II. TIJAUAN PUSTAKA

A. Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Proses pengelasan *(welding)* merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan sehingga menghasilkan sambungan yang kotinu. Sedangkan definisi menurut *Deutche Industrie and Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan *melting* atau cair [Wiryosumarto, 1996].

Proses pengelasan memerlukan panas untuk meleburkan atau mencairkan logam dasar dan bahan pengisi agar terjadi aliran bahan atau peleburan. Energi pembangkit panas dapat dibedakan menurut sumbernya yaitu listrik, kimiawi, mekanis, dan bahan semikonduktor. Proses pengelasan yang paling umum, terutama untuk mengelas baja, yaitu memakai energi listrik sebagai sumber panas dan yang paling banyak digunakan adalah busur nyala (listrik). Busur nyala adalah pancaran arus listrik yang relatif besar antara elektroda dan logam dasar yang dialirkan melalui kolom gas ion hasil pemanasan.

Berdasarkan masukan panas (*heat input*) utama yang diberikan kepada logam dasar atau induk, proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua cara, yaitu [Wiryosumarto,1996] .

1.Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang berasal dari nyala api las(*fusion*), contohnya las busur (*arc welding*), las gas (*gas welding*), las sinar elektron (*electron discharge welding*), dan lain-lain.

2.Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang tidak berasal dari nyala api las (*nonfusion*), contohnya pengelasan dengan gesekan (*friction stirr welding*), las tempa, dan lain-lain.

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk keberhasilan proses pengelasan yaitu

1. Material yang akan disambung dapat mencair oleh panas.
2. Antara material yang akan disambung terdapat kesesuaian sifat lasnya.
3. Cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan penyambungan.

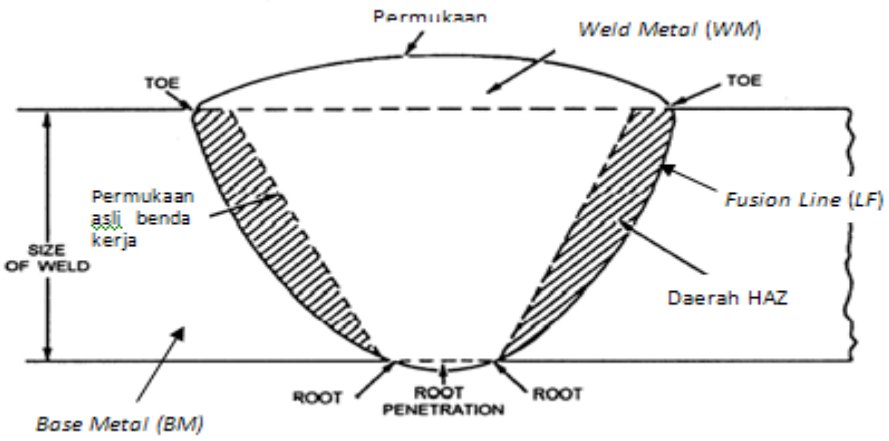
Dalam proses pengelasan, secara umum kita dapat mengkategorikan beberapa daerah hasil pengelasan (Gambar 1), sesuai dengan perbedaan karakteristik metalurginya yaitu [Timing,1992]:

1. *Weld Metal* (WM) atau logam las, merupakan daerah yang mengalami pencairan dan membeku kembali sehingga meyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya.

2. *Heat Affected Zone* (HAZ) atau daerah terkena pengaruh panas, merupakan daerah yang tidak terjadi pencairan dan pembekuan tetapi mengalami pengaruh panas sehingga terjadi perubahan struktur mikro.

3. *Fusion Line* (LF) atau daerah fusi, merupakan garis batas antara logam yang mencair dan daerah HAZ.

4. *Base Metal* (BM) atau logam induk, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat



Gambar 1. Daerah hasil pengelasan [Timing, 1992]

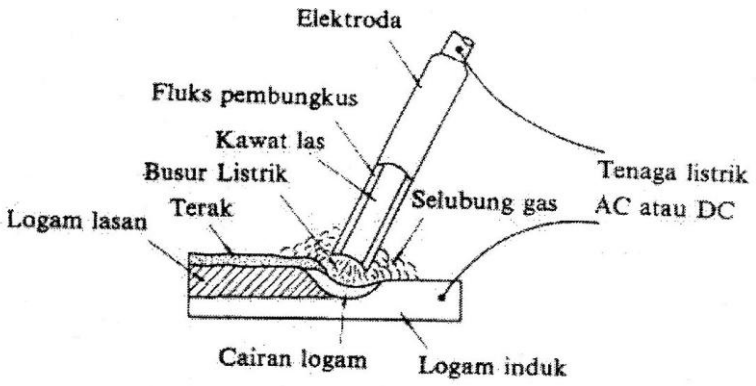
B. Las Busur Listrik

Proses pengelasan yang paling umum, terutama untuk mengelas baja yaitu memakai energi listrik sebagai sumber panas. Pengelasan dengan menggunakan energi listrik yang paling banyak digunakan adalah las busur listrik. Busur listrik adalah pancaran yang relatif besar antara elektroda dengan bahan dasar yang dialiri melalui kolom gas ion hasil pemanasan. Kolom gas ini disebut plasma.

Terjadinya busur nyala listrik diakibatkan oleh perbedaan tegangan listrik antara kedua kutub, yaitu benda kerja dan elektroda. Perbedaan tegangan ini disebut dengan tegangan busur listrik.

Las elektroda terbungkus atau pengelasan busur listrik logam terlindung (*Shieled Metal Arc Welding* atau SMAW) merupakan salah satu jenis yang paling sederhana dan paling canggih untuk pengelasan baja struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur nyala (listrik) antara elektroda yang dilapis dan logam yang akan disambung yang kemudian akan menjadi satu dan membeku bersama [Salmon, 1990].

Cara pengelasan dengan elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa sekarang. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Dalam gambar 2 dapat dilihat dengan jelas bahwa busur listrik terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda.



Gambar 2. Pengelasan SMAW [Wiryosumarto, 1996]

Elektroda yang dilapis akan habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke logam induk selama proses pengelasan. Kawat elektroda (kawat las) menjadi bahan pengisi dan lapisannya sebagian dikonversikan menjasi gas pelindung, sebagian menjadi terak (*slag*), dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk seperti senyawa flour, karbonat, oksida, paduan logam, dan selulosa. Campuran ini ditekan dan dipanasi hingga diperoleh lapisan konsentrasi kering dan keras [Salmon, 1990].

Jenis elektroda yang digunakan akan sangat menentukan hasil pengelasan, sehingga penting untuk mengetahui jenis dan sifat masing-masing elektroda sebagai dasar pemilihan elektroda yang tepat. Selain jenis elektroda yang harus dipilih dengan tepat, diameter elektroda las juga harus diperhatikan. Ukuran elektroda dipilih berdasarkan ukuran las yang akan dibuat dan arus listrik yang dihasilkan oleh alat las. Karena umumnya mesin las mempunyai pengatur untuk memperkecil maupun memperbesar arus listrik.

Berdasarkan selaput pelindungnya, elektroda dibedakan menjadi dua macam, yaitu elektroda polos dan elektroda beselaput.

Elektroda berselaput terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau *fluks*. Selaput elektroda atau *fluks* mempunyai fungsi-fungsi, antara lain [Bintoro, 2000]:

1) Mencegah terbentuknya oksida-oksida dan nitride logam, sewaktu proses pengelasan berlangsung.
2) Membuat kerak pelindung sehingga dapat mengurangi kecepatan pendinginan, hal ini bertujuan agar hasil lasan tidak getas dan rapuh.

3) Menstabilkan terjadinya busur api dan mengarahkan nyala busur api sehingga mudah dikontrol.
4) Mengontrol ukuran dan frekuensi tetesan logam cair.

Untuk pemilihan jenis elektroda yang digunakan, harus diperhatikan beberapa hal, yaitu [Bintoro, 2000].

1) jenis logam yang akan dilas;
2) ketebalan bahan yang akan dilas;
3) kekuatan mekanis yang diharapkan dari pengelasan;
4) posisi pengelasan; dan
5) bentuk kampuh benda kerja.

Kode elektroda, berupa huruf dan angka mempunyai arti khusus yang sangat berguna untuk pemilihan elektroda. Kode elektroda sudah distandarkan atau ditetapkan. Badan standarisasi kode elektroda yaitu AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Simbol atau kode yang diberikan yaitu satu huruf E diikuti oleh 4 (empat) atau 5 (lima) angka dibelakangnya [Bintoro, 2000].

Sebagai contoh elektroda dengan kode **E7016**, artinya yaitu [Bintoro, 2000]:

E : elektroda untuk las busur listrik

70 : menyatakan nilai kekuatan tarik minimum dari hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 psi, menjadi 70.000 psi.

1 : menyatakan posisi pengelasan, angka 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.

6 : elektroda dengan penembusan sedang, dan bahan dari selaput soda hidrogen rendah.

Angka urutan ke 3 (tiga) pada kode elektroda yaitu angka yang menyatakan posisi pengelasan :

1 : Semua posisi pengelasan

2 : Pengelasan posisi horizontal dan di bawah tangan

3 : Pengelasan posisi di bawah tangan

Angka terakhir pada kode elektroda :

0 : Elektroda dengan penembusan dalam, dan bahan dari selaput selulosa soda.

1 : Elektroda dengan penembusan dalam, dan bahan dari selaput selulosa potassium.

2 : Elektroda dengan penembusan sedang, dan bahan dari selaput titania sodium.

3 : Elektroda dengan penembusan dangkal, dan bahan dari selaput titania rutil.

4 : Elektroda dengan penembusan sedang, dan bahan dari selaput titania serbuk besi.

5 : Elektroda dengan penembusan sedang, dan bahan dari selaput soda hidrogen rendah.

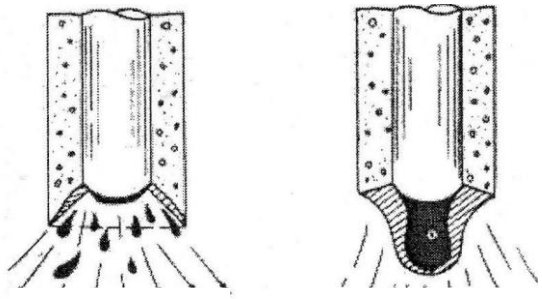
6 : Elektroda dengan penembusan sedang, dan bahan dari selaput soda hidrogen rendah.

7 : Elektroda dengan penembusan menengah, dan bahan dari selaput oksida besi.

8 : Elektroda dengan penembusan dangkal dan menengah, dan bahan dari selaput serbuk besi hidrogen rendah.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi.

Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus (Gambar 3a) dan sebaliknya bila arus listriknya kecil maka butiran logam tidak halus (Gambar 3b). Hasil pengelasan yang mempunyai sifat yang baik yaitu pemindahan terjadi dengan butiran yang halus [Wiryosumarto, 1996].

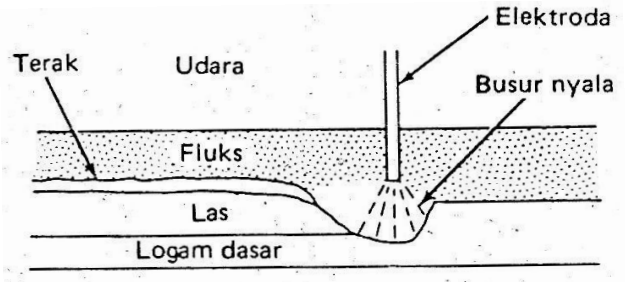


a. Arus Tinggi b. Arus Rendah

Gambar 3. Pemindahan logam cair [Wiryosumarto, 1996]

Proses pengelasan busur nyala lainnya yaitu [Salmon, 1990]:

1) Pengelasan busur nyala terbenam (*Submerged Arc Welding* atau SAW) Pada proses SAW, busurnya tidak terlihat karena tertutup oleh lapisan bahan *granular* (berbentuk butiran) yang melebur (gambar 4). Elektroda logam telanjang akan habis karena ditimbun sebagai bahan pengisi. Ujung elektroda terus terlindung oleh cairan fluks yang berada di bawah lapisan fluks *granular* yang tak terlebur.

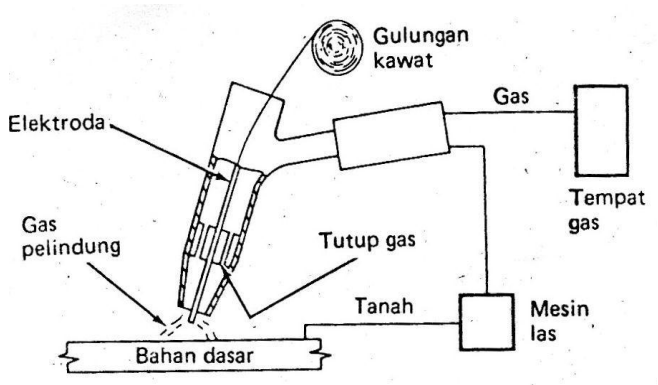


Gambar 4. Pengelasan SAW [Salmon, 1990]

Fluks yang merupakan ciri khas dari metode ini, memberikan penutup sehingga pengelasan tidak menimbulkan kotoran sepanjang kampuh, percikan api atau asap. Fluks *granular* biasanya terletak secara otomatis sepanjang kampuh di permukaan lintasan gerak elektroda. Hasil pengelasan yang menggunakan proses SAW memiliki mutu yang tinggi dan merata, kekuatan kejut (*impact*) yang tinggi, kerapatan yang tinggi dan tahan karat yang baik. Sifat mekanis las ini sama baiknya seperti bahan dasar.

2) Pengelasan busur nyala logam gas (*Gas Metal Arc Welding* atau GMAW)

Pada prose GMAW, elektrodanya adalah kawat menerus dari gulungan yang disalurkan melalui pemegang elektroda (alat yang berbentuk pistol seperti gambar 5). Perlindungan dihasilkan seluruhnya dari gas atau campuran gas yang diberikan dari luar.



Gambar 5. Pengelasan GMAW [Salmon, 1990]

Selain melindungi logam yang meleleh dari atmosfir, gas pelindung mempunyai fungsi sebagai berikut :

a) mengontrol karakteristik busur nyala dan pemindahan logam;

b) mempengaruhi penetrasi, lebar peleburan, dan bentuk daerah lasan;

c) mempengaruhi kecepatan pengelasan; dan

d) mengontrol peleburan berlebihan (*undercutting*).

3) Pengelasan busur nyala berinti fluks (*Flux Cored Arc Welding* atau FCAW)

Proses FCAW sama seperti GMAW tetapi elektroda logam pengisi yang menerus berbentuk tubular (seperti pipa) dan mengandung bahan fluks dalam intinya. Bahan inti ini sama fungsinya seperti lapisan SMAW atau fluks granular pada SAW. Untuk kawat yang diberikan secara menerus, lapisan luar tidak akan tetap lekat pada kawat. Gas pelindung dihasilkan oleh inti fluks tetapi biasanya diberi gas pelindung tambahan dengan gas CO_2.

4) Pengelasan terak listrik (*Electro Slag Welding* atau ESW) Proses ESW merupakan proses pengelasan yang digunakan terutama untuk pengelasan dalam posisi tegak atau vertikal. Ini biasanya dipakai untuk memperoleh las lintasan tunggal (sekali jalan) seperti untuk sambungan pada penampang kolom yang besar. Logam las yang ditimbun ke dalam alur yang dibentuk oleh tepi pelat yang terpisah dan alas yang didinginkan dengan air. Terak cair yang konduktif melindungi las serta mencairkan bahan pengisi dan tepi pelat. Karena terak padat tidak konduktif, busur nyala diperlukan untuk mengawali proses dengan mencairkan terak dan memanaskan pelat.

5) Pengelasan *stud*

Proses yang paling umum digunakan dalam pengelasan stud (baut tanpa ulir) ke bahan dasar atau logam induk disebut pengelasan stud busur nyala (*arc stud welding*). Proses ini bersifat otomatis tetapi karakteristiknya sama seperti proses SMAW. Stud berlaku sebagai elektroda, dan busur listrik timbul dari ujung stud ke pelat.

C. Posisi Pengelasan

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengealasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi-posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan di bawah tangan (down hand position), posisi pengelasan mendatar (horizontal position) , posisi pengelasan tegak (vertical position), dan posisi pengelasan di atas kepala (over head position) [Bintoro,2000].

1) Posisi pengelasan di bawah tangan (down hand position) Posisi pengelasan ini adalah posisi yang paling mudah dilakukan. Posisi ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan agak miring, yaitu letak elektroda berada di atas benda kerja (Gambar 6a).
2) Posisi pengelasan mendatar (horizontal position)

   Mengelas dengan posisi mendatar merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis mendatar/horizontal. Pada posisi pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda harus diperhatikan, karena akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit dari arah elektroda las. Pengelasan posisi mendatar sering digunakan unutk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak (Gambar 6b). Misalnya pengelasan badan kapal laut arah horizontal.
3) Posisi pengelasan tegak (*vertical position*)

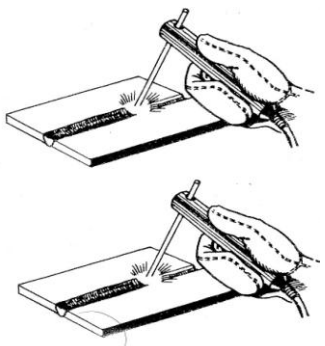
   Mengelas dengan posisi tegak merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis tegak/vertikal. Seperti pada *horizontal position* pada *vertical position*, posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit

searah dengan gerak elektroda las yaitu naik atau turun (Gambar 6c). Misalnya pengelasan badan kapal laut arah vertikal.

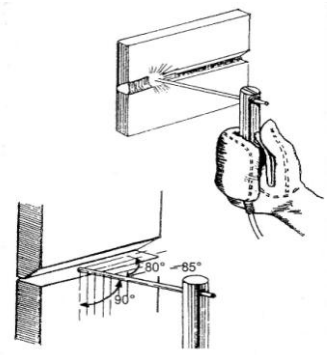
4) Posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*)

Benda kerja terletak di atas kepala *welder*, sehingga pengelasan dilakukan di atas kepala operator atau *welder*. Posisi ini lebih sulit dibandingkan dengan posisi-posisi pengelasan yang lain. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau agak miring tetapi posisinya berada di atas kepala, yaitu letak elektroda berada di bawah benda kerja (Gambar 6d). Misalnya pengelasan atap gudang bagian dalam.

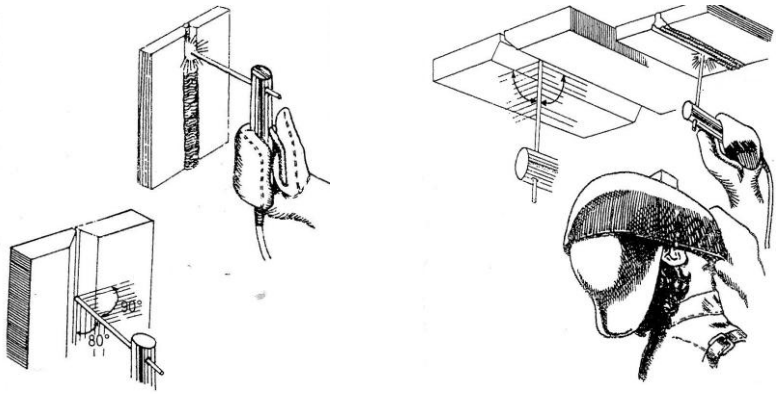
Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*) memungkinkan penetrasi dan cairan logam tidak keluar dari kampuh las serta kecepatan pengelasan yang lebih besar dibanding lainnya. Pada *horizontal position*, cairan logam cenderung jatuh ke bawah, oleh karena itu busur (*arc*) dibuat sependek mungkin. Demikian pula untuk *vertical* dan *over head position.* Penimbunan logam las pada pengelasan busur nyala terjadi akibat medan *electromagnetic* bukan akibat gravitasi, pengelasan tidak harus dilakukan pada *down hand position* ataupun *horizontal position* [Bintoro, 2000].



(a) *Down hand position*



(b) *Horizontal position*

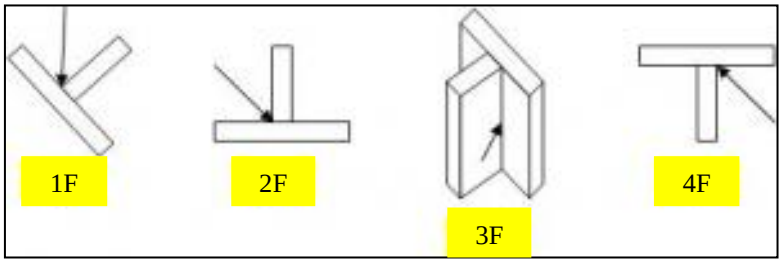


(c) *Vertical position* (d) *Over head position*

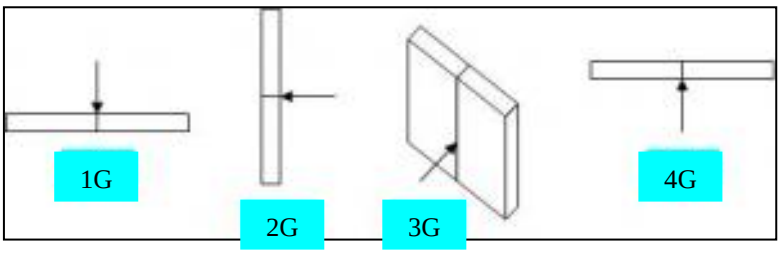
Gambar 6. Posisi pengelasan [Bintoro, 2000]

Penempatan benda kerja disesuaikan dengan permintaan, dalam hal ini adalah menyesuaikan posisi pengelasan.

Contoh posisi-posisi pengelasan seperti gambar berikut :

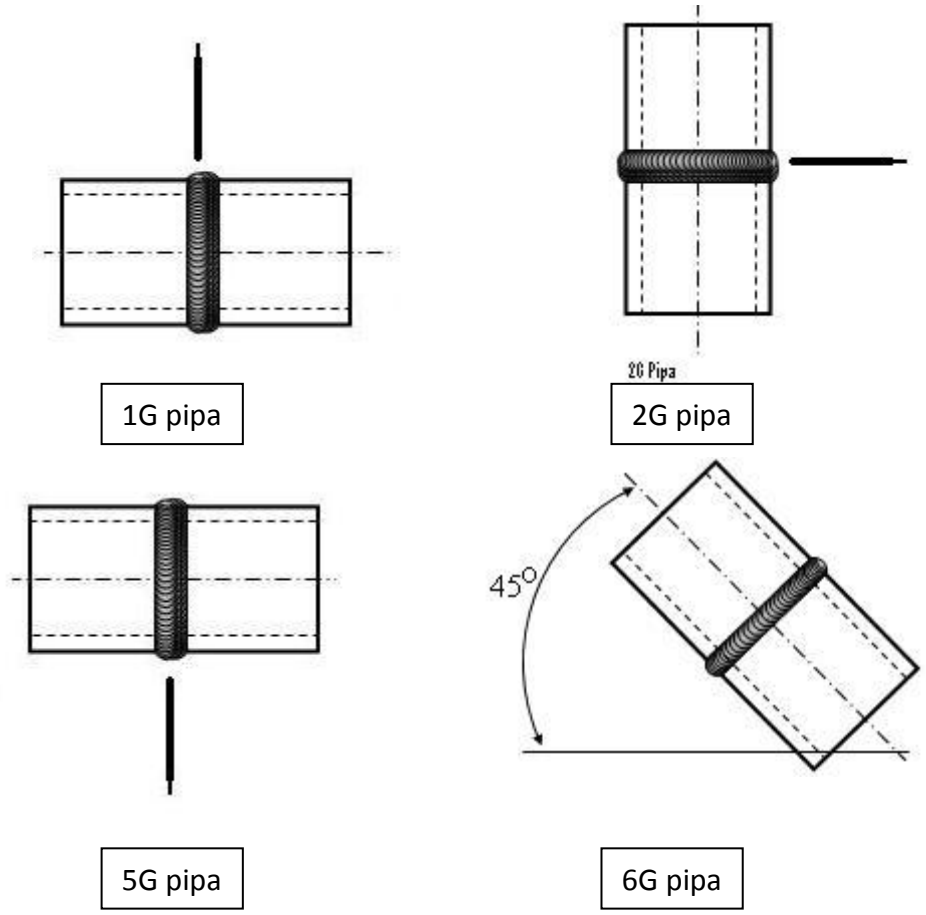


(a) fillet joint (T-joint)



(b) butt joint

Gambar 7. Posisi-posisi pengelasan



Gambar 8. Posisi-posisi pengelasan untuk pengelasan pipa

Posisi pengelasan 1G pipa, pada pengelasan pipa 1G ini, pipa diputar dan pengelasan tetap memposisikan elektroda di atas material (*down hand position*).

Pengelasan 2G pipa, pipa diam, juru las mengelas mengitari pipa atau sama seperti *horizontal position.*

Pengelasan 5G pipa, pipa diam, juru las mengelas diawali dari bagian bawah terus melingkar berhenti di pipa bagian atas pada sisi sebelahnya. Pada sisi lain dilakukan dengan cara yang sama yaitu diawali dari bawah terus melingkar dan berhenti di atas. pengelasan ini disebut dengan posisi pengelasan 5G *up Hill* atau *vertical position.*

Posisi pengelasan di atas kepala adalah posisi 6G. Pemasangan pipa dimiringkan 45 derajat terhadap sumbu *horizontal*. Pengelasan dilakukan dari pipa bagian bawah terus melingkar ke arah kanan/kiri dan berhenti di atas. Dilanjutkan dengan pengelasan sebaliknya diawali dari bawah dan terus melingkar berhenti di bagian atas. Cara pengelasan seperti ini disebut 6G *up hill* atau seperti *over head position.*

Angka-angka pada posisi-posisi pengelasan tersebut di atas menunjukkan tingkatan-tingkatan posisi pengelasan. Angka yang semakin tinggi berarti menujukkan kwalifikasi yang tinggi pula.

Posisi-posisi pengelasan di atas menunjukkan kwalifikasi juru las yang berhak mengelasnya. ika juru las memiliki sertifikat kwalifikasi 6G, maka juru las tersebut diperbolehkan untuk mengelas semua posisi. Tetapi jika juru las tersebut memiliki sertifikat 4G *plate*, maka juru las tersebut tidak boleh menglas pipa posisi apapun, tetapi boleh mengelas posisi pengelasan 1F, 2F, 3F, 4F maupun 1G, 2G, 3G dan 4G [www.google.com].

Seorang tukang las atau *welder* sebaiknya menghindari (bila mungkin) posisi menghadap ke atas atau pengelasan di atas kepala karena merupakan posisi yang paling sulit, tetapi pengelasan di lapangan dapat memerlukan sembarang posisi pengelasan yang tergantung pada orientasi sambungan. Posisi pengelasan di lapangan harus diperhatikan dengan teliti.

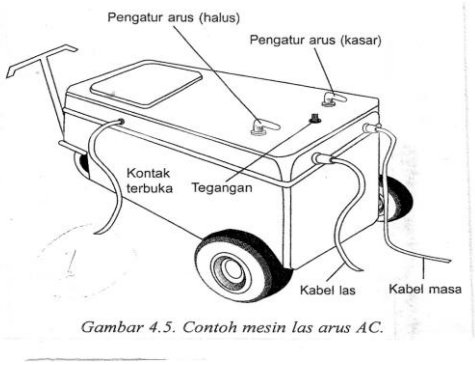
D. Mesin Las

Mesin las pada unit peralatan las berdasakan arus yng dikeluarkan pada ujung-ujung elektroda dibedakan menjadi sebagai berikut [Bintoro, 2000]:

1. Mesin las arus bolak-balik (mesin AC)

Arus listrik bolak-balik atau arus AC yang dihasilkan pembangkit listrik (PLN atau generator AC), dapat digunakan sebagai sumber tenaga dalam proses pengelasan. Tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik belum sesuai dengan tegangan yang digunakan untuk pengelasan. Bisa terjadi tegangan terlalu tinggi atau terlalu rendah, sehingga besarnya tegangan perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan cara menurunkan atau menaikkan tegangan. Alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan disebut *transformator* atau *trafo*. Kebanyakan *trafo* yang digunakan pada peralatan las adalah *trafo step-down*, yaitu *trafo* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Hal ini disebabkan listrik dari pembangkit listrik mempunyai tegangan yang tinggi (110 *volt* sampai 240 *volt*), padahal kebutuhan tegangan yang dikeluarkan oleh mesin las untuk pegelasan hanya 55 *volt* sampai 85 *volt.*

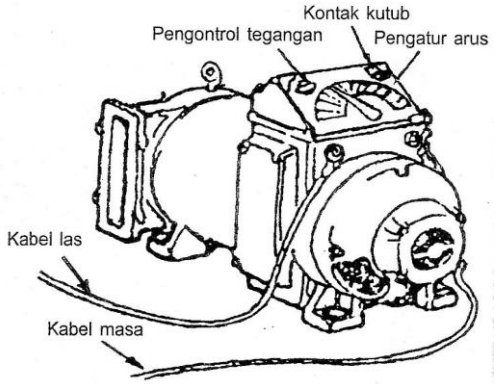
Trafo yang digunakan untuk pengelasan mempunyai daya yang cukup besar. Untuk mencairkan sebagian logam induk dan elektroda dibutuhkan energi yang besar. Untuk menghasilkan daya yang besar maka perlu arus yang besar. Dengan aliran arus yang besar maka perlu kabel lilitan sekunder yang berdiameter besar. Arus yang digunakan untuk pengelasan busur listrik berkisar antara 10 *ampere* sampai 500 *ampere*. Besarnya arus listrik dapat diatur sesuai dengan keperluan pengelasan.



Gambar 9. Mesin las arus AC [Bintoro, 2000]

2. Mesin las arus searah (mesin DC)

Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin las yng berupa dinamo motor listrik searah. Dinamo dapat digerakkan oleh motor listrik, motor bensin, motor diesel, dan penggerak mula lainnya. Mesin arus searah yang menggunakan penggerak mula memerlukan peralatan yng berfungsi sebagai penyearah arus. Penyearah atau *rectifier* berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC).



Gambar 10. Mesin las arus DC [Bintoro, 2000]

Mesin las AC dan mesin las DC mempunyai kelebihan masing-masing, seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kelebihan mesin las AC dan DC [Bintoro, 2000]

Mesin Las AC	Mesin Las DC
1. Perlengkapan dan perawatan lebih murah 2. Kabel massa dan kabel elektroda dapat ditukar 3. Hasil pengelasan tidak keropos pada rigi-rigi las	1 Nyala busur listrik yang dihasilkan stabil 2 Dapat menggunakan semua jenis elektroda 3 Dapat digunakan untuk pengelasan pelat tipis

Gangguan-gangguan yang sering timbul dari mesin las yaitu tegangan melemah atau turun dan mesin las terlalu panas. Gangguan-gangguan tersebut menyebabkan mesin las tidak mengeluarkan arus listrik atau nyala busur listrik melemah.

E. Terminologi Pengelasan

Beberapa istilah dalam pengelasan yang sering dijumpai, yaitu [Sonowan, 2003]:

1. Dilusi

   Dilusi merupakan perbandingan antara logam induk yang mencair dengan logam las. Dilusi dapat diperoleh dengan membandingkan luas penampang logam induk yang mencair dengan luas penampang logam las.

2. Elektroda

   Kutub listrik terbagi menjadi dua yaitu anoda yang bermuatan positif dan katoda yang bermuatan negatif. Istilah ini biasanya ada dalam pengelasan

yang melibatkan listrik, misalnya SMAW. Dalam SMAW, elektroda juga berperan sebagai kawat las yang menyuplai logam las.

3. HAZ (*Heat Affected Zone*)

HAZ merupakan daerah terpengaruh panas dan mengalami perubahab struktur mikro, dan terletak pada logam induk di kiri-kanan logam las.

4. Kampuh Las

Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang nantinya akan diisi oleh deposit las atau logam las (*weld metal*). Kampuh las awalnya
berupa kubangan las (*weld pool*) yang kemudian diisi dengan logam las.

5. Logam Induk

Logam induk merupakan logam yang akan dilas.

6. Logam Las

Logam las merupakan campuran dari logam induk dan logam pengisi yang mencair dan kemudian membeku.

7. Logam Pengisi

Logam pengisi merupakan logam yang ditambahkan dari luar untuk mengisi kampuh.

8. Manik Las

Manik las merupakan bagian dari logam las yang dilihat dari atas pelat.

9. Penetrasi

Penetrasi merupakan kedalaman penembusan logam las dalam logam induk.

10. Polaritas Balik

Polaritas balik merupakan istilah pengkutuban listrik pada pengelasan busur listrik dimana kutub positif dihubungkan ke elektroda dan kutub negatif dihubungkan ke logam induk.

11. Polaritas Lurus

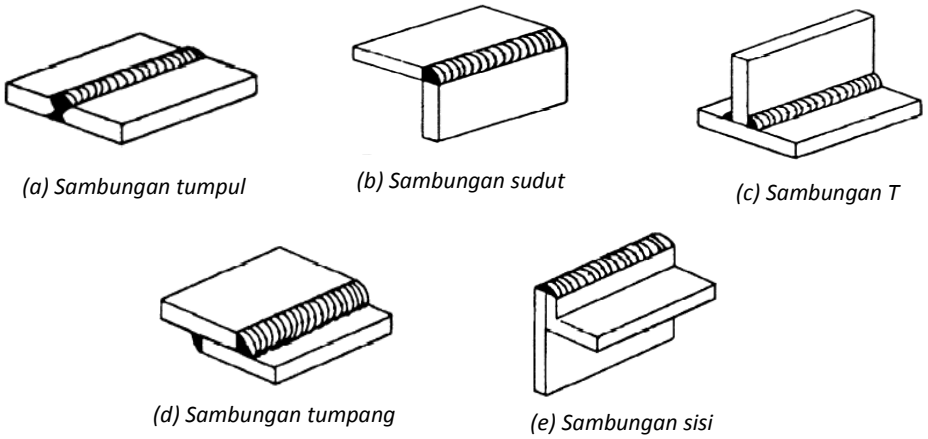
Polaritas lurus merupakan istilah pengkutuban listrik pada pengelasan busur listrik dimana kutub positif dihubungkan ke logam induk dan kutub negatif dihubungkan ke elektroda.

12. Sambungan Las

Sambungan las merupakan bagian dari logam induk yang akan disambung dan tempat terjadinya pencairan logam induk.

F. Jenis Sambungan Las

Sambungan las dalam kontruksi baja dibagi menjadi beberapa sambungan antara lain sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, sambungan tumpang, sambungan silang, sambungan dengan penguat, dan sambungan sisi (seperti ditunjukkan dalam gambar 11).Pemilihan jenis sambungan las terutama berdasarkan pada ketebalan pelat yang dilas. Dalam pengelasan ada yang disebut dengan pelat tipis dan pelat tebal. Menurut AWS (*American Welding Society*) disebut pelat tipis apabila ketebalannya kurang dari 1 inch atau sama dengan 25.4 mm, dan disebut pelat tebal jika ketebalannya lebih dari 1 inch [Wiryosumarto, 1996].



Gambar 11. Jenis-jenis sambungan las [Wiryosumarto, 1996]

Ada tiga faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis sambungan, yaitu:

1) luas penampang sambungan las,
2) persiapan kampuh atau pembuatan kampuh, dan
3) kemudahan proses pengelasan dikaitkan dengan proses pengelasan dan posisi pengelasan.

G. Cacat Pada Las

Teknik dan prosedur pengelasan yang tidak baik menimbulkan cacat pada hasil pengelasan yang menyebabkan diskontinuitas dalam las. Cacat yang sering dijumpai yaitu [Salmon, 1990]:

1. Peleburan tidak sempurna

Terjadi karena logam dasar (induk) dan logam las yang berdekatan tidak melebur bersama secara menyeluruh. Ini dapat terjadi jika permukaan yang akan disambung tidak dibersihkan dengan baik dan dilapisi kotoran, terak, oksida, atau bahan lainnya. Penyebab lain dari cacat ini adalah pemakaian peralatan las yang

arus listriknya tidak memadai, sehingga logam dasar tidak mencapai titik lebur sempurna. Laju pengelasan yang terlalu cepat juga dapat menimbulkan pengaruh yang sama.

2. Penetrasi kampuh yang tidak memadai

Penetrasi kampuh yang tidak memadai adalah keadaan di mana kedalaman las kurang dari tinggi alur yang ditetapkan. Keadaan ini diperlihatkan pada gambar 13b yang seharusnya merupakan penetrasi sempurna. Cacat ini, terutama berkaitan dengan las tumpul, terjadi akibat perencanaan alur yang tidak sesuai dengan proses pengelasan yang dipilih, elektroda yang terlalu besar, arus listrik yang tidak memadai, atau laju pengelasan yang terlalu cepat.

3. Porositas

Porositas terjadi bila rongga-rongga gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. Cacat ini ditimbulkan oleh arus listrik yang terlalu tinggi, busur nyala yang terlalu panjang., dan prosedur pengelasan yang buruk.

4. Peleburan berlebihan

Peleburan berlebihan adalah terjadinya alur pada logam induk di dekat ujung kaki las yang tidak terisi oleh logam las. Arus listrik dan panjang busur nyala yang berlebihan dapat membakar atau menimbulkan alur pada logam induk. Cacat ini mudah terlihat dan dapat diperbaiki dengan memberi las tambahan.

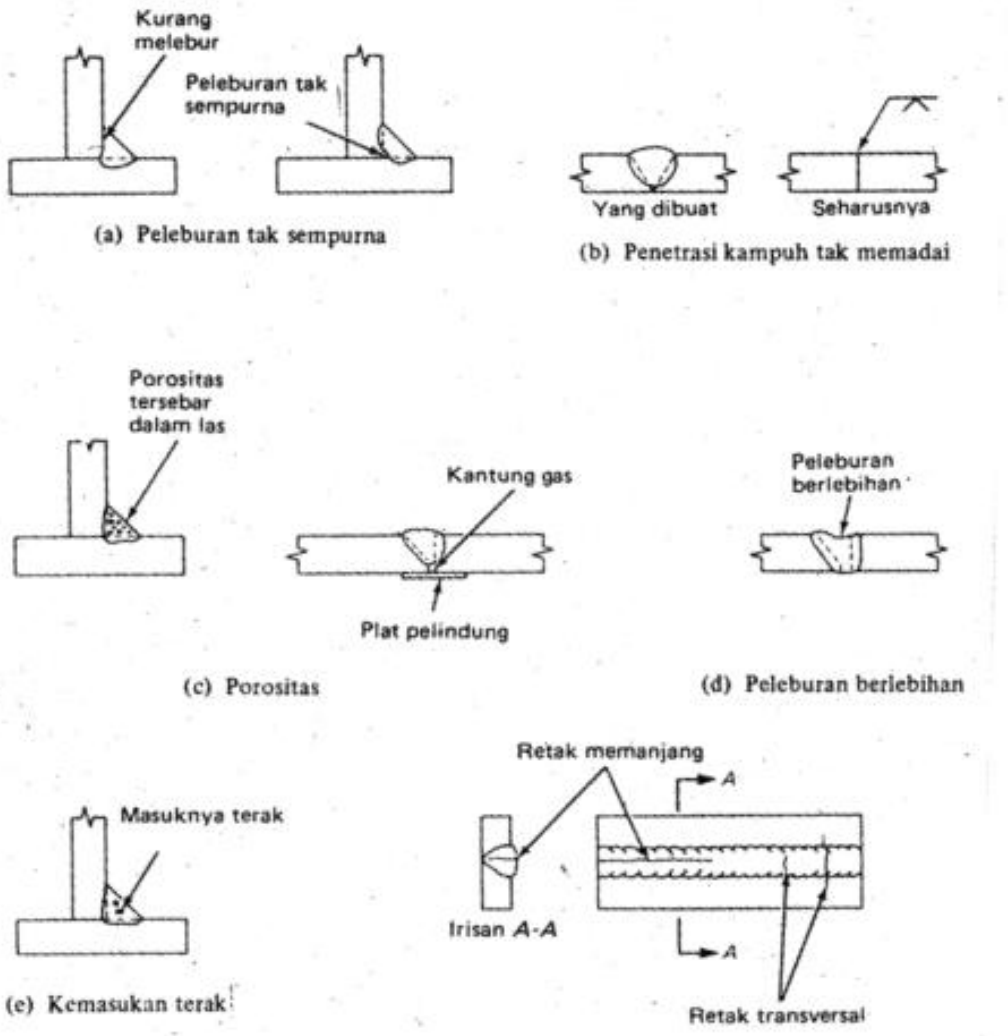
5 Kemasukan terak

Kerapatan terak lebih kecil dari logam las yang mencair, oleh karena itu terak biasanya berada pada permukaan dan dapat dihilangkan dengan mudah setelah dingin. Namun pendinginan yang terlalu cepat dapat menjerat terak sebelum naik

ke permukaan. Posisi pengelasan di atas kepala sering mengalami kemasukan terak dan harus diperiksa dengan teliti. Bila beberapa lintasan las dibutuhkan untuk memperoleh ukuran las yang dikehendaki, tukang las (*welder*) harus membersihkan terak yang ada sebeum memulai lintasan baru. Kelalaian seperti ini merupakan penyebab utama masuknya terak.

6 Retak

Retak adalah terjadi pecah pada logam alas, baik searah ataupun transversa terhadap garis las, yang ditimbulkan oleh tegangan internal. Retak merupakan cacat las yang paling berbahaya. Namun, retak halus (retak mikro atau *mikrofissures*) umumnya tidak mempunyai pengaruh yang berbahaya.



Gambar 12. Cacat las yang mungkin terjadi [Salmon, 1990]

Retak kadang-kadang terbentuk ketika las mulai memadat dan umumnya diakibatkan oleh unsur-unsur yang getas (besi ataupun elemen paduan) yang terbentuk sepanjang serat pembatas. Pemanasan yang merata dan pendinginan yang lebih lambat akan mencegah pembentukan retak.

H. Baja Karbon

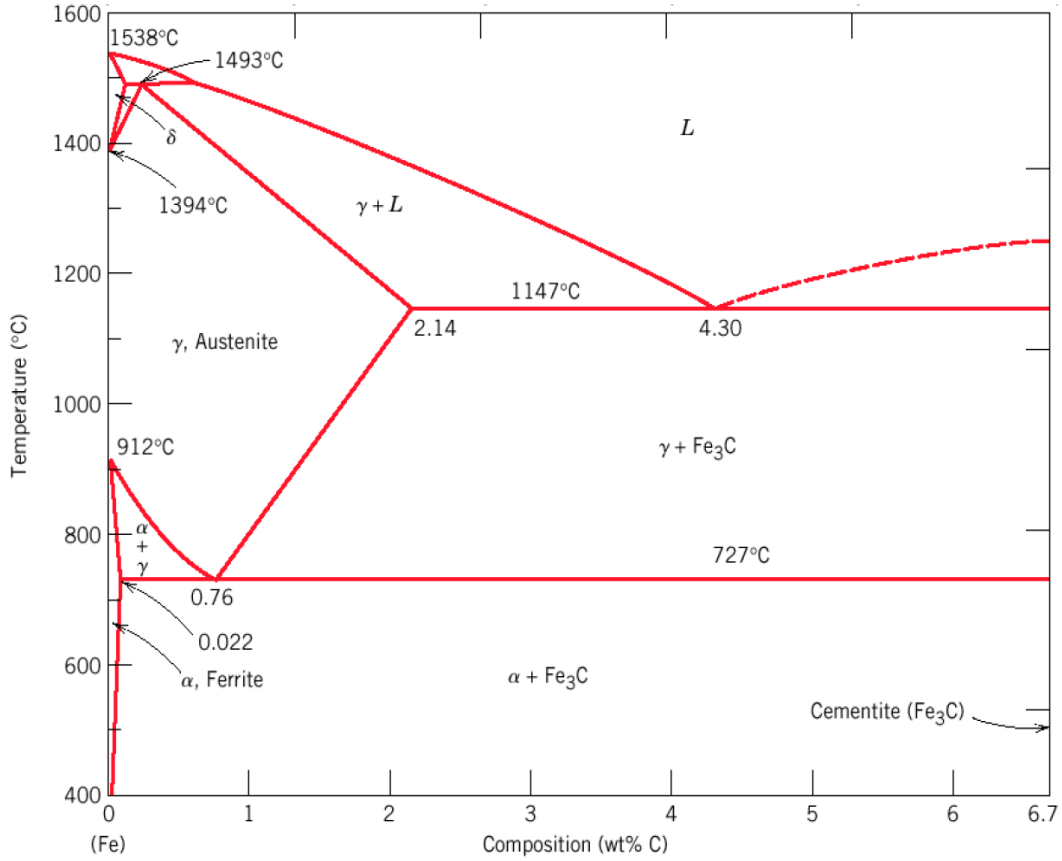
Baja karbon adalah baja paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon.

Logam baja dihasilkan dari pengolahan lanjut besi kasar pada dapur konventer, Siemens Martin atau dapur listrik, dimana hasil pengolahan dari dapur menghasilkan baja karbon yang mempunyai kandungan karbon maksimum 1,7 %. Baja karbon sangat banyak jenisnya, dimana komposisi kimia, sifat mekanis, ukuran, bentuk dan sebagainya dispesifikasikan untuk masing-masing penggunaan pada Standar Industri Jepang (JIS) dan Standar Amerika (ASTM).

Besi murni bersifat lunak, tidak kuat sehingga penggunaannya di dunia teknik kurang luas. Untuk menambah kekuatan, karbon (C) 2% atau kurang ditambahkan ke besi murni membentuk material struktur campuran besi karbon. Material ini disebut baja karbon. Disamping karbon, baja karbon terdiri dari sejumlah kecil mangan (Mn), dan silikon (Si), dan sedikit phospor (P) serta belerang (S) sebagai unsur-unsur pada pembuatan baja. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon yang terdapat didalamnya, bila kadar karbon naik maka nilai kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi tetapi perpanjangannya akan menurun. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya [Wiryosumarto, 1996].

Gambar 14. menunjukkan diagram keseimbangan fasa Fe-C untuk kandungan karbon hingga 6,7%. Baja merupakan paduan dari besi, karbon dan elemen-elemen lain, yang kandungan karbonnya kurang dari 2%. Wilayah pada diagram dengan kadar karbon di bawah 2% menjadi perhatian utama untuk proses *heat*

treatment pada baja. Diagram fasa hanya berlaku untuk perlakuan panas pada baja hingga mencair, dengan proses pendinginan perlahan-lahan, sedangkan pada proses pendinginan cepat, menggunakan diagram CCT (C*ontinuous Cooling Temperature*).



Gambar 13. Diagram keseimbangan fasa Fe_3C

Untuk mengetahui perubahan fasa pada baja karbon dapat dijelaskan menggunakan diagram keseimbangan fasa Fe-C yang ditunjukkan pada gambar 1. diagram tersebut didasarkan pada transformasi yang terjadi sebagai hasil pemanasan dan pendinginan yang lambat. Besar kecilnya penurunan temperatur sangat dipengaruhi oleh cepat atau lambatnya laju pendinginan. Fasa-fasa yang terdapat pada diagram tersebut antara lain austenit, ferit, perlit, sementit, dan lain-lain [Sonawan, 2003].

Karbon merupakan elemen pengeras besi yang efektif dan murah, oleh karena itu sejumlah besar baja komersial hanya mengandung sedikit unsur paduan. Jumlah persentase dan bentuknya membawa pengaruh yang besar terhadap sifatnya. Tujuan utama penambahan unsur campuran lain ke dalam baja adalah untuk mengubah pengaruh dari unsur karbon. Bila dibandingkan dengan kandungan karbonnya, maka dibutuhkan sejumlah besar unsur campuran lain untuk menghasilkan sifat yang dikehendaki pada baja. Unsur karbon dapat bercampur dalam besi dan baja setelah didinginkan secara perlahan-lahan pada temperatur kamar dalam bentuk berikut, [Amanto, 1991].

a. Larut dalam besi untuk membentuk fasa ferit yang mengandung karbon di atas 0,006% pada temperatur kamar. Unsur karbon akan naik lagi sampai 0,03% pada temperatur 725°C, ferit bersifat lunak, tidak kuat dan kenyal.
b. Sebagai campuran kimia dalam besi, campuran ini disebut sementit (Fe_3C) yang mengandung 6,67% karbon. Sementit bersifat keras dan rapuh. Sementit dapat larut dalam besi berupa sementit yang bebas atau tersusun dari lapisan - lapisan dengan ferit yang menghasilkan struktur perlit. Perlit adalah gabungan sifat yang baik dari ferit dan sementit.

Tabel 2. Klasifikasi baja karbon [Wiryosumarto, 1996]

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm)	Kek. Tarik (kg/mm)	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon Rendah :					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-	20-29	36-42	80-120	Batang,kawat
Baja Lunak	0,12	22-30	38-48	100-130	Kontruksi
Baja Setengah Lunak	0,12-0,2	24-36	44-55	112-145	umum
	0,2-0,3				
Baja Karbon Sedang		30-40	50-60	140-170	Alat-alat mesin
	0,3-0,5				
Baja Karbon Tinggi :					Perkakas
Baja Keras		34-46	58-70	160-200	Rel, pegas,
Baja Sangat Keras	0,5-0,6	36-47	36-47	180-235	kawat piano
	0,6-0,8				

Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon < 0,30%, baja karbon sedang mengandung (0,30-0,45)% karbon, dan baja karbon tinggi mengandung karbon (0,45-1,70)% [Wiryosumarto, 1996]. Semakin tinggi kadar karbon pada baja maka kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi**.**

1. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon Tinggi adalah baja karbon yang mengandung 0,50% sampai 0,80% karbon. Baja karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras ini ditambah dengan difusi hidrogen menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Baja karbon yang digunakan adalah baja AISI 1090 dengan kadar karbon 0,95 %.

2. Pengelasan Baja Karbon Tinggi

Pengelasan baja karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Kerena itu daerah pengaruh panas atau HAS pada baja

ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifat yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Di samping itu pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Untuk mendapatkan pengelasan baja karbon tinggi yang baik, maka perlu dilakukan pemanasan sebelum maupun sesudah pencairannya. Pada umumnya baja karbon dapat dilas dengan seluruh proses pengelasan baik pengelasan busur listrik, las gas, las titik, atau jenis pengelasan lainnya. Akan tetapi kualitas yang dihasilkan dari masing-masing proses pengelasan tidak sama. Karena kualitas berbeda, maka setiap proses pengelasan hanya cocok diterapkan untuk tujuan-tujuan tertentu. Parameter yang harus diperhatikan untuk memperoleh hasil pengelasan yang maksimum dengan las SMAW diantaranya yaitu:

1) Elektroda
2) Arus listrik yang tepat
3) Tegangan listrik (*voltage*)
4) Polaritas listrik

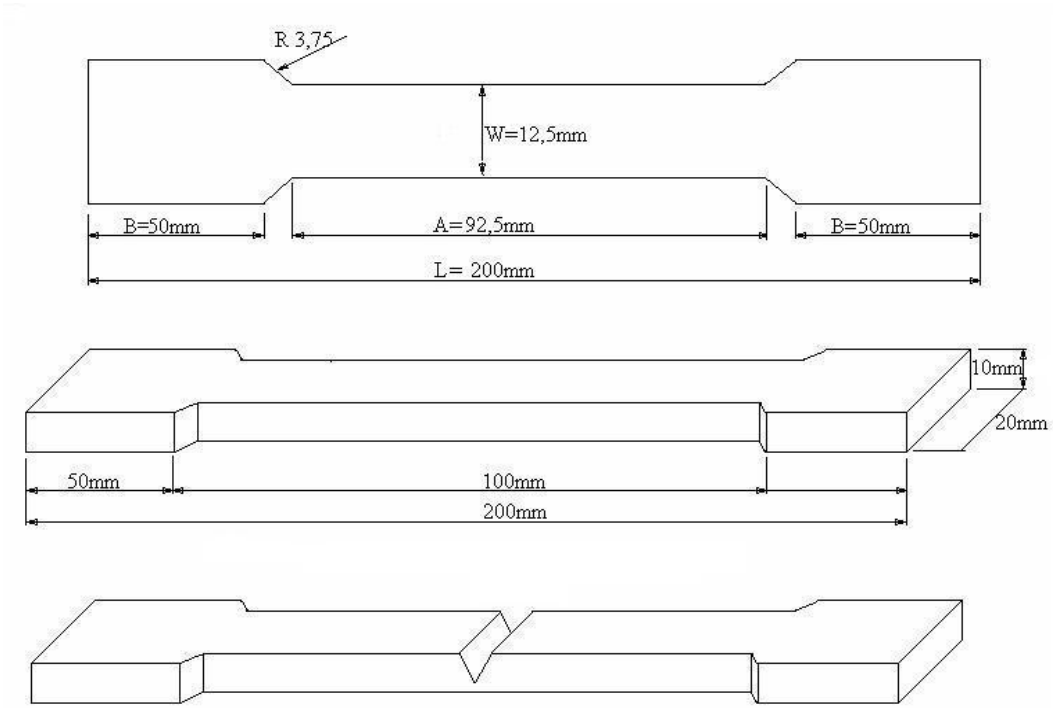
I. Pengujian Kekuatan Hasil Lasan

Pengujian untuk mengetahui kekuatan dan cacat yang terjadi pada sambungan hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan. Pengujian merusak pada daerah lasan dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, antara lain: uji kekerasan, uji tarik, dan uji fatik. Jenis pengujian pada penelitian ini menggunakan metode uji kekerasan dan uji tarik.

1. Pengujian Tarik

Salah satunya yang dapat dilakukan melalui suatu uji tarik statik yang terlebih dahulu membentuk spesimen uji tarik yang telah distandarisasi. Pengujian tarik statik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam yang telah dilas, karena mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan seragam (*uniform)* pada penampang serta kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan [Wiryosumarto, 1996].

Uji tarik yang dilakukan pada suatu material logam akan menghasilkan grafik tegangan-regangan yang dapat memberikan data, diantaranya berupa kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang merupakan parameter keuletan (*ductility*) dari spesimen yang diuji tarik [Djaprie, 1996].



Gambar 14. Spesimen uji tarik menurut ASTM E-8 [www.astm.org]

Pengujian batang uji dilakukan dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah, kemudian sifat-sifat kekuatan tariknya dapat dihitung dengan persamaan berikut [Wiryosumarto, 1996].

a) Tegangan

Tegangan adalah besarnya gaya persatuan luas penampang yang mengalami gaya.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \qquad (N/mm^2) \qquad (1)$$

dimana : F = gaya (N)
A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

b) Regangan

Regangan adalah besarnya deformasi yang terjadi persatuan panjang

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \qquad (2)$$

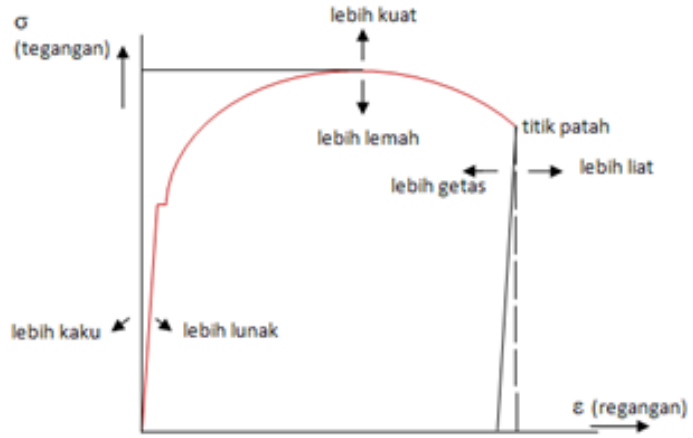
dimana : L_o = panjang mula batang uji (mm)
L_f = panjang batang uji setelah *fracture* (mm)

c) Modulus elastisitas

Modulus elastisitas dikaitkan dengan kekakuan suatu material. Semakin tinggi modulus elastisitasnya, maka semakin kecil regangan elastik yang dihasilkan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (N/mm^2) \qquad (3)$$

dimana : σ = tegangan (N/mm^2)
ε = regangan



Gambar 15. Karakteristik suatu bahan yang diuji tarik pada grafik tegangan-regangan [Haroen, 1984]

Karakteristik suatu bahan yang diuji tarik melalui grafik tegangan-regangan suatu spesimen uji tarik dapat dilihat pada gambar 15.

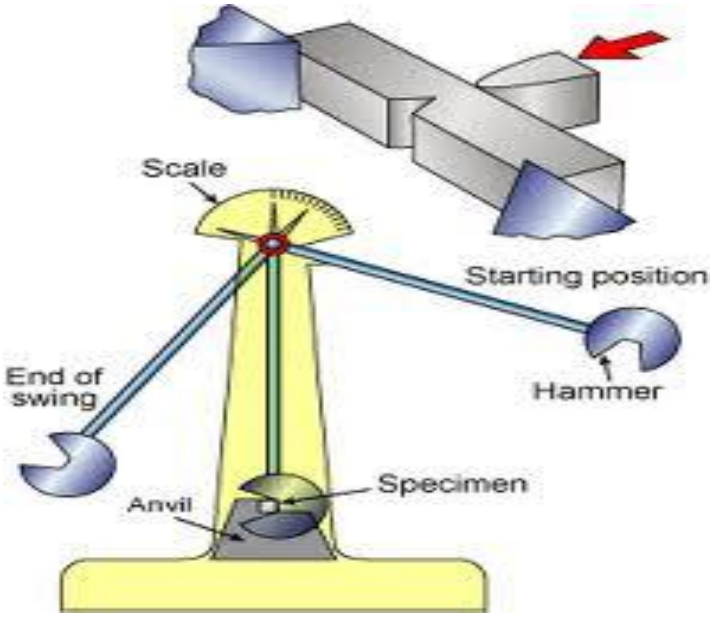
Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* (gambar 16).

Gambar 16. Mesin uji tarik (*universal testing machine*)

Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (N/mm^2) dan perpanjangan (mm) yang memberikan informasi data berupa kekuatan tarik (N/mm^2) dan perpanjangan atau *elongation* (%).

2. Pengujian Impak

Uji impak dirancang untuk mensimulasikan reaksi material terhadap pembebanan keceptan tinggi dan membutuhkan suatu batang percobaan yang di benturkan dengan pukulan mendadak (tiba-tiba). Ada dua macam metode pengujian impak, yaitu metode *Izod* dan metode *Charpy*. Kedua pengujian ini menggunakan jenis pengukuran yang sama tetapi berbeda bentuk batang percobaannya.Gambar dibawah ini menunjukkan cara pengujian impak metode *charpy*.



Gambar 17. Pengujian impak *Charpy* (Smith, 1993)

Keduanya menggunakan bandul ayun di bawah (gambar 17) yang tingginya h_o yang berguna untuk memukul batang percobaan dan mematahkannya. Tinggi bandul (hammer) merupakan tinggi setelah menbentur dan mematahkan batang percobaan itu, yang mana kekuatan atau energi diukur dari patahan tersebut. Jika tidak ada energi yang telah digunakan, bandul akan mengayun naik sampai tingginya sama dengan tinggi bandul (hammer) saat memukul tadi, dimana Energi Potensial (EP) = mgh berada dipuncak ayunan sebelum dan setelah membentur akan sama.

3. Pengujian Kekerasan.

Uji kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan dari logam las, HAZ dan logam induk untuk berbagai jenis kampuh sehingga diperoleh gambaran perubahan kekerasan logam akibat panas las. Metode uji kekerasan

dilakukan dengan metode Rockwell menggunakan kedalaman penekanan indentor pada logam untuk mendapat harga kekerasannya.

Gambar 18. Alat Uji kekerasan

4. Pengujian struktur mikro

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginnya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah.

Dalam pengujian ini, kualitas bahan ditentukan dengan mengamati struktur di bawah mikroskop, disamping itu dapat pula mengamati cacat dan bagian yang tidak teratur. Mikroskop yang dipergunakan adalah mikroskop *optic*, tetapi apabila perlu dipergunakan mikroskop *electron* untuk mendapat pembesaran yang tinggi. Dalam hal tertentu dipakai alat khusus yaitu mikroskop pirometri untuk bisa mengamati perubahan-perubahan yang disebabkan oleh temperatur, atau juga dipakai alat penganalisa mikro sehingga kotoran kecil dalam struktur dapat dianalisa. Permukaan logam uji diperoleh dan diperiksa langsung di bawah

mikroskop atau dilakukan lebih dahulu bermacam-macam etsa baru diperiksa di bawah mikroskop.

Gambar 19. Alat uji struktur mikro