

REKAYASA TEKNOLOGI	Volume 10	No. 2	Hal. 1-59	Jakarta, Oktober 2015	ISSN : 2088-3838
-----------------------	-----------	-------	-----------	--------------------------	------------------

JURNAL REKAYASA TEKNOLOGI

www.rektek.uhamka.ac.id

Analisis Pengembangan Sistem Informasi mengenai *Web Alumni*
dengan Menggunakan *Linkedin* pada Perguruan Tinggi
Aris Martono, Siti Pujaningsih, Zahrotul Hayati & Rizqi Eka Saputri.....

Perancangan Sistem Informasi Pembelian Bahan Material Secara Kredit
pada PT Asri Karya Binangun Tangerang
Ari Kurniawati, Eri Mardiani, Nur Rahmansyah, Jayanta & Yuni Widiastiwi.....

Studi Sistem Monitoring Serat Optik
dengan *Software ONMSi (Optical Network Monitoring Sistem)*
Katrin Imaniyah, Gunarwan Prayitno & Emilia Roza.....

Studi Perbandingan antara Modulasi QPSK dan 8PSK
pada Efektivitas *Banwidth* dan Margin Daya Komunikasi Satelit
Arief Darmawan, Muhammad Mujirudin & Kun Fayakun.....

Pengaruh Arus Las terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro
Sambungan Baja AISI 1320 dengan Las SMAW
Nur Salam, Agus Fikri & Andi Saidah

Potensi Air Laut Pantai Ujung Kulon sebagai Sumber Air Baku
untuk Desalinasi dan Energi Potensialnya
Oktarina Heriyani & Dan Mugisidi



Penerbit:
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

REKAYASA TEKNOLOGI	Volume 10	No. 2	Hal. 1-59	Jakarta, Oktober 2015	ISSN : 2088-3838
-----------------------	-----------	-------	-----------	--------------------------	------------------

JURNAL REKAYASA TEKNOLOGI

www.rektek.uhamka.ac.id

Analisis Pengembangan Sistem Informasi mengenai *Web Alumni*
dengan Menggunakan *Linkedin* pada Perguruan Tinggi
Aris Martono, Siti Pujianingsih, Zahrotul Hayati & Rizqi Eka Saputri.....

Perancangan Sistem Informasi Pembelian Bahan Material Secara Kredit
pada PT Asri Karya Binangun Tangerang
Ari Kurniawati, Eri Mardiani, Nur Rahmansyah, Jayanta & Yuni Widiastiwi.....

Studi Sistem Monitoring Serat Optik
dengan *Software ONMSi (Optical Network Monitoring Sistem)*
Katrin Imaniyah, Gunarwan Prayitno & Emilia Roza.....

Studi Perbandingan antara Modulasi QPSK dan 8PSK
pada Efektivitas *Banwidth* dan Margin Daya Komunikasi Satelit
Arief Darmawan, Muhammad Mujirudin & Kun Fayakun.....

Pengaruh Arus Las terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro
Sambungan Baja AISI 1320 dengan Las SMAW
Nur Salam, Agus Fikri & Andi Saidah

Potensi Air Laut Pantai Ujung Kulon sebagai Sumber Air Baku
untuk Desalinasi dan Energi Potensialnya
Oktarina Heriyani & Dan Mugisidi



Penerbit:
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

JURNAL

Rekayasa Teknologi

Penanggung Jawab:
Muhammad Mujirudin, S.T.,M.T.

Pemimpin Redaksi:
Rifky, S.T., M.M.

Anggota Redaksi:
Atiqah Meutia Hilda, S.Kom., M.Kom.
Gunarwan Prayitno, Drs. M.Eng.
Harry Ramza, ST., M.T.
PH. Gunawan, ST., M.T.

Penyunting Ahli:
Dr.Arief Heru Kuncoro, Ir., M.T
Muhammad Jafar Elly, S.Kom., M.Si.
Dr. Dan Mugisidi, S.T.
Dwi Astuti, S.T., M.T.
Koes Sarjono, Ir., M.Si.

Pelaksana Teknis:
Oktarina Heriyani, S.Si., MT.

Kesekretariatan:
Agus Fikri, S.T., M.M., M.T.
Emilia Roza, S.T., M.Pd., M.T.
Muhammad Yusuf Djeli, Drs., M.M.

Distribusi:
Sanwani
Elfis
Junaedi, BSc.

Penerbit:
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Alamat Sekretariat/Redaksi:
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka no. 6 Kampung Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830
Telp. (021) 8400941, Fax. (021) 87782739
Website: www.rektek.uhamka.ac.id
E-mail: jurnal_rekayasateknologi@yahoo.co.id
E-mail: jurnal.rekayasateknologi@gmail.com

Jurnal REKAYASA TEKNOLOGI diterbitkan dua kali setahun merupakan jurnal yang memuat makalah hasil penelitian; abstrak skripsi, tesis, atau disertasi; hasil pemikiran konseptual (nonpenelitian); tinjauan buku; dan laporan atau obituari bidang teknologi. Penerbitan jurnal ini bertujuan sebagai media komunikasi untuk menyebarluaskan hasil-hasil penelitian atau pemikiran yang berkaitan dengan rekayasa teknologi serta penerapannya dalam masyarakat.

DAFTAR ISI

Analisis Pengembangan Sistem Informasi mengenai <i>Web Alumni</i> dengan Menggunakan <i>Linkedin</i> pada Perguruan Tinggi <i>Aris Martono, Siti Pujianingsih, Zahrotul Hayati & Rizqi Eka Saputri</i>	1
Perancangan Sistem Informasi Pembelian Bahan Material Secara Kredit pada PT. Asri Karya Binangun Tangerang <i>Ari Kurniawati, Eri Mardiani, Nur Rahmansyah, Jayanta & Yuni Widiastiwi</i>	12
Studi Sistem Monitoring Serat Optik dengan <i>Software ONMSi</i> (<i>Optical Network Monitoring Sistem</i>) <i>Katrin Imaniyah, Gunarwan Prayitno & Emilia Roza</i>	19
Studi Perbandingan antara Modulasi QPSK dan 8PSK pada Efektivitas <i>Bandwidth</i> dan Margin Daya Komunikasi Satelit <i>Arief Darmawan, Muhammad Mujirudin & Kun Fayakun</i>	25
Pengaruh Arus Las terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro Sambungan Baja AISI 1320 dengan Las SMAW <i>Nur Salam, Agus Fikri & Andi Saidah</i>	36
Potensi Air Laut Pantai Ujung Kulon sebagai Sumber Air Baku untuk Desalinasi dan Energi Potensialnya <i>Oktarina Heriyani & Dan Mugisidi</i>	53

Pengaruh Arus Las terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro Sambungan Baja AISI 1320 dengan Las SMAW

Nur Sulam¹⁾, Agus Fikri²⁾ & Andi Saidah³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka no. 6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830
Telp. +62-21- 87782739 Fax. +62-21-87782739
Website: www.uhamka.ac.id, E-mail: info@stuhamka.ac.id
E-mail: agusfikri71@gmail.com
E-mail : andisaidah@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap ketangguhan dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7018. Penelitian ini menggunakan bahan baja paduan rendah yang mengandung kadar C = 0,031 %, Si = 0,27 %, Mn = 0,63 %, S = 0,031 %, P = 0,028 %, Ni = 0,051 %, Cr = 0,14 %, W = 0,065 %. Bahan diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 95 A, 115 A, 135 A, 155 A dan 175 A dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik dengan elektroda E7018 diameter 3,2 mm. DC polaritas terbalik yaitu pemegang elektroda dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 45°. Spesimen dilakukan pengujian ketangguhan dan struktur mikro. Ketangguhan pada daerah las tertinggi pada kelompok arus 175 Amper yaitu sebesar 3,325 Joule/mm², hal ini mengalami peningkatan 0,032 Joule/mm² dari kelompok material dasar. Kelompok variasi arus 95 A dan 135 A mengalami peningkatan terhadap kelompok material dasar yaitu masing-masing sebesar 0,030 dan 0,015 Joule/mm². Hasil uji struktur mikro memperlihatkan pada daerah logam induk (BM) berupa ferit dan perlit, pada daerah pengaruh panas (HAZ) dari arus 95 A, 115 A, 135 A, 155 A dan 175 A mempunyai struktur mikro yang sama yaitu berupa butir halus ferit dan perlit, sedangkan pada daerah logam lasan (WM) dari arus 95 A, 115 A, 135 A dan 175 A juga mempunyai struktur mikro yang sama yaitu berupa ferit-bainit, sedangkan arus 155 A mempunyai struktur mikro ferit-perlit. Dengan demikian dari penelitian ini didapatkan hasil pengelasan SMAW yang optimal khususnya pada rangka jembatan untuk tebal pelat 10 mm, kombinasi arus yang terbaik adalah 175 A, karena pada arus ini mempunyai ketangguhan tertinggi yaitu 3,325 Joule/mm², pada kombinasi ini ketangguhan las SMAW adalah paling besar dan terjadi perubahan fasa.

Kata kunci : Baja Paduan Rendah, Uji Ketangguhan dan Uji Struktur Mikro

Abstract

This study aims to determine the effect of welding current on weld toughness and microstructure SMAW with E7018 electrodes. This study used a low alloy steel materials which contain high levels of C = 0.031 %, Si = 0.27 %, Mn = 0.63 %, S = 0.031 %, P = 0.028 %, Ni = 0.051 %, Cr = 0.14 %, W = 0.065 %. Material treated with a variety of welding current 95 A, 115 A, 135 A, 155 A and 175 A using reverse polarity DC SMAW welding electrode E7018 with a diameter of 3.2 mm. DC reverse polarity electrode holder is connected to the positive pole and a metal stem is connected to the negative pole. Type hem seam used is 45° V with an angle. Specimens tested toughness and microstructure. Toughness in the weld area highest in the group of 175 amperes flows amounting to 3,325 Joule/mm², this is an increase of 0,032 Joule/mm² basic material groups. A and group of 95 current variation increased to 135 A basic material groups are respectively 0.030 and 0.015 Joule/mm². The test results show the microstructure in the base metal region (BM) in the form of ferrite and pearlite, the local influence of heat (HAZ) of the current 95 A, 115 A, 135 A, 155 A and 175 A have the same microstructure in the form of fine ferrite grain and pearlite, whereas the local weld metal (WM) from the current 95 A, 115 A, 135 A and 175 A also has the same microstructure in the form of ferrite - bainite, while the current 155 A has a ferrite - pearlite microstructure. Thus

from this study showed that the optimal SMAW welding, especially in order to bridge 10 mm thick plate, which is the best combination of current is 175 A, because at this current has the highest toughness 3.325 Joule/mm², on this combination of toughness SMAW welding is the most large and phase change

Keywords : Low Alloy Steel, Toughness Testing and Test Structures Micros.

I PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi dari logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan, khususnya pada bidang rancang bangun, karena sambungan las lebih ekonomis dan prosesnya cepat. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya. Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (*TIG*, *MIG*, las busur CO_2), las busur tanpa gas dan las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah las *SMAW* (*Shielding Metal Arc Welding*). 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 merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (*DC*) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (*AC*).

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las *MIG* (las logam gas mulia). Baja paduan rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Wiryosumarto, 2000).

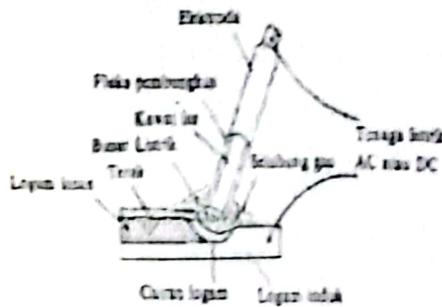
Salah satu variabel penentu dalam proses pengelasan logam adalah besarnya arus

pengelasan yang dipergunakan. Selanjutnya untuk mendapatkan efisiensi dan efektivitas pengelasan, khususnya pengelasan pada baja paduan rendah, maka perlu ditentukan arus pengelasan yang paling optimal, terutama dalam hubungannya dengan kekuatan mekanis sambungan las yang dihasilkan.

2 DASAR TEORI

2.1 Las *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan *SMAW* merupakan pengelasan dengan elektroda terbungkus, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harga yang terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode *SMAW* sangat fleksibel dalam penggunaannya. Baik itu pengelasan dengan posisi datar, horizontal tegak (vertikal), ataupun posisi di atas kepala (*overhead*). Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Proses pemindahan logam terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan *flux* yang digunakan. Bahan *flux* yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar 1 Las SMAW
(Sumber: Wiryosumarto, 2000)

2.1.2 Elektroda

Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Alip, 1989).

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las.

Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur. Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Sifat mampu las *fluks* ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi.

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1 Spesifikasi elektroda terbungkus dari baja lunak

Kategori	Amper	Posisi	Posisi	Posisi	Posisi	Posisi
Kategori 1: Elektroda terbungkus dari baja lunak (E 6010 - E 7018)						
E 6010	10-150	1	1	1	1	1
E 6011	10-150	1	1	1	1	1
E 6012	10-150	1	1	1	1	1
E 6013	10-150	1	1	1	1	1
E 6014	10-150	1	1	1	1	1
E 6015	10-150	1	1	1	1	1
E 6016	10-150	1	1	1	1	1
E 6017	10-150	1	1	1	1	1
E 6018	10-150	1	1	1	1	1
Kategori 2: Elektroda terbungkus dari baja lunak (E 7010 - E 7018)						
E 7010	10-150	1	1	1	1	1
E 7011	10-150	1	1	1	1	1
E 7012	10-150	1	1	1	1	1
E 7013	10-150	1	1	1	1	1
E 7014	10-150	1	1	1	1	1
E 7015	10-150	1	1	1	1	1
E 7016	10-150	1	1	1	1	1
E 7017	10-150	1	1	1	1	1
E 7018	10-150	1	1	1	1	1

(Sumber: Wiryosumarto, 2000)

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada tabel 2 di bawah ini:

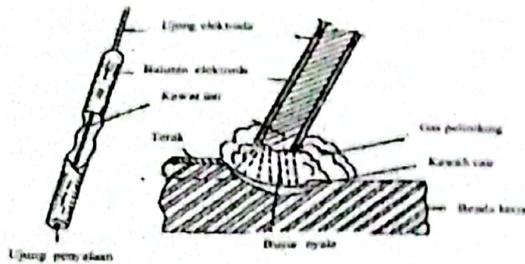
Tabel 2 Spesifikasi arus menurut tipe elektroda dan diameter dari elektroda

Diameter	Tipe elektroda dan amper yang digunakan							
	mm	inch	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7029
2.5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-	-
3.2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190	
4	3/32	120-180	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250	
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250	
5.5	7/32	-	260-340	300-430	275-375	250-350	275-365	
6.3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430	
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-	

(Sumber: Soetardjo, 1997)

Elektroda E7018 adalah suatu jenis elektroda yang mempunyai spesifikasi tertentu. Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan E7018 menurut Soedjono, (1994) adalah

- E : Elektroda las listrik (E7018 diameter 3,2 mm)
- 70 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (70.000 Psi) atau sama dengan 492 MPa.
- 1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan).
- 8 : Menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.



Gambar 2 Elektroda terbungkus
(Sumber: Arifin, 1997)

Jenis *filler metal* yang digunakan dalam pengelasan ini adalah AWS A5.1 E7018. Kandungan maksimal tipe logam las menurut spesifikasi AWS adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Kandungan tipe logam las AWS A5.1 E7018

C	Mn	P	S	Si	Cr	V	Ni	Mo
0,15	1,6	0,035	0,035	0,75	0,20	0,08	0,30	0,3

(Sumber: Hobart Brothers Company)

2.2 Struktur Mikro Daerah Lasan

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las (*weld metal*), daerah pengaruh panas (*heat affected zone*) disingkat menjadi HAZ dan logam induk (*base metal*) yang tak terpengaruhi panas.

2.2.1 Daerah Logam Las

Daerah logam las (*weld metal*) adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las.



Gambar 3 Arah pembekuan dari logam las
(Sumber: Wiryosumarto, 2000)

Dari gambar di atas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas.

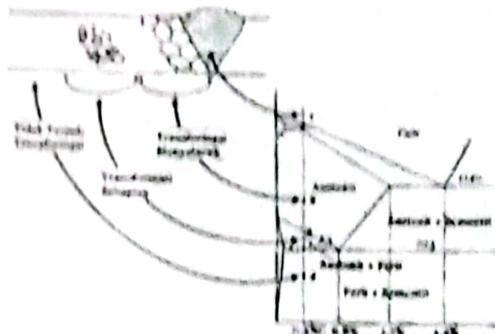
Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro di bawah ini:

- Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 100°-650°C.
- Ferit Widmanstatten atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 75°-650°C di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
- Ferit *acicular*, berbentuk *intragranular* dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit *acicular* ini terbentuk sekitar suhu 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.
- Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada suhu 400-500°C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
- Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat

keras dan patah sehingga ketangguhannya rendah.

2.2.2 Daerah Pengaruh Panas

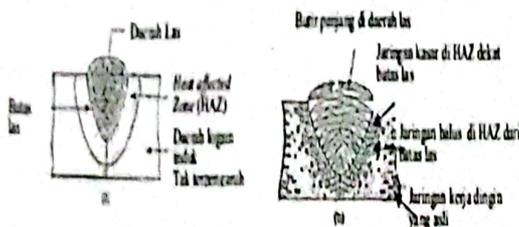
Daerah pengaruh panas (*heat affected zone*) atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar.



Gambar 4 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan
(Sumber: Sonawan, 2004)

2.2.3 Daerah Logam Induk

Logam induk (*base metal*) adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 5 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair
(Sumber: Malau, 2003)

2.2.4 Cacat Las

Cacat las secara aktual sering kali terjadi dalam penyambungan las, diantaranya adalah:

1. *Crack* (retak) yaitu cacat las yang disebabkan oleh guncangan pada waktu proses pengelasan sehingga terjadi retak pada daerah las-lasan.
2. *Crater* yaitu cacat las yang disebabkan karena mengkerutnya logam las pada akhir perjalanan proses pengelasan (akibat panas las berkurang).
3. *Porosity* yaitu cacat las yang disebabkan oleh udara atau gas yang terkurung oleh las, sehingga dalam las terjadi rongga-rongga besar ataupun kecil.
4. *Slag* yaitu cacat las yang disebabkan karena tertinggalnya serpihan atau logam lain dalam las.
5. *Incomplete penetration* yaitu cacat las yang disebabkan karena ketidaksempurnaan pengisian las pada kaki las.
6. *Undercut* yaitu cacat las yang disebabkan karena termakannya logam induk pada waktu proses pengelasan sehingga menjadi lekukan pada kaki pinggiran logam induk.
7. *Worm hole* yaitu cacat las yang disebabkan karena tertangkapnya gas pada proses pengelasan, sehingga berbentuk rongga memanjang seperti tabung. (*Handbook quality control PT. JMI*).

2.3 Klasifikasi Baja

Baja secara umum dapat dikelompokkan atas dua jenis yaitu:

1. Baja karbon (*carbon steel*)
2. Baja paduan (*alloy steel*)

Baja Karbon (*carbon steel*) dapat terdiri atas:

- a. Baja karbon rendah (0,08 % – 0,30 % C)
- b. Baja karbon sedang (0,30 % – 0,40 % C)
- c. Baja karbon tinggi (0,40 % - 0,80 % C)

Baja paduan (*alloy steel*) yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi:

- Baja paduan rendah (*low alloy steel*), jika elemen paduannya $\leq 2,5\%$
- Baja paduan sedang (*medium alloy steel*), jika elemen paduannya $2,5 - 10\%$
- Baja paduan tinggi (*high alloy steel*), jika elemen paduannya $> 10\%$

Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Perubahan struktur daerah las selama pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ.

2.3.1 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk kapal, jembatan, roda kereta api, ketel uap, tangki-tangki, poros dan dalam permesinan lainnya.

Unsur yang paling banyak digunakan untuk baja paduan, yaitu: Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb dan Zr. Tujuan dilakukan penambahan unsur yaitu:

- Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keliatan, kekuatan tarik dan sebagainya)
- Untuk menaikkan sifat mekanik pada temperatur rendah.
- Untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi).
- Untuk membuat sifat-sifat spesial

Baja paduan dapat diklasifikasikan sesuai dengan komposisi, struktur dan penggunaan:

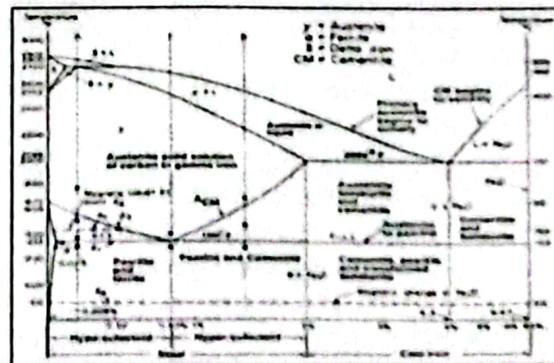
- Komposisi**
Berdasarkan komposisi baja paduan dibagi lagi menjadi dua:
 - Baja tiga komponen: terdiri satu unsur pepadu dalam penambahan Fe dan C.
 - Baja empat komponen: terdiri dua unsur pepadu dan seterusnya. Sebagai

contoh baja paduan kelas tinggi terdiri: 0,35% C, 1% Cr, 3% Ni dan 1% Mo.

- Struktur**
Baja paduan diklasifikasikan berdasarkan:
 - Baja perlit
 - Baja martensit
 - Baja austenit
 - Baja ferit
 - Karbid atau ledeburit.
- Penggunaan**
Berdasarkan penggunaan dan sifat-sifatnya baja paduan diklasifikasikan. Baja konstruksi (*structural steel*), Baja perkakas (*tool steel*), Baja dengan sifat fisik khusus. Baja Konstruksi, dibedakan lagi mejadi tiga golongan tergantung persentase unsur pepadunya, yaitu: Baja paduan rendah (maximum 2,5%), Baja paduan menengah (2,5 - 10%), Baja paduan tinggi (lebih dari 10%).

2.4 Diagram Fasa

Salah satu metode untuk mempelajari logam dilakukan dengan menggunakan diagram fasa. Dari diagram fasa ini dapat diamati perubahan struktur logam akibat pengaruh temperatur. Struktur dari baja dapat ditentukan oleh komposisi baja dan karbon, gambar 6 adalah diagram besi karbida.



Gambar 6 Diagram fasa besi karbida ($Fe - Fe_3C$)
(Sumber: Suratman, 1994: 81)

Diagram fase besi-karbida besi ($Fe-Fe_3C$) memperlihatkan perubahan fasa pada pemanasan dan pendinginan yang cukup lambat. Gambar 6 menunjukkan bila kadar karbon baja melampaui 0,20% suhu dimana *ferrite* mulai terbentuk

dan mengendap dari austenit turun. Baja yang berkadar karbon 0.80% disebut baja *eutectoid* dan struktur terdiri dari 100% *pearlite*. Titik *eutectoid* adalah suhu terendah dalam logam dimana terjadi perubahan dalam keadaan larutan padat dan merupakan suhu kesetimbangan terendah dimana *austenit* terurai menjadi *ferrite* dan *sementit*. Bila kadar karbon baja lebih besar dari pada *eutectoid*, perlu diamati garis pada diagram besi karbida besi yang bertanda *Acm*. Garis ini menyatakan bahwa dimana karbida besi mulai memisah dari *austenit*. Karbida besi dengan rumus Fe_3C disebut *sementit*. Di bawah ini diuraikan beberapa titik penting dalam perlakuan panas:

1. E: titik yang menyatakan fase γ , ada hubungannya dengan reaksi autentik kelarutan maksimum dari karbon 2,14% paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.
2. G: titik Transformasi besi $\gamma \rightleftharpoons$ besi α . Titik transformasi A_1 untuk besi.
3. P: titik yang menyatakan *ferrite*, fasa α , ada hubungan reaksi dengan *eutectoid*.
4. S: titik *eutectoid*. Reaksi *eutectoid* ini dinamakan transformasi A_1 , dan fase *eutectoid* ini dinamakan *pearlite*.
5. GS: garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi dimana mulai terbentuk *ferrite* dan *austenite*. Garis ini disebut garis A_1 .
6. A_2 : garis transformasi magnetik untuk besi atau *ferrite*.
7. A_0 : garis transformasi magnetik untuk *sementit*.

2.4.1 Fasa-Fasa Padat pada Baja

- A. Ferit (*alpha*): merupakan larutan padat karbon dalam besi dan kandungan karbon dalam besi maksimum 0,025% pada temperatur 723°C. Pada temperatur kamar, kandungan karbonnya 0,008%. Merupakan sel satuan (susunan atom-atom yang paling kecil dan teratur), ferit ini mempunyai sifat: lunak, ulet dan tahan korosi.
- B. Austenit: merupakan larutan padat interstisi antara karbon dan besi yang mempunyai sel satuan (*face centered cubic*) BCC yang stabil pada temperatur 912°C dengan sifat yang lunak tapi ulet.
- C. Sementit (besi karbida): merupakan senyawa logam yang mempunyai kekerasan tinggi

atau berkeras diantara fasa-fasanya yang mungkin terjadi pada baja mengandung 6,67% kadar karbon, walaupun sangat keras tapi bersifat getas.

- D. Perlit ($\alpha+Fe_3C$): merupakan elektroid yang terdiri dari 2 fasa yaitu perit dan sementit. Kedua fasa ini tersusun dari bentuk yang halus. Perlit hanya dapat terjadi di bawah 723 °C. Sifatnya kuat dan tahan terhadap korosi serta kandungan karbonnya 0,83%.
- E. Ladeburit: merupakan susunan elektrolit dengan kandungan karbonnya 4,3% yaitu campuran perlit dan sementit. Sifatnya halus dan getas karena sementit yang banyak.
- F. Besi delta (γ): merupakan fasa yang berada antara temperatur 1400°C - 1535°C dan mempunyai sel satuan *Body Centered Cubic* (BCC = kubus pusat badan) karbon yang larut sampai 0,1%.
- G. Bainit: proses pendinginan sedang terbentuk fasa antara temperatur suhu antara 250 °C - 550 °C, sifatnya keras dan getas. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C).
- H. Martensit: akibat pendinginan secara cepat sampai dengan suhu di bawah temperatur 200 °C, maka akan mendapatkan struktur Martensit dan sifatnya sangat keras dan getas.

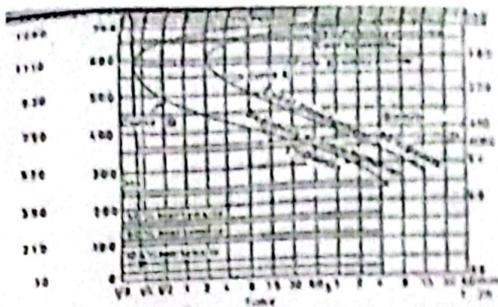
Baja yang berkadar karbon kurang dari kurang dari komposisi *eutectoid* (0,8%) disebut baja *hipoeutectoid*, dan yang berkadar karbon lebih dan komposisi *eutectoid* disebut baja *hypereutectoid*, pada temperatur antara 723°C dan 1130°C terdapat satu fasa yaitu fasa austenit dan sementit. Pada temperatur 723°C butiran fase tunggal bertransformasi di bawah keseimbangan bentuk α dan Fe_3C dalam satu butiran yang bercampur baik dan lapisan seratsert bajanya disebut *pearlite*. (Suratman, 1994: 73)

2.5 Diagram TTT (*Time-Temperature-Transformation*)

Maksud utama dari proses perlakuan panas terhadap baja adalah agar diperoleh struktur yang diinginkan supaya cocok dengan penggunaan yang direncanakan.

Diagram ini menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Nama

lain dari diagram ini adalah diagram S atau diagram C. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas.



Gambar 7 Diagram TTT untuk baja karbon 1% C

Pada diagram ini, sumbu tegak menyatakan temperatur sedangkan sumbu mendatar menyatakan waktu yang diplot dalam skala logaritmik. Diagram ini merupakan ringkasan dari beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari rangkaian percobaan yang dilakukan pada spesimen yang kecil yang dipanaskan pada temperatur austenisasinya, kemudian di-*quench* pada temperatur tertentu di bawah titik eutektoid A_1 untuk jangka waktu yang tertentu pula sampai seluruh transformasi austenit.

Produk yang diperoleh dari transformasi austenit dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok. Pada rentang temperatur antara A_1 sampai kira-kira 550°C akan terbentuk perlit. Tetapi perlit yang terbentuk sekitar 700°C akan lebih kasar, sedangkan perlit yang terbentuk pada temperatur 550°C akan lebih halus. Pada temperatur sekitar 450°C akan terbentuk *upper bainit* dan pada temperatur 250°C yaitu sekitar sedikit di atas M_s akan terbentuk *lower bainit*. Harga kekerasan dari struktur-struktur tersebut dapat dibaca pada skala yang terdapat di sebelah kanan kurva.

Perlit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding perlit yang halus. Hal ini erat kaitannya dengan kelakuan persipitasi sementit dari austenit. Bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah. Struktur bainit terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi relatif berbeda dengan struktur bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah.

2.6 Pengujian Material

2.6.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi adalah pengujian yang dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam bahan. Pada baja unsur yang berpengaruh dalam penguatan baja yang dominan adalah karbon. Dan unsur-unsur lain yang berpengaruh antara lain:

- S bersifat menurunkan keuletan pada tarik.
- Mo (molibden) dan W (*tungsten*) bersifat mengendalikan kegetasan pada perlakuan temper.
- Kadar P yang rendah dapat menaikkan kuat tarik baja, tetapi P bersifat membuat baja getas pada suhu rendah.
- P, Mo dan V (Vanadium) membawa sifat penurunan keuletan pada baja.
- Ni dan Mn bersifat memperbaiki keuletan baja, Mn juga bersifat mengikatkan karbida sehingga perlit dan ferlit menjadi halus.

Proses pengujian komposisi berlangsung dengan pembakaran bahan menggunakan elektroda dimana terjadi suhu rekristalisasi, dari suhu rekristalisasi terjadi penguraian unsur yang masing-masing beda warnanya. Penentuan kadar (%) berdasar sensor perbedaan warna. Proses pembakaran elektroda ini sekitar 3 detik. Pengujian komposisi dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat persentase unsur yang ada.

Identifikasi dan spesifikasi alat uji:

Merek : Hilger

Asal : Inggris

No. Seri : E-9 OA701

Kapasitas: 20 unsur terdeteksi secara langsung

2.6.2 Pengujian Ketangguhan

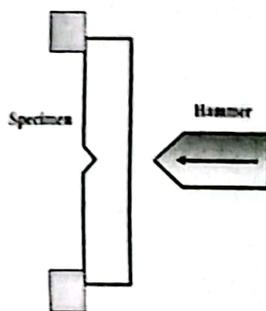
Ketangguhan adalah tahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan (takikan yang tajam secara drastis menurunkan ketangguhan). Tujuan utama dari pengujian impak adalah untuk mengukur kegetasan atau keuletan bahan terhadap beban kejut dengan cara mengukur energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan beban kejut. Metode yang sering digunakan adalah metode *Charpy* dengan menggunakan benda uji standar.

Jenis-jenis metode uji impak. Secara umum metode pengujian impak terdiri dari 2 jenis yaitu:

1. Metode Charpy
2. Metode Izod

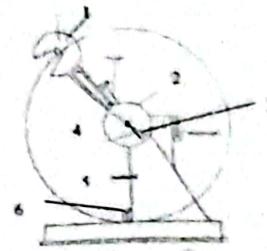
Metode Charpy: pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Metode Izod: pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan

Pengujian ini menggunakan metode Charpy dengan menggunakan benda uji standar.



Gambar 8 Metode Charpy

Pada pengujian pukuk takik (*impact test*) digunakan batang uji yang bertakik (*notch*). Pada metode Charpy, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan (*anvil*). Prinsip pengujian impak ini adalah menghitung energi yang diberikan oleh beban (*pendulum*) dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Pada saat bebandinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah. Bandul akan berayun memukul batang uji tepat dibelakang takikan. Untuk pengujian ini akan digunakan sebuah mesin dimana sebuah batang dapat berayun dengan bebas. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat.



Gambar 9 Pengujian ketangguhan Charpy (Sumber: Supardi, 1996)

Keterangan:

1. Pendulum
2. Piring busur derajat
3. Jarum penunjuk sudut
4. Batang pembawa jarum
5. Badan mesin uji
6. Tempat benda uji dipasang

Identifikasi dan spesifikasi alat uji:

Merek : Schenck Trebel PSW 300
 Asal : Jerman Barat
 No. Seri : 30106
 Kapasitas : 150 Joule - 300 Joule /
 8,5 Kg -17 Kg

Kerja yang dilakukan untuk mematahkan benda kerja adalah:

$$W = G \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana:

W = kerja patah dalam Joule
 G = beban yang digunakan dalam kg
 L = panjang lengan ayun dalam m
 β = sudut jatuh dalam derajat
 α = sudut awal dalam derajat

Perhitungan Ketangguhan (Nilai Pukul Takik)

Keterangan:

a = tinggi dibawah takikan (mm)
 t = lebar spesimen (mm)
 A = luas spesimen dibawah takikan
 (mm²) = a x t

Salah satu perhitungan pada material dasar:

$$A = a \times t = 10,81 \times 8,30 = 89,72 \text{ mm}^2$$

Bila diketahui luas penampang di bawah takikan (A_0) ... mm², dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji dihitung

sebagai berikut:

$$\text{Nilai Ketangguhan} = \frac{\text{Kerja Patah (W)}}{\text{Luas Penampang di bawah takikan (A_0)}} \text{ / joule / mm}^2$$

Dimana:

K = nilai ketangguhan/pukul takik (joule/mm²)

A₀ = luas penampang mula di bawah takikan (mm²)

W = tenaga patah (joule)

2.6.3 Pengujian Metalografi

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya. Mekanisme pengujian struktur makro dan mikro:

1. Persiapan:

Menghaluskan benda uji las bagian melintang sampai rata dan halus menggunakan kikir, kertas amplas dan mesin poles.

2. Proses etsa:

Benda uji di etsa sesuai dengan larutan HCl/Nital konsentrasi 2% sampai beberapa detik (sekitar 10 sampai 15 detik), dilanjutkan benda uji di bersihkan dengan air.

3. Pemeriksaan:

Pemeriksaan mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500 kali. Pemeriksaan makro dilakukan dengan kaca pem-besar dengan perbesaran 6 kali.

Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku, daerah pengaruh panas adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pengelasan dan pendinginan secara cepat.

Tujuan karakterisasi struktur mikro las adalah untuk mengamati struktur mikro berkaitan dengan sifat-sifat mekanik yang dimiliki lasan dan mengevaluasi struktur mikro untuk mendapatkan parameter las yang paling sesuai. (*Handbook, ASM., 1985: 121*).

2.6.3.1 Perhitungan Besar Butir

Untuk menghitung jumlah butir pada struktur mikro penelitian dilakukan dengan

menggunakan metode *Intercept (Heyne)* ukuran butir dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LK = \frac{n \times L \times 10^3}{V \times Pk}$$

Dimana:

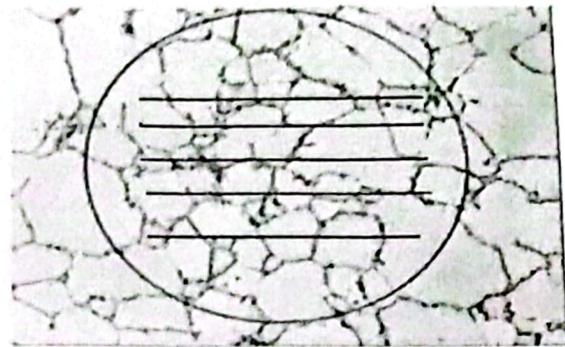
Lk = Ukuran Butir, μm

n = Jumlah Garis

L = Panjang, mm

V = Perbesaran

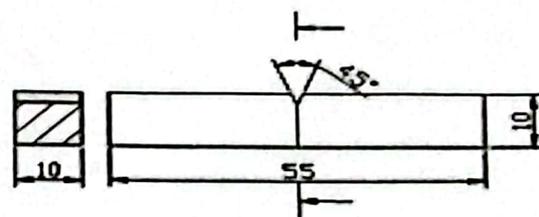
Pk = Jumlah Perpotongan



Gambar 10 Skema perhitungan jumlah butir
(Sumber: Vlack V, 199 : 132)

2.7 Kampuh V

Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung pelat dengan ketebalan 10 mm pada uji impak. Memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45° dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm.



Gambar 11 Kampuh V standar JIS 2202 1980

3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Desember tahun 2012. Adapun tempat penelitian dilakukan di B2TKS (Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur), Puspittek Serpong.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

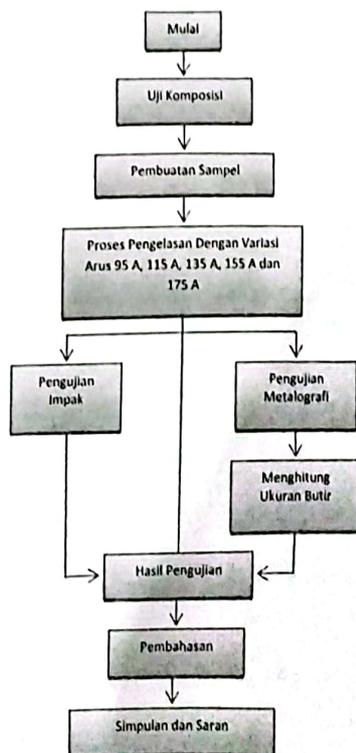
3.2.1 Alat Penelitian

- Alat uji komposisi Hilger asal Inggris
- Mesin gergaji beserta kelengkapannya untuk memotong pelat.
- Kikir untuk meratakan permukaan potongannya.
- Stopwatch
- Peralatan pengelasan
- Mesin las SMAW DC
- Elektroda E7018
- Penggaris
- Mesin uji ketangguhan Schenck Trebel PSW 300 asal Jerman Barat, berkapasitas 8,5 – 17 kg (150 – 300 joule)
- Mesin Grinding Planopol-2
- Mesin Poles Rotopol-25
- Peralatan mikroskop makro perbesaran 6 - 50x dan mikroskop optik Metalloplan Microscope Leitz Wetzlar, perbesaran 50x – 1000x.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah baja paduan rendah dengan ukuran panjang 55 mm, lebar 10 mm, tebal 10 mm. Dan untuk keperluan pengelasan SMAW DC dipergunakan elektroda jenis E7018 dengan diameter 3,2 mm.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 12 Diagram alir penelitian

4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan data-data yang berupa angka dalam bentuk tabel, grafik dan foto struktur mikro pada baja paduan rendah yang digunakan sebagai bahan penelitian. Data-data hasil penelitian meliputi komposisi kimia, ketangguhan dan foto struktur mikro. Data hasil komposisi kimia diperoleh dengan Mesin Uji Komposisi Hilger, data hasil ketangguhan diperoleh dengan Mesin Uji Ketangguhan Schenck Trebel PSW 300 dan data hasil struktur mikro diperoleh dengan pengamatan menggunakan Mikroskop Optik.

Hasil Uji Komposisi

Tabel 4 Komposisi Kimia Logam dalam % berat

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	S	P
0,031	0,27	0,63	0,14	0,051	0,065	0,031	0,028

Hasil Uji Ketangguhan

Tabel 5 Data Hasil Uji Ketangguhan Las

SMAW Pada Pelat Baja Paduan Rendah

No	Benda Uji	Dimensi (mm)		A (mm)	Energi (J)	Kuat Impak (J/mm ²)
		Lebar (l)	Tinggi (a)			
1	Material Dasar	10,81	8,30	89,72	295	3,288
2		10,83	8,28	89,67	295	3,289
3		10,81	8,29	89,61	296	3,303
Rata-rata				89,66	295,33	3,293
1	Arus 95 A	10,75	8,30	89,72	295	3,288
2		10,71	8,28	88,67	296	3,338
3		10,65	8,31	88,50	296	3,344
Rata-rata				88,96	295,66	3,323
1	Arus 115 A	10,81	8,29	89,61	297	3,314
2		10,92	8,29	90,52	295	3,258
Rata-rata				90,06	296	3,286
1	Arus 135 A	10,81	8,30	89,72	296	3,299
2		10,65	8,29	88,29	296	3,352
3		10,95	8,31	90,99	298	3,275
Rata-rata				89,66	296,66	3,308
1	Arus 155 A	10,89	8,35	90,49	294	3,248
2		10,93	8,32	90,93	296	3,255
3		10,91	8,35	91,09	294	3,227
Rata-rata				90,83	294,66	3,243
1	Arus 175 A	10,51	8,30	87,23	296	3,393
2		10,73	8,31	89,16	296	3,319
3		10,96	8,33	91,29	298	3,264
Rata-rata				89,22	296,66	3,325

Hasil Uji Metalografi

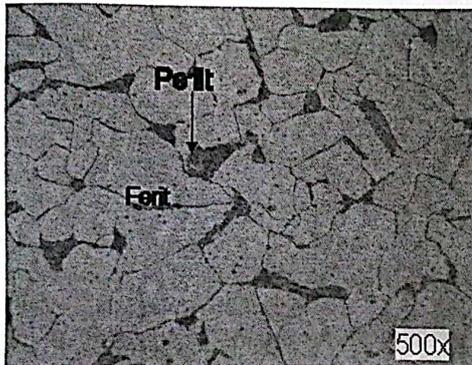


Gambar 13 Foto makro hasil uji impak pada kondisi tanpa dilas (material dasar), 95A, 115A, 135A, 155A dan 175A



Gambar 16 Struktur mikro daerah material las (WM) berupa ferit-bainit

Foto Mikro Material Dasar



Gambar 14 Struktur mikro material dasar (base metal) berupa ferit (putih) dan perlit (hitam)

Foto Mikro Arus 115 A



Gambar 17 Struktur mikro daerah HAZ berupa butir halus ferit-perlit

Foto Mikro Arus 95 A



Gambar 15 Struktur mikro daerah HAZ berupa butir halus ferit-perlit



Gambar 18 Struktur mikro daerah material las (WM) berupa ferit-bainit

Foto Mikro Arus 135 A



Gambar 19 Struktur mikro daerah HAZ berupa butir halus ferit-perlit



Gambar 22 Struktur mikro daerah material las (WM) berupa ferit-perlit

Foto Mikro Arus 175 A



Gambar 20 Struktur mikro daerah material las (WM) berupa ferit-bainit



Gambar 23 Struktur mikro daerah HAZ Berupa butir halus ferit-perlit

Foto Mikro Arus 155 A



Gambar 21 Struktur mikro daerah HAZ berupa butir halus ferit-perlit



Gambar 24 Struktur mikro daerah material las (WM) berupa ferit-bainit

Hasil Perhitungan Butir

Tabel 6 Nilai Butir

Arus Las (A)	Butir					
	Daerah (BM)		Daerah (HAZ)		Daerah (WM)	
	PK	Lk (μm)	PK	Lk (μm)	PK	Lk (μm)
Tidak di Las	39	20,51	-	-	-	-
95 A	-	-	84	9,52	68	11,76
115 A	-	-	49	16,32	71	11,26
135 A	-	-	67	11,94	88	9,09
155 A	-	-	68	11,76	113	7,07
175 A	-	-	55	14,54	70	11,42

4.2 Pembahasan

4.2.1 Struktur Mikro

Secara umum struktur yang terbentuk dalam penelitian ini dari setiap tingkatan arus adalah ferit, perlit dan bainit. Dari hasil pengamatan terhadap struktur mikro baja paduan rendah di atas didapatkan hasil seperti yang diringkaskan pada tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7 Struktur mikro daerah HAZ dan WM

Arus	Struktur Daerah HAZ	Struktur Daerah WM
95 A	Butir Halus Ferit-Perlit	Ferit-Bainit
115 A	Butir Halus Ferit-Perlit	Ferit-Bainit
135 A	Butir Halus Ferit-Perlit	Ferit-Bainit
155 A	Butir Halus Ferit-Perlit	Ferit-Perlit
175 A	Butir Halus Ferit-Perlit	Ferit-Bainit

Tabel di atas menyebutkan bahwa struktur yang terjadi di daerah terpengaruh panas (HAZ) untuk setiap tingkatan arus adalah ferit-perlit yang berbutir halus, sedangkan pada daerah logam las (WM) struktur yang terbentuk secara umum adalah ferit-bainit, kecuali pada arus 155 A struktur yang terbentuk ferit-perlit.

4.2.2 Ketangguhan

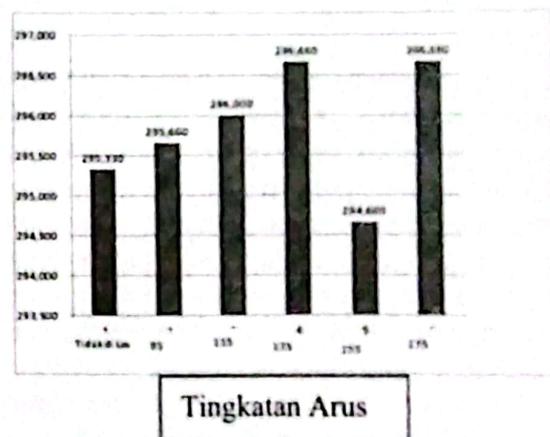
Ketangguhan adalah ketahanan logam terhadap beban tumbukan atau kejutan. Tujuan utama dari pengujian impak adalah untuk

mengukur kegetasan atau keuletan logam terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba).

Hasil dari pengujian ketangguhan adalah berupa tenaga yang diserap (W) dalam satuan joule dan nilai pukul takik (K) dalam satuan joule/mm².

4.2.2.1 Tenaga Patah

Dilihat dari gambar 25, dapat diketahui bahwa semakin besar arus (A) yang digunakan maka nilai tenaga patahnya secara umum meningkat, kecuali pada arus 155 A. Dimana nilai tertingginya adalah 296,66 joule pada arus 135 A dan arus 175 A. Nilai terendah adalah 294,66 joule pada arus 155 A.

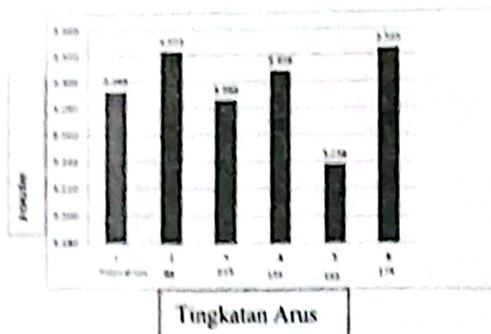


Gambar 25 Diagram hasil tenaga patah

Nilai tenaga patah untuk kelompok material dasar sebesar 295,33 joule. Sedangkan nilai tenaga patah pada kelompok arus 95 A, 115 A, 135 A dan 175 A mengalami peningkatan antara 0,33 joule – 1,33 joule. Sementara itu, kelompok dengan arus 155 ampere mengalami penurunan nilai tenaga patah sebesar 0,67 joule dari kelompok material dasar.

4.2.2.2 Nilai Ketangguhan

Gambar di bawah menunjukkan nilai ketangguhan kelompok material dasar, kelompok arus 95 A, 115 A, 135 A, 155 A dan 175 A.



Gambar 26 Diagram Hasil Ketangguhan Impak

Berdasarkan gambar 26 di atas dapat diketahui nilai ketangguhan hasil lasan untuk logam dasar dan berbagai macam arus. Nilai ketangguhan pada berbagai variasi arus tersebut menunjukkan bahwa ketangguhannya ada yang mengalami peningkatan, khususnya pada arus 95 A, 135 A dan 175 A. Sedangkan pada arus yang lain mengalami penurunan ketangguhan.

Nilai ketangguhan untuk kelompok material dasar sebesar 3,293 joule/mm², sementara nilai ketangguhan pada berbagai variasi arus pengelasan mengalami kenaikan dan penurunan terhadap material dasar. Pada variasi arus 95 A, 135 A dan 175 A dapat disebutkan bahwa ketangguhan untuk masing-masing arus tersebut mengalami peningkatan masing-masing sebesar 0,030 joule/mm², 0,015 joule/mm² dan 0,032 joule/mm² dari kelompok material dasar. Sedangkan pada variasi arus 115 A dan 155 A ketangguhannya mengalami penurunan sebesar 0,007 joule/mm² dan 0,055 joule/mm² dari kelompok material dasar.

Turunnya ketangguhan hasil lasan pada variasi arus 115 A dan 155 A dapat disebabkan oleh adanya porositas pada logam lasan yang menyebabkan ketangguhannya menurun. Bentuk porositas yang ada pada logam lasan dapat dilihat pada gambar 27 di bawah.

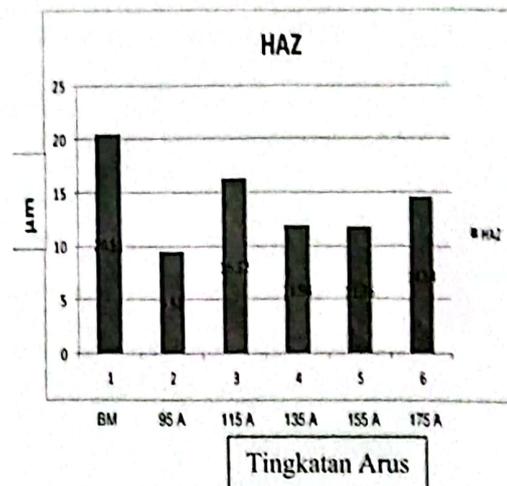


Gambar 27 Cacat Porositas pada daerah las bagian tengah

4.2.3 Besar Butir

Berdasarkan gambar 28 dan gambar 29 dapat dilihat berbagai variasi ukuran butir untuk berbagai macam arus pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *Weld Metal* (WM) pada sambungan las.

4.2.3.1 Daerah HAZ

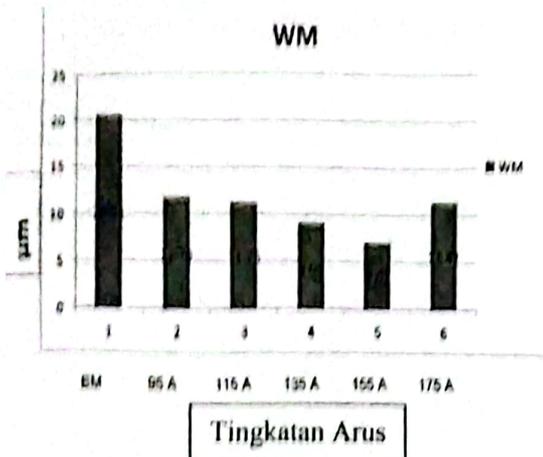


Gambar 28 Ukuran butir pada daerah HAZ

Dari grafik pada gambar 28 di atas dapat diketahui bahwa ukuran butir secara umum mengalami penurunan pada daerah HAZ setelah logam dilas. Pada arus 95 A, 115 A, 135 A, 155 A dan 175 A, ukuran butirnya masing – masing 9,52 µm, 16,32 µm, 11,94 µm, 11,76 µm dan 14,54 µm, mengalami penurunan dibandingkan dengan logam dasar yang besar butirnya adalah sebesar 20,51 µm. Turunnya ukuran butir pada daerah HAZ dapat disebabkan adanya pengaruh panas dari arus yang digunakan, sehingga butir

mengalami rekristalisasi menjadi butir yang lebih halus dibandingkan dengan logam dasar. Sehubungan dengan semakin kecilnya ukuran butir tersebut, maka nilai ketangguhan logam lasan pada daerah HAZ secara umum akan meningkat.

4.2.3.2 Daerah WM



Gambar 29 Ukuran butir pada daerah WM

Dari grafik pada gambar 4.17 di atas dapat diketahui bahwa ukuran butir secara umum mengalami penurunan pada daerah WM setelah logam dilas. Pada arus 95 A, 115 A, 135 A, 155 A dan 175 A, ukuran butirnya masing – masing 11,76 µm, 11,26 µm, 9,09 µm, 7,07 µm dan 11,42 µm, mengalami penurunan dibandingkan dengan logam dasar yang besar butirnya adalah sebesar 20,51 µm. Semakin turunnya ukuran butir pada daerah WM, dibandingkan dengan pada daerah HAZ dapat disebabkan adanya pemanasan yang lebih besar dari elektroda langsung, sehingga ukuran butir menjadi semakin halus, sehingga dapat dikatakan bahwa ketangguhan pada daerah WM lebih besar dibandingkan di daerah HAZ.

5 SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Struktur mikro yang terbentuk di daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) pada semua tingkatan arus adalah ferit-perlit yang berbutir halus. Sementara untuk di daerah *Weld Metal*

(WM) struktur terbentuk adalah ferit-bainit, kecuali untuk arus 155 A yang berstruktur ferit-perlit.

2. Nilai tenaga patah untuk kelompok material dasar (*base metal*) sebesar 295,33 joule. Dimana nilai tertinggi adalah 296,66 joule pada arus 135 A dan 175 A. Nilai terendahnya adalah 294,66 joule pada arus 155 A. Turunnya nilai tenaga patah hasil lasan pada arus 155 A dapat disebabkan oleh adanya porositas pada logam lasan yang menyebabkan ketangguhannya menurun.
3. Nilai ketangguhan untuk kelompok material dasar (*base metal*) sebesar 3,293 joule/mm², Nilai ketangguhan tertinggi adalah 3,325 joule/mm² pada arus 175 A. Nilai terendahnya adalah 3,238 joule/mm² pada arus 155 A. Turunnya nilai ketangguhan hasil lasan pada variasi arus 115 A dan 155 A dapat disebabkan oleh adanya porositas pada logam lasan yang menyebabkan ketangguhannya menurun.
4. Nilai besar butir pada daerah *heat affected zone* (HAZ) dan *weld metal* (WM) mengalami penurunan dibandingkan nilai besar butir di daerah *base metal* (BM). Sehingga semakin kecil ukuran butir tersebut, maka nilai ketangguhan secara umum meningkat dibandingkan dengan di daerah *base metal* (BM).

5.2 Saran

Berdasarkan pembahasan pada bagian sebelumnya dapat diajukan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk tebal pelat dan elektroda yang berbeda sesuai dengan aplikasi konstruksi dan optimalisasi jenis elektroda yang digunakan.
2. Untuk menghilangkan tegangan sisa setelah proses pengelasan maka perlu dilakukan *postweld heat treatment* sehingga ketangguhan logam lasan meningkat.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Alip, M., 1989, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [2] Arifin, S., 1997, *Las Listrik dan Otogen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.

- [3] ASM, 1989, *Metallurgy and Microstructures*, ASM Handbook Committee, Metal Park, Ohio.
- [4] Bintoro, A. G., 2005, *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*, Kanisius, Yogyakarta.
- [5] Kenyon, W., Ginting, D., 1985, *Dasar-Dasar Pengelasan*, Erlangga, Jakarta.
- [6] Malau, V., 2003, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta.
- [7] Sonawan, H., Suratman, 2004, *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*, Alfa Beta, Bandung.
- [8] Suharto, 1991, *Teknologi Pengelasan Logam*, Rineka Cipta, Jakarta.
- [9] Supardi, E., 1996, *Pengujian Logam*, Angkasa, Bandung.
- [10] Suratman, M., 2001, *Teknik Mengelas Asetilen, Brazing dan Busur Lis* Pustaka Grafika, Bandung.
- [11] Widharto, S., 2001, *Petunjuk Kerja Las*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [12] Wiryosumarto, H., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta.