

ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA DAERAH LAS HASIL PENGELASAN SMAW (Shielding Metal Arc Welding) MENGUNAKAN ELEKTRODA E6010

Budhi Martana¹, Yuhani Djaya, dan Frederikus Konrad

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta
Jl. R.S. Fatmawati Pondok Labu Jakarta Selatan – 12450
Telp./HP. 081910367943

Abstract

This study aims to determine the influence of flow tensile strength of welding, SMAW welding with electrode E6010. This study used steel materials low alloy welding treated with flow variations of 70 Ampere, 90 Ampere and 110 Ampere with using SMAW welding with reverse polarity DC E6010 electrode diameter of 3.2 mm. The hem type used is the seam V at an angle of 60°. The highest tensile strength welded joints occur in groups 110 Ampere specimen that is equal to 684.7 MPa experiencing an increase of 44.8 MPa or by 6.54% from the raw materials. The highest tensile strength of the weld area occur in groups of 70 Ampere specimens is 688.9 MPa which increased by 19.1 MPa or registration 2.77% of the specimens of 33.7MPa and 90 Ampere or 4.89% from the current 110 Amperes.

Key Words: flow, tensile strength, SMAW, E6010

PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan, karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun, karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan ketrampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi: perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Faktor yang mempengaruhi hasil las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan meliputi pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh. (Wirjosumarto, dan Okumura T, 2000). Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang di sekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi, dan tegangan termal.

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematريان. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik), dan gas. Jenis dari las busur listrik ada 4 (empat) yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, Las Busur CO₂), las busur tanpa gas, dan las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah *las Shielding Metal Arc Welding* (SMAW).

1. Kontak Person : **Budhi Martana**
Jurusan Teknik Mesin, FT UPNV Jakarta
Telp. 021 7656971

Pengertian Las

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktivitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain prosedur pengelasan, bahan elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan.

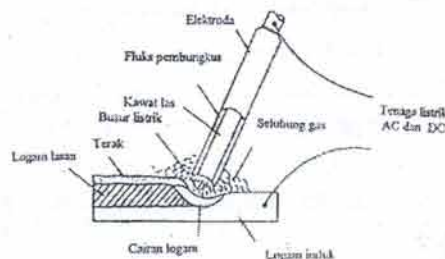
Las Elektroda Terbungkus (SMAW)

Pengelasan busur listrik merupakan suatu teknik pengelasan yang banyak dipergunakan dalam industri adalah las elektroda terbungkus, las busur dengan pelindung gas, dan las busur dengan pelindung bukan gas. Las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa kini. Dalam Gambar 1, dapat dilihat bahwa busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda. Akibat panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama-sama.

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. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar. 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 *fluks* yang digunakan. Bahan *fluks* 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.

Prinsip pengelasan dengan SMAW termasuk kategori *fusion welding*, karena melebur logam yang akan disambungkan beserta elektrodanya. Elektrodanya dipegang dengan menggunakan suatu holder lalu didekatkan pada logam yang akan dilas dan busur listrik akan terbentuk. Panas yang dicapai adalah sekitar 1400-1500°C dan hal ini akan membuat logam induk dan elektroda menjadi cair. Setelah pengelasan selesai akan terjadi pembekuan yang merupakan penyambungan logam.



Gambar 1. Las SMAW
Sumber: Wiryosumarto, 2000

Fluks pada elektroda menghasilkan gas yang berfungsi untuk melindungi daerah ujung elektroda sekitarnya dari kontaminasi lingkungan pada saat proses pengelasan berlangsung. Disamping itu terbentuknya terak merupakan salah satu pendukung tambahan hasil las.

Arus yang tinggi akan menghasilkan hasil kampuh las yang baik namun menghasilkan bunga api (*spatter*) berlebihan, sedangkan untuk arus rendah hasil kampuh las kurang teratur pada bagian atas pelat. Pada kondisi tegangan tinggi serta busur yang panjang akan menghasilkan *spatter* dan kecenderungan untuk menangkap nitrogen dari udara yang akan mengakibatkan cacat porositas. Begitu pula pada kondisi tegangan rendah serta busur yang pendek akan menghasilkan kampuh yang tidak teratur dengan diikuti penetrasi yang buruk serta kecenderungan mengakibatkan timbulnya cacat inklusi akibat pengotor. Kecepatan pengelasan yang tinggi akan menghasilkan kampuh yang tajam dan mengakibatkan cacat (*undercut*), begitu pula sebaliknya bila kecepatan pengelasan rendah akan menghasilkan kampuh yang cenderung tumpang tindih pada logam induk.

Elektroda yang besar biasanya digunakan untuk pengelasan pada posisi yang istimewa. Diameter elektroda yang besar memberikan pengisian yang banyak dan proses pengelasan relatif cepat. Ini akan mengurangi biaya dari proses pengelasan. Pada sisi lain elektroda yang besar memerlukan arus lebih besar dari pada elektroda kecil.

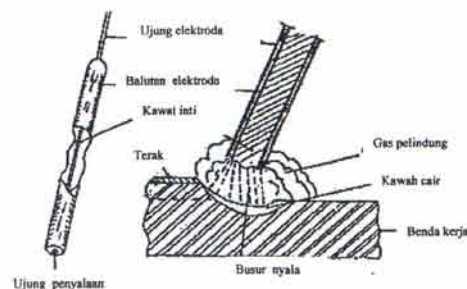
Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: 1) daerah logam lasan yaitu daerah pada waktu pengelasan mencair kemudian akan membeku. 2) daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*), yaitu logam induk yang bersebelahan langsung dengan logam lasan, dimana selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan secara cepat, dan 3) logam induk tidak terpengaruh panas akibat pengelasan dalam arti tidak terjadi perubahan struktur dan sifatnya. (W. Kenyon, 1987)

Kelebihan pengelasan dengan SMAW, antara lain dapat diandalkan untuk mengelas berbagai tipe sambungan, posisi, serta lokasi yang sulit dikerjakan, biaya pengoperasian yang relatif rendah dan dapat dipakai untuk mengelas didalam maupun diluar ruangan. Tidak diperlukannya hose untuk gas pelindung ataupun air pendingin, serta dapat dioperasikan pada tempat yang jauh dari sumber tenaga, dan kualitas sambungan dapat dirancang sedemikian rupa dengan menggunakan berbagai jenis elektroda.

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

Elektroda Terbungkus

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.



Gambar 2. Elektroda Terbungkus Sumber: Arifin, 1997

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.

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan, dan polaritas pengelasan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekuatan Luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F,V,OH,H	DC+	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F,V,OH,H	AC+ atau DC+	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F,V,OH,H	AC_ atau DC_	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F,V OH,H	AC atau DC ganda	47,1	38,7	17
Kekuatan tarik terendah kelompok E 70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm²						
E7014	Serbuk besi, titania	F,V,OH,H	AC atau DC ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F,V,OH,H	DC+			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC+ atau DC+			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC+ atau DC+	50,6	42,2	22

Sumber: Wiryosumarto, dan Okumura T, 2000

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda

Diameter mm	Tipe Elektroda dan Ampere yang digunakan		
	E6010	E6014	E7018
2,5	-	80-125	70-100
3,2	80-120	110-160	115-165
4	120-160	150-210	150-220
5	150-200	200-275	200-275

Sumber : Arifin S, 1997

Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, dan posisi pengelasan.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las, bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit, dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

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 dan dalam pemesinan. Baja paduan rendah dibagi menurut sifatnya yaitu baja tahan suhu rendah, baja kuat, dan baja tahan panas. (Wiryosumarto, 2000).

Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam, dan las MIG. Perubahan struktur daerah las selama pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras.

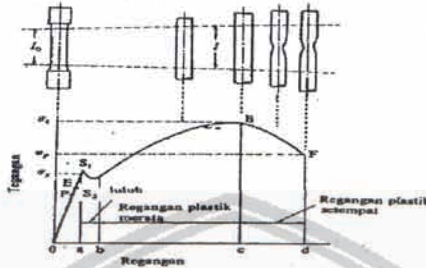
Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji, pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai

nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda.

Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum.

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan menghasilkan kurva tegangan-regangan.



Gambar 3. Kurva tegangan-regangan

Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0}$$

dimana : σ_u = Tegangan nominal (kg/mm²)

F_u = Beban maksimal (kg)

A_0 = Luas penampang mula dari penampang batang (mm²)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%..$$

dimana : ϵ = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan (reduksi penampang) dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban. Prosentase reduksi penampang yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

dimana : q = Reduksi penampang (%)

A_0 = Luas penampang mula (mm²)

A_1 = Luas penampang akhir (mm²)

METODE PENELITIAN

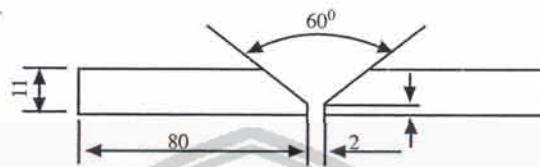
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa untuk dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh.

Eksperimen dilaksanakan dilaboratorium dengan kondisi dan peralatan yang diselesaikan guna memperoleh data tentang pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik pada daerah las hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E 6010.

Bahan dan Alat

Proses pengelasan dilakukan pemanasan awal (*preheating*) pada sampel yang bertujuan untuk mengurangi tegangan penyusutan yang terlalu tinggi akibat pengelasan dan agar fluks pembungkus kawat terbebas dari gas-gas maupun oksida yang terperangkap sehingga dapat mengurangi porositas selama proses pengelasan. Proses pemanasan awal dilakukan pada temperatur 300°C dan ditahan selama 60 menit, lalu didinginkan di udara (*Normalising*).

Pengelasan dilakukan terhadap sampel yang dipersiapkan yaitu dengan pengelasan sambungan tumpul untuk masing-masing jenis kampuh. Proses pengelasan menggunakan arus bolak balik dengan arus sebesar 70 Amper, 90 Amper, dan 110 Amper, menggunakan elektroda jenis E 6010 dan diameter 3,2 cm, jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh "V" terbuka, jarak celah plat 2 mm, tinggi akar 2 mm, dengan sudut 60°. Posisi pengelasan yang digunakan posisi bawah tangan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, kegiatan eksperimen dilaksanakan di laboratorium pengujian tarik Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta.

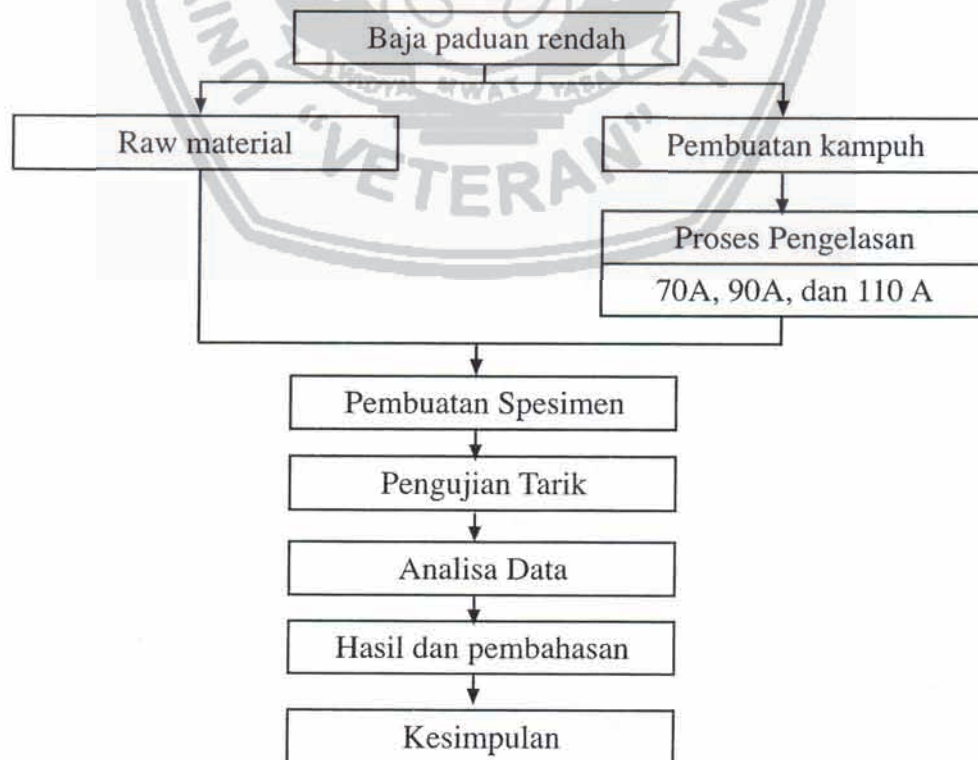


Gambar 4. Kampuh V
Sumber: Sonawan, 2004



Gambar 5. Spesimen Bahan Uji Tarik

Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Komposisi Material

Hasil pengujian komposisi kimia material pada penelitian ini dimasukkan dalam tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Komposisi Kimia Material dalam % berat

C	Si	Mn	S	P	Ni	Nb	Cr	V	W	Ti
0,098	0,228	1,489	0,007	0,014	0,151	0,06	0,085	0,05	0,05	0,01

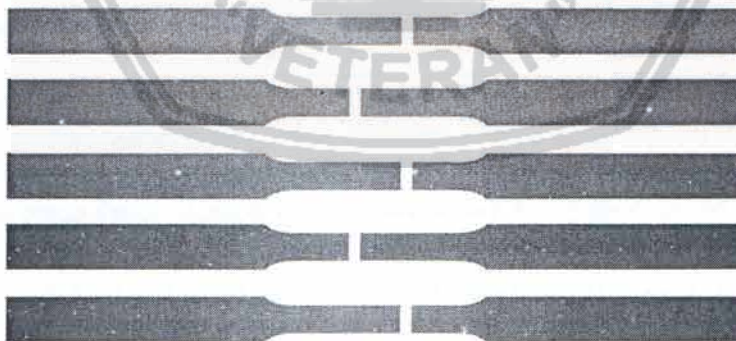
Menurut Wiryosumarto (2000), baja paduan rendah adalah sekelompok baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Hasil pengujian komposisi kimia material diatas menunjukkan kadar karbonnya adalah 0,098%, dan terdapat unsur-unsur paduan dengan % berat yang rendah, maka baja ini diklasifikasikan menjadi baja paduan rendah (*low alloy steel*).

Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material baja paduan rendah sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan (kekuatan tarik dan kekuatan luluh), parameter keliatan atau keuletan yang ditunjukkan dengan adanya persentase perpanjangan dan persentase kontraksi atau reduksi penampang.



Gambar 7. Spesimen *raw material* sebelum uji tarik



Gambar 8. Spesimen *raw material* setelah mengalami uji tarik

Pengujian dengan menggunakan mesin *servopulser* pada skala beban 10 ton dan suhu kamar. Spesimen pengujian terdiri dari pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik baja paduan rendah hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E 6010 dan kekuatan tarik daerah las baja paduan rendah.

Dari pengujian terhadap kekuatan tarik spesimen diperoleh data-data yang menunjukkan regangan, kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh yang tidak seragam, digambarkan pada Gambar 6. sampai Gambar 7., dan hasil nilai tegangan dan regangan maksimum ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3.

Hasil Pengujian Tarik spesimen *raw material* tanpa proses pengelasan

Spesimen	σ_u (MPa)	σ_y (MPa)	e (%)	q (%)
Raw Material	639,9	504,2	28,83	68,50
Arus 70 A	688,9	599,4	18,68	40,48
Arus 90 A	669,8	577,1	16,12	38,41
Arus 110 A	655,2	545,6	23,37	57,47

Sumber: Hasil Pengujian

Data dari hasil eksperimen menunjukkan nilai kekuatan tarik untuk kelompok *raw materials* adalah 639,9 MPa. Nilai kekuatan tarik daerah las untuk kelompok 70 Amper adalah 688,9 MPa, ini berarti mengalami kenaikan sebesar 49,0 MPa dari kelompok *raw materials*. Nilai kekuatan tarik untuk kelompok 90 Amper sebesar 669,8 MPa, ini berarti mengalami penurunan sebesar 19,1 MPa atau 2,78 % dari kelompok 70 Amper. Nilai kekuatan tarik untuk kelompok 110 Amper mengalami penurunan sebesar 33,7 MPa atau 4,89 % dari kelompok 70 Amper dan mengalami penurunan terhadap kelompok 90 Amper sebesar 14,6 MPa atau 2,18 %.

Data dari hasil eksperimen menunjukkan nilai tegangan luluh untuk kelompok spesimen *raw materials* sebesar 504,2 MPa. Nilai tegangan luluh daerah las untuk kelompok 70 Amper adalah 599,4 MPa. Nilai tegangan luluh daerah las untuk kelompok lainnya mengalami penurunan dibanding kelompok ini. Nilai tegangan luluh untuk kelompok 90 Amper sebesar 577,1 MPa, ini berarti mengalami penurunan sebesar 22,3 MPa atau 3,72 % dari kelompok 70 Amper. Nilai tegangan luluh untuk kelompok 110 Amper mengalami penurunan sebesar 53,8 MPa atau 8,98 % dari kelompok 70 Amper dan mengalami penurunan terhadap kelompok 90 Amper sebesar 31,5 MPa atau 5,46 %.

Nilai pertambahan panjang yang terjadi pada spesimen *raw materials*, kelompok spesimen arus 70 Amper, kelompok spesimen arus 90 Amper dan kelompok spesimen arus 110 Amper. Data dari hasil pengujian tarik kita dapatkan nilai pertambahan panjang untuk kelompok 110 Amper sebesar 23,37 %. Pertambahan panjang yang terjadi pada kelompok arus pengelasan 70 Amper dan 90 Amper mengalami penurunan dibanding kelompok specimen arus 110 Amper.

Kelompok spesimen arus 70 Amper mengalami penurunan pertambahan panjang sebesar 20,07 % terhadap kelompok spesimen arus 110 Amper, dan mengalami kenaikan pertambahan panjang sebesar 13,7 % dari kelompok 90 Amper. Kelompok spesimen arus 90 Amper mengalami penurunan pertambahan panjang sebesar 31,02 % terhadap kelompok specimen arus 110 Amper.

Nilai reduksi penampang pada kelompok spesimen arus 110 Amper sebesar 57,47 %. Nilai Reduksi penampang untuk kelompok lain, semua mengalami penurunan dibandingkan kelompok. spesimen arus 110 Amper. Besarnya reduksi penampang untuk kelompok 70 Amper mengalami penurunan sebesar 29,56 % dan mengalami kenaikan terhadap kelompok arus 90 Amper sebesar 5,11 %. Nilai reduksi penampang untuk kelompok 90 Amper mengalami penurunan sebesar 33,16% dari kelompok spesimen arus 110 Amper.

Pembahasan

Data dari hasil penelitian diketahui ada perbedaan kekuatan tarik, dari kelompok *raw materials* dan kelompok yang dikenai proses pengelasan dengan tiga variasi arus, yaitu sebesar 70 Amper, 90 Amper, dan 110 Amper.

Data dari hasil pengujian kelompok *raw materials* mempunyai ketangguhan paling kecil dibanding kelompok variasi arus dan pengujian tarik bahan baja paduan mempunyai nilai kekuatan yang terendah kedua setelah kelompok variasi arus 70 Amper. Untuk pengujian tarik kelompok *raw materials* mempunyai nilai kekuatan yang tinggi, karena mengandung unsur Mn yang besar yaitu 1,489 % dan kandungan unsur silikon (Si) sebesar 0,228 %. Fungsi dari unsur Mn adalah dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan baja dan meningkatkan kekerasan. Nilai perpanjangan dan reduksi penampang untuk *raw materials* tertinggi dibanding kelompok variasi arus pengelasan.

Pengujian yang pertama adalah pengujian tarik untuk variasi arus pengelasan 70 Amper. Nilai kekuatan tarik, tegangan luluh, reduksi penampang dan perpanjangan untuk kualitas baja paduan rendah mempunyai nilai yang paling kecil diantara variasi arus pengelasan dan *raw materials*. Pada kelompok variasi 70 Amper, arus yang terjadi terlalu rendah menyebabkan sukarnya penyalan busur listrik dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan *raw materials* serta penembusan yang terjadi kurang maksimal. Pada pengujian tarik untuk kualitas lasan, kelompok ini mempunyai nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh tertinggi diantara kelompok variasi arus pengelasan yang lain. Nilai perpanjangan dan reduksi penampang yang lebih tinggi dari kelompok arus 90 Amper dan lebih rendah dari kelompok arus 110 Amper.

Pengujian yang kedua adalah pengujian tarik untuk variasi arus pengelasan 90 Amper. Nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh untuk kualitas baja karbon rendah mempunyai nilai yang lebih besar dibanding kelompok variasi arus 70 Amper dan kelompok *raw materials*, tetapi lebih rendah dibanding kelompok 110 Amper. Nilai reduksi penampang dan perpanjangan mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding kelompok arus 70 Amper dan lebih rendah dibanding kelompok variasi arus pengelasan 110 Amper dan *raw materials*. Pada kelompok ini, arus yang terjadi cukup stabil dibanding kelompok 70 Amper. Arus yang stabil ini menyebabkan penembusan dan nyala busur yang baik. Pada pengujian tarik untuk kualitas lasan, kelompok ini mempunyai nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh lebih tinggi dari kelompok variasi arus pengelasan 70 Amper dan lebih rendah dari kelompok variasi arus pengelasan 110 Amper. Nilai pertambahan panjang dan reduksi penampang mempunyai nilai yang paling kecil dibanding kelompok variasi arus pengelasan 70 Amper dan 110 Amper.

Pengujian yang ketiga adalah pengujian tarik untuk variasi arus pengelasan 110 Amper. Nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh untuk kualitas baja karbon rendah mempunyai nilai yang paling tinggi diantara variasi arus pengelasan dan *raw materials*. Nilai untuk perpanjangan dan reduksi penampang kelompok ini lebih rendah dibandingkan kelompok *raw materials* dan lebih tinggi diantara variasi arus pengelasan. Arus pengelasan 110 Amper termasuk dalam interval arus yang diijinkan untuk elektroda E6010 diameter 3,2 mm yaitu antara 85 sampai 115 Amper. Pada pengelasan ini busur yang terjadi lebih besar dibandingkan arus 90 Amper. Percikan busur terlihat lebih besar dan peleburan elektroda lebih cepat. Nilai yang dihasilkan dari pengujian tarik untuk kualitas lasan lebih kecil dibandingkan kelompok variasi arus pengelasan yang lain.

SIMPULAN

Nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh untuk spesimen kualitas kekuatan tarik baja paduan rendah kelompok pengelasan arus 110 Amper paling tinggi dibandingkan kelompok variasi arus pengelasan 70 Amper dan 90 Amper serta kelompok *raw materials*. Nilainya mengalami kenaikan sebesar 44,84 MPa untuk nilai kekuatan tarik dan 84 MPa untuk nilai tegangan luluh terhadap kelompok *raw materials*. Nilai perpanjangan dan reduksi penampang mengalami kenaikan dibanding kelompok 70 Amper dan kelompok 90 Amper, tetapi mengalami penurunan dibandingkan kelompok *raw materials*.

Nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh untuk spesimen kekuatan tarik daerah lasan kelompok 70 Amper paling tinggi dibandingkan kelompok variasi arus pengelasan 90 Amper dan 110 Amper. Nilainya mengalami kenaikan terhadap spesimen arus pengelasan 110 Amper sebesar 3,72 % untuk kekuatan tarik dan 8,98 % untuk nilai tegangan luluh.

Jika mengelas dengan elektroda E 6010 sebaiknya menggunakan arus dari 85 sampai 115, karena jika kurang maka penembusan yang terjadi akan kecil dan jika lebih dari 115 Amper akan menyebabkan busur listrik yang terjadi tinggi sekali sehingga akan menyebabkan pencairan logam induk besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, 1998, *Optimization of Welding Technology for User*, Yayasan Puncak Sari, Jakarta.
- Alip, M., 1989, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Arifin, S., 1997, *Las Listrik dan Otogen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Bintoro, A. G., 2005, *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*, Kanisius, Yogyakarta.
- Cary, H. B., 1994, *Modern Welding Technology*, A Simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Smith, D., 1984, *Welding Skills and Technology*, McGraw-Hill, New York.
- Sonawan, H., Suratman, R., 2004, *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*, _lfa Beta, Bandung.
- Suharsimi, A., 2002, *Prosedur Penelitian*, Bina Aksara, Jakarta.
- Suharto, 1991, *Teknologi Pengelasan Logam*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Supardi, E., 1996, *Pengujian Logam*, Angkasa, Bandung.
- Suratman, M., 2001, *Teknik Mengelas Asetilen, Brazing dan Busur Listrik*, Pustaka Grafika, Bandung.
- Widharto, S., 2001, *Petunjuk Kerja Las*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wiryosumarto, H., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta.