

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Las adalah penyambungan dengan cara membakar lebih lanjut, pengelasan adalah salah satu proses pabrikasi logam, termoplastik, atau semacamnya yang berupa penggabungan dua benda dari bahan-bahan tersebut.

Pengelasan dengan metode yang dikenal sekarang, mulai dikenal awal abad ke 20. sebagai sumber panas yang digunakan api berasal dari pembakaran gas acetylene yang kemudian dikenal sebagai las karbit, waktu itu sudah dikembangkan las listrik namun masih langka.

Pada perang dunia 2, proses pengelasan untuk pertama kalinya dilakukan dalam skala besar. Dengan las listrik, dalam waktu singkat, Amerika Serikat dapat membuat sejumlah kapal sekelas dengan kapal SS Liberty, yang merupakan kapal pertama yang diluncurkan dengan las.

Dimana sebelumnya kapal yang dikeluarkan, proses pengerjaan menggunakan paku keling ("rivets"). Pada masa itu, muncul pula cara pertama untuk mengetes hasil pengelasan, seperti uji "kerfslag" (lekukan yang tertutup lapisan).

Para ahli sejarah memperkirakan bahwa orang Mesir kuno mulai menggunakan pengelasan dengan tekanan pada tahun 5500 SM (untuk membuat pipa tembaga dengan memalu lembaran yang tepinya saling menutup).

Winterton menyebut bahwa benda seni orang Mesir yang dibuat pada tahun 3000 SM terdiri dari bahan dasar tembaga dan emas hasil peleburan dan

pemukulan. jenis pengelasan ini, yang disebut pengelasan tempa (forge welding), merupakan usaha manusia yang pertama dalam menyambung dua potong logam.

Contoh pengelasan tempa kuno yang terkenal adalah pedang Damascus yang dibuat dengan menempa lapisan-lapisan yang berbeda sifatnya. Pengelasan tempa telah berkembang dan penting bagi orang Romawi kuno sehingga mereka menyebut salah satu dewanya sebagai Vulcan (dewa api dan pengerjaan logam) untuk menyatakan seni tersebut.

Sekarang kata vulkanisir dipakai untuk proses perlakuan karet dengan sulfur, tetapi dahulu kata ini berarti “mengeraskan”. Dewasa ini pengelasan tempa secara praktis telah ditinggalkan dan terakhir dilakukan oleh pandai besi. Tahun 1901-1903 Fouche dan Picard mengembangkan tangkai las yang dapat digunakan dengan asetilen (gas karbit), sehingga sejak itu dimulailah zaman pengelasan dan pemotongan oksasi-asetilen (gas karbit oksigen).

Periode antara 1903 dan 1918 merupakan periode pemakaian las yang terutama sebagai cara perbaikan, dan perkembangan yang paling pesat terjadi selama Perang Dunia I (1914-1918) teknik pengelasan terbukti dapat diterapkan terutama untuk memperbaiki kapal yang rusak. Winterton melaporkan bahwa pada tahun 1917 terdapat 103 kapal musuh di Amerika yang rusak dan jumlah buruh dalam operasi pengelasan meningkat dari 8000 sampai 33000 selama periode 1914-1918.

Setelah tahun 1919, pemakaian las sebagai teknik konstruksi dan pabrikasi mulai berkembang dengan pertama menggunakan elektroda paduan (alloy) tembaga – wolfram untuk pengelasan titik pada tahun 1920.

Pada periode 1930 -1950 terjadi banyak peningkatan dalam perkembangan mesin las. Proses pengelasan busur nyala terbenam (submerged) yang busur nyalanya tertutup dibawah bubuk fluks pertama dipakai secara komersial pada tahun 1934 dan di patenkan pada tahun 1935.

Sekarang terdapat lebih dari 50 macam proses pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambung berbagai logam dan paduan. Pengelasan yang kita lihat sekarang ini jauh lebih kompleks dan sudah sangat berkembang.

Kemajuan dalam teknologi pengelasan tidak begitu pesat sampai tahun 1877. Sebelum tahun 1877, proses pengelasan tempa dan penyolderan telah dipakai selama 3000 tahun. Asal mula pengelasan tahanan listrik (resistance welding) dimulai sekitar tahun 1877 ketika prof. Elihu Thompson memulai percobaan pembalikan polaritas pada gulungan transformator, dia mendapat hak paten pertamanya pada tahun 1885 dan mesin las tumpul tahanan listrik (resistance butt welding) pertama diperagakan di American Institute Fair pada tahun 1887.

Pada tahun 1889, Coffin diberi hak paten untuk pengelasan tumpul nyala partikel (flash -butt welding) yang menjadi suatu proses las tumpul yang penting. Zerner pada tahun 1885 memperkenalkan proses las busur nyala karbon (carbon arc welding) dengan menggunakan dua elektroda karbon, dan N.G. Slavinoff pada tahun 1888 di Rusia .

Merupakan orang pertama yang menggunakan proses busur nyala logam dengan memakai elektroda telanjang (tanpa lapisan). Coffin yang bekerja secara terpisah juga memiliki prosedur busur nyala logam dan mendapat hak paten Amerika dalam tahun 1892. Pada tahun 1889, A.P . Strohmeyer memperkenalkan konsep

elektroda logam yang dilapis untuk menghilangkan banyak masalah yang timbul pada pemakaian elektroda telanjang.

Thomas fletcher pada tahun 1887 memakai pipa tiup hydrogen dan oksigen yang terbakar, serta menunjukkan bahwa ia dapat memotong atau mencairkan logam.pada penggunaan dan pengembangan teknologi las.pada waktu ini, teknik las telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan batang- batang pada konstruksi mesin.

Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan mempergunakan teknik penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah.

Berdasarkan penemuan benda – benda sejarah, dapat diketahui bahwa teknik penyambungan logam telah diketahui bahwa teknik penyambungan logam telah diketahui sejak jaman prasejarah, misalnya pembrasingan logam paduan emas tembaga dan pematrian paduan timbal-timah. Menurut keterangan yang didapat telah di ketahui dan dipraktikkan dalam rentang waktu antara tahun 40000 sampai 30000 SM.

Sumber energi panas yang digunakan waktu itu diduga dihasilkan dari pembakaran kayu atau arang, tapi panas yang dihasilkan pembakaran dari bahan bakar itu sangat rendah, sehingga teknik penyambungan ini tidak dikembangkan lebih lanjut.

Setelah energy listrik dapat dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesat dan menjadi suatu teknik penyambungan yang

mutakhir. Cara-cara dan teknik pengelasan yang sering digunakan pada masa itu adalah las busur, las resistensi, las , termit, dan las gas, pada umumnya diciptakan pada akhir abad ke – 19.

Benardes menggunakan alat-alat las busur pada tahun 1885, dengan elektroda dibuat dari batang karbon atau grafit.pada tahun 1885, dengan elektroda dibuat dari batang karbon atau grafit.

Pada tahun 1892,slavianoff adalah orang pertama yang menggunakan kawat elektroda yang turut mencair karena mencair karena panas yang ditimbulkan oleh busur listrik yang terjadi. Kjellberg menemukan kualitas sambungan menjadi lebih baik bila kawat elektroda dibungkus terak.

Pada tahun 1886, Thomson menciptakan proses las resistansi listrik. Goldscmitt menemukan las termit dalam tahun 1895 dan pada tahun 1901 las oksidasi mulai digunakan oleh fouche dan piccard. Pada tahun 1936 Wessermen menemukan cara pembrasan yang mempunyai kekuatan tinggi.

Kemajuan-kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang dapat dicapai sampai dengan tahun 1950, telah mulai mempercepat lagi kemajuan dalam bidang las. Pada masa ini telah ditemukan cara-cara baru dalam pengelasan antara lain tekan dingin, las listrik terak, las busur dengan pelindung CO₂, las gesek, las busur plasma dan banyak lagi.

1.2. Identifikasi dan Batasan Masalah

Agar penelitian ini sistematis maka ruang lingkup permasalahan perlu dibatasi guna menghindari penambahan masalah yang melebar dan tidak terarah pada permasalahan utama maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut:

1. Bahan logam yang dipakai adalah baja paduan jenis baja Stainles tipe 304
2. Dengan menggunakan elektroda baja AWS E 308-16
3. Proses pengelasan menggunakan Shield Medtal Arc Welding (SMAW) dengan arus 100 amp, 75 amp, 50 amp.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda E 308 -16 yang digunakan terhadap hasil pengelasan baja stainless tipe 304
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan dan ketangguhan pengelasan baja stainless tipe 304
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW dengan jenis elektoda E 308-16
4. Untuk mengetahui pengaruh arus ampere pada ketangguhan pengelasan listrik
5. Untuk mengetahui ketangguhan pengelasan pada pengujian tarik.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Bagi pengguna, penelitian ini di harapkan dapat memberikan informasi dan pengetahuan tentang pengaruh arus pada proses pengelasan dengan menggunakan baja stainless steel.
2. Bagi bidang keilmuan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan yang baru tentang sifat mekanik hasil proses pengelasan dengan jenis elektroda yang berbeda.

3. Diharapkan dapat dijadikan acuan bagi penelitian selanjutnya, khususnya proses pengelasannya dengan menggunakan material lainnya dengan perbedaan spesifikasi material.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Stainless steel

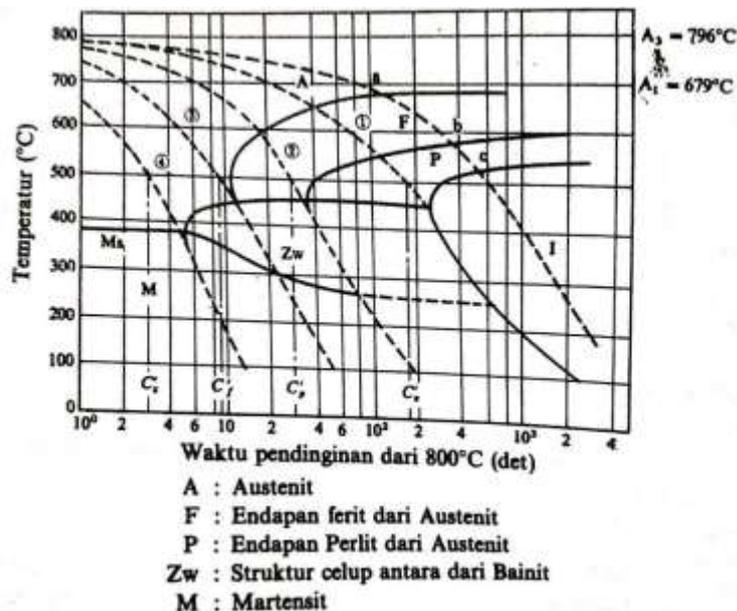
Stainless steel adalah paduan logam yang lebih disukai untuk membuat peralatan dapur, karena tidak mempengaruhi rasa makanan. Permukaan peralatan stainless steel yang mudah dibersihkan. Minimal pemeliharaan dan daur ulang total peralatan stainless steel juga berkontribusi terhadap popularitas mereka. Stainless steel adalah nama universal untuk paduan logam, yang terdiri dari Kromium dan Besi. Sering disebut juga dengan baja tahan karat karena sangat tahan terhadap noda (berkarat).

Stainless steel dapat bertahan dari serangan karat berkat interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. Stainless steel terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan seringkali nikel and molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak.

Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk dari proses karat/korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini. Pada kenyataannya, semua stainless steel mengandung paling sedikit 10% krom.

Keberadaan lapisan korosi yang tipis ini mencegah proses korosi berikutnya dengan berlaku sebagai tembok yang menghalangi oksigen dan air bersentuhan dengan permukaan logam. Hanya beberapa lapisan atom saja cukup untuk putus

menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabungkan dengan garis tebal dari diagram CCT dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk.



Gambar 2.5 Diagram CCT Pada Pengelasan Baja Kekuatan BJ55.

Sebagai contoh misalnya dalam hal siklus termal las 1, bila baja telah mendingin sampai titik “a” ($\pm 680^{\circ}\text{C}$), maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” ($\pm 590^{\circ}\text{C}$) dicapai dan kemudian mengurangi kecepatan proses karat selambat mungkin karena lapisan korosi tersebut terbentuk dengan sangat rapat. Lapisan korosi ini lebih tipis dari panjang gelombang cahaya sehingga tidak mungkin untuk melihatnya tanpa bantuan instrumen moderen.

Besi biasa, berbeda dengan stainless steel, permukaannya tidak dilindungi apapun sehingga mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan Fe_2O_3

atau hidroksida yang terus menerus bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Lapisan korosi ini makin lama makin menebal dan kita kenal sebagai karat.

Stainless steel, dapat bertahan dan tidak bernoda justru karena dilindungi oleh lapisan karat dalam skala atomik.

Sifat fisik stainless steel:

a). Stainless steel juga dikenal dengan nama lain seperti CRES atau baja tahan korosi, baja Inox. Komponen stainless steel adalah Besi, Krom, Karbon, Nikel, Molibdenum dan sejumlah kecil logam lainnya. Komponen ini hadir dalam proporsi yang bervariasi dalam varietas yang berbeda. Dalam stainless steel, kandungan Krom tidak boleh kurang dari 11%.

b). Beberapa sifat fisik penting dari stainless steel tercantum di bawah ini:

Stainless steel adalah zat keras dan kuat.

c). Stainless steel bukan konduktor yang baik (panas dan listrik).

d). Stainless steel memiliki kekuatan ulet tinggi. Ini berarti dapat dengan mudah dibentuk atau bengkok atau digambar dalam bentuk kabel.

e). Sebagian varietas dari stainless steel memiliki permeabilitas magnetis. Mereka sangat tertarik terhadap magnet.

f). Tahan terhadap korosi.

g). Tidak bisa teroksidasi dengan mudah.

h). Stainless steel dapat mempertahankan ujung tombak untuk suatu jangka waktu yang panjang. Bahkan pada suhu yang sangat tinggi, stainless steel mampu mempertahankan kekuatan dan tahanan terhadap oksidasi dan korosi.

i). Pada temperatur cryogenic, stainless bisa tetap sulit berubah.

2.1.1. Stainles steel tipe 304

Stainless Steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. Stainless steel memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. Stainless steel berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang lebih banyak lagi. Stainless steel memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut.

Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan krom sebanyak 13 hingga 26 persen. Lapisan pasif chromium(III) oxide (Cr_2O_3) yang terbentuk merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari stainless steel itu sendiri.

Dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara ini, stainless steel tidak memerlukan suatu perlindungan logam yang khusus karena lapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami suatu goresan. Peristiwa ini biasa disebut dengan pasivasi, yang dapat dijumpai pula pada logam lain misalnya aluminium dan titanium.

Ada berbagai macam jenis dari stainless steel. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran, maka stainless steel akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah. Apabila diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dibutuhkan penambahan karbon.

Sejumlah unsur mangan juga telah digunakan sebagai campuran dalam stainless steel. Stainless steel juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristalnya menjadi: austenitic stainless steel, ferritic stainless steel, martensitic stainless steel, precipitation-hardening stainless steel, dan duplex stainless steel.

Stainless Steel Tipe 304 Baja paduan SS 304 merupakan jenis baja tahan karat austenitic stainless steel yang memiliki komposisi 0.042% C, 1.19% Mn, 0.034% P, 0.006% S, 0.049% Si, 18.24% Cr, 8.15% Ni, dan sisanya Fe. Beberapa sifat mekanik yang dimiliki baja karbon tipe 304 ini antara lain: kekuatan tarik 646 Mpa, yield strength 270 Mpa, elongation 50%, kekerasan 82 HRB.

Stainless steel tipe 304 merupakan jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling banyak digunakan. Komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang relative terjangkau. Stainless steel tipe 304 ini banyak digunakan dalam dunia industri maupun skala kecil.

Penggunaannya antara lain untuk: tanki dan container untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi.

2.2 Pengelasan (Welding)

Pengelasan (Welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau Welding didefinisikan oleh DIN (Deutsche Industrie Normen) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

Dengan kata lain, pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antar logam.

Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh.

Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (Filler Metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. Kebutuhan las yang semakin berkembang berbanding lurus dengan perkembangan pada pengelasan, misalnya pada metode pengelasan. Metode pengelasan yang ada sekarang ini sudah mengalami perkembangan.

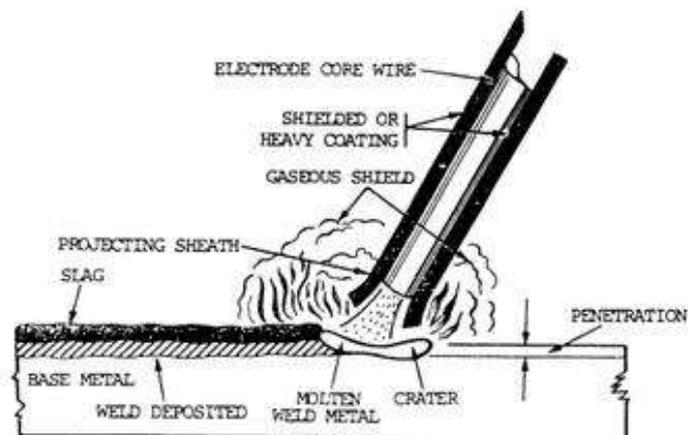
2.3. SMAW (Las Shilded Metal Arc Welding)

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 9 proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu

proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda).



Gambar 2.1 Proses Pencairan Elektroda

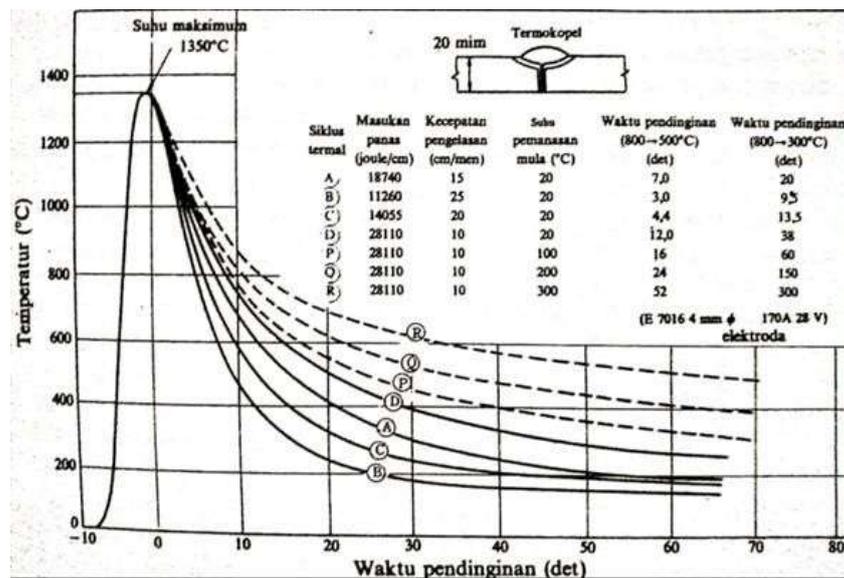
2.4 Siklus Termal Daerah Las

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa inggrisnya adalah “Heat Affected Zone” dan disingkat menjadi daerah HAZ, dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

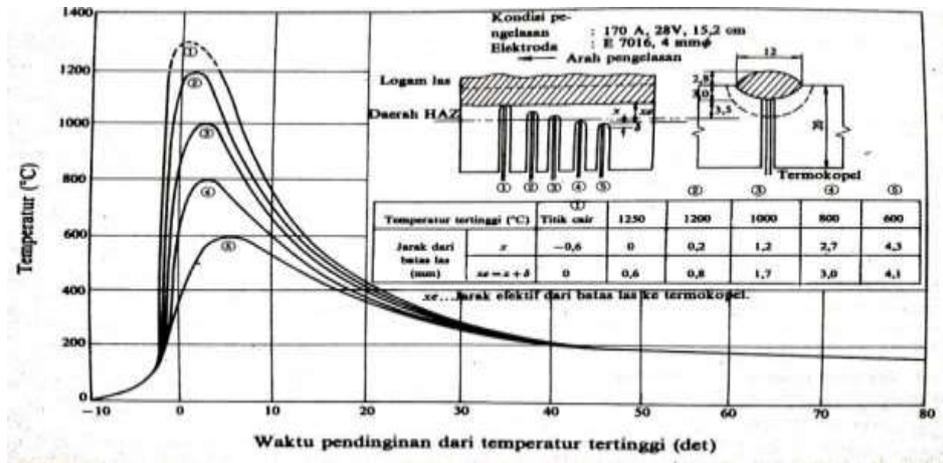
Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi 10 proses pembekuan, reaksi yang terjadi dan struktur mikro yang terbentuk yang masing-masing yang dibahas tersendiri. Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan.

Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut.tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih terdapat satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin, di mana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C.



Gambar 2.2 Siklus Termal Dalam Las Busur Tangan



Gambar 2.3 Siklus Thermal Las Pada Beberapa Jarak Dari Batas Las

$$S = \frac{K \cdot J^n}{(\bar{T} - T_0)^2 \left\{ 1 + \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{t - t_0}{\alpha} \right) \right\}}$$

Cara pengelasan	Indeks masukan panas n	Konstanta							
		Waktu pendinginan dari 800°C ke 500°C				Waktu pendinginan dari 800°C ke 300°C			
		K	t_0	α	τ	K	t_0	α	τ
Las busur terbungkus	1,5	1,35	14,6	6	600	2	14,6	4,5	400
Las busur gas CO ₂	1,7	1/2,9	13	3,5	600	1/2,5	14	5	400
Las busur dengan kawat berisi fluks.	1,35	—	—	—	600	11	14	5	400
Las busur rendam ...	$(t < 32) 2,5 - 0,05t$ $(t \geq 32) 0,95$	$9,5/10^3 - 0,22t$ 950	—	—	600	$7,3/10^3 - 0,22t$ 730	—	—	400

$$J: \text{ Masukan panas} = \frac{60EI}{V} \text{ (Joule/cm)}$$

E : Tegangan busur (Volt)

I : Arus Las (Amper)

V : Laju las (cm/men)

T : Suhu daerah HAZ (°C)

T_0 : Suhu mula pelat (°C)

t : Tebal pelat (mm)

Tabel 2.4 Perkiraan Waktu Pendinginan Pada Beberapa Cara Las Busur

2.4.1 Pembekuan Dan Struktur Logam Las

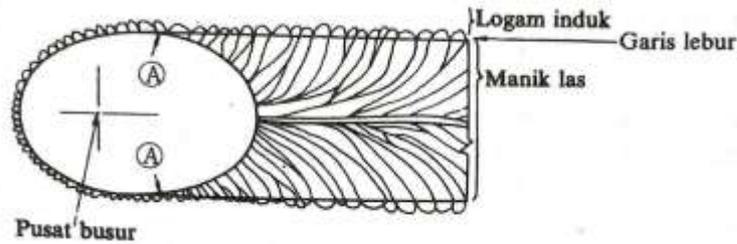
Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macam cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran.

Perbedaannya adalah :

1. Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
2. Sumber panas dalam las bergerak terus.
3. Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.
4. Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam Gambar 2.3 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dala logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas.

Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



Gambar 2.4 Arah Pembekuan Dari Logam Las

2.4.2 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal), untuk baja kuat 55 kg/mm^2 yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan.

Garis diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik "c" ($\pm 520^{\circ}\text{C}$). Dari pembahasan di atas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

Dengan analisa yang sama, dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur seperti berikut :

- 1). Dengan siklus termal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit, struktur antara dan martensit.
- 2). Dengan siklus termal las antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit struktur antara dan martensit.

3). Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.

4). Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

Karakteristik dari siklus termal las (1), (2), (3) dan (4) ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperatur 800°C ke 500°C masing-masing 14 adalah 200 detik (ditunjukkan oleh $C'e$ dalam diagram), 32 detik ($C'p$), 9,6 detik ($C'f$) dan 3 detik ($C'g$).

Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti suatu siklus termal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendingin dari 800°C sampai 500°C dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ sudah dapat ditentukan.

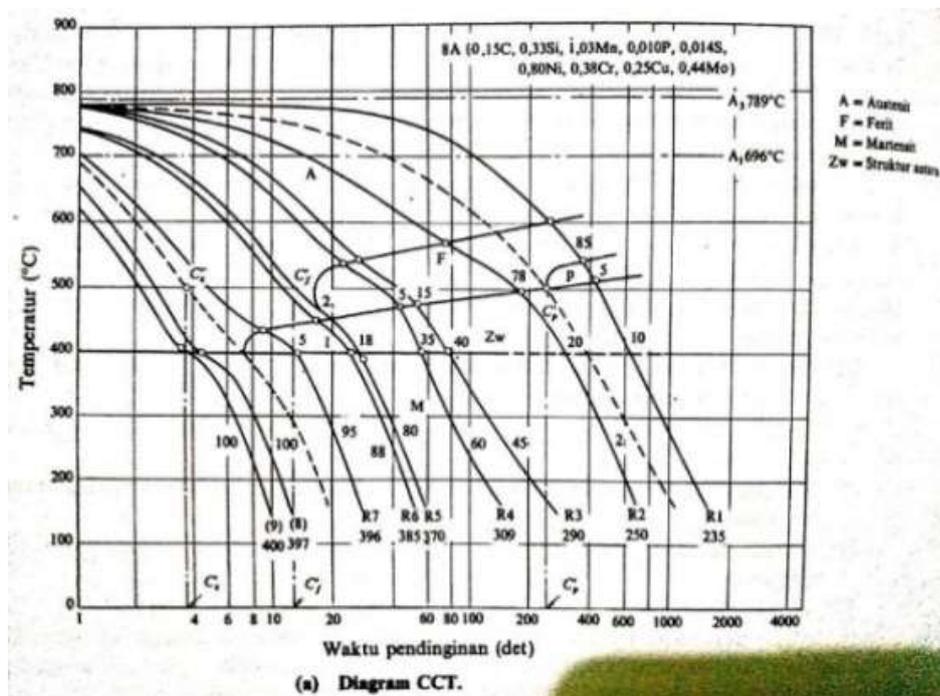
Diagram transformasi pendinginan berlanjut untuk baja kekuatan 80 kg/mm^2 ditunjukkan pada gambar 2.5 di dalam gambar (b) ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang dapat dengan melalui beberapa macam waktu pendinginan (dari 787°C sampai 500°C) seperti yang terlihat pada gambar (a). Diagram semacam ini memungkinkan untuk mengetahui kecepatan terbentuknya struktur, kekerasan dan lain sebagainya, yang terjadi karena pengelasan.

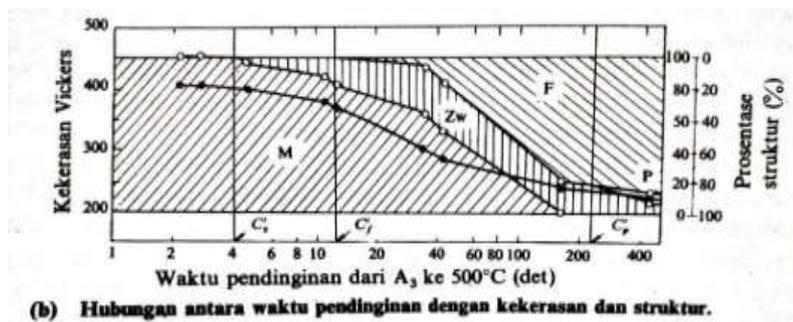
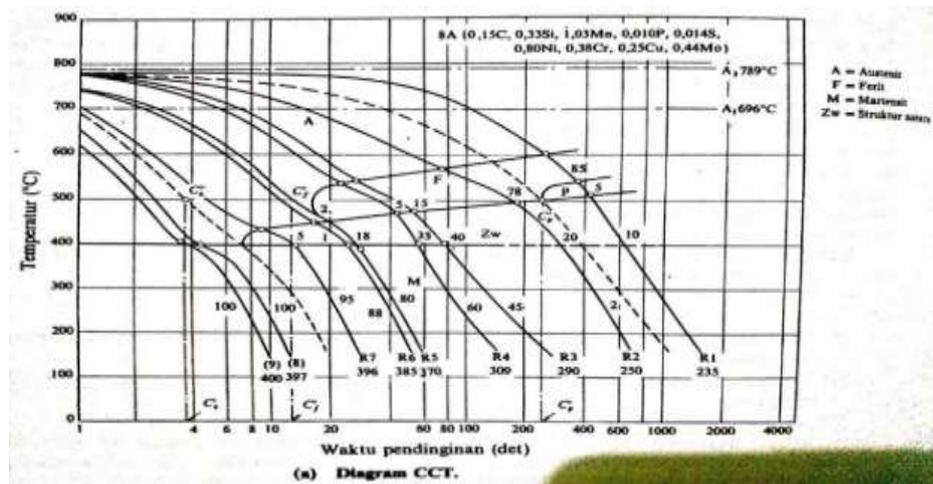
Diagram transformasi pendinginan berlanjut dapat berubah karena dapat berubah karena berubahnya temperatur maksimum yang terjadi. pada umumnya bila temperatur maksimum naik, kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur-struktur tertentu di dalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada

pemanapan pembentukan martensit. bila ini terjadi jelas bahwa hasil pengelasan menjadi lebih keras.

2.4.3 Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat sekali. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi lebih penting lagi karena adanya faktor-faktor yang membantu seperti : konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan. berhubungan dengan hal ini maka dalam usaha mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah las terhadap patah getas.





Gambar 2.6 Diagram CCT Dan Hubungan Antara Waktu Pendingin Dengan Kerasan Dan Struktur

1. Pengujian Ketangguhan Dari Daerah Las

Untuk menilai ketahanan daerah las terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, seperti kecepatan regang, takik, tebal plat, tegangan sisa, konsentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya.

Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dengan skala besar, baik dalam jumlah maupun dalam dimensi. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal

ini tidak mungkin dilakukan, karena itu dibuat pengujian skala kecil yang distandarkan yang disebut 16 pengujian takik.

Temperatur transisi dan kriteria pengujian takik ditunjukkan dalam Tabel 2.2 sebagai berikut.

Perkiraan suhu transisi patahan getas	Berdasarkan energi yang diserap	1) Suhu di mana energi yang diserap sampai patah atau energi yang diserap setelah beban maksimum terlampaui mencapai $\frac{1}{2}$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan minimum. 2) Suhu di mana terjadi gradien energi yang tertinggi.
	Berdasarkan penampakan patahan	1) Suhu di mana luas patahan butir atau patahan getas mencapai $\frac{1}{2}$ dari luas penampang semula. 2) Suhu di mana ujung patahan serat atau patahan ulet mencapai $\frac{1}{2}$ dari seluruh permukaan patah.
Perkiraan suhu transisi patahan ulet	Berdasarkan energi yang diserap	1) Suhu di mana energi yang diserap sebelum beban maksimum terlampaui mencapai $\frac{1}{2}$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan yang minimum. 2) Suhu di mana terjadi gradien energi yang tertinggi 3) Suhu di mana energi yang terserap mencapai harga tertentu, misalnya dalam uji Charpy 10 ft-lb (T_{110}) atau 15 ft-lb (T_{115}).
	Berdasarkan ketangguhan	1) Suhu di mana sudut tekuk pada beban maksimum turun dengan mendadak. 2) Suhu di mana laju kontraksi patahan pada dasar takik menurun atau mencapai harga prosentase tertentu, misalnya 2%.
	Berdasarkan kekuatan	Suhu di mana kekuatan luluh sama dengan kekuatan tertinggi
	Berdasarkan penampakan patahan	Suhu di mana patahan serat atau patahan ulet mulai terjadi atau mencapai suatu prosentase tertentu (rendah) terhadap seluruh luas permukaan patahan.

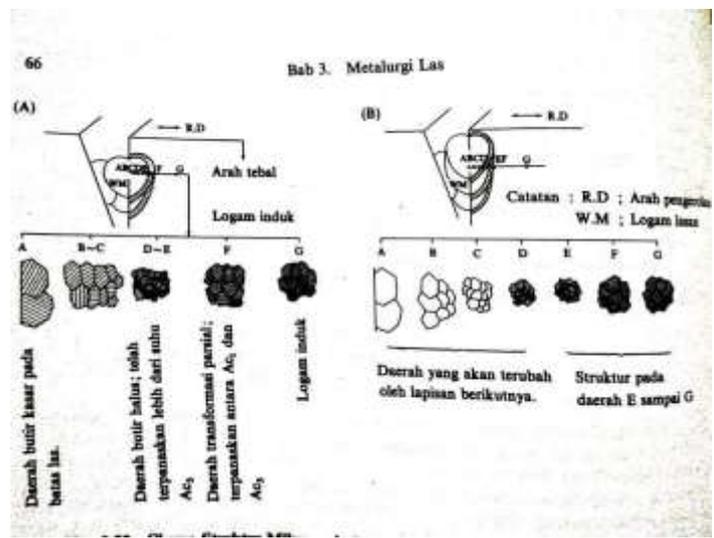
2. Ketangguhan Dan Penggetasan Batas Las

Struktur logam pada daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti yang terlihat dalam Gambar 2.6. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan batas las.

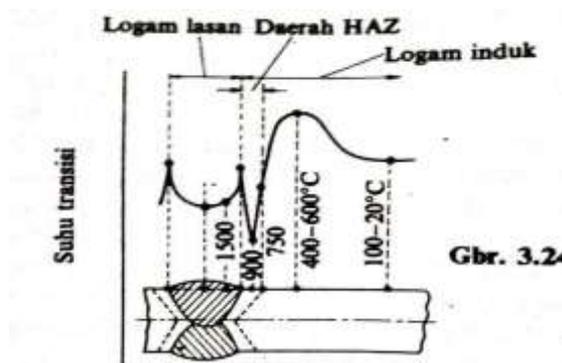
Di dalam daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Karena siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya juga sangat rumit.

Pada daerah batas las dimana buti-butir nya sangat kasar logam menjadi sangat

getas dan disebut penggetasan batas las. Pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las dan lain sebagainya. Kegetasan dari batas las ini, disamping disebabkan oleh butir-butir yang kasar, mungkin juga karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting dalam menjamin ketangguhan sambungan las.



Gambar 2.7 Skema Struktur Mikro Daerah HAZ



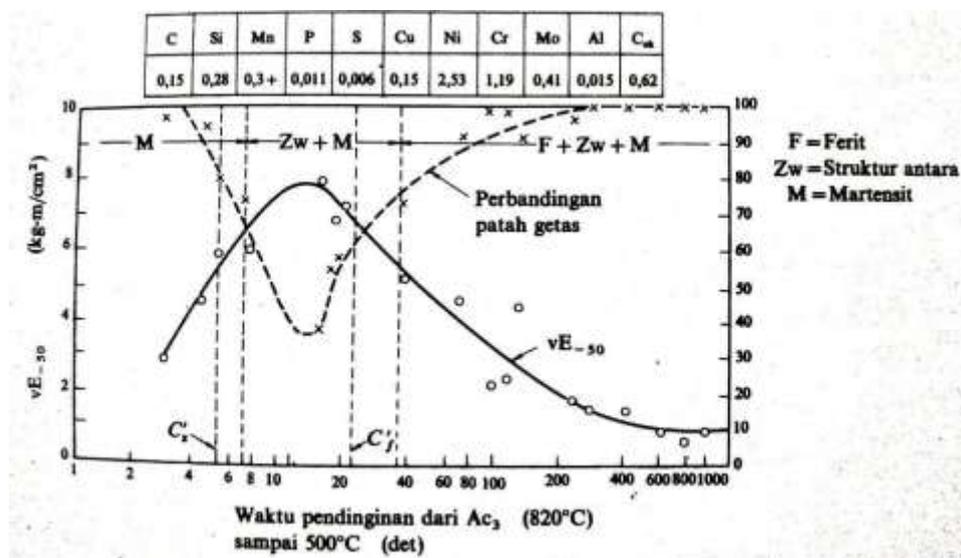
2.8 Perubahan Temperatur Transisi Pada Lasan

Ketangguhan yang terjadi tergantung pada suhu pemanasan maksimum dan

kecepatan pendinginan dari 800°C sampai 500°C. Berdasarkan pada kecepatan pendinginan, perubahan struktur yang terjadi sebagai berikut :

Martensit - bainit bawaan - bainit atas- ferit – perlit.

Bila didingin-cepatkan atau dicelup bainit bawah dan bainit atas akan membentuk struktur antara (Z_w).



Gambar 2.9 Hubungan Antara Waktu Pendinginan, Struktur Mikro dan Kekuatan Tumbuk pada Daerah HAZ

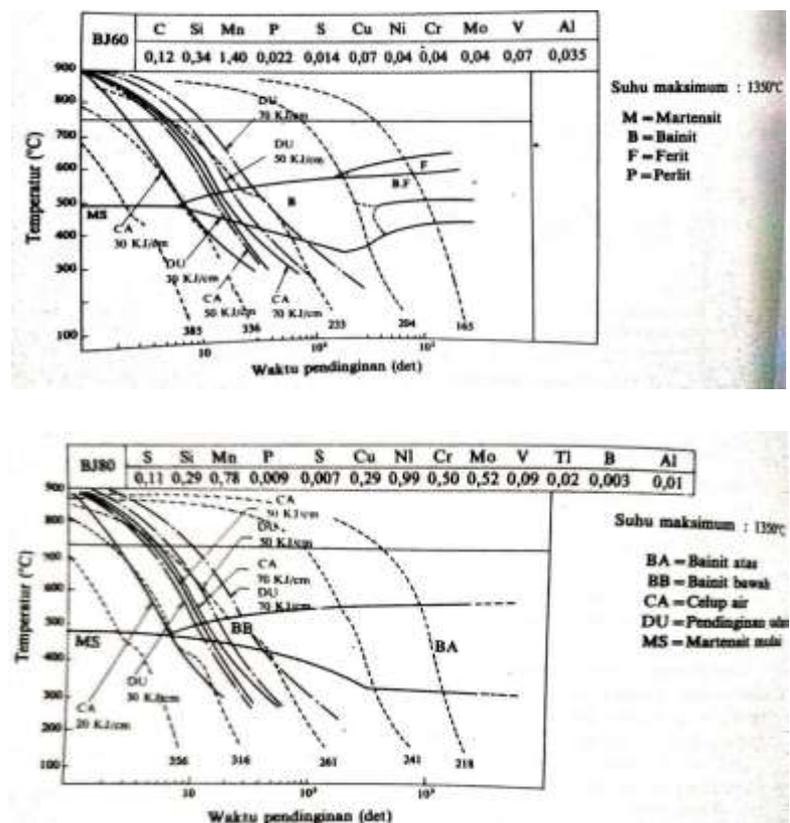
Ketangguhan yang paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari martensit dan bainit bawah. Sedangkan bila terjadi bainit atas dan ferit kasar ketangguhan baja menjadi sangat rendah. Perubahan struktur diatas disebabkan oleh perbedaan sifat mampu keras baja yang disebabkan karena adanya perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan lain sebagainya.

Semua faktor tersebut merubah besarnya penggetasan batas las secara rumit

sekali. Untuk menjelaskan terjadinya perubahan struktur ini biasanya digunakan diagram CCT. Disamping hal di atas juga dikembangkan usaha pembuatan pelat baja yang mempunyai penggetasan batas las sekecil-kecilnya dengan mengatur komposisi kimia.

3. Pengaruh Komposisi Kimia Dan Masukan Panas Las Terhadap Penggetasan Batas Las.

Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butir-butir kasar atau karena terbentuknya struktur bainit atas. Karena itu dalam hal ini sangat penting untuk menjalankan hubungan antara ketangguhan batas las, komposisi kimia logam induk dan kecepatan pendinginan.

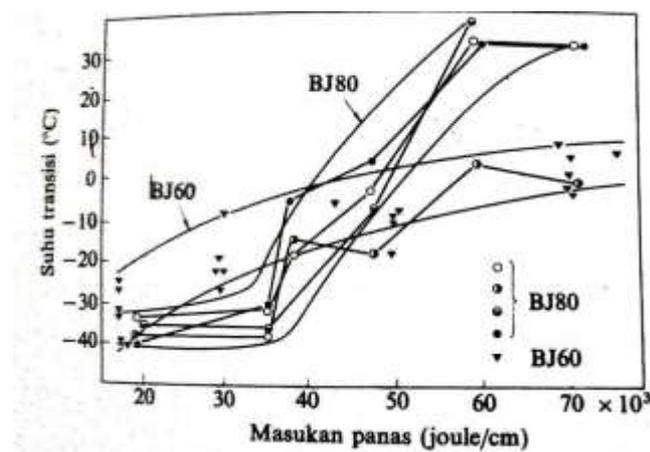


Gambar 2.10 Diagram CCT untuk Baja BJ60 dan BJ80

Pada baja kekuatan 80 kg/mm², tingkat kegetasan yang terjadi karena perubahan masukan panas lebih besar bila dibandingkan dengan baja kekuatan 60 kg/mm². Dalam hal baja kekuatan 80 kg/mm², karena banyaknya macam dan tingginya kadar unsur paduan, maka pada pendinginan cepat, baja akan menjadi keras tetapi tangguh karena terbentuknya struktur martensit dan bainit bawah pada batas las.

Sebaliknya pada kecepatan pendinginan rendah akan terbentuk struktur bainit atas yang akan mengurangi ketangguhan dari batas las. Bila terbentuk struktur bainit atas, maka akan terbentuk butir-butir martensit karbon tinggi yang sangat getas di antara bainit atas.

Kalau hal ini terjadi ketangguhan batas las akan lebih rendah lagi bila dibandingkan terbentuknya struktur ferit-perlit. Dalam hal baja kekuatan 80 kg/mm², karena mengandung banyak unsur paduan dengan kadar yang tinggi, maka kemungkinan terbentuknya bainit atas sangat besar, sehingga dengan kecepatan pendinginan yang rendah tingkat kegetasannya lebih tinggi dari pada baja dengan kadar unsur paduan yang rendah.



Gambar 2.11 Pengaruh Masukan Panas Pada Sifat Tumbuk

Dari uraian ini, jelas bahwa pengaruh komposisi kimia logam induk terhadap ketangguhan bata las dapat berubah secara rumit sekali, tidak hanya karena banyaknya macam dan besarnya kadar tiap-tiap unsur, tetapi juga karena kecepatan pendinginan yang terjadi selama pengelasan.

Sehingga jelas lah bahwa penggetasan batas las sebagian besar tergantung pada komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las serta masukan panas. Karenaitu diperlukan pengawasan yang ketat terhadap syarat-syarat pengelasan, sehingga untuk pengawasan ini diperlukan diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT dan nomografi dari bermacam-macam pelat baja.

1. Cara Untuk Menurunkan Penggetasan Batas Las

- a). Penggunaan baja yang kurang peka terhadap penggetasan batas las.

Cara yang banyak digunakan adalah mengurangi kadar paduan dan karbon dalam baja dan mempertinggi kadar nikel. Penurunan kadar unsur paduan dan karbon tidak hanya efektif untuk mengurangi penggetasan batas las tetapi juga sangat baik untuk menghindari terjadinya retak las. Cara ini banyak sekali digunakan untuk memproduksi baja kekuatan 60 kg/mm² atau yang lebih kuat.

- b). Pembatasan masukan panas.

Pembatasan masukan panas digunakan juga sebagai suatu cara untuk mengurangi penggetasan batas las misalnya dalam pengelasan baja kekuatan 70 kg/mm² dan 80 kg/mm², biasanya diusahakan agar masukan panas yang kurang dari 50 atau 40 KJ/Cm. dengan masukan panas yang rendah ini dapat dicapai temperatur transisi uji takik Charpy dari batas las, dibawah 0°C. Dalam hal ini jelas bahwa pemanasan mula

yang berlebihan, dengan tujuan untuk memperlambat pendinginan, tidak dikehendaki karena ini akan menambah besarnya masukan panas. karena itu pemanasan mula harus diusahakan serendah mungkin asal cukup untuk menghindari terjadinya retak las.

C). Penurunan Penggetasan Melalui Cara Pengelasan

Cara lain untuk untuk menurunkan penggetasan batas las adalah memperbaiki struktur mikro yang terjadi dengan cara pemanasan kembali melalui panas las. Jadi di dalam pengelasan lapis banyak sebenarnya secara tidak langsung telah dilakukan usaha penurunan penggetasan. Dalam hal ini lapisan las yang ada di bawah dipanaskan oleh lapisan di atasnya sehingga dicapai temperatur di atas titik transformasi A_{c3} yang menyebabkan terbentuknya butir-butir kristal yang halus.

2.4.4 Ketangguhan Logam Las

Tidak perlu dijelaskan lagi bahwa ketangguhan logam las juga tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain.

Komposisi logam las sudah barang tentu tergantung dari proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari strukturnya sendiri.

1. Pengaruh Oksigen

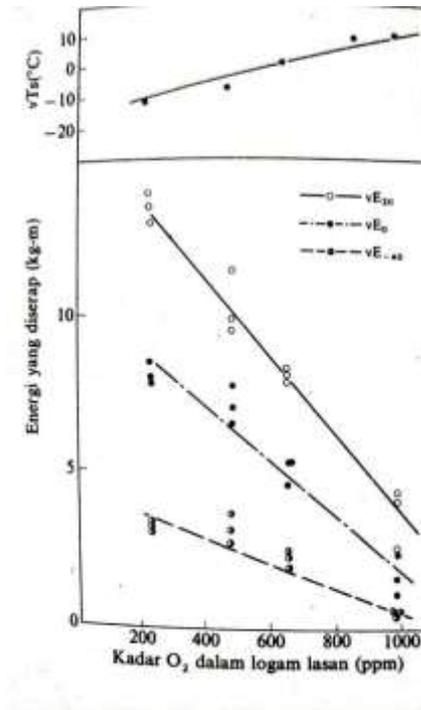
Pada waktu logam las masih cair, oksigen dihalangi oleh terak dan gas pelindung

yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam las cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las mengandung lebih banyak oksigen bila dibanding dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya.

Pada umumnya oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan menurunkan kekuatan tumbuk charpy. Sama halnya seperti oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap ke dalam logam las dan ini pun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

Pada umumnya, dalam las busur gas, banyaknya oksigen yang diserap tergantung dari macam gas pelindungnya. Dalam las dengan pelindung gas argon, kadar oksigen yang terserap sangat rendah, sedangkan dalam pelindung CO₂, oksigen yang terserap lebih tinggi. Dalam pengelasan manual dan pengelasan busur rendam, kandungan oksigen dalam logam las sangat tergantung dari bahan selubung dan kebiasaan dari fluks.

Las Oksigen - asetilen adalah jenis alat pengelasan yang paling dasar. Orang-orang banyak menyebutnya las karbit. Sebenarnya las oksidasi-asetilen dan las karbit sedikit berbeda, yang membedakannya adalah jenis bahan bakar yang digunakan. Las karbit menggunakan karbit/*carbide* yang berbentuk seperti bongkahan batu yang jika dicampurkan ke dalam air akan mengeluarkan gas yang mudah terbakar sedangkan asetilen adalah gas mudah terbakar yang sudah dimasukkan ke dalam tabung yang siap pakai. Bahan bakar yang digunakan adalah karbit tetapi kekurangannya adalah bentuknya yang kurang ringkas membuatnya sulit untuk dipindah-pindahkan juga meninggalkan ampas sisa.



Gambar 2.12 Hubungan Antara Sifat Tumbuk dan Kadar O₂ Dalam Logam Lasan

1. Pengaruh Struktur

Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama saja seperti pada batas las. Tetapi karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen.

Jadi jelas bahwa kecuali terjadinya pemisahan, pengaruh struktur terhadap batas las yaitu struktur bainit atas dan ferit kasar menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah dan martensit mempertinggi ketangguhan.

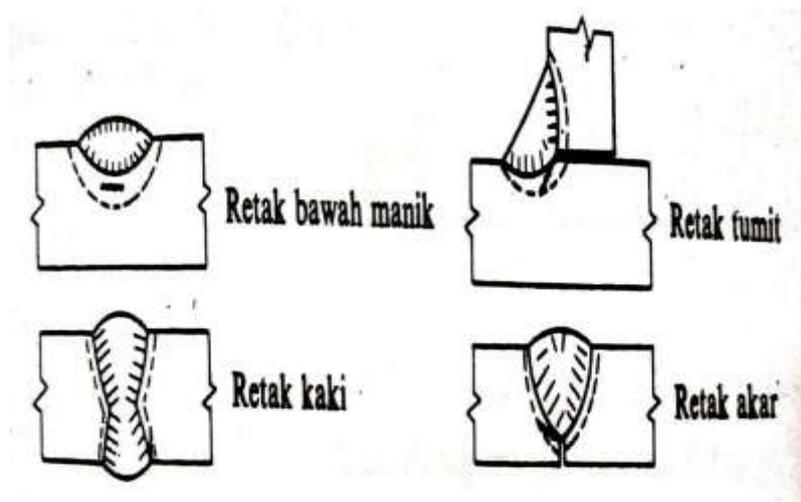
2.5 Retak Pada Daerah Las

2.5.1 Jenis Retak Las

Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan kelompok retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu

di bawah suhu transformasi martensit(M_s) yang tingginya kira-kira 300°C , sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu di atas 550°C .

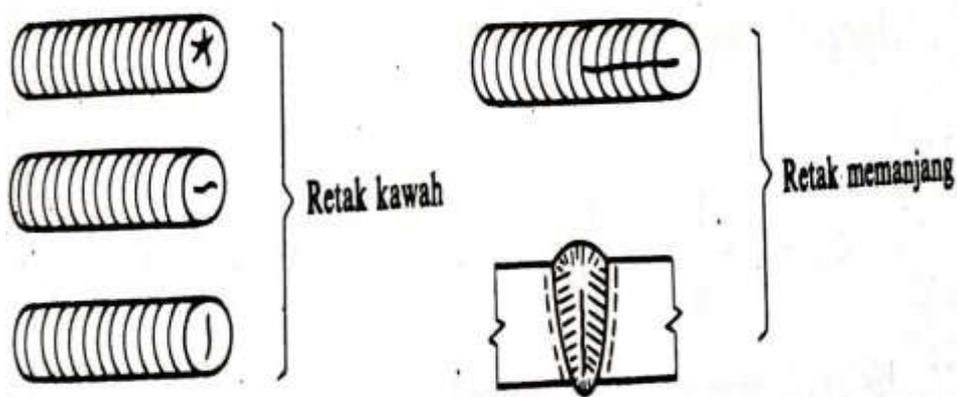
Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin daerah pengaruh panas yang sering terjadi dapat dilihat dalam gambar 2.12. Retak dingin utama pada daerah ini adalah retak bawah manik las, retak akar dan retak kaki. Sedangkan retak dingin pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan retak melintang.



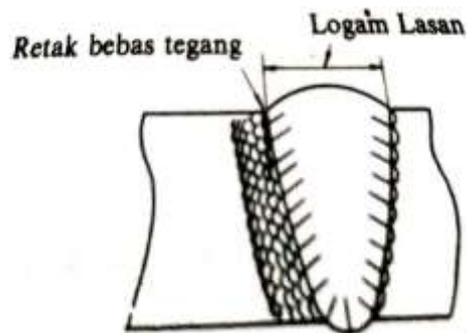
Gambar 2.13 Retak Dingin

Retak panas dibagi menjadi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebanan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada suhu antara 550°C - 700°C dan retak yang terjadi pada suhu di atas 900°C yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las.

Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah, dan retak memanjang. Pada pengelasan baja tahan karat austenit, biasanya terjadi retak panas di daerah HAZ dan logam las. Retak panas karena pembebasan tegangan pada umumnya terjadi pada daerah kaki di dalam daerah pengaruh panas.



Gambar 2.14 Retak Panas



Gambar 2.15 Skema Retak Bebas Tegang

1. Retak dingin di daerah pengaruh panas (HAZ)

Retak dingin di daerah pengaruh panas atau HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan. Karena itu retak ini disebut juga retak

lambat. Retak dingin disebabkan oleh 3 hal berikut :

a). Struktur daerah pengaruh panas (HAZ).

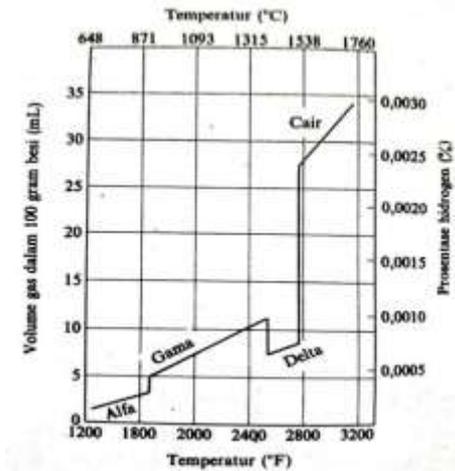
Struktur dari daerah pengaruh panas ditentukan oleh komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las. Retak dingin di daerah HAZ dalam pengelasan baja biasanya terjadi pada daerah martensit. Pengaruh dari unsur paduan terhadap kepekaan retak dingin dari daerah HAZ biasanya dapat dilihat dari harga ekuivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung (C_{ek}) dan harga parameter retak (P_{CM}).

Dalam hal ini jika nilai dari C_{ek} dan P_{CM} turun, maka kepekaan terhadap retak dingin dari daerah pengaruh panas juga turun. Kekuatan baja yang turun karena turunnya C_{ek} dan P_{CM} dapat diperbaiki dengan mengatur jenis dan banyaknya unsur yang dicampurkan pada waktu pembuatan baja. Selain itu dapat juga diperbaiki dengan memilih kondisi pengerolan, misal dilakukan pada suhu rendah atau memilih dan mengatur proses perlakuan panas yang digunakan.

b). Hidrogen difusi dalam daerah las.

Retak las juga dipengaruhi oleh adanya difusi hidrogen dari logam las ke dalam daerah pengaruh panas. Pada waktu logam las mencair, logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan terjadinya retak di daerah pengaruh panas.

Kelebihan kandungan hydrogen dalam logam cair akan dilepas dengan cara difusi ke daerah pengaruh panas. Kandungan hydrogen pada daerah pengaruh panas menjadi naik.



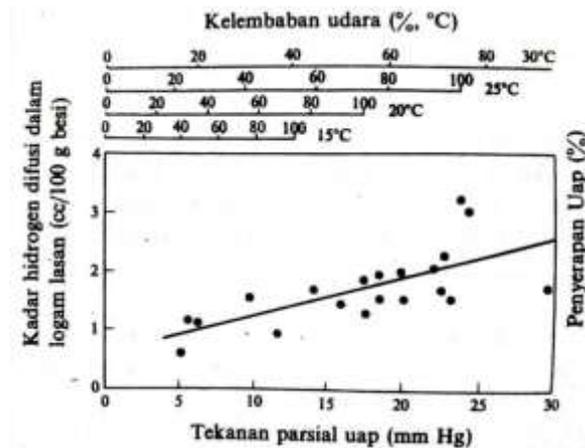
Gambar 2.16 Kelarutan Hidrogen Dalam Besi Pada Tekanan 1 atm

Sumber dari hidrogen yang diserap adalah air dan zat organik yang terkandung di dalam fluks atau kelmebahan udara atmosfer. Di samping itu minyak, zat organik dan air yang melekat pada rongga-rongga dan permukaan pelat atau kawat las juga merupakan sumber hidrogen.

Hubungan antara tekanan parsial uap air dalam atmosfer dan hidrogen difusi dalam logam las serta hubungan antara lamanya elektroda di atmosfer dan kadar uap dalam fluks ditunjukkan pada gambar 2.15

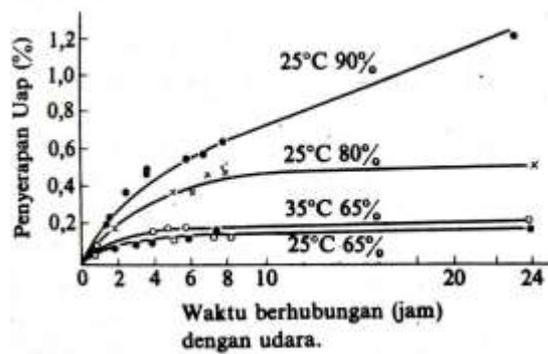
2.16. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bila elektroda terlalu lama diletakkan di luar, fluksnya akan mengisap uap air dan akibatnya logam yang dilas dengan elektroda ini kepekaannya terhadap retak las akan naik.

Kandungan Hydrogen dalam baja juga mempengaruhi kepekaan terhadap timbulnya retak. Pada saat pengelasan, logam las cair, weld metal menyerap hydrogen dalam jumlah yang relative besar. Hydrogen dalam logam cair ini akan diserap oleh logam pada daerah pengaruh panas bersamaan dengan terjadinya Pembekuan ligam las cair.



Gambar 2.17 Pengaruh Udara Terhadap Kadar Hidrogen Difusi

Dalam Logam Lasan



Gambar 2.18 Penyerapan Uap Oleh Elektroda Terbungkus

Usaha untuk menghindari retak las dapat dilakukan dengan menghilangkan sumber hidrogen dan melepaskan hidrogen yang telah diserap. Untuk hal ini dilakukan penurunan kecepatan pendinginan dengan memberikan pemanasan mula pada temperatur antara 50 sampai 200°C atau memberikan pemanasan kemudian pada temperatur antara 200°C sampai 300°C.

Dalam usaha mengurangi hidrogen difusi ini dapat juga digunakan fluks yang mengandung banyak karbonat. Dengan fluks ini akan dihasilkan gas karbon dioksida

yang dapat menurunkan tekanan parsial hidrogen di dalam busur listrik yang dengan sendirinya akan mengurangi hidrogen difusi.

a). Tegangan.

Tegangan yang dapat mempengaruhi terjadinya retak las adalah tegangan sisa dan tegangan termal. Tegangan sisa banyak sekali tergantung pada rancangan las, proses pengelasan yang digunakan dan pengawasannya. Kenaikan dari tebal plat akan mempertinggi besarnya tegangan sisa dan akan menyebabkan terjadinya retak las. Untuk menghindari retak las dalam las sudut pada pengelasan baja dengan kepekaan retak las yang tinggi dapat digunakan elektroda terbungkus yang mempunyai logam las dengan kekuatan rendah dan keuletan tinggi.

b). Cara menghindari retak las.

Sebab utama dari terjadinya retak las seperti telah diterangkan diatas adalah terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ. Terjadinya hidrogen difusi pada logam las dan besarnya tegangan yang bekerja pada daerah las. Karena itu dalam menghindari terjadinya retak las pada daerah pengaruh panas, maka faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya hal-hal di atas harus diusahakan serendah-rendahnya. Usaha penanggulangan retak las dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sejauh mungkin menggunakan baja dengan harga C_{ek} dan P_{CM} rendah, sehingga terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ dapat dihindari.
2. Sedapat mungkin menggunakan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hidrogen rendah.
3. Menghilangkan kristal air yang terkandung dalam fluks basa yang sering digunakan dalam las busur rendam.

4. Elektroda yang akan digunakan harus dipanggang lebih dahulu dan penyimpanannya harus sedemikian rupa sehingga elektroda yang sudah dipanggang tersebut tidak menyerap uap air.
5. Sebelum mengelas, pada daerah sekitar kampuh harus dibersihkan dari air, karat, debu, minyak dan zat organik yang dapat menjadi sumber hidrogen. Penggunaan CO₂, sebagai gas pelindung akan sangat mengurangi terjadinya difusi hidrogen.
6. Untuk melepaskan kadar hidrogen difusi dapat digunakan las dengan masukan panas tinggi, atau dilakukan pemanasan mula dan penahanan suhu lapisan las yang dapat memperlambat pendinginan.
7. Penurunan kadar hidrogen difusi dapat juga dilakukan dengan perlakuan panas kemudian.
8. Menghindari pengelasan pada waktu hujan atau di tempat di mana daerah las dapat kebasahan.
9. Tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan pemilihan dan pengawasan rancangan dan cara pengelasannya yang tepat.

2. Retak lamel

Pada konstruksi kerangka yang besar seperti bangunan laut, biasanya digunakan plat tebal, sehingga pada daerah las terjadi tegangan yang besar pula. Butiran dengan bentuk kubus seperti MnS atau Mn Si O₃ biasanya lebih peka terhadap retak lamel dari pada butiran berbentuk bulat.

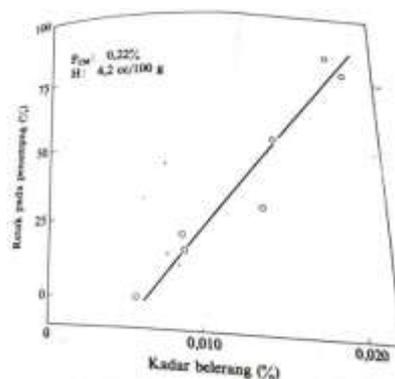
Karena hal tersebut, maka pada baja tahan retak biasanya kadar belerang

diusahakan serendah-rendahnya. Penambahan unsur Ce atau Ca pada baja dapat membentuk butiran bukan logam yang berbentuk bulat, sehingga pengurangan kepekaan baja terhadap retak lamel di samping pengurangan kadar S, dapat juga dilakukan dengan penambahan Ce dan Ca.

Sifatnya yang khusus, retak lamel juga mempunyai sifat seperti retak las pada umumnya. Karena itu retak lamel di samping sangat mempengaruhi oleh bentuk butir bukan logam, juga dipengaruhi oleh harga C_{ek} atau P_{CM} kadar hidrogen difusi dan tegangan sisa.

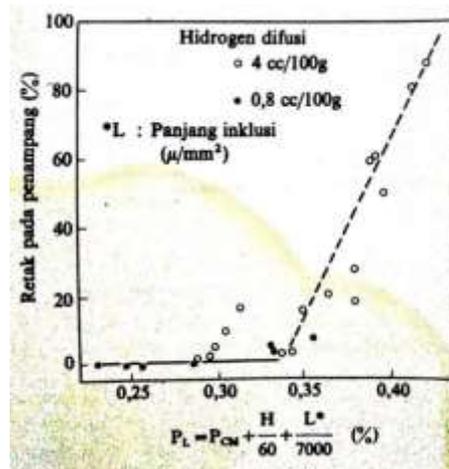


Gambar 2.19 Retak Lamel Yang Dimulai Dari Retak Akar

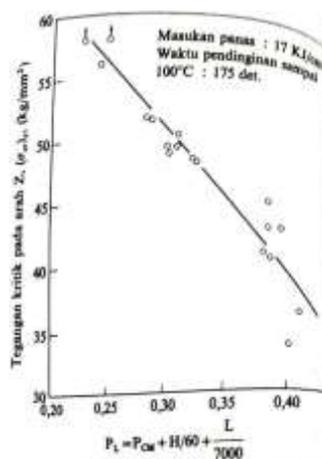


Gambar 2.20 Pengaruh Kadar Belerang Pada Kepakaan Retak Lamel

Hubungan antara kepekaan retak lamel dengan indeks kepekaan P_L , yang mencakup komposisi kimia, kadar hidrogen difusi dan butiran bukan logam ditunjukkan dalam gambar 2.19. Hubungan antara P_L dan tegangan kritis pada uji tarik dengan bebas tarik searah dengan tebal plat dapat dilihat pada gambar 2.20



Gambar 2.21 Hubungan Antara Retak Lamel dan Kepekaan P_L



Gambar 2.22 Hubungan Antara Kepekaan P_L dan Tegangan

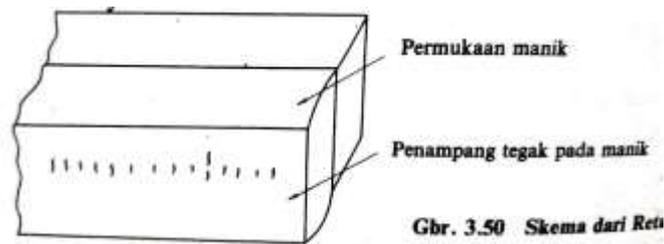
Kritik Pada Arah Tebal

1. Retak lintang pada logam las

Retak dingin di samping terjadi pada daerah HAZ juga dapat terjadi pada logam las. Retak ini biasanya terjadi dengan arah tegak lurus atau melintang terhadap garis las seperti yang ditunjukkan pada skema dalam gambar 2.22, dan disebut retak lintang.

Retak lintang dapat terjadi pada pengelasan busur rendam atau pada las busur

listrik dengan elektroda terbungkus dan juga pada pengelasan yang menggunakan logam las dengan kekuatan lebih dari 75 kg/mm^2 .



Gambar 2.23 Skema Dari Retak Lintang

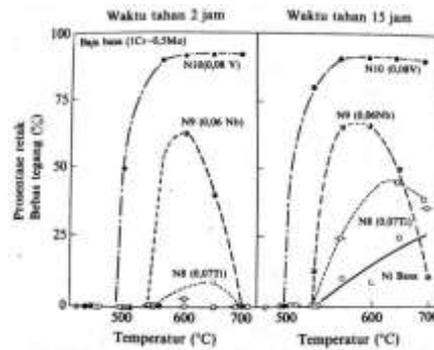
Retak lintang sama halnya dengan retak dingin, terjadi karena adanya hidrogen difusi yang keluar dari fluks atau pembungkus elektroda. Pada permukaan manik las, hidrogen difusi yang dikandung dapat dilepaskan dengan mudah bila dibandingkan dengan hidrogen yang ada bagian dalam.

Karena itu lintang biasanya terdapat pada tengah- tengah tebal lasan tanpa menembus permukaan. Dengan penjelasan tersebut, jelaslah bahwa cara menghindari retak lintang adalah menurunkan kadar hidrogen difusi.

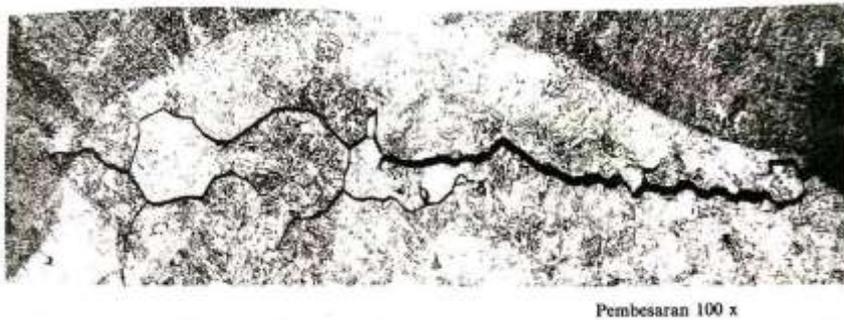
Di samping pengeringan dan penyimpanan yang baik dari bahan-bahan las terhadap uap air, pemanasan mula dan pemanasan kemudian sangat membanut sekali dalam melepaskan hidrogen difusi.

2. Retak pada daerah las karena proses pembebasan tegangan

Retak yang terjadi karena perlakuan panas sesudah pengelasan adalah retak karena anil pembebasan tegangan, yang dilakukan pada suhu 500°C sampai 700°C . Tempat terjadinya retak anil ini adalah pada batas butir, terutama butir kasar pada daerah pengaruh panas.



Gambar 2.24 Hubungan Antara Retak Bebas Tegang Dan temperatur waktu pemanasan dengan pengujian lengkung



Gambar 2.25 Retak Bebas Tegang Pada Pengujian Celah Y Dari Baja BJ 80 Yang Dibebaskan

Bila dilihat dari bahan, baja kekuatan 80 kg/mm^2 dan baja paduan rendah Cr-Mo-V adalah baja yang sangat peka terhadap retak karena pembebasan tegangan. Pengaruh komposisi kimia pada kepekaan retak tersebut dapat diperkirakan dengan menggunakan perumusan sebagai berikut. Menurut Nakamura, Achiki dan Okabayashi :

$$\Delta G = (\text{Cr}) + 3,3 (\text{Mo}) + 8,1 (\text{V}) - 2$$

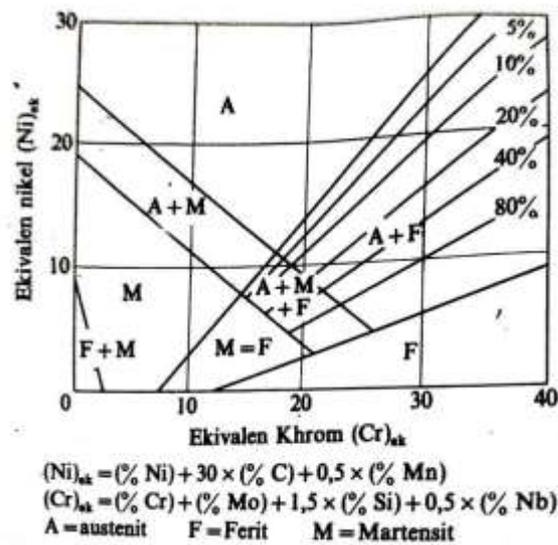
Menurut Ito dan Nakanashi :

$$P_{\text{SR}} = (\text{Cr}) + (\text{Cu}) + 2(\text{Mo}) + 10(\text{V}) + 7(\text{Ni}) + 5(\text{Ti})$$

Dari kedua rumus tersebut bila ΔG atau P_{SR} mempunyai harga positif maka

terjadi keretakan. Bila baja mengandung karbon kurang dari 0,1% atau krom lebih dari 1,5% , kepekaannya terhadap retak karena pembebasan tegangan menjadi rendah sehingga persamaan P_{SR} tidak berlaku.

Di samping unsur-unsur diatas ternyata bahwa unsur : P, S, B, As dan Sb juga mempertinggi kepekaan baja terhadap retak karena pembebasan tegangan.



Gambar 2.26 Diagram Schaeffler

Untuk menghindari keretakan ini, harus diusahakan untuk menggunakan baja dengan harga ΔG dan P_{SR} rendah. Karena retak ini juga terjadi oleh adanya konsentrasi tegangan seperti pada bagian kaki dari lasan, maka bagian ini harus diselesaikan sehalus mungkin sehingga tidak ada takikan. Di samping itu juga harus dihindari adanya garis las yang menyilang atau terlalu dekat satu sama lain.

3. Retak Panas

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul yang disebabkan oleh penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu

sedikit dibawah suhu pembekuan. Dengan demikian maka retak ini akan terjadi pada batas butir, karena pada tempat tersebut biasanya terbentuk senyawa dengan titik cair rendah. Karena itu unsur seperti Si, Ni, S, dan P akan mempertinggi kepekaan baja terhadap retak jenis ini.

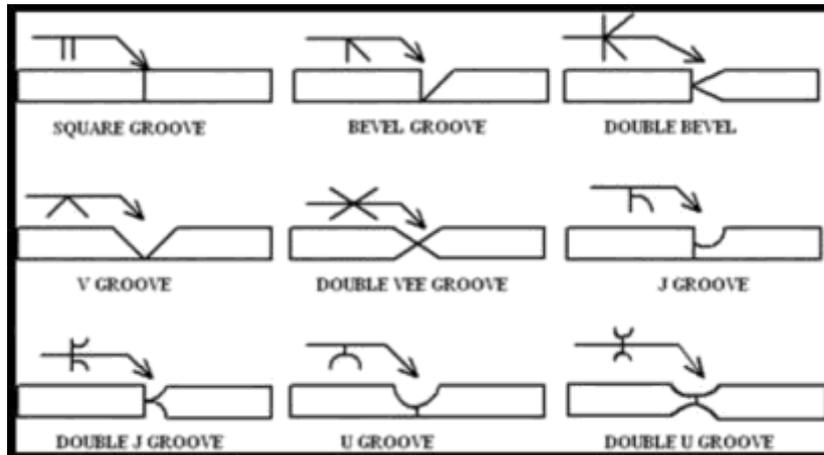
Usaha menghindari retak panas adalah menurunkan kadar Si dan Ni serendah mungkin dan menghilangkan kandungan S dan P sejauh mungkin. Dalam hal baja tahan karat austenit menghindarinya adalah mengusahakan agar 5 sampai 10% dari ferit δ terdapat dalam struktur austenit. Dalam memperkirakan jumlah ferit yang ada dalam austenit biasanya digunakan diagram Schaeffler seperti terlihat dalam gambar 2.25.

2.6 Jenis Sambungan Las

Jenis Sambungan Pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan. Jenis sambungan las mempunyai beberapa macam yang menjadi jenis sambungan utama yaitu Butt Joint, Fillet (T) Joint, Corner Joint, Lap Joint dan Edge Joint.

1). Butt Joint

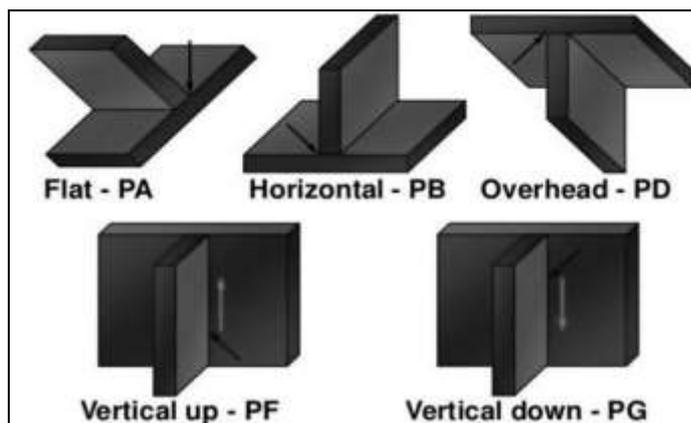
Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove untuk melihat *macam macam kampuh las* lebih detail silahkan lihat gambar berikut ini.



Gambar 2.27 Macam-macam Bentuk Kapuh Pada Butt Joint

2). T (Fillet) Joint

T joint adalah jenis sambungan yang berbentuk seperti huruf T, tipe sambungan ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan konstruksi atap, konveyor dan jenis konstruksi lainnya. Untuk tipe groove juga terkadang digunakan untuk sambungan fillet adalah double bevel, namun hal tersebut sangat jarang kecuali pelat atau materialnya sangat tebal. Berikut ini gambar sambungan T pada pengelasan.

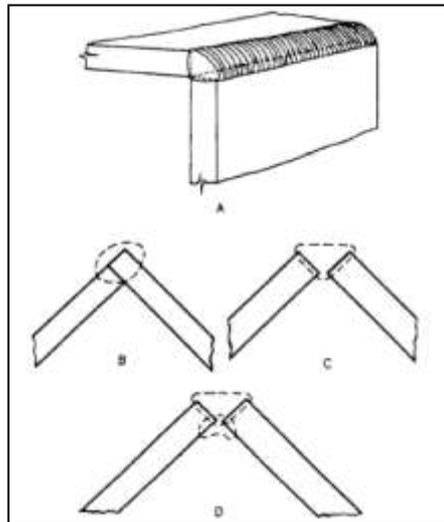


Gambar 2.28 Macam-macam Sambungan T (Fillet) joint

3). Corner Joint

Corner Joint mempunyai desain sambungan yang hampir sama dengan T Joint,

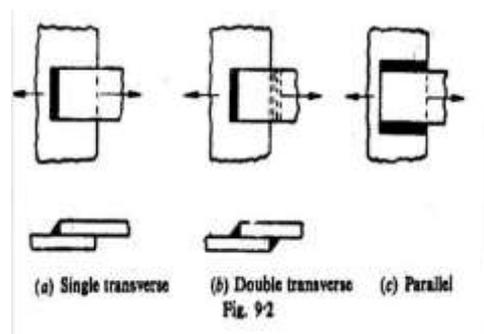
namun yang membedakannya adalah letak dari materialnya. Pada sambungan ini materialnya yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung. Ada dua jenis corner joint, yaitu close dan open. Untuk detailnya silahkan lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.29 Sambungan Corner Joint

4). Lap Joint

Tipe sambungan las yang sering digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Karena materialnya ini ditumpuk atau disusun sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada bagian body kereta dan cenderung untuk plat plat tipis. Jika menggunakan proses las SMAW, GMAW atau FCAW pengelasannya sama dengan sambungan fillet.



Gambar 2.30 Macam-Macam Sambungan Lap Joint

2.7 Jenis Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik dari satu media ke yang lain, biasanya dari sumber listrik ke perangkat atau bahan. Elektroda dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda, termasuk kawat, piring, atau tongkat, dan yang paling sering terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik nonlogam, seperti grafit. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis. Berikut adalah macam-macam dari elektroda :

Elektroda Berselaput 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 38 mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda. Tebal selaput elektroda 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.

b). 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 artinya sebagai berikut :
- E : menyatakan elektroda busur listrik
- XX (dua angka) : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan lb/in² lihat table.
- X (angka ketiga) : menyatakan posisi pengelasan.
- angka 1 untuk pengelasan segala posisi. angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan
- X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan lihat table.

c). Elektroda Baja Lunak Dan bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama, berikut macam-macam elektroda baja lunak :

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.

2.8 Elektroda AWS E 308-16

2.8.1 Elektroda AWS E 308-16

Elektroda Stainles steel dan mengadopsi teknologi asing canggih, AC dan DC, busur lembut dan percikan kecil, batang las tidak mudah untuk merah, weldability disemua posisi yang baik, dan kekuatan elektroda yang baik.

E30816 adalah elektroda ekstra rendah karbon untuk pengelasan tipe 304 L, 321 dan 347 stainless baja. Ferit dikendalikan di deposit mengelas memberikan kedudukan hebat ketangguhan pada suhu kriogenik. elektroda ini deposit maksimum 0.08%

karbon di dalam logam las untuk meminimalkan pembentukan carbides kromium dan konsekuen kerentanan terhadap intergranular korosi.

Tabel 2.1 komposisi kimia 308-16

Komposisi kimia	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
	≤ 0,08	0,5-2,5	≤ 0,9	≤ 0,03	≤ 0,04	18-21	9-11	≤ 0,75	≤ 0,75

Aplikasi: pengelasan ekstra-rendah karbon 00Cr21Ni10 stainless steel.

Tabel 2.2 Arus referensi (AC/DC)

Diameter elektroda (mm)	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0
Pengelasan saat ini (A)	20-50	50-80	80-110	110-160	160-200

2.9 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan-lahan, kemudian akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini terus berlanjut sampai bahan sampai titik propotionality limit. Setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan penambahan panjang yang lebih besar dan suatu saat terjadi penambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Hal ini dikatakan batang uji mengalami yield (luluh). Keadaan ini hanya berlangsung sesaat dan setelah itu akan naik lagi.

Kenaikan beban ini akan berlangsung sampai mencapai maksimum, untuk batang yang ulet beban mesin tarik akan turun lagi sampai akhirnya putus. Pada saat beban mencapai maksimum, batang uji mengalami pengecilan penampang setempat (local necking) dan penambahan panjang terjadi hanya disekitar necking tersebut. Pada batang getas tidak terjadi necking dan batang akan putus pada saat beban maksimum.

2.9.1 Tegangan Dan Regangan Pada Baja

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktur lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah yang sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang.

Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan. Dua batang uji tarik untuk sambungan las ditunjukkan pada Gambar 2.33 yang satu dengan arah tarikan melintang garis las dan yang lain dengan arah tarikan sejajar garis las. Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

di mana: F = beban (kg)

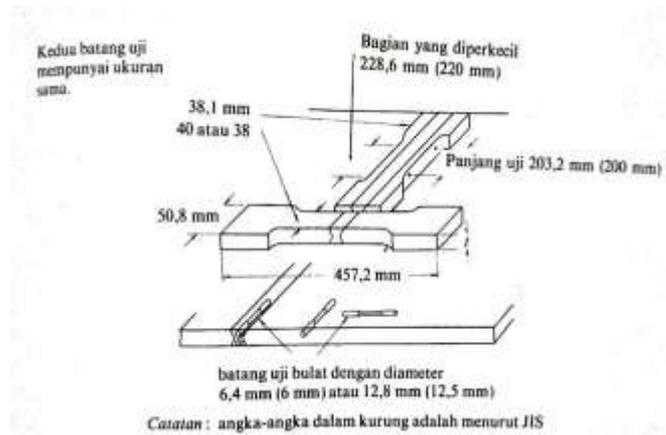
A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm²)

Regangan:

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

di mana: L_0 = panjang mula dari batang uji

L = panjang batang uji yang dibebani



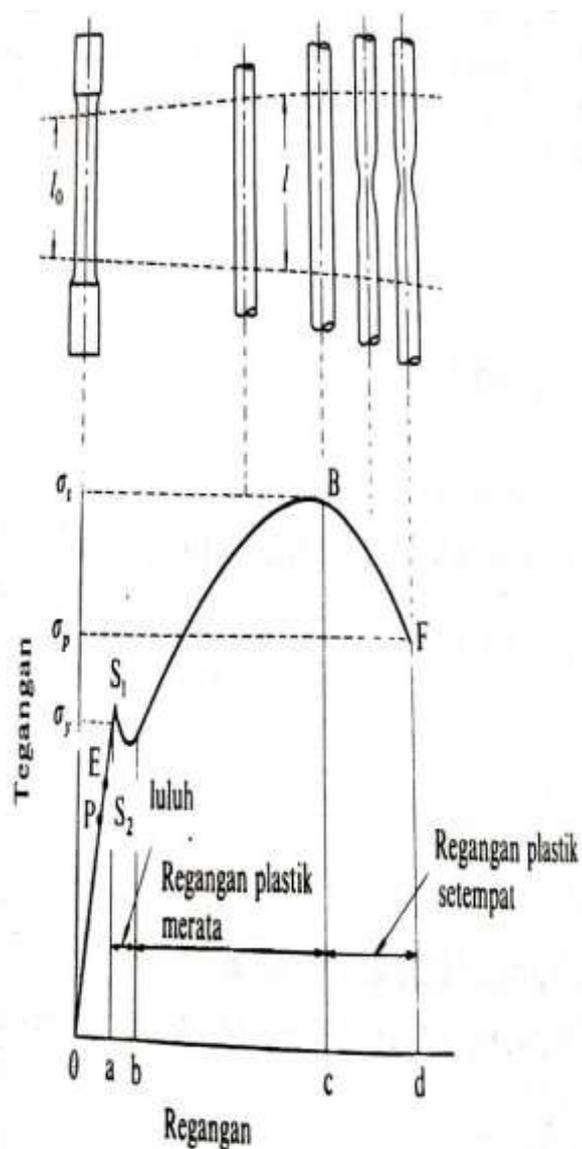
Gambar 2.31 Ukuran Batang Uji Tarik Menurut AWS

2.9.2 Kurva Tegangan Dan Regangan

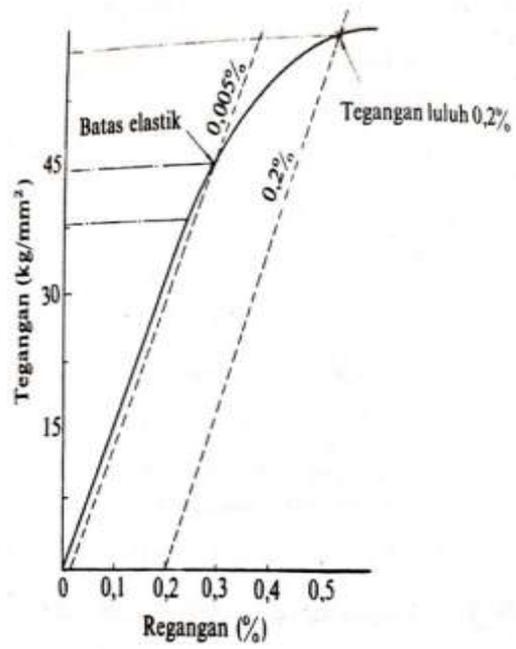
Hasil-hasil pengujian biasanya tergantung pada benda uji. Karena sangat kecil kemungkinannya kita menggunakan struktur yang ukurannya sama dengan ukuran benda uji, maka kita perlu menyatakan hasil pengujian dalam bentuk yang dapat diterapkan pada elemen struktur yang berukuran berapapun. Cara sederhana untuk mencapai tujuan ini adalah dengan mengkonversikan hasil pengujian tersebut ke tegangan dan regangan.

Setelah melakukan uji tarik atau tekan dan menentukan tegangan dan regangan pada berbagai taraf beban, kita dapat memplot diagram tegangan dan

regangan. Diagram tegangan-regangan merupakan karakteristik dari bahan yang diuji dan memberikan informasi penting tentang besar mekanis dan jenis perilaku. Bahan baja struktural, yang dikenal dengan baja lunak atau baja karbon rendah. Baja struktural adalah salah satu bahan metal yang paling banyak digunakan untuk gedung, jembatan, menara, dan jenis struktur lain. Diagram tegangan-regangan untuk baja struktural tipikal yang mengalami tarik diperlihatkan pada gambar berikut .



Gambar 2.32 Kurva Tegang-Regang Teknik



Gambar 2.33 Batas Elastik Dan Tegangan Luluh 0,2%