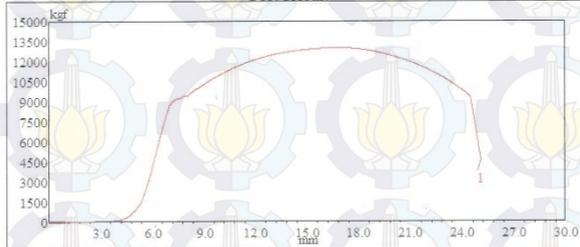
Test Result



Sample Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield strength kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Sampel 12 450 A	20.00	13.00	260.00	37.26	14164.35	54.48	

Gambar 5. Hasil Uji Tarik Sample B.2 (140A ; pwht 450°C)

Test Result



Sample Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield strength kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Elongation %
Sampel 12 600 A	20.00	13.00	260.00	34.48	13015.45	50.06	

Gambar 6. Hasil Uji Tarik Sample B.3 (140A ; pwht 600°C)

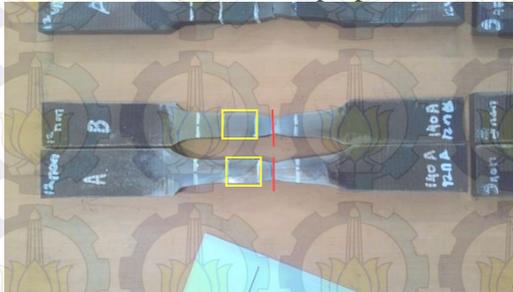
Lampiran 2. Foto Hasil Uji Tarik

A. Material A.1 (80A ; tanpa perlakuan)



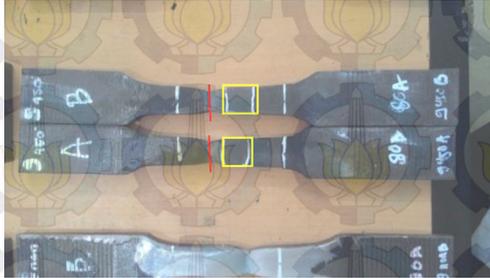
Daerah Kuning adalah weld metal
Garis merah adalah daerah putus
Hasil Uji Tarik Putus material di Base Metal.

B. Material B.1 (140A ; tanpa perlakuan)



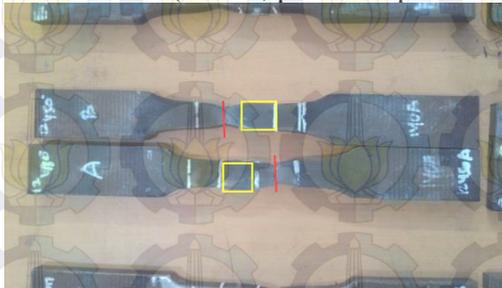
Daerah Kuning adalah weld metal
Garis merah adalah daerah putus
Hasil Uji Tarik Putus material di Base Metal.

C. Material A.2 (80A ; pwht temperatur 450°C)



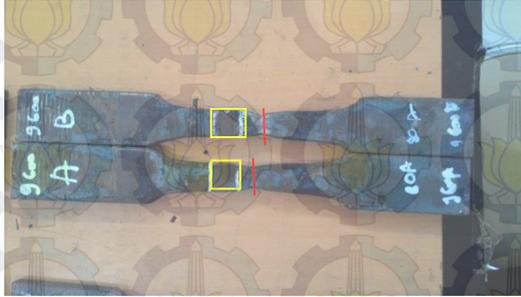
Daerah Kuning adalah weld metal
Garis merah adalah daerah putus
Hasil Uji Tarik Putus material di Base Metal.

D. Material B.2 (140A ; pwht temperatur 450°C)



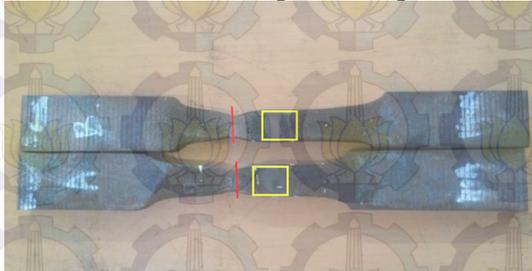
Daerah Kuning adalah weld metal
Garis merah adalah daerah putus
Hasil Uji Tarik Putus material di Base Metal.

E. Material A.3 (80A ; pwht temperatur 600°C)



Daerah Kuning adalah weld metal
Garis merah adalah daerah putus
Hasil Uji Tarik Putus material di Base Metal.

F. Material B.3 (140A ; pwht temperatur 600°C)



Daerah Kuning adalah weld metal
Garis merah adalah daerah putus
Hasil Uji Tarik Putus material di Base Metal.

Lampiran 3. Foto Hasil Liquid Penetrant Test

A. Material Dengan Parameter Las 80A



Dari Hasil Liquid Penetrant Test tidak ditemukan cacat akibat dari pengelasan di area permukaan material.

B. Material Dengan Parameter Las 140A



Dari Hasil Liquid Penetrant Test tidak ditemukan cacat akibat dari pengelasan di area permukaan material.

RIWAYAT PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada 2 Oktober 1993 di Jakarta dengan nama Andhanu Surya Ismail. Penulis menghabiskan 12 tahun masa pendidikan dasar di Kota Bekasi. Mulai sekolah dasar di SDN Bekasi Jaya VIII pada tahun 1999 – 2008. Selanjutnya menempuh jenjang sekolah menengah pertama di SMP Bani Saleh 1 Kota Bekasi. Lalu melanjutkan jenjang lebih tinggi di SMA Negeri 1 Bekasi hingga pada tahun 2011 diterima sebagai salah satu mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Mandiri dan terdaftar dengan NRP 2711100137.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai Wakil Ketua Himpunan di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) dan menjadi Menteri Hubungan Luar di Badan Eksekutif Mahasiswa ITS.

Ketertarikan penulis dalam bidang *welding* menjadikan penulis untuk memilih laboratorium dan bidang studi Teknologi Pengelasan sebagai topik dan tempat dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail dhanu.summer@gmail.com.



Halaman ini sengaja dikosongkan