

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam yang sangat penting dalam industri manufaktur. Salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW) karena fleksibilitas dan biaya yang relatif rendah. Plat baja karbon rendah sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena sifat mekaniknya yang baik dan kemudahan pengelasan. Namun, parameter pengelasan, terutama kuat arus, memiliki pengaruh besar terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan. Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Normen) 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.

Pengelasan terbagi menjadi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi.

Kuat arus pengelasan mempengaruhi suhu di area pengelasan, yang pada gilirannya mempengaruhi kekuatan tarik dan struktur mikro material. Pemahaman

mendalam tentang bagaimana variasi kuat arus mempengaruhi sifat-sifat ini sangat penting untuk mengoptimalkan proses pengelasan dan memastikan kualitas serta keandalan produk akhir. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kuat arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan dan perubahan struktur mikro pada plat baja karbon rendah.

1.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini menggunakan plat baja karbon ASTM A36
2. Bentuk ukuran dan dimensi spesimen uji sesuai dengan standar ASTM E8
3. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*)
4. Pengujian struktur mikro menggunakan foto mikro.
5. Tipe sambungan pada pengelasan dipilih dengan bentuk kampuh V.
6. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini sebanyak 2 macam perlakuan terhadap spesimen.
7. Metode pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Shielded Metal Arch Welding (SMAW)

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik sambungan pada plat baja karbon rendah

2. Bagaimana perubahan variasi kuat arus pengelasan terhadap struktur mikro plat baja karbon rendah hasil pengelasan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh variasi kuat arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik plat baja karbon rendah.
2. Mengidentifikasi perubahan struktur mikro pada plat baja karbon rendah akibat variasi kuat arus pengelasan SMAW.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi yang berguna bagi praktisi industri dalam mengoptimalkan parameter pengelasan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
2. Menambah wawasan akademis dalam bidang teknik pengelasan dan material.
3. Untuk menambah ilmu pengetahuan dibidang pengelasan, khususnya bagi penulis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Pengelasan dengan tenaga listrik dibedakan menjadi dua, yaitu las tahanan listrik dan las busur nyala listrik. Las tahanan listrik adalah proses pengelasan yang dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik melalui bidang atau permukaan benda yang akan disambung. Kemudian dengan tekanan yang akan diberikan, kedua bahan akan menyatu. Sedangkan las busur nyala listrik adalah pengelasan dengan cara mengubah arus listrik menjadi panas untuk melelehkan atau mencairkan permukaan benda kerja dengan membangkitkan busur nyala listrik melalui sebuah elektroda. Arus yang digunakan untuk pengelasan dapat berupa arus AC maupun DC, tergantung mesin las yang dipakai.

Dalam konstruksi yang menggunakan bahan baku logam, hampir sebagian besar sambungan-sambungannya dikerjakan dengan cara pengelasan. Sebab dengan cara ini dapat diperoleh sambungan yang lebih kuat dan lebih ringan dibanding dengan keling. Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk membuat pagar rumah, balkon, tralis, dan macam-macam reparasi lainnya.

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena rancangan las

dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaan disekitarnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. Karena itu didalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi praktek, secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan.

Berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang. Berdasarkan definisi dari DIN (Deutch Industrie Normen) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada waktu ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan cara menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom molekul dari logam yang disambungkan. Klasifikasi dari cara-cara pengelasan ini akan diterangkan lebih lanjut. Pada waktu ini pengelasan dan pemotongan merupakan pengerjaan yang amat penting dalam teknologi produksi dengan bahan baku logam. Dari pertama perkembangannya sangat pesat telah banyak teknologi baru yang ditemukan. Sehingga boleh dikatakan hamper tidak ada logam yang dapat dipotong dan di las

dengan cara-cara yang ada pada waktu ini. 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 (Wiryo Sumarto, 2000).

2.2 Mekanisme Pengelasan

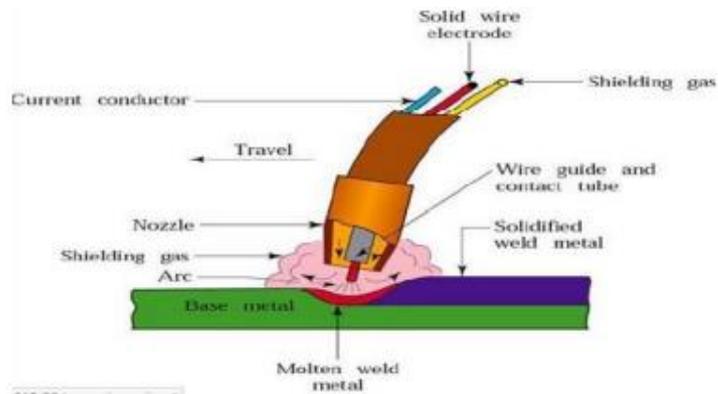
Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut heat input.

2.3 Jenis-jenis Pengelasan

a. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Proses pengelasan ini adalah metal inert gas (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus- menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosphere melalui gas yang dihasilkan dari alat las (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan

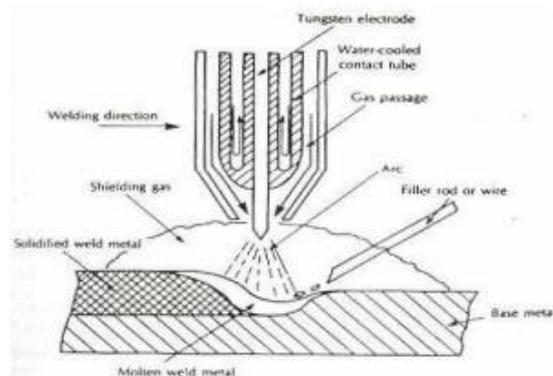
gas O₂ antara 2 sampai 5% atau CO₂ antara 5 sampai 20% (Wirjosumarto, 1996) seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Skematik pengelasan Gas Metal Arc Welding

b. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

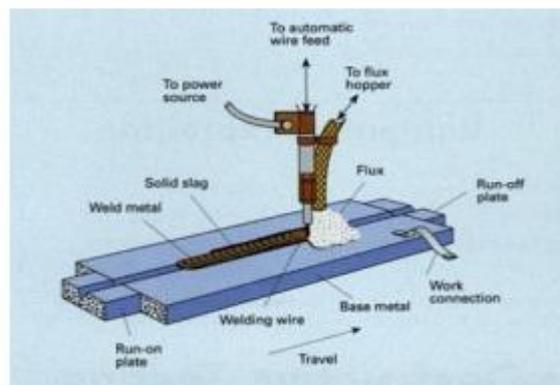
Gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. GTAW telah menjadi sangat diperlukan sebagai alat bagi banyak industri karena hasil las berkualitas tinggi dan biaya peralatan rendah skematik proses pengelasan dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. 2 Skematik las Gas Tungsten Arc Welding

c. Submerged Arc Welding (SAW)

Submerged Arc Welding (SAW) adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas seperti yang terlihat pada gambar 2.3 di bawah ini.

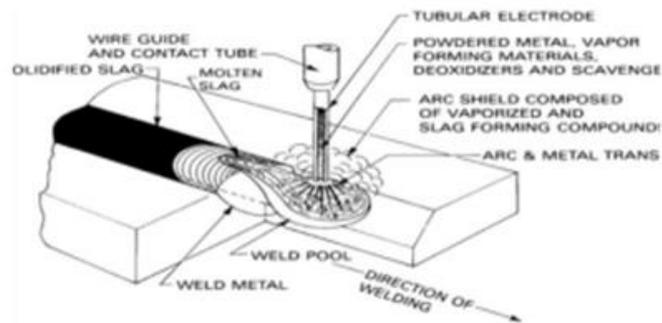


Gambar 2. 3 Skematik las Submerged Arc Welding

d. Flux-Cored Arc Welding (FCAW)

Flux cored arc welding (FCAW) merupakan las busur listrik flux inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioksida CO₂. Biasanya, pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan

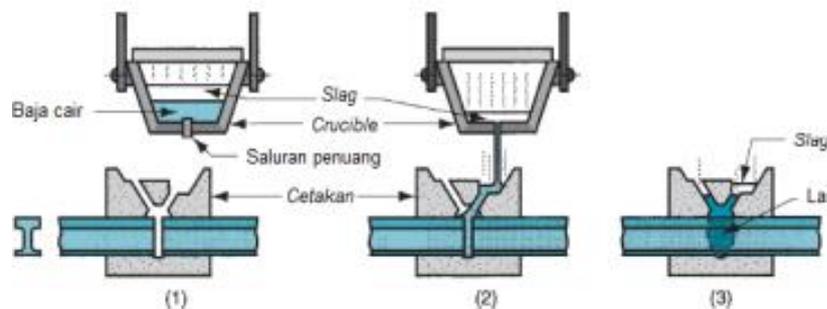
biasa disebut dengan super anemo seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2. 4 Skematik las Flux-Cored Arc Welding

e. Thermit Welding (TW)

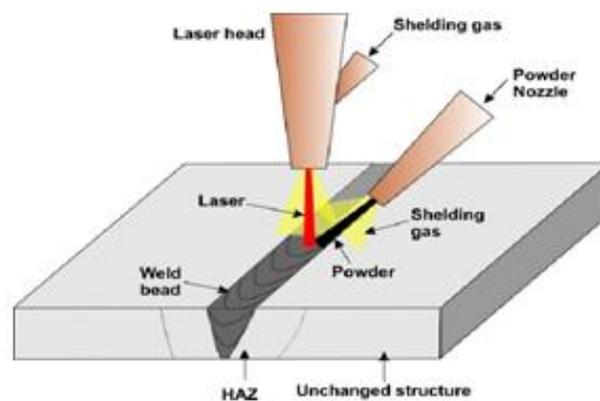
Thermit welding (TW) adalah proses pengelasan di mana panas untuk penggabungan dihasilkan dari logam cair yang berasal dari reaksi kimia Thermit. Thermit merupakan merk dagang dari thermite, yakni sebuah campuran serbuk aluminium dan besi oksida yang bisa menghasilkan reaksi exothermic ketika dibakar. Bahan tambah atau filler pada pengelasan ini berupa logam cair. Logam cair tersebut dituang pada sambungan yang telah dilengkapi dengan cetakan. Proses penggabungan ini lebih mirip dengan pengecoran dapat dilihat seperti pada gambar di bawah.



Gambar 2. 5 Skematik las Thermit Welding

f. Laser Beam Welding (LBW)

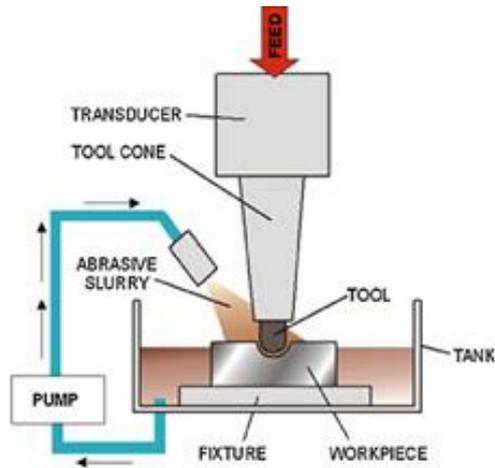
Laser beam welding (LBW) adalah proses pengelasan di mana penggabungan diperoleh dari energi yang terkonsentrasi tinggi, sorotan cahaya sedarap difokuskan pada sambungan benda kerja. Pada umumnya dioperasikan dengan gas pelindung untuk mencegah oksidasi. Gas pelindung yang digunakan contohnya adalah helium, argon, nitrogen, dan karbon dioksida. Pada LBW bahan tambah atau *filler* biasanya tidak diberikan seperti yang terlihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2. 6 Laser Beam Welding

g. Ultrasonic Welding (USW)

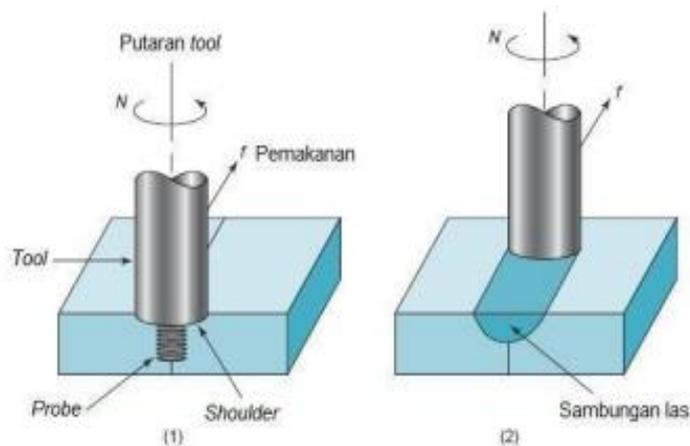
Ultrasonic welding (USW) adalah jenis pengelasan solid-state di mana dua benda kerja ditahan/dijepit bersamaan dan diberi getaran berfrekuensi ultrasonic supaya terjadi penggabungan. Gerak dari getaran melewati celah antara dua benda kerja yang dijepit secara lap joint. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya kontak dan ikatan metalurgi yang kuat antara kedua permukaan benda kerja. Panas pada proses USW dihasilkan dari gesekan antar permukaan benda kerja dan deformasi plastis. Suhu panas tersebut berada di bawah titik cair benda kerja seperti yang terlihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2. 7 Skematik las Ultrasonic Welding

h. Friction Stir Welding (FSW)

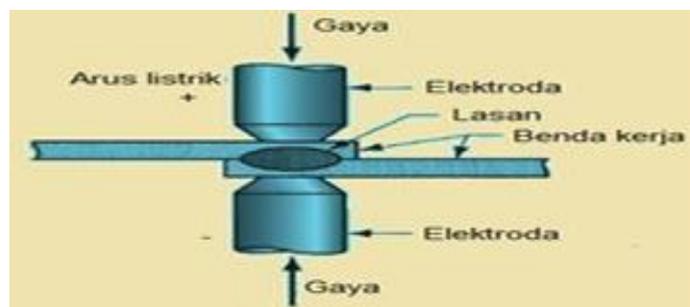
Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan solid-state di mana sebuah tool yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. Tool yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan (stirring; bentuk dasar: stir, sehingga diberi nama friction stir welding) logam untuk membentuk sambungan las seperti yang terlihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2. 8 Skematik las Friction Stir Welding

i. Diffusion Welding (DFW)

Diffusion welding (DFW) adalah proses pengelasan solid-state yang dihasilkan dari pemberian panas dan tekanan supaya terjadi difusi serta penggabungan. Proses tersebut biasanya dilakukan dengan atmosfer yang terkontrol dan waktu yang tepat untuk membiarkan difusi serta penggabungan terjadi. Temperatur yang digunakan sebaiknya di bawah titik cair dari logam benda kerja dan deformasi plastis yang terjadi pada permukaan benda kerja sebaiknya minimal. Mekanisme penggabungan pada diffusion welding terjadi dalam bentuk padat, di mana atom berpindah dan saling menyeberang di antara dua permukaan benda kerja yang saling kontak. Pengelasan ini terkadang menggunakan lapisan bahan tambah yang diletakkan di antara dua benda kerja yang akan disambung (seperti roti isi). seperti yang terlihat pada gambar 2.9 di bawah ini.

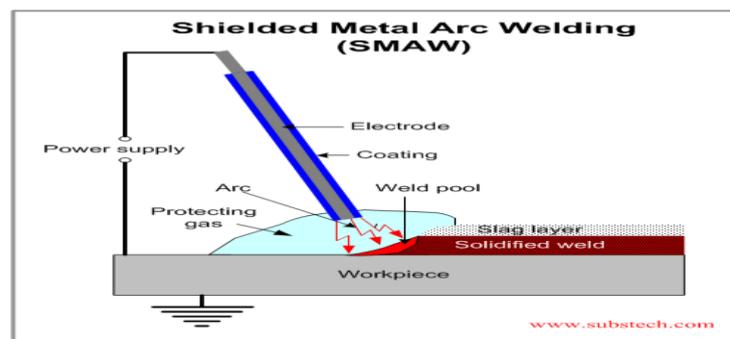


Gambar 2. 9 Skematik Pengelasan Diffusion Welding

j. Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Pengertian SMAW (Shielded Metal Arc Welding) atau las busur logam terlindung merupakan proses pengelasan busur listrik dimana energi panas untuk pengelasan dibangkitkan oleh busur listrik yang terbentuk antara elektroda logam yang terbungkus dan benda kerja. Logam pengisi yang ada di dalam elektroda dibungkus oleh slag yang akan menjadi pelindung logam lasan saat proses

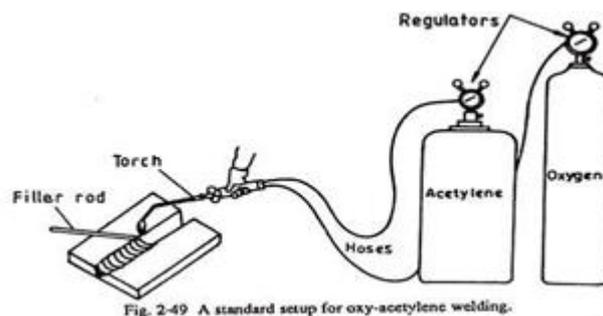
pengelasan berlangsung. Las SMAW biasa disebut juga dengan istilah las MMA (Manual Metal Arc) atau stick welding. Diagram proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada ilustrasi di bawah ini.



Gambar 2. 10 Skematik Pengelasan Shielded Metal Arc Welding

k. Oxygen Asetilen Welding (OAW)

Oxygen Asetilen Welding (OAW) suatu proses pengelasan gas yang menggunakan sumber panas nyala api melalui pembakaran gas oksigen dan gas asetilen untuk mencairkan logam dan bahan tambah. Dalam pengelasan OAW ini biasanya digunakan hanya untuk plat tipis, hal ini dikarenakan sambungan las Oxigen Acetyline ini mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan las busur listrik seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.11 dibawah ini



Gambar 2. 11 Skematik las Oxygen Asetilen Welding

2.4 Elektroda Las

Pengelasan 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.

Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Alip, 1989). Spesifikasi arus menurut tipe elektroda dan kuat arus dari elektroda untuk carbon steel dan stainless steel berdasarkan diameter yang digunakan terdapat pada table.

Tabel 2. 1 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

Macam-macam standar keperluan elektroda yang disusun oleh American Welding Society (AWS) dan American Society for Testing Material (ASTM), misalnya: E6010, E7010, E6013 dan lain-lain dimana masing-masing memiliki

arti tertentu yaitu:

1. E menyatakan elektroda/*elektrik welding*.
2. Dua angka setelah E menyatakan kekuatan tarik defosit las dalam ribuan dengan $1b/in^2$.
3. 1 menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
 - a. Angka (1) untuk pengelasan segala posisi,
 - b. Angka (2) untuk pengelasan posisi datar dan bawah tangan.
4. Angka ke empat setelah E menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Tipe elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah AWS E6013.

Untuk kode yang diberikan pada tipe elektroda tersebut diatas yaitu huruf ‘E’ yang diikuti empat angka di belakangnya.

Untuk arti masing-masing kode elektroda adalah sebagai berikut:

1. E menyatakan elektroda/*elektrik welding*.
2. Untuk angka 60 menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan yaitu 60000 psi.
3. Untuk angka 1 menyatakan posisi pengelasan, angka 1 dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi
4. Untuk angka 3 merupakan singkatan dari jenis slag, komposisi fluks, dan catu daya. Batang las ini dapat digunakan untuk arus bolak-balik (AC) atau arus searah (DC) maupun arus balik (polaritas terbalik).

2.5 Kelebihan dan Kekurangan

Terdapat Kelebihan dan kekurangan pada Pengelasan SMAW yaitu:

2.5.1 Kelebihan pengelesan SMAW yaitu:

1. Dapat dipakai dimana saja didalam air maupun di luar air
2. Pengelasan dengan segala posisi.
3. Elektroda tersedia dengan mudah dalam banyak ukuran dan diameter.
4. Perlatan yang digunakan sederhana, murah dan mudah dibawa kemana-mana.
5. Tingkat kebisingan rendah.
6. Tidak terlalu sensitif terhadap korosi, oli & gemuk.
7. Dapat di kerjakan pada ketebalan berapapun

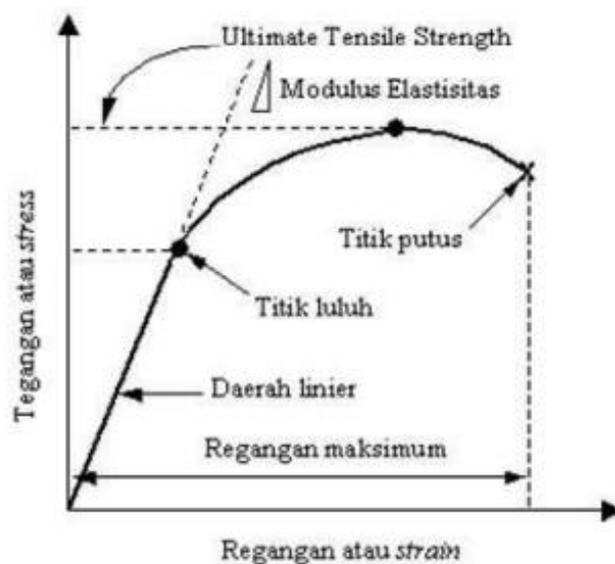
2.5.2 Kekurangan Pengelasan SMAW yaitu:

1. Pengelasan terbatas hanya sampai sepanjang elektoda dan harus melakukan penyambungan.
2. Setiap akan melakukan pengelasan berikutnya flag harus dibersihkan.
3. Tidak dapat digunakan untuk pengelasan bahan baja non – ferrous.
Efisiensi endapan rendah.

2.6 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik (Tensile Srength, Ultimate Tensile Strength) adalah tegangan maksimum yang bias ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (brittle). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (ductile).

Kekuatan tarik pada umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan disebut dengan kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength) nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi seperti keberadaan zat pengotor dalam bahan, temperatur dan kelembaban lingkungan pengujian, dan penyiapan spesimen seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini



Gambar 2. 12 Kurva Tegangan-Regangan

2.7 Baja

Baja merupakan logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel.

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Davis, 1982).

Baja merupakan besi dengan kadar karbon kurang dari 2 %. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan. Secara garis besar ada 2 jenis baja, yaitu :

a. Baja Karbon

Baja karbon disebut juga plain karbon *steel*, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit silicon, belerang dan pospor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi 3 yaitu:

3.1.1. Baja dengan kadar karbon rendah ($< 0,2\% \text{ C}$)

Baja ini dengan komposisi karbon kurang dari 2%. Fasa dan struktur mikronya adalah ferrit dan perlit. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas (*martensit*) hanya bisa dengan pengerjaan dingin. Sifat mekaniknya lunak, lemah dan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Serta mampu mesin (*machinability*) dan mampu las nya (*weldability*) baik cocok untuk bahan bangunan konstruksi gedung, jembatan, rantai, body mobil.

3.1.2. Baja dengan kadar karbon sedang ($0,1\%-0,5\% \text{ C}$)

Baja karbon sedang memiliki komposisi karbon antara 0,2%-0,5% C (berat). Dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dengan cara memanaskan hingga fasa austenit dan setelah ditahan beberapa saat

didinginkan dengan cepat kedalam air atau sering disebut *quenching* untuk memperoleh fasa yang keras yaitu martensit. Baja ini terdiri dari baja karbon sedang biasa (*plain*) dan baja mampu keras. Kandungan karbon yang relatif tinggi itu dapat meningkatkan kekerasannya. Namun tidak cocok untuk di las, dengan kata lain mampu las nya rendah. Dengan penambahan unsur lain seperti Cr, Ni, dan Mo lebih meningkatkan mampu kerasnya. Baja ini lebih kuat dari baja karbon rendah dan cocok untuk komponen mesin, roda kereta api, roda gigi (*gear*), poros engkol (*crankshaft*) serta komponen struktur yang memerlukan kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan tangguh.

3.1.3. Baja dengan kadar karbon tinggi ($>0,5\% \text{ C}$)

Baja karbon tinggi memiliki komposisi antara 0,6- 1,4% C (berat). Kekerasan dan kekuatannya sangat tinggi, namun keuletannya kurang. baja ini cocok untuk baja perkakas, *dies* (cetakan), pegas, kawat kekuatan tinggi dan alat potong yang dapat dikeraskan dan ditemper dengan baik. Baja ini terdiri dari baja karbon tinggi biasa dan baja perkakas. Khusus untuk baja perkakas biasanya mengandung Cr, V, W, dan Mo. Dalam pemuadannya unsur-unsur tersebut bersenyawa dengan karbon menjadi senyawa yang sangat keras sehingga ketahanan aus sangat baik. Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun. Penggunaan baja di bidang teknik sipil pada umumnya

berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon 0,10% - 0,50%.

b. Baja Paduan

Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur fosfor dan mangan. Baja paduan semakin banyak di gunakan. Unsur yang paling banyak di gunakan untuk baja paduan, sebagai berikut: Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr.

1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain- lain. Biasanya digunakan untuk membuat perkakas potong, gergaji, cetakan penarikan, pahat kayu, mata pisau, pemotong kikir, gurdi batu.

2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Biasanya digunakan untuk membuat alat pengukur, cetakan penarikan, rol derat, mata gunting untuk plat tebal.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnnnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999). Banyak digunakan untuk cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim, pengukur, rol derat.

Menurut (Amstead, 1993) secara umumnya, baja paduan memiliki sifat yang unggul daripada baja karbon biasa, diantaranya:

1. Keuletan yang tinggi tanpa pengurangan kekuatan tarik.
2. Tahan terhadap korosi dan keausan yang tergantung dari jenis paduannya.
3. Tahan terhadap perubahan suhu, ini berarti bahwa sifat fisiknya tidak banyak berubah.
4. Memiliki butiran halus dan homogen.

Pengaruh unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut:

1. Unsur karbon (C)

Karbon merupakan unsur terpenting yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1%-1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja adalah untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus.

2. Unsur Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan kurang lebih 0,6% tidak mempengaruhi sifat baja, dengan kata lain mangan tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja dalam jumlah yang rendah. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

3. Unsur Silikon (Si)

Silikon adalah unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur silikon menyebabkan sementit tidak stabil, sehingga memisahkan dan membentuk grafit.

4. Unsur Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25% maka baja dapat tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

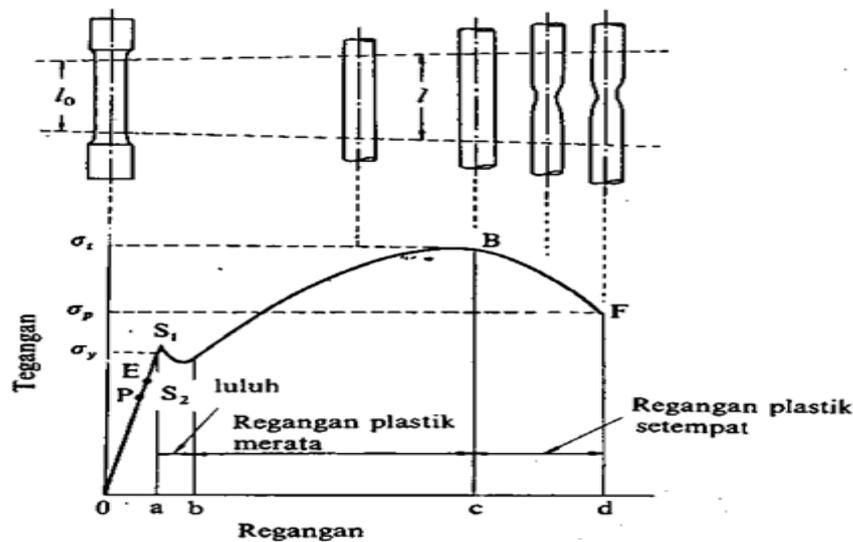
5. Unsur Kromium (Cr)

Sifat unsur kromium dapat menurunkan laju pendinginan kritis (kromium sejumlah 1,5% cukup meningkatkan kekerasan dalam minyak). Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan serta berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi.

2.8 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. pengujian tarik berfungsi untuk menentukan bagaimana variasi kuat arus pengelasan mempengaruhi kekuatan tarik dan sifat mekanik lainnya dari baja tersebut. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik 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 tegangan-regangan.



Gambar 2. 13 Kurva Tegangan – Regangan

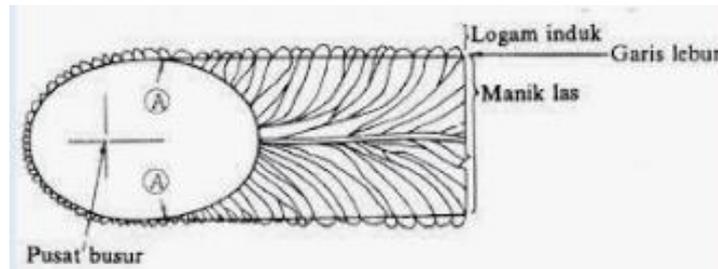
2.9 Struktur Mikro Daerah Pengelasan

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.

a. Daerah logam las

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

induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan, 2004).



Gambar 2. 14 Arah Pembekuan Dari Logam Las

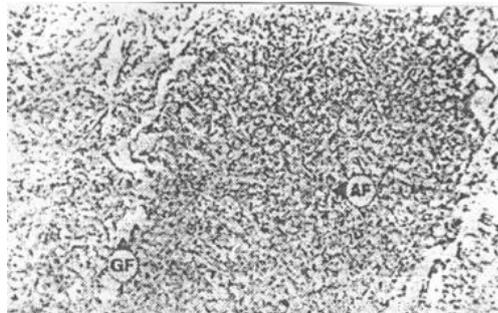
Dari Gambar diatas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk, 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 austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu $1000-650^{\circ}\text{C}$.
2. Ferit *Widmanstatten* atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu $750-650^{\circ}\text{C}$ di sepanjang batas butir

austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.

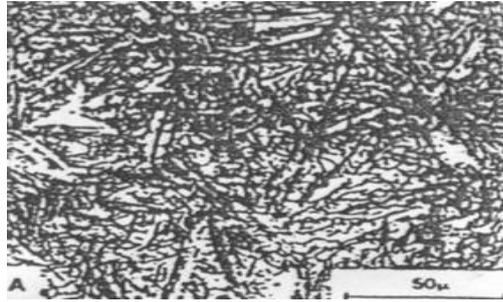
3. Ferit *acicular*, berbentuk *intragranular* dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit *acicular* ini terbentuk sekitar suhu 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.
4. Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada suhu $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
5. Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



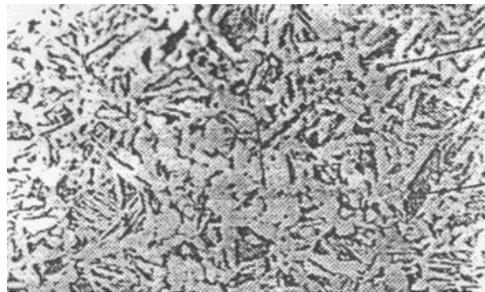
Gambar 2. 15 Struktur Mikro Acicular Ferrite (AF) Grain Boundary Ferrite (GF)



Gambar 2. 16 Struktur Mikro Ferit Widmanstätten



Gambar 2. 17 Struktur mikro martensit



Gambar 2. 18 Struktur Mikro Ferit Dan Perlit



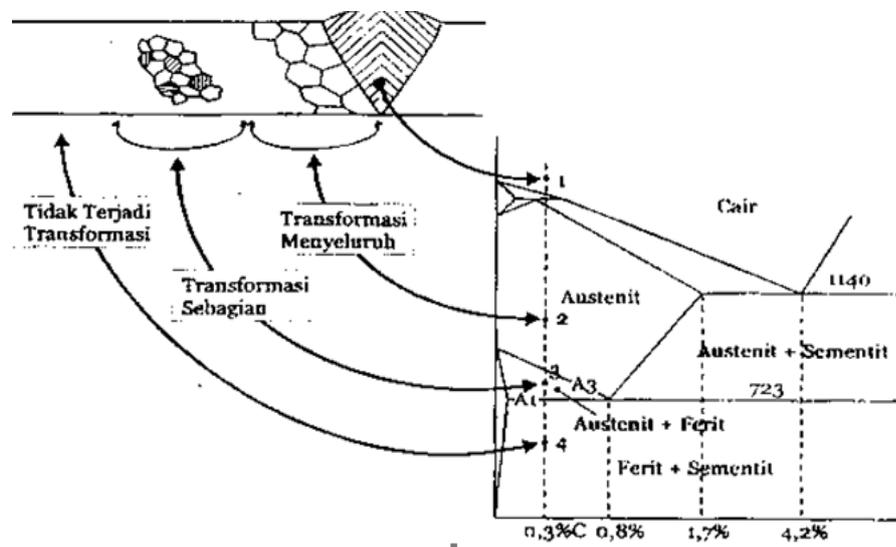
Gambar 2. 19 Struktur mikro bainit

b. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (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 logamnya semakin kasar.

Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan

temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit dan ini yang disebut transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenit.



Gambar 2. 20 Transformasi Fasa Pada Logam Hasil Pengelasan.

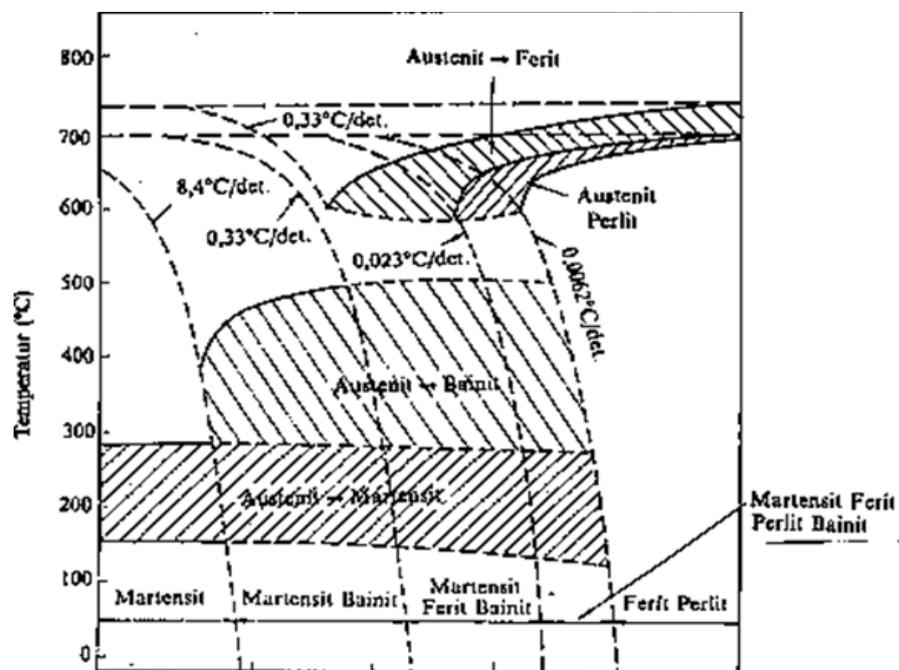
2.10 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit adalah tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las.

Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan

pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja 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*).

Contoh gambar dibawah (diagram CCT) ditunjukkan dari diagram dibawah dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit.



Gambar 2. 21Diagram CCT Baja ASTM 4340