

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pengelasan merupakan salah satu proses yang penting dalam industry logam, permesinan dan manufaktur. Hal ini dikarenakan tidak semua kontruksi dapat dicetak atau melalui proses casting. Prosedur pengelasan terlihat sangat sederhana tetapi sebenarnya banyak terdapat masalah-masalah yang terjadi dilapangan pada saat proses pengelasan itu dilakukan.

Pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian logam 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 (Saputra Ismy et al., 2020).

Panas tersebut dihasilkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas. Panas yang dihasilkan dari lompatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000 derajat C sampai 4500 derajat C. Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW ini ada dua macam yaitu AC (Arus

bolak balik) dan DC (Arus searah). Proses terjadinya pengelasan ini karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (welder) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas.

Panas akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (weld metal). Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan tukang las harus menjaga jarak ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama. Adapun jarak yang paling baik adalah sama dengan $1,5 \times$ diameter elektroda yang dipakai (Mardiyanto, 2019).

Didalam pengelasan besar arus sangat mempengaruhi energy yang dihasilkan dengan adanya aliran kuat arus pada suatu pengantar energy yang berasal dari energy listrik dapat diubah menjadi energy panas. Panas yang terjadi selama proses pengelasan digunakan untuk melelehkan logam induk. Energi yang dihasilkan merupakan daya yang di pakai selama waktu tertentu. (Cary, H. B., 1994).

Permasalahan yang sering dialami dalam pengelasan diantara adalah timbulnya lonjatan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah las yang menyebabkan turunya kekuatan bahan akibat adanya tegangan sisa dan adanya cacat retakan akibat proses pengelasan. Kemudian kegagalan pada pengelasan dikarenakan kualitas

sambungan las yang ditimbulkan dari temperature puncak las dan temperature terdistribusikan tidak sama pada kedua logam di sambung.

Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia kontruksi secara umum adalah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien (Mardiyanto, 2019).

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan.

Dari permasalahan diatas maka penulis akan membahas lebih dalam tentang “ **Analisa Pengaruh Kuat Arus Pada Pengelasan SMAW Terhadap Sambungan Stainless Steel**”.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun beberapa perumusan masalah yang akan di bahas pada penelitian ini diantaranya :

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis kampuh las listrik SMAW terhadap kekuatan Tarik pada pengelasan Sambungan Stainless Steel?
2. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus dan bentuk kampuh V pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada Stainless Steel?

1.3 Batas Masalah

Untuk mencegah permasalahan dari pembahasan utama, maka diperlukan pembatasan masalah agar meneliti lebih spesifik. Batasan masalah yang diberikan sebagi berikut:

1. Material yang digunakan Stainless Steel 304.
2. Pengujian dilakukan dengan mesin uji tarik.
3. Proses pengelasan menggunakan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
4. Bentuk lasan adalah butt joint dengan posisi pengelasan dasar (flat).
5. Pengelasan dilakukan tanpa adanya pre heating dan post heating.
6. Arus yang digunakan adalah 60 A, 90 A, 120 A.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui seberapa pengaruh kuat arus pada sambungan las dengan variasi arus 60 ampere, 90 ampere, dan 120 ampere.

2. Untuk mengetahui sifat mekanis dari pengaruh variasi arus pengelasan, pengaruh kekuatan tarik, pengaruh regangan dan pengaruh elastisitas.
3. Untuk mengetahui ketangguhan dan kekerasan dengan elektroda E7081 dengan menggunakan bahan Stainless Steel 304.
4. Untuk mengetahui bagaimana Pengaruh variasi jenis kampuh las listrik SMAW terhadap kekuatan Tarik pada pengelasan Stainless Steel 304.

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai peran nyata pengembangan teknologi khususnya pengelasan, maka penulis berharap dapat mengetahui manfaat dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kuat arus yang paling kuat kekuatan tarik yang paling tinggi.
2. Untuk mendapatkan kampuh yang tepat dari pengelasan beda Stainless Steel 304 dengan sifat mekanik yang terbaik.
3. Sebagai informasi penting guna meningkatkan ilmu pengetahuan bagi penelitian dalam bidang pengujian bahan, kekuatan las dan bahan teknik dengan menggunakan mesin las SMAW.
4. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat dipergunakan sebagai pembandingan dan referensi pembuatan material lainnya baik skala besar maupun skala kecil.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengelasan

Proses penyambungan yang paling sering digunakan pastilah pengelasan dalam dunia industry. Untuk penampang yang sangat tebal digunakan metode-metode terak listrik, nosel mampu habis (counsumeable-nozzele), busur benam (submarget arc). Pelat-pelat yang relative tipis disambung dengan memakai busur api metal dilindungi gas CO₂ dan busur api logam manual. Pipa-pipa berdinding tebal sering diberi akar halus dipenetrasi rata dimasukkan dengan menggunakan bahan sisi pas yang dapat habis E.B. dan proses busur api tungsten menyatukan akar. Proses-proses pengelasan yang dipakai serupa yang dipakai terhadap L.C.S apa bila pengerjaan pengelasan Stainless Steel-Stainless Steel busur tinggi dengan tarikan yang lebih tinggi, masalah yang besar adalah apa yang dikenal sebagai kurang lapisan las (underbead) atau peretakan diarea yang keras. Ini retak yang terjadi berbatasan dengan batas peleburan di daerah yang di pengaruhi oleh panas. Ini sering kali mulai pada akar atau kaki las temu dan las sudut dan berjalan sejajar dengan batas peleburan, namun retak-retak mungkin tersembunyi di bawah permukaan plat. Keretakan kadang-kadang bias juga terjadi setelah pengelasan dan pemeriksaan.

Berdasarkan defenisi dari Deutche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari defenisi tersebut dapat

dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energy panas.

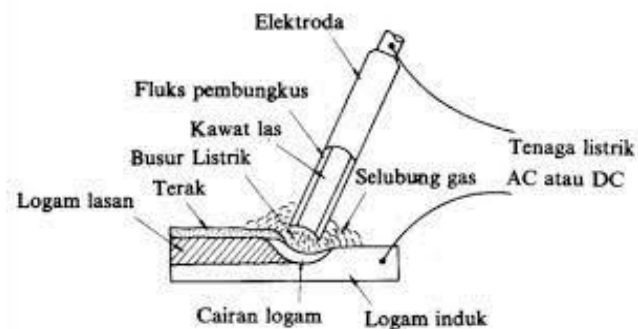
Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambungkan dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bias dengan bahan tambahan (filler metal) yang sama berbeda titik cair maupun strukturnya (Daryanto2013). Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambahan atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang di hendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa factor antara lain : prosedur pengelasan, bahan, elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan.

2.2 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengertian SMAW (Shielded Metal Arc Welding) atau las busur logam terlindung adalah suatu proses pengelasan busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan dibangkitkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Pengaturan besar kuat arus pengelasan akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya busur listrik untuk mulai menyala dan busur listrik

yang terjadi menjadi tidak stabil. Dan panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan juga bahan dasar las, sehingga hasil alur las yang nampak kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya, bila arus terlalu besar maka elektroda akan meleleh terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang terlalu lebar dari yang diharapkan dan penembusan yang terlalu dalam sehingga mengakibatkan kekuatan tarik yang rendah dan bahan dasar las menjadi semakin rapuh (Arifin, 1997). Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh tegangan busur, besar arus, kecepatan pengelasan, dan polaritas listrik (Suharto, 1991). Penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las (Donnelley, 2004). Dalam hasil penelitiannya, Raharjo dan Rubijanto (2012), menyebutkan bahwa kekerasan sambungan las tertinggi di daerah HAZ karena ukuran butir daerah ini sangat halus dan kecil.

Logam pengisi yang ada di dalam elektroda dibungkus oleh slag yang akan menjadi pelindung logam lasan saat proses pengelasan berlangsung. Las SMAW biasa disebut juga dengan istilah las MMA (Manual Metal Arc) atau stick welding. Diagram proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada ilustrasi berikut.



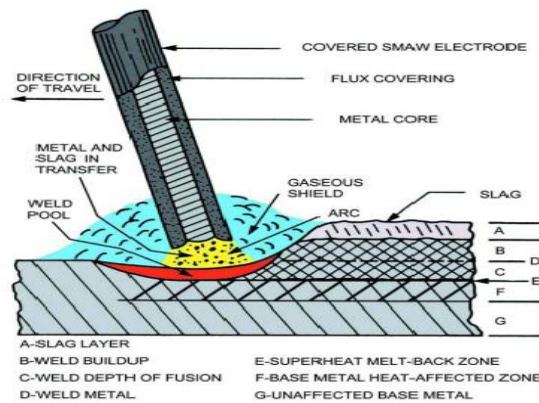
Gambar 2.1 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Kata shielded metal arc welding (SMAW) merujuk pada proses penyambungan dua buah logam atau penambahan logam pada permukaan logam yang ada. Masing-masing kata dalam SMAW memiliki makna, shielded maksudnya kemampuan untuk menghilangkan udara di sekitar lasan agar terhindar dari efek-efek yang menurunkan kualitas lasan.

Dalam hal lain, kata shielded di sini juga dapat ditunjukkan pada inti elektroda yang terbungkus dengan flux. Kata metal maksudnya adalah inti dari elektroda berupa logam atau batang konduktor yang kemudian mencair dan mengisi kolam las; arc atau busur mengacu pelepasan plasma yang merubah energi listrik menjadi panas. Sedangkan kata welding menunjukkan penyambungan logam dilakukan secara fusi.

Aksi perlindungan pada pengelasan SMAW dan klasifikasi bagian/lapisan pengelasan SMAW diilustrasikan pada gambar dibawah. Ada dua mekanisme yang bekerja untuk mencegah efek merugikan pada kolam las yang disebabkan oleh gas yang terkandung di udara. Pertama adalah perpindahan paksa udara oleh gas yang dihasilkan oleh pembakaran dan dekomposisi penutup elektroda. Kedua adalah aksi selimut pada

logam lasan dengan fluks atau terak, yang mencegah difusi konstituen udara ke dalam logam cair.



(Mardiyanto, 2019)

Gambar 2.2 Lapisan pengelasan SMAW

2.3 Elektroda

Elektroda adalah bahan yang digunakan untuk melaksanakan pengelasan listrik, fungsinya ialah sebagai nyala api yang ditimbulkan dari pembakaran. Ada beberapa jenis kawat las dengan spesifikasinya masing-masing, tapi kebanyakan orang melakukan pengelasan dengan kawat las yang tanpa dia sadari jenis kawat las yang dia gunakan sudah sesuai dengan prosedur atau belum. Padahal elektroda tersebut yang khususnya tipe SMAW mempunyai kode spesifikasi tersendiri yang tertulis di bagian kardus pembungkus kawat las, dari kardus tersebut kita dapat melihat berapa arus yang harus kita gunakan pada saat pengelasan. Akan tetapi kebanyakan pengelas menghiraukan dan lebih sering memakai pengalaman dan insting mereka dalam melakukan pengelasan seperti menentukan elektroda dan besarnya arus listrik. Kebanyakan orang yang

tidak terlalu mengetahui tentang pengelasan. Ada beberapa jenis elektroda atau kawat las yang biasanya di gunakan pada material yang berbeda. Ada beberapa hal pada perbedaan berbagai jenis kawat las listrik atau elektroda ini salah satunya besaran arus listrik yang 7 digunakan pada proses pengelasan. Pada pengelasan sendiri setiap bahan berbeda maka besar arus listrik yang digunakan akan berbeda juga agar sesuai dengan hasil yang diinginkan

Elektroda atau sering disebut juga kawat las adalah benda yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik. Busur nyala akan timbul ketika ujung elektroda sebagai pembakar bersinggungan dengan logam induk, kemudian menghasilkan banyak panas untuk melelehkan dan melebur logam pengelasan.

Secara umum elektroda bisa dibedakan 3 macam yaitu :

a. Elektroda Berselaput/salutan

Elektroda berselaput adalah bahan inti kawat yang dilapisi salutan (flux) dari bahan kimia tertentu disesuaikan dengan jenis pengelasan. Elektroda ini disebut juga consumable electrode, karena bisa habis saat digunakan mengelas. Kawat las smaw yang biasa kita pakai sehari-hari adalah termasuk elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari dua bagian dengan fungsi yang berbeda, yaitu:

- 1) Bagian inti elektroda, berfungsi sebagai penghantar arus listrik dan sebagai bahan tambah. Bahan inti elektroda dibuat dari logam ferro

dan non ferro, seperti: Stainlas Stell karbon, Stainlas Stell paduan, aluminium, kuningan dan lain-lain.

- 2) Bagian salutan elektroda, berfungsi untuk: memberikan gas pelindung pada logam yang dilas, melindungi kontaminasi udara pada waktu logam dalam keadaan cair, membentuk lapisan terak yang melapisi hasil pengelasan dari oksidasi udara selama proses pendinginan, mencegah proses pendinginan agar tidak terlalu cepat, memudahkan penyalaan dan mengontrol stabilitas busur.

Flux adalah bagian yang melapisi inti kawat las yang terbuat dari campuran bahan kimia khusus dengan persentase yang berbeda-beda untuk tiap jenis elektroda. Jenis bahan kimia pembuat flux misalnya: selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya. Pelapisan fluks pada kawat inti bisa dengan cara destrusi, semprot atau celup. Tebal selaput berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO_2 yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O_2 dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

Elektroda yang telah dibuka dari bungkusnya, harus disimpan di dalam kabinet pemanas atau oven dengan suhu 15 derajat lebih tinggi dari suhu udara luar, sebab lapisan tersebut sangat peka terhadap kelembaban. Apabila dibiarkan lembab, maka pada saat digunakan bisa menyebabkan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Salutan mudah terkelupas, sehingga sulit untuk dinyalakan.
- 2) Percikan yang berlebihan.
- 3) Busur tidak stabil.
- 4) Asap yang berlebihan

b. Elektroda Polos

Elektroda polos adalah jenis elektroda tanpa lapisan flux. Elektroda ini disebut juga dengan ‘non consumable electrode’ karena tidak bisa mencair saat digunakan pengelasan. Jenis elektroda ini terbuat dari bahan logam tungsten atau wolfram yang mempunyai sifat tahan panas dan tidak bisa mencair / meleleh. Yang termasuk salah satu jenis elektroda ini dapat kita temui pada pengelasan TIG atau GTAW, atau biasanya kita menyebut las argon. Pengelasan ini menggunakan elektroda tungsten yang berfungsi untuk melelehkan logam induk dengan pengisi menggunakan filler metal. Sedangkan gas argon digunakan sebagai pelindungnya.

c. 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. 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 E7016 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan. Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi. Spesifikasi elektroda untuk Stainlas Stell karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (fluks), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi elektroda terbungkus dari Stainlas Stell lunak

Klasifikasi AWS/A STM	Jenis fluks	Posisi	Jenis listrik	Kekuatan tarik (Kg/m ²)	Kekuatan luluh (Kg/m ²)	Perpanjangan %
E 6010	Natrium selukosa tinggi	F,V,OH, H	DC+	43,6	35,2	22
E 6011	Kalium selukosa tinggi	F,V,OH, H	AC / DC+	43,6	35,2	22
E 6012			AC / DC-	47,1	38,7	17
E 6013	Natrium tipania tinggi	F,V,OH, H	AC / DC+	47,1	38,7	17
E 6020	Kalium tapinia rendah	F,V,OH, H	AC / DC / DC+	43,6	35,2	25
E 6027			AC / DC / DC+	43,6	35,2	25
			Oksida besi tinggi	H,S,F		
	Serbuk besi oksida besi	H,S,F				
E 7014	Serbuk besi tipania	F,V,OH, H	AC / DC+			17
E 7015	Natrium hydrogen rendah	F,V,OH, H	DC+			22
E 7016			AC / DC+			22
E 7018	Kalium hydrogen rendah	F,V,OH, H	AC / DC+	50,6	42,2	22
E 7024	Serbuk besi hydrogen rendah	F,V,OH, H	AC / DC+			17
E 7028	Serbuk besi	H,S,F	AC / DC+			22
	Serbuk besi hydrogen rendah	H,S,F				

(Saputra Ismy et al., 2020)

Kekutan tarik pada kelompok E 60 setelah dilaskan 60.000 Psi atau 42,2 kg/mm², Kekutan tarik pada kelompok E 70 setelah dilaskan 70.000 Psi atau 49,2 kg/mm².

Dimana. Arti simbol :

F : datar

V : vertical

OH : atas kepala

H : horizontal

S : hozontal las sudut

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada table 2.2 di bawah ini:

Table 2.2 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda Dan Diameter Dari Elektroda

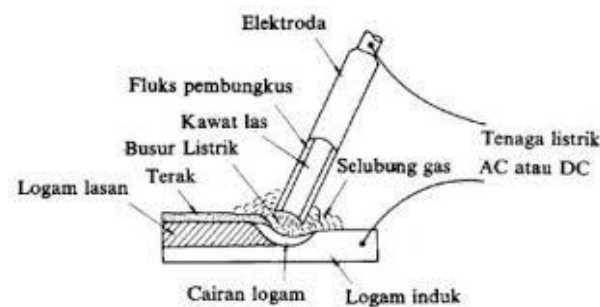
Diameter		Tipe Elektroda dan Ampere Yang Digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E7018	E7024	E7027	E7028
2,5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-245	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	¼	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

(Saputra Ismy et al., 2020)

Misal elektroda / kawat las dengan kode AWS **E7018-H8R** artinya kekuatan tariknya 70ksi, mengandung mengandung “iron powder-iron oxide-iron powder-iron oxide”, mengandung sedikit hidrogen (low hydrogen), ketahanan terhadap uap air dan untuk dipakai pada pengelasan mild steel.

E : Elektroda las listrik (E7018 diameter 3,2 mm)

70 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (70.000 Psi) atau sama dengan 492 MPa



Gambar 2.3 Elektroda terbungkus

A. Standart Kawat Las Listrik

Standar yang di tentukan AWS (American Welding Society) adalah standar umum yang sering digunakan oleh para pelaku industri pengelasan, Dimana standar ini digunakan untuk menentukan elektroda dan besaran arus yang di pakai. AWS adalah badan resmi pengelasan di Amerika Serikat. Lembaga ini telah menentukan Standar yang telah digunakan sebagai standar pengelasan di banyak negara. Kode standar dari badan ini ditandai dengan kode E XXXX yang berarti:

- 1) E singkatan dari kawat las atau elektroda 9.

- 2) XX (dua angka pertama) sebagai kekuatan tarik dari kawat las, satuannya adalah kilo pound square inch. Biasanya juga menggunakan satuan lb/in².
- 3) X (angka ketiga) sebagai posisi pengelasan. Angka 1 artinya bahwa elektroda dapat digunakan pada segala posisi, angka 2 diartikan dengan elektroda hanya dapat digunakan diposisi vertikal atau horizontal dan pada angka 3 diartikan elektroda cuman bisa digunakan diposisi flat saja.
- 4) X (angka keempat) sebagai jenis pelapis dan arus yang akan digunakan dikawat las. Spesifikasi ini berlaku di pengelasan Mild Steel, sedangkan spesifikasi diproses las seperti Low Alloy Steel dan Stainless Steel mempunyai kode tambahan lagi. Untuk para pengelas harus mengetahui kode kode yang tercantum pada kotak kemasan kawat las tersebut agar mereka dapat mengetahui kegunaan atau spesifikasi dari kawat las tersebut.

B. Besar Arus Listrik Yang Masuk

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar 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 10 terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

2.4 Stainless Steel Paduan Rendah

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

Stainless Steel paduan rendah dibagi menurut sifatnya yaitu Stainless Steel tahan suhu rendah, Stainless Steel kuat dan Stainless Steel tahan panas (Wiryosumarto, 2010).

- a. Stainless Steel tahan suhu rendah. Stainless Steel ini mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi dan suhu transisi yang rendah, karena itu dapat digunakan dalam konstruksi untuk suhu yang lebih rendah dari suhu biasa.

- b. Stainless Steel kuat. Stainless Steel ini dibagi dalam dua kelompok yaitu kekuatan tinggi dan kelompok ketangguhan tinggi. Kelompok kekuatan tinggi mempunyai sifat mampu las yang baik karena kadar karbonnya rendah. Kelompok ini sering digunakan dalam konstruksi las. Kelompok yang kedua mempunyai ketangguhan dan sifat mekanik yang sangat baik. Kekuatan tarik untuk Stainless Steel kuat berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm².
- c. Stainless Steel tahan panas adalah Stainless Steel paduan yang tahan terhadap panas, asam dan mulur. Stainless Steel tahan panas yang terkenal adalah Stainless Steel paduan jenis Cr-Mo yang tahan pada suhu 6000C. Pengelasan yang banyak digunakan untuk Stainless Steel 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.

2.5 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 dihasilkan kurva teganganregangan.

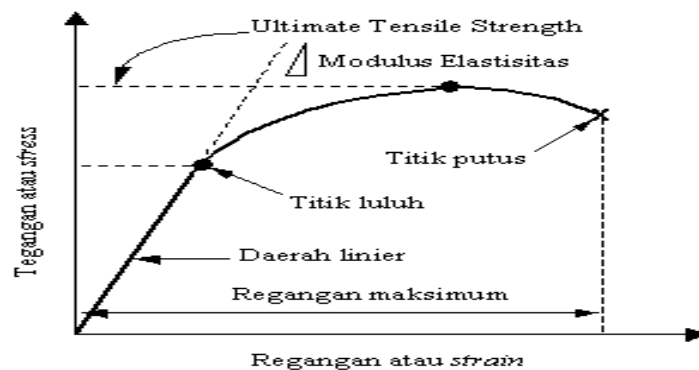
$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_o}$$

Dimana:

P_{maks} = Beban (kg)

σ_u = Tegangan Ultimate (Mpa)

A_o = Luas Mula-Mula (mm²)



(Aji, 2019)

Gambar 2.4 Kurva Tegangan

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai 12 perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji

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

Dimana:

σ_u = Tegangan nominal (kg/mm²)

F_u = Beban maksimal (kg)

A_o = 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.

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

Dimana: ε = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_o = 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 dan akan

mengakibatkan kepatahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

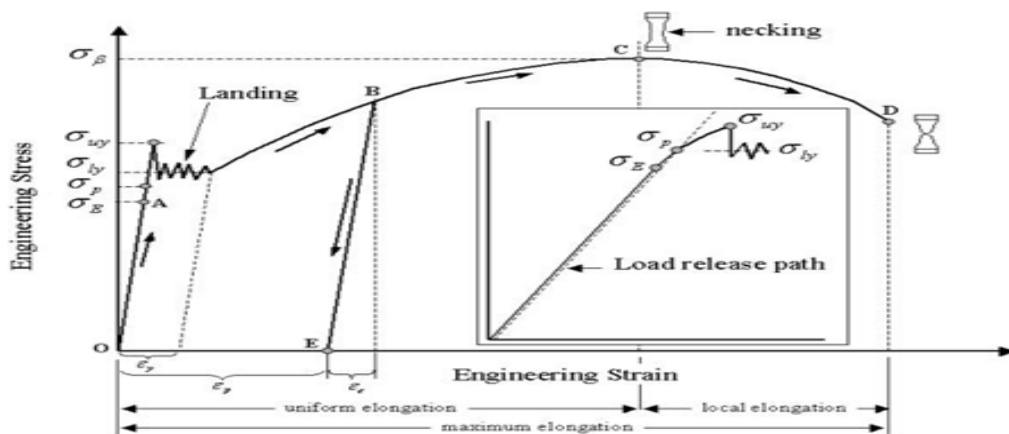
$$q = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

Dimana:

q = Reduksi penampang (%)

A₀ = Luas penampang mula (mm²)

A₁ = Luas penampang akhir (mm²)



(Aji, 2019)

Gambar 2.5 Batas Elastis Dan Tegangan Luluh

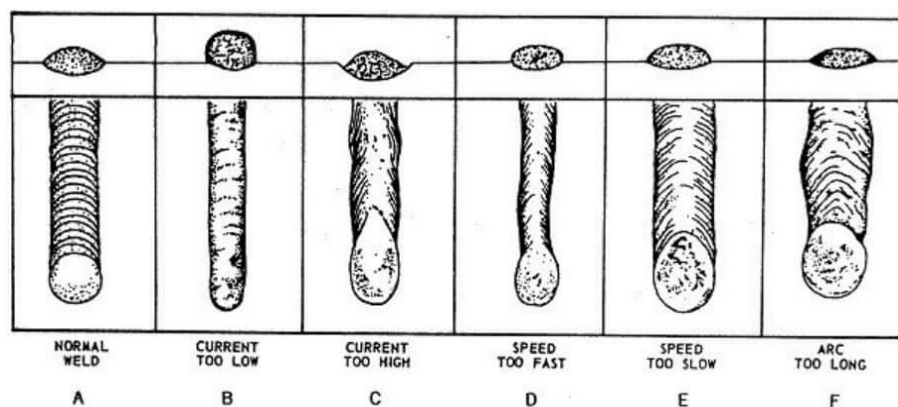
2.6 Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam

induk. Makin tinggi arus las makin besar 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, butiriran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5

Tabel 2.3 Hubungan diameter elektroda dan arus pengelasan

Diameter Kawat Las (mm)	Arus Las (Ampere)
1.6	25-45
2.4	60-90
3.25	91-130
4.0	135-180
5.0	155-240



(Aji, 2019)

Gambar 2.6 Pengaruh Arus Listrik Dan Kecepatan Pengelasan

A. Struktur Mikro Daerah Las-Lasan

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau heat affected zone disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambahan 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, ketidak homogenannya 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.

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. Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat berbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit,

selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit widmanstatten. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

- 1) Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenite-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenite pada suhu 100 – 650°C.
- 2) Ferit *widmanstatten* atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750-650°C di sepanjang batas butir austenite, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
- 3) 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 di bandingkan struktur mikro yang lain.
- 4) Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenite dan terbentuk pada suhu 400-500°C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
- 5) Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendingin sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhan rendah.

a. Daerah pengaruh panas atau heat affected zona (HAZ)

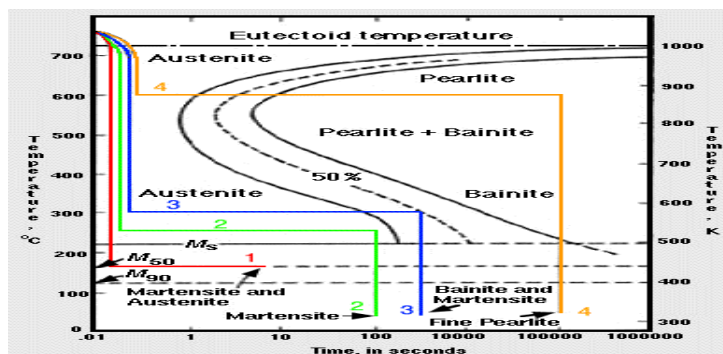
Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logam nya semakin kasar. Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperature pemanasan mencapai daerah berfasa austenite dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro Stainlas Stell mula-mula ferit+ferlit kemudian bertransformasi menjadi austenite 100%. Titik 3 menunjukkan temperature pemanasan, daerah itu mancapai daerah berfasa ferit dan austenite dan ini yang disebut transformasi sebagai yang artinya srtuktur mikro Stainlas Stell mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenite.

b. Logam induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketika pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas yang disebut batas las.

B. Diagram CCT (*continuous cooling transformation*)

Pada proses pengelasan, transformasi austenite menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Factor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenite menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. Struktur mikro dari Stainlas Stell pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenite sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki Stainlas Stell juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



(Khotasa, 2016)

Gambar 2.8 diagram CCT untuk Stainlas Stell ASTM 4340

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendingin naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenite turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit+perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit.

2.7 Heat Input

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energy yang cukup. Energy yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energy berasal dari listrik yang di ubah menjadi energy panas. Energy panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energy pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energy panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara tiga parameter itu menghasilkan energy pengelasan yang sering disebut heat input. Persamaan dari heat input hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI = \frac{E \times I}{v} \text{ joule/m}$$

Dimana :

HI = kecepatan pengelasan (j/mm)

E = tegangan pengelasan (V)

I = arus pengelasan (A)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada. Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan (η) sehingga persamaannya menjadi:

$$HI = \eta \times \frac{E \times I}{v} \text{ joule/m}$$

Efisiensi masing-masing proses pengelasan dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Table 2.4 efisiensi proses pengelasan

Proses pengelasan	Efisiensi (%)
Submerged arc welding (SAW)	95
Gas Metal Welding (GMAW)	90
Flux Cored Arc Welding (FCAW)	90
Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	90
Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	70