

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan mulai dikenal pada awal abad ke 20, pada waktu itu sumber panas yang digunakan berasal dari pembakaran gas Acetylena yang kemudian dikenal sebagai las karbit. Dan kemudian berkembang menjadi las listrik namun masih langka dan tahap pengembangan. Pada perang dunia ke II, proses pengelasan dilakukan dalam skala besar. Pada waktu itu pengelasan yang dipilih adalah pengelasan menggunakan las listrik. Berkat las listrik Amerika serikat dapat membuat kapal sekelas kapal SS Liberty yang merupakan kapal pertama yang menggunakan teknik las, Karena sebelumnya untuk pembuatan sebuah kapal masih menggunakan proses keeling (Rivets), dan pada saat itu juga muncul cara pertama untuk pengetesan hasil pengelasan seperti uji kerfslag (uji lekukan yang tertutup lapisan) (Deddy S. Utomo dan Mohammad Nurul Misbah, ITS : 2008).

Prosedur pengelasan terlihat sangat sederhana, tetapi sebenarnya terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan pada saat proses pengelasan dilakukan perancangan kontruksi rangka dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las yang akan dipergunakan (Akhadi & Qurohman, 2020). Selain pengelasan material, jenis pengelasan juga semakin berkembang, pada waktu dulu logam yang dilas hanyalah besi dan baja, sekarang pengelasan tidak hanya bisa pada besi dan baja.

Material logam lain yang dapat disambung dengan pengelasan adalah aluminium dan stainless steel. Material ini adalah pengembangan dari material besi dan baja. Aluminium adalah logam lunak ringan dan berwarna keperakan. Karena lapisan tipis oksidasi yang terbentuk saat unsur ini terkena udara, aluminium adalah logam non magnetik. Stainless steel adalah paduan dari berbagai logam dengan komposisi tertentu. Las SMAW sendiri merupakan las busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan dibangkitkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja (Umartono & Latif, 2019)

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan yang sangat penting. 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 keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Pengelasan SMAW mempunyai elektroda dan diameter yang bervariasi dalam penggunaannya, dari banyaknya jenis elektroda mungkin dibutuhkan efektifitas penggunaan elektroda dalam pengelasan SMAW. Proses pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi melainkan untuk mencapai tujuan ekonomi yang lebih baik, karena itu rancangan las dan prosedur pengelasan harus memperhatikan kesesuaian antara sifat fisis dan mekanis dari logam las (Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008). Pengelasan SMAW dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi

yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun menyusut saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan-tegangan pada daerah las, tegangan ini disebut dengan tegangan sisa. Tegangan sisa akibat pengelasan dapat memunculkan retak las dan dapat membahayakan konstruksi yang dilas apabila menerima pembebanan.

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destruksi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda

Pada suatu proses pengelasan seringkali ditemui suatu masalah, apalagi pada pengelasan dua buah logam yang berbeda atau disebut bimetal. Proses pengelasan bimetal adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan bimetal mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan dengan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda yang sesuai, pengaturan heat input

yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pengelasan yang tepat. (Neonda, 2008).

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

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 terlalu 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. Untuk itu dibutuhkan suatu cara agar pengelasan bimetal

lebih dapat diterima dan pada akhirnya dapat diaplikasikan dengan baik sesuai dengan yang diinginkan. Salah satu cara yang mungkin dapat dilakukan adalah pengaturan besarnya arus pengelasan yang tepat. (Arifin, 1997).

Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh tegangan busur, besar arus, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik. Penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las. Penentuan besar arus dalam pengelasan ini mengambil 80 A, 100 A dan 120 A.

Pengaruh arus listrik terhadap kuat pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016 dengan metode penelitian eksperimental. Untuk memperoleh hasil tentang analisis besarnya kekuatan tarik dan struktur mikro baja karbon rendah yang telah mengalami pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus, material yang dipakai adalah baja karbon rendah. Hasil kekuatan tarik sambungan las raw material 36,711 kgf/mm². nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 Amper yaitu 31,863 kgf/mm². Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 Amper 40,827 kgf/mm². Pada kuat arus pengelasan 150 Amper 48,503 kgf/mm². Struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferrit, struktur mikro daerah HAZ. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 150 Ampere terdiri dari bainit dan widmanstatten ferrite. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 100 dan 125 Ampere terdiri dari asutenit sisa dan widmanstatten ferrite (Santoso, 2011)

Kekuatan tarik dari sambungan las baja tahan karat AISI 304 dengan baja karbon rendah SS 400. Tegangan maksimum dari sambungan las ini adalah 455,52 Mpa, sedangkan tegangan luluhnya adalah 411,83 Mpa. Reduksi penampang yang terjadi sebesar 46,07% (Prasetyo, 2006). Hasil penelitian uji tarik dengan elektroda RB 3.2 mm adalah 680,1273 (MPa) dan elektroda 2.6 mm adalah 622,0353 (MPa), pengujian kekerasan (HVN) terhadap baja ST 60 dengan menggunakan elektroda RB 3.2 mm adalah 314,2 (HVN) dan elektroda 2.6 mm adalah 233 (HVN). Jadi penggunaan pada pengelasan terhadap nilai kekerasan (HVN) pada baja ST 60 lebih besar nilai kekerasan dengan penggunaan elektroda RB 3.2 mm (Priambodo, Dkk, 2013)

Dari permasalahan diatas maka penulis akan membahas lebih dalam tentang **“ANALISA PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA PENGELASAN STAINLESS STEEL 316 MENGGUNAKAN ELEKTRODA E309-16”**.

1.2 Perumusan Masalah

Ada beberapa perumusan masalah yang akan di bahas pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik daerah las Stainless Steel (316) hasil pengelasan SMAW memakai elektroda E 309-16.

2. Mengetahui nilai regangan terhadap pengaruh kuat arus pengelasan daerah Stainless Steel (316) hasil pengelasan SMAW memakai elektroda E 309-16.
3. Mengetahui nilai elastisitas terhadap pengaruh kuat arus pada pengelasan daerah Stainless stell (316) hasil pengelasan SMAW memakai elektroda E 309-16.

1.3 Batasan Masalah

Ada Batasan permasalahan yang akan diterapkan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Stainless Steel 316.
2. Elektroda yang digunakan adalah berjenis E 309-16 diameter elektroda 3,2 mm, standar ASTM (*American Society for Testing Material*) yang didasarkan pada standar asosiasi las Amerika Serikat AWS (*American Welding Society*).
3. Perlakuan pengelasan dengan variasi arus 80 Ampere, 100 Ampere dan 120 Amper..
4. Pengujian dilakukan dengan uji tarik untuk mengetahui kekuatannya dengan dimensi spesimen uji sesuai dengan standar ASTM E-8.

1.4 Tujuan Penelitian

Ada beberapa tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kombinasi elektroda terbaik dalam pengelasan material stainless steel untuk menghasilkan pengelasan yang kuat.
2. Menganalisa pengaruh kuat arus pengelasan, serta nilai regangan dan elastisitas yang terjadi pada spesimen uji
3. Menganalisa kualitas sambungan pada stainless stell.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian studi tugas akhir ini adalah untuk memberikan hasil analisa tentang kombinasi kuat arus terbaik pada pengelasan material stainless stell di tinjau dari sifat mekanik menggunakan metode pengelasan shield metal arc welding (SMAW)

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengelasan SMAW

Proses pengelasan (welding) merupakan salah satu proses penyambungan material (material joining). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (American Welding Society), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Las listrik merupakan suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas dan elektroda sebagai bahan tambahannya. Pengelasan dengan las listrik menggunakan pesawat las listrik (SMAW = Shielded Metal Arc Welding) banyak di gunakan, karena proses pengelasan dengan cara demikian disamping menghasilkan sambungan yang kuat juga mudah untuk digunakan.

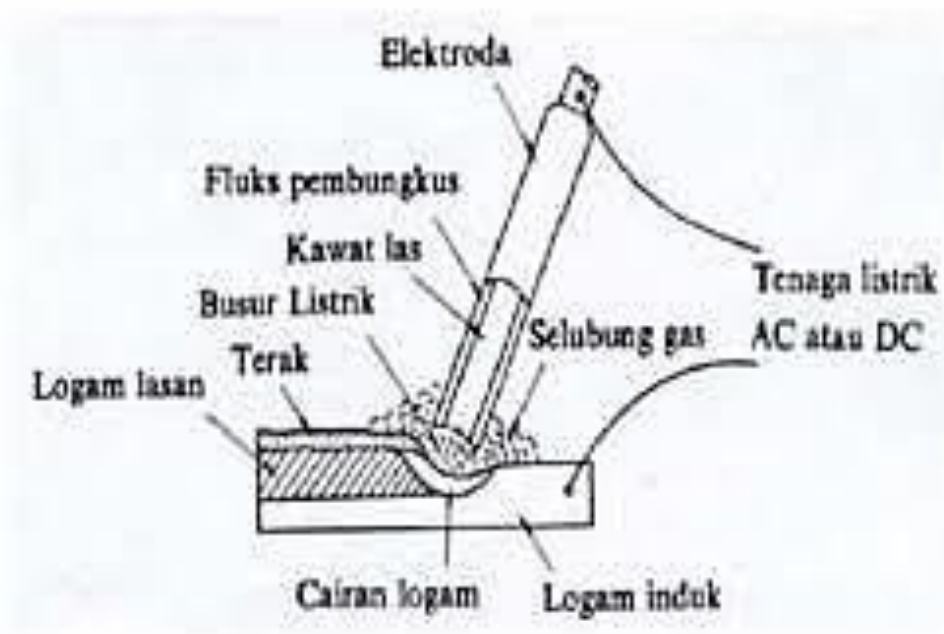
Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau Direct Current (DC), mesin las arus bolak – balik atau Alternating Current (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Untuk elektroda jenis E 309-16 arus yang

digunakan berkisar antara 70 – 130 Ampere. Dengan interval arus tersebut, pengelasan yang dihasilkan akan berbeda-beda.

Ruang 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 proses pengelasan adalah prosedur pengelasan itu sendiri yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las dan sambungan yang sesuai rencana dan spesifikasi, dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut, sedangkan 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 kuat arus, pemilihan elektroda, dan pemilihan jarak pengelasan serta penggunaan jenis kampuh las (Wiryosumarto, 2000).

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.

Pada prakteknya bila arus yang digunakan terlalu rendah, akan menyebabkan sukarnya penyalan busur listrik dan busur yang terjadi akan tidak stabil, hal ini disebabkan panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasarnya sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam, sebaliknya bila arus terlalu 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 (Arifin,1997) proses pengelasan SMAW dapat dilihat seperti pada gambar 2.1.

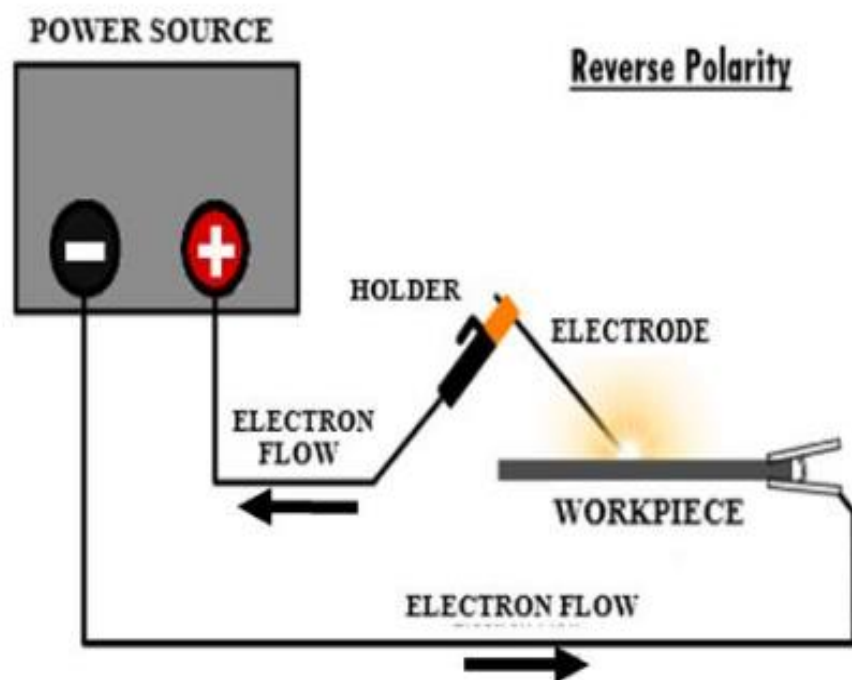


Gambar 2.1 Proses pengelasan SMA

2.2 Jenis Polarity Pengelasan SMAW

1. Polarity DCEP (Reversed Polarity)

Cara kerjanya material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.2.

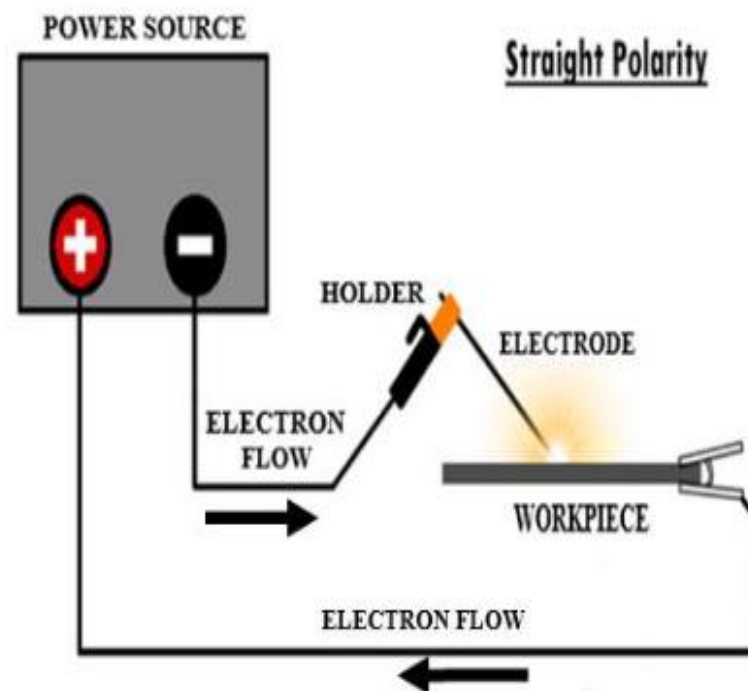


Gambar 2.2 Polarity DCEP (Reversed Polarity) (Arifin, 1997)

2. Polarity DCEN (Straight Polarity)

Prinsip dasarnya material dasar atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari Travo, dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub

negatif (-) pada travo las DC. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam, polarity ini umumnya dipakai untuk pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Polarity DCEN (Straight Polarity) (Arifin, 1997)

Pengelasan SMAW tenaga listrik yang di peroleh dari mesin menurut jenis arus yang dikeluarkan terbagi menjadi 3 jenis mesin yaitu :

1. Mesin dengan arus bolak balik (AC)
2. Mesin dengan arus searah (DC)
3. Mesin dengan kombinasi arus searah (DC) dan arus bolak balik (AC)

Pada mesin arus (DC) dilengkapi dengan komponen yang merubah sifat arus bolak balik (AC) menjadi arus searah yaitu dengan generator listrik. Karakteristik elektrik efisiensinya 80-85%. Pada mesin kombinasi antara AC dan DC dilengkapi dengan transformator dan rectifier, dimana rectifier ini mempunyai fungsi untuk meratakan arus.

Pada proses pengelasan smaw arus AC (Alternating Current), voltage drop tidak di pengaruhi panjang kabel, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai. Secara teknik arc starting lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil. Arus ini menghasilkan pengelasan yang kasar, sehingga kurang cocok di pakai. Biasanya banyak di pakai pada saat di lapangan.

Sedangkan pada proses pengelasan SMAW arus DC (Direct Current), voltage drop sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, arc starting lebih mudah terutama untuk arus kecil, Mayoritas industri fabrikasi menggunakan polarity DC khususnya untuk pengelasan Carbos steel. Besarnya aliran listrik yang keluar dari mesin las disebut dengan arus pengelasan. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam pengelasan. Untuk elektroda standart American Welding Society (AWS), dengan contoh AWS E6013 untuk arus pengelasan yang digunakan sesuai dengan diameter kawat las yang dipakai dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hubungan diameter elektroda dengan arus pengelasan
(Howard B. C,1998)

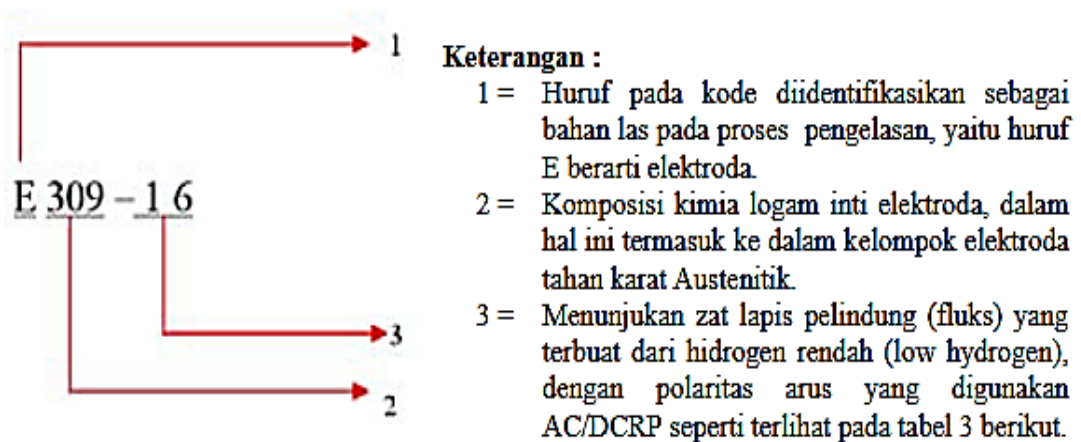
Diameter Kawat Las (mm)	Arus Las (Ampere)
1,6	20 – 45
2	50 – 75
2,5	70 – 95
3,2	95 – 130
4	135 - 180

2.3 Kawat Las (Elektroda)

Kawat las (Elektrode) adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Alip, 1989). Pengelasan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi dengan 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.

2.3.1 Klasifikasi Elektroda

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E xxxx yang memiliki arti. Sebagai contoh misalnya E309-16 dengan arti sebagai berikut :



Elektroda stainless steel E 309-16 merupakan jenis elektroda yang memiliki jenis fluks dengan hidrogen yang rendah, oleh karena itu pada penggunaannya elektroda ini harus dipanaskan pada temperatur 200°C hingga 300°C selama dua jam dan temperatur elektroda pada wal pengelasan harus dipertahankan pada temperatur $\pm 80^\circ\text{C}$. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar elektroda pada saat pemakaiannya dalam keadaan kering. Pemanasan pada elektroda ini disesuaikan dengan ketentuan yang terdapat pada ASME Section II yang dimaksudkan untuk menghindari kelembaban pada fluks dari elektroda. Kelembaban pada elektroda sangat mempengaruhi hasil lasan atau pelapisan karena akan terdapat porositas atau cacat las.

Tabel 2.2 Kode zat pelindung (fluks) dan polaritas arus elektroda. (Welding Handbooks Sec. 5. 1985. AWS .A 5.4)

Coating	CURRENT
14 - Iron powder, titania	AC/DCSP
15 - Low hydrogen potasium	DCRP
16 - Low hydrogen sodium	AC/DCRP
18 - Low hydrogen potasium , iron powder	AC/DCRP
24 - Iron powder, titania	AC/DCSP

Komposisi kimia yang terdapat pada elektroda stainless steel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.3. Komposisi kimia yang terdapat pada elektroda (AWS A 5.4)

% Alloy	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	S	P	Cu
E 309-16	0,06	23	13	0,09	0,8	0,51	0,01	0,02	0,12

Sifat mekanik pada elektroda dapat dilihat dari tabel 4 dibawah ini.

Tabel 2.4. Sifat mekanik elektroda (AWS .A 5.4)

Jenis Electroda	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)	Ferrite Number (%)
E 309-16	434-469	586-613	35-48	8-10

2.3.2 Jenis-Jenis Kawat Las

a. E6010 dan E6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan. Deposit las biasanya mempunyai sifat mekanik yang baik dan dapat dipakai untuk pekerjaan dengan pengujian Radiografi. Selaput selulosa dengan kebasahan 5% pada waktu pengelasan akan menghasilkan gas pelindung. E 6011 mengandung Kalium untuk membantu menstabilkan busur listrik bila dipakai arus AC seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Elektroda E6010 (AWS A5.1 - 91)

b. E6012 dan E6013

Elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah atau las down. Jenis E 6012 umumnya dapat di pakai

pada ampere yang relatif lebih tinggi dari E 6013. E 6013 yang mengandung lebih banyak Kalium memudahkan pemakaian pada voltage mesin yang rendah. Elektroda dengan diameter kecil kebanyakan dipakai untuk pengelasan pelat tipis seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Elektroda 6013 (AWS A5.1 - 91)

c. E6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan. Cairan terak yang terlalu cair dan mudah mengalir cocok untuk pengelasan datar tapi menyulitkan pada pengelasan dengan posisi lain misalnya posisi vertikal dan overhead seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Elektroda 6020 (AWS A5.1 - 91)

d. Elektroda Selaput Serbuk Besi

Elektroda jenis ini antara lain: E 6027, E 7014, E 7018, E 7024 dan E 7028 mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi. Dengan adanya serbuk besi dan bertambah tebalnya selaput akan memerlukan ampere yang lebih tinggi adapun jenis elektroda ini dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Elektroda 7028 (AWS A5.1 - 91)

e. Elektroda Hydrogen Rendah

Elektroda jenis ini antara lain: E 7015, E 7016 dan E 7018. Selaput elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Elektroda ini dipakai untuk pengelasan yang memerlukan mutu tinggi, bebas porositas, misalnya untuk pengelasan bejana dan pipa yang bertekanan. Disamping itu penggunaan elektroda ini juga banyak dipakai di bengkel fabrikasi dan konstruksi adapun jenis elektroda ini dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.8 Elektroda 7018 (AWS A5.1 - 91)

Spesifikasi arus menurut tipe elektroda dan kuat arus dari elektroda untuk carbon steel dan stainless steel berdasarkan diameter yang digunakan terdapat pada tabel 2.4.

Tabel 2.5 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda (Nikko Steel index, 1994).

Diameter (mm)	Tipe elektroda dan <i>Ampere</i> yang digunakan			
	E 309-16	E 309L-16	E 309LMo-16	E 309Nb-16
2	50 – 70	35 – 80	35 – 80	35 – 80
2.6	70 – 110	65 – 100	65 – 100	65 – 100
3.2	110 – 130	80 – 125	80 – 125	80 – 125
4	120 – 150	120 – 170	120 – 170	120 – 170
5	160 – 210	160 – 210	160 – 210	160 – 210

2.4. 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.

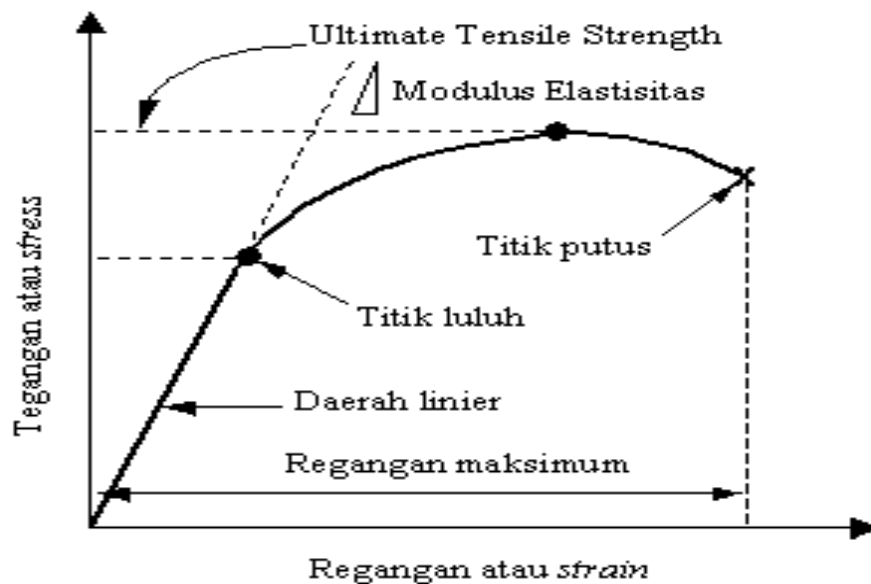
$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_o}$$

Dimana:

P_{maks} = Beban (kg)

σ_u = Tegangan Ultimate (Mpa)

A_o = Luas Mula-Mula (mm²)



Gambar 2.9 Kurva Tegangan(Aji, 2019)

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui

bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (grip) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (highly stiff) Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955), mesin uji tarik dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Mesin Uji Tarik (WEW 600B)

Salah satu sifat mekanik yang sangat penting dan dominan dalam suatu perancangan konstruksi dan proses manufaktur adalah kekuatan tarik. Kekuatan tarik suatu bahan di dapat dari hasil uji tarik tensile test yang dilaksanakan berdasarkan standar pengujian yang telah baku seperti ASTM E8/E8M – 13a dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Spesimen Uji Tarik (ASTM E8/E8M – 13a)

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.

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

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

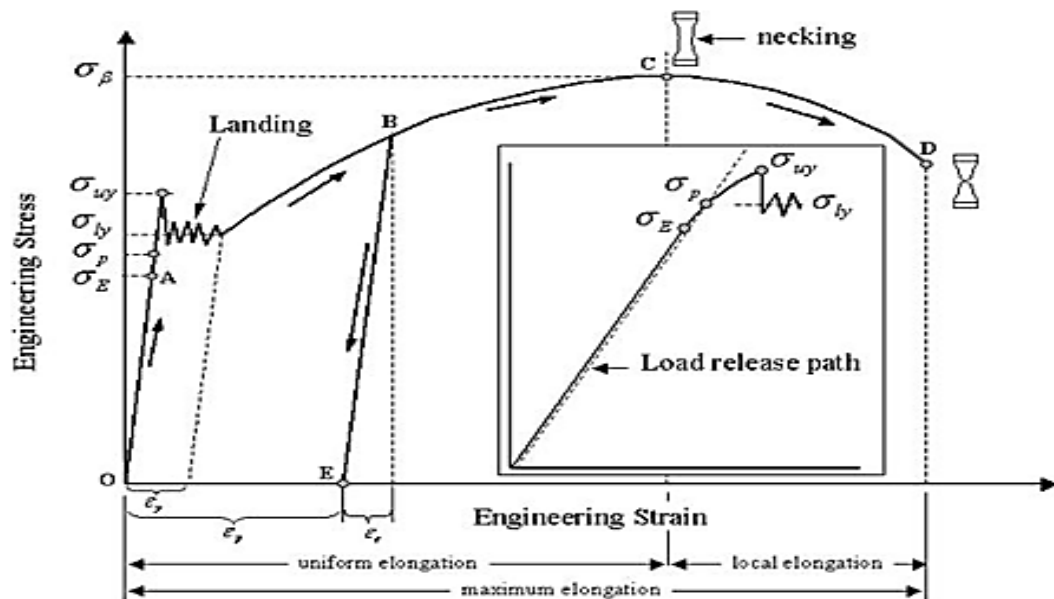
$$q = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

Dimana:

q = Reduksi penampang (%)

A_0 = Luas penampang mula (mm²)

A_1 = Luas penampang akhir (mm²)



Gambar 2.12 Batas Elastis Dan Tegangan Luluh

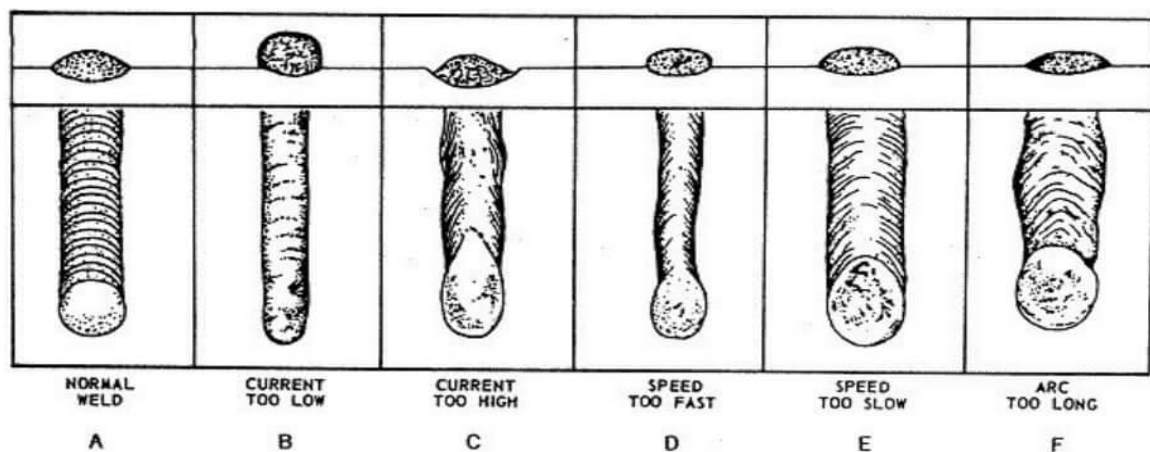
2.5 Besar Arus Listrik

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, butirran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5

Tabel 2.6 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



Gambar 2.13 Pengaruh Arus Listrik Dan Kecepatan Pengelasan

2.5.1 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 homogeny, ketidak homogenanya 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:

- a. Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenite-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenite pada suhu 100 – 650°C.
- b. Ferit *widmanstätten* 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.
- c. 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.
- d. 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.
- e. Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendingin sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhan rendah.

1. 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 mencapai 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.

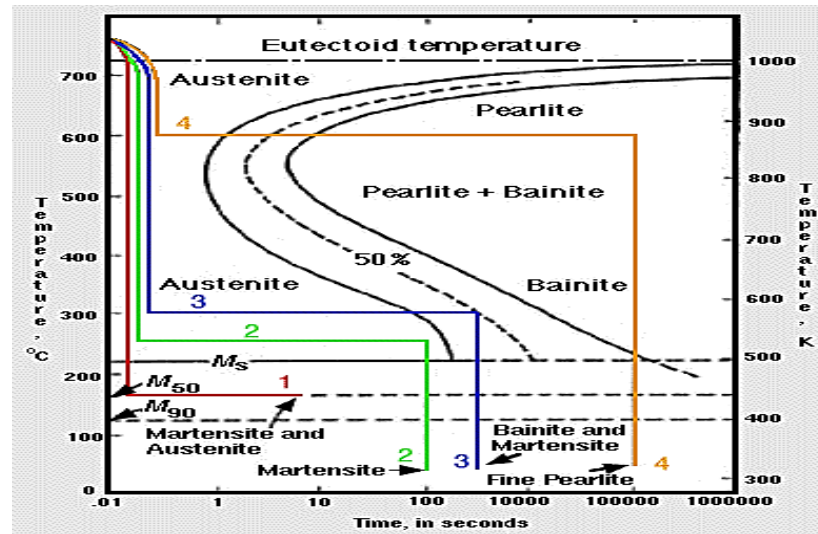
2. Logam induk

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.

2.5.2 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 di sebabkan 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*).



Gambar 2.14 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 marenisit.

2.6 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 sebenarntanya 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 infut. Persaman dari heat infut 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 bebera pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat di perbesar atau kecepatan las di perlambat. Besar kecilnya arur las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat di atur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada. Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalilkan dengan efisiansi proses pengelasan (η) sehingga persamaannya menjaadi:

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

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

Table 2.7 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