II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PENGELASAN

Pengelasan (*welding*) adalah salah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau welding definisikan oleh *Deutche Industrie Normen* (DIN) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair, atau sambungan logam pada titik tertentu (terlokalisir) dengan menggunakan energi panas. Selama proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat atau terlokalisir di sekitar titik pengelasan dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal, sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk tegangan sisa karena proses panas las tidak merata. [Wiryosumarto, 1996].

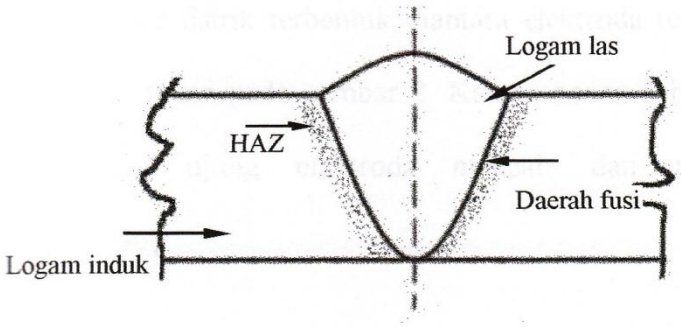
Kualitas hasil las yang kuat dan keras bergantung pada besarnya butiran kristal yang diperoleh saat pengelasan,butiran logam yang kecil dan halus membutuhkan pengaturan pemanasan dan pendinginan yang biasa disebut perlakuan panas. Secara garis besar tujuannya adalah untuk mengubah

mikrostruktur bahan dan menghilangkan tegangan dalam agar memperoleh sifat-sifat tertentu seprti kekerasan dan kekuatan yang terbaik untuk memenuhi kebutuhan yang diperlukan [Alip, 1989]. Perlakuan panas pada material dapat dilakukan dengan pemanasan mula (*preheat*), pemansan saat pengelasan, dan pemanasan setelah pengelasan (*postheat*) yang akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis, bentuk, dan susunan butiran kristal serta kualitas dari sambungan las [Suharto, 1991]. Distorsi dapat dikurangi dengan membatasi masukan panas saat pengelasan berlangsung. Masukan panas pada pengelasan pelat datar dipengaruhi oleh volume deposit logam las. Volume deposit logam pengisi dipengaruhi tebal pelat dan bentuk kampuh. Beberapa peneliti menggunakan bentuk kampuh U dan V ganda untuk meminimalkan volume logam pengisi. Pengelasan pelat datar sering menggunakan single layer dan multi layer. Pengelasan single layer sering digunakan untuk pelat tipis. Dan pengelasan multi layer digunakan untuk pelat yang tebal. Pengelasan multi layer sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan sambungan yang tinggi. Pada pengelasan multilayer, layer kedua akan memberikan efek ***postheat*** pada layer sebelumnya dan ***preheat*** bagi layer sesudahnya. Pengelasan multi layer juga akan memberikan efek tempering pada daerah HAZ, akibat panas dari layer berikutnya. Efek *preheat* dan tempering dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las [Weman, 2003].

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

1. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang berasal dari *fusion* (nyala api las), contohnya: las busur (*arc welding*), las gas (*gas welding*), las sinar electron (*electron discharge welding*), dan lain-lain.
2. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang tidak berasal dari nyala api las (*nonfusion*), contohnya: *friction stirr welding* (proses pengelasan dengan gesekan), las tempa, dan lain-lain.

Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Daerah lasan

a) Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
b) Logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
c) Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

Selain ketiga pembagian tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*) [Wiryosumarto, 1996].

B. PENGELASAN LAWAN/*BACK CHIPPING*

Back chipping adalah proses pengelasan bagian belakang setelah las utama dengan tujuan agar penembusan las dapat tercapai dan merata/terisi semua (*full complete penetration*) sehingga sambungan las benar-benar kuat [Wiryosumarto, 1996].

Teknik dan prosedur pengelasan yang tidak baik menimbulkan cacat pada hasil pengelasan yang menyebabkan diskontinuitas dalam las. Cacat yang sering dijumpai salah satunya yaitu penetrasi kampuh yang tidak memadai, dimana keadaan kedalaman las kurang dari tinggi alur yang ditetapkan, terjadi akibat perencanaan alur yang tidak sesuai, elektroda yang terlalu besar, atau laju pengelasan yang terlalu cepat. Peleburan berlebihan, terjadinya alur pada logam induk dan dekat ujung kaki las yang tidak terisi oleh logam las, yang disebabkan 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 [Daryanto, 2011].

Suatu hal yang umum terjadi pada akar dari sambungan las adalah timbulnya cacat yang dikarenakan penembusan yang kurang atau pendinginan yang cepat. Untuk memperbaiki hal ini maka cacat – cacat tersebut harus dibuang

lalu kemudian dilakukan pengelasan lawan (*back chipping)* [Wiryosumarto, 1996]. Dengan dilakukan *back chipping* maka akan menghasilkan daerah HAZ (*heat effected zone*) yang lebih besar, sehingga mempengaruhi sifat mekanik logam dan struktur mikro dari logam [Lukman, 2003].

Pada pengelasan, tegangan sisa dapat diartikan tegangan dalam yang tersimpan (yang terjadi) setelah proses pengelasan dan pada waktu tertentu akan hilang dengan sendirinya bersamaan dengan rusaknya benda kerja. Tegangan yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan las karena tegangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk bahan atau terjadinya pergeseran sambungan las (distorsi) yang nantinya akan mengurangi kekuatan dari sambungan las itu sendiri. Adapun usaha untuk mengurangi tegangan sisa pada logam yang dilas adalah dengan melakukan proses perlakuan panas pasca las (*post weld Heat Treatment*) yang disebut *Stress Reliefing Annealing* [Lukman, 2003].

Pembuangan dan pembersihan terak sebelum melakukan las lawan atau *back chipping* dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu, pemotongan dengan busur dan udara, pemotongan dengan gas dan pemotongan dengan mesin atau gerinda [Wiryosumarto, 1996].

Tabel 1. Parameter pemotongan dengan busur dan udara

Ukuran elektroda (mm)		Tutup tembaga	Arus (Amp)	Laju potong (cm/men)	Alur (mm)	
Diameter	Panjang				Dalam	Lebar
5,0	305	Perlu	100–200	900–1,200	3–4	7–9
6,0	〃	〃	200–350	900–1,200	4–5	9–11
8,0	〃	〃	250–400	700–1,000	5–6	10–12
9,0	〃	〃	300–450	400–700	6–7	11–13
11,0	〃	〃	400–550	300–400	8–9	13–15
13,0	〃	〃	450–600	200–300	9–10	15–17

Sumber: Wiryosumarto dan Toshie okumura, 2003

Dalam tabel 1, ditunjukkan kondisi standar untuk pemotongan dengan busur dan udara dan dalam tabel 2 beberapa parameter untuk pemotongan gas.

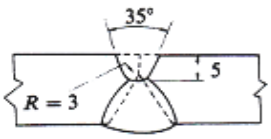
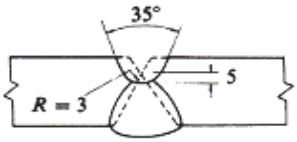
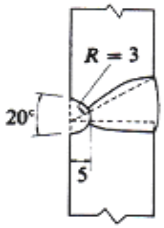
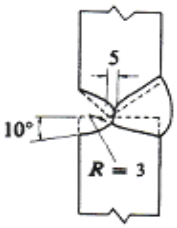
Tabel 2. Parameter pemotongan dengan gas

Lebar alur (mm)	Lubang oksigen (mm)	Sudut pembakar (derajat)	Laju potong (cm/men)	Tekanan gas (kg/mm^2)		Pemakaian gas (m^3/jam)	
				Oksigen	Asetilen	Oksigen	Asetilen
8–10	3,3	25–30	300–450	1,75	0,49	5,7–6,1	2,1–2,2
11–13	4,3	〃	400–610	〃	〃	7,8–8,4	2,3–2,4
14–16	5,3	〃	500–810	〃	0,70	10,6–11,3	2,5–2,9

Sumber: Wiryosumarto dan Toshie okumura, 2003

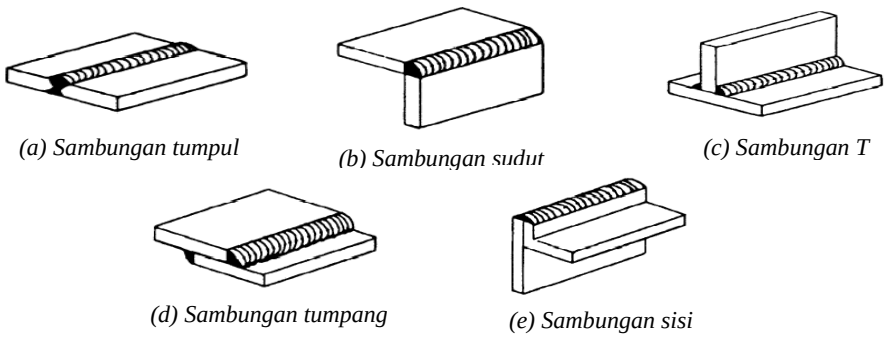
Agar pengelasan lawan hasilnya baik, maka perlu diadakan pemeriksaan terhadap bentuk alur baik dengan mata atau dengan mengukur.

Tabel 3. Bentuk alur hasil pemotongan

Proses pemotongan	Posisi	Bentuk yang dihasilkan (Ukuran panjang dalam mm)	
Dengan tangan Otomatik	Datar Vertikal Atas kepala		
Dengan Tangan	Horizontal		

Sumber: Wiryosumarto dan Toshie okumura, 2003

Pada tabel 3 menunjukkan bentuk-bentuk alur hasil pemotongan untuk melakukan las lawan. Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi [Wiryosumarto, 1996].

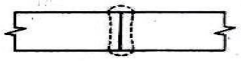
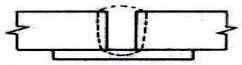
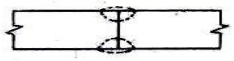
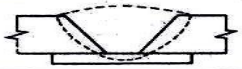
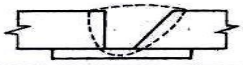
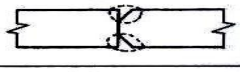
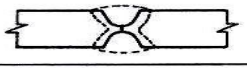
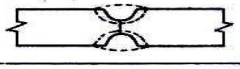
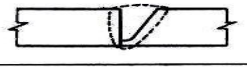
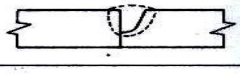
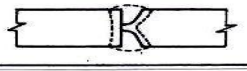
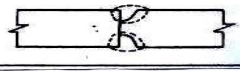


Gambar 2. Jenis-jenis sambungan dasar [Wiryosumarto, 1996]

Sambungan tumpul (*butt weld joint*) ialah bentuk sambungan dimana kedua bidang yang akan disambung berhadapan satu sama lain, tetapi sebelumnya

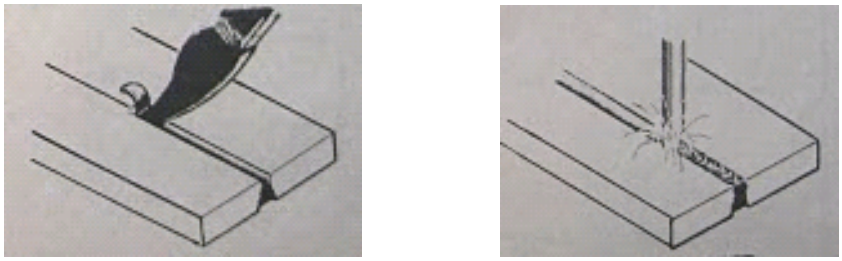
dilakukan pengerjaan terhadap bidang sambungan tersebut untuk membentuk kampuh las, agar didapatkan hasil sambungan pengelasan yang kuat [Suryana, 1998]. Jenis kampuh sambungan tumpul (*butt joint*) dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. **Alur sambungan las tumpul**

Jenis lasan / Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Sumber: Wiryosumarto dan Toshie okumura, 2003

Cara pembersihan atau persiapan dengan mesin biasanya hanya digunakan pada pelat yang tebal sekali seperti pada ketel dan bejana nuklir. Untuk pelat tipis pembersihan dan persiapannya cukup dengan gerinda saja [Wiryosumarto, 1996].



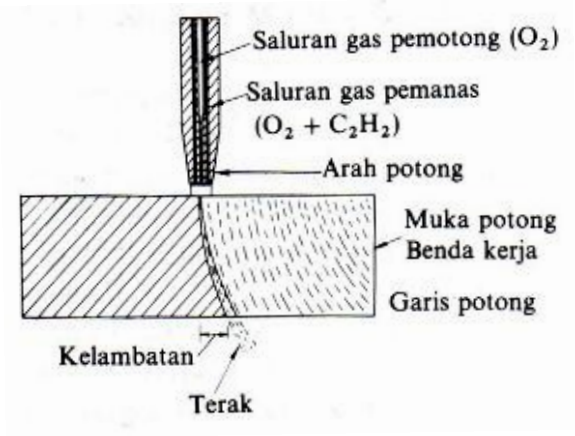
Gambar 3 . Pengerjaan las lawan (*back chipping*).

Pada gambar 3 diatas diperlihatkan tahapan pengelasan lawan, yaitu dikerjakan setelah pengisian penuh atau las utama. Dalam pengelasan selalu terjadi cacat las. Karena itu seorang sarjana ahli las harus menguasai sepenuhnya tentang sebab-sebab cacat dan kemudian menentukan usaha-usaha penghindarannya [Wiryosumarto, 1996].

Cara-cara pemotongan baja yang banyak digunakan antara lain yaitu [Wiryosumarto, 2003] :

1. Pemotongan dengan gas

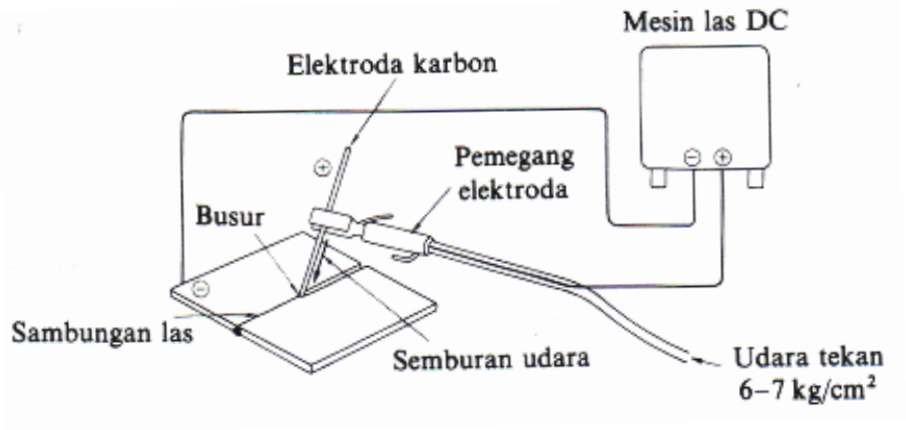
   Pemotongan ini terjadi karena adanya reaksi antara oksigen dan baja. Pada permulaan pemotongan, baja dipanaskan lebih dulu dengan api oksi-asetilen sampai mencapai suhu antara 800 sampai 900℃. Kemudian gas oksigen tekanan tinggi atau gas pemotong lainnya disemburkan kebagian yang dipanaskan tersebut dan terjadilah proses pembakaran yang membentuk oksida besi. Maka oksida tersebut mencair dan terhembus oleh gas pemotong. Dengan ini terjadilah proses pemotongan.



Gambar 4. Penampang sepanjang garis potong pada pemotongan dengan oksigen [Wiryosumaro, 1996].

2. Pemotongan busur udara

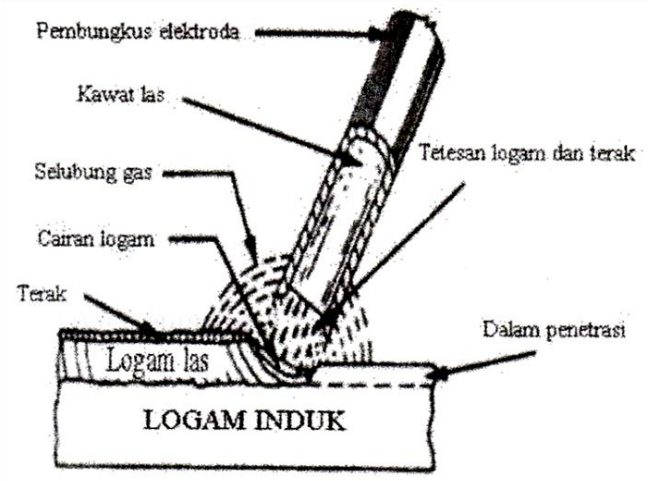
Pemotongan busur udara adalah cara pemotongan logam dimana logam yang dipotong dicairkan dengan menggunakan busur listrik yang dihasilkan oleh elektroda karbon dan kemudian cairan logam disemburkan dengan udara tekan. Proses pemotongan ini ditunjukkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Pemotongan busur udara [Wiryosumarto, 1996].

C. LAS BUSUR LISTRIK ELEKTRODA TERLINDUNG SMAW (*SHIELDED METAL ARC WELDING*)

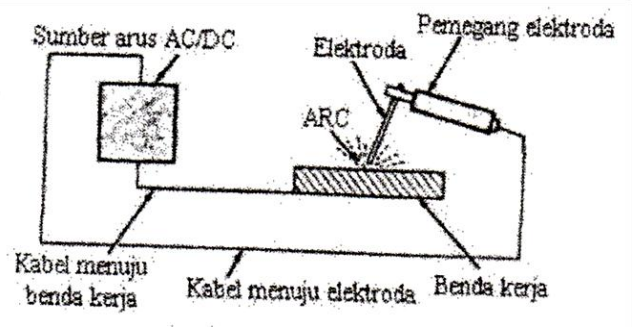
Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk seperti ditunjukkan pada gambar 6. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama [Wiryosumarto, 1996].



Gambar 6. Las busur listrik elektroda terlindung

Proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dilakukan dengan menggunakan energi listrik (AC/DC), energi listrik dikonversi menjadi energi panas dengan membangkitkan busur listrik melalui sebuah elektroda. Busur listrik diperoleh dengan cara mendekatkan elektroda las ke benda kerja/logam yang akan dilas pada jarak beberapa milimeter, sehingga terjadi aliran arus listrik dari elektroda ke benda kerja, karena adanya perbedaan tegangan antara elektroda dan benda kerja (logam yang akan dilas). Panas yang dihasilkan

dapat mencapai 5000^{o}C, sehingga mampu melelehkan elektroda dan logam yang akan disambung untuk membentuk paduan [Bintoro, 1999].



Gambar 7. Skema kerja las busur listrik elektroda terlindung

Las SMAW terdiri dari beberapa bagian peralatan yang disusun atau dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai suatu unit alat untuk pengelasan. Satu unit las SMAW terdiri dari [Bintoro, 1999]:

a) Mesin pembangkit tenaga listrik/mesin las

   Mesin las terdiri dari dua macam yaitu: mesin las arus bolak balik (mesin las AC) dan mesin las arus searah (mesin las DC). Pada mesin las AC terdapat *transformator* atau trafo yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, kebanyakan trafo yang digunakan pada peralatan las adalah jenis trafo *step-down*, yaitu trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Sedangkan pada mesin las DC terdapat *receifer* atau penyearah arus yang berfungsi untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC).

b) Kabel las

   Kabel las digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber listrik ke elektroda dan massa. Arus yang besar harus dapat dialirkan melalui kabel

tanpa banyak mengalami hambatan, sehingga perlu dipilih kabel yang sesuai dengan arus yang dialirkan.

c) Elektroda

Berdasarkan selaput pelindungnya, elektroda dibedakan menjadi dua macam, yaitu elektroda polos dan elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari bagian inti yang berfungsi sebagai *filler metal* dan zat pelindung atau *fluks* yang berfungsi untuk:

1) Melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja yang dilas dari udara luar. Udara luar mengandung oksigen yang dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanis dari logam yang dilas.
2) Memungkinkan dilakukannya posisi pengelasan yang berbeda-beda.
3) Memberikan sifat-sifat khusus pada hasil pengelasan dengan cara menambah zat-zat tertentu pada selaput elektroda dan lain sebagainya

d) Pemegang elektroda

Pemegang elektroda berfungsi sebagai penjepit/pemegang ujung elektroda yang tidak berselaput, dan juga berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari kabel ke elektroda.

e) Tang penghubung kabel massa

Tang penghubung kabel massa berfungsi untuk menghubungkan kabel massa dengan benda kerja yang akan dilas.

f) Alat bantu

Alat bantu sifatnya tidak mutlak harus ada. Fungsinya adalah sebagai pembantu untuk mempermudah dalam pengelasan. Alat bantu yang umum

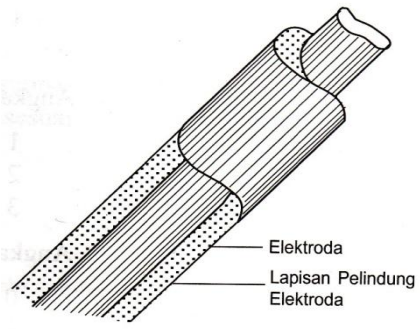
digunakan contohnya: palu terak, tang untuk memegang benda kerja yang masih panas, sikat kawat, topeng las, dan sebagainya.

Parameter yang harus diperhatikan untuk memperoleh hasil pengelasan yang maksimum dengan las SMAW, diantaranya yaitu [Bintoro, 1999] :

1. Elektroda

Bagian yang sangat penting dalam las busur listrik adalah elektroda las. Selama proses pengelasan elektroda akan meleleh dan akhirnya habis. Jenis elektroda yang digunakan akan sangat menentukan hasil pengelasan, sehingga sangat penting untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat masing-masing elektroda sebagai dasar pemilihan elektroda yang tepat.

Macam dan jenis elektroda sangat banyak. Berdasarkan selaput pelindungnya dibedakan menjadi dua macam, yaitu elektroda polos dan elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau fluks. Pelapisan fluks pada bagian inti dapat dilakukan dengan cara destursi, semprot atau celup. Selaput yang ada pada elektroda jika terbakar akan menghasilkan gas CO_2 yang berfungsi untuk melindungi cairan las, busur listrik, dan sebagian benda kerja dari udara luar.



Gambar 8. Elektroda las

Untuk pemilihan jenis elektroda yang digunakan, maka harus memperhatikan beberapa langkah antara lain [Bintoro, 1999]:

a. Jenis logam yang akan di las
b. Tebal bahan yang akan di las
c. Kekuatan mekanis yang diharapkan dari hasil pengelasan
d. Posisi pengelasan
e. Bentuk kampuh benda kerja

Dari kriteria diatas, kita dapat melihat kode elektroda sesuai dengan keperluan yang diinginkan. Kode elektroda yang berupa huruf dan angka mempunyai arti khusus yang sangat berguna untuk pemilihan elektroda. Kode elektroda sudah distandarkan atau ditetapkan. Badan yang membuat standarisasi kode elektroda yaitu AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American For Testing Materials*). Simbol atau kode yang diberikan yaitu satu huruf E yang diikuti oleh empat atau lima angka di belakangnya, contoh E7018.

Elektroda dengan kode E7018, untuk setiap huruf dan angka mempunyai arti masing-masing, yaitu [Bintoro, 1999]:

E : Elektroda untuk las busur listrik
70 : Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 psi, jadi 70.000 psi
1 : Menyatakan posisi pengelasan, angka 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.
8 : Menunjukan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.

Angka nomor 3 pada kode elektroda, yaitu angka yang menyatakan posisi pengelasan:

1 : Pengelasan semua posisi

2 : Pengelasan posisi horizontal dan di bawah tangan

3 : Pengelasan pada posisi di bawah tangan

Angka terakhir pada simbol elektroda:

0 : Elektroda dengan penembusan dalam. Bahan dari selaput selulosa soda. Bentuk gigi-gigi cembung atau rata.

1 : Elektroda dengan penembusan dalam. Bahan dari selaput selulosa potasium. Bentuk gigi-gigi cembung atau rata.

2 : Elektroda dengan penembusan sedang. Bahan dari selaput titania sodium. Bentuk gigi-gigi cekung.

3 : Elektroda dengan penembusan dangkal. Bahan dari selaput titania. Bentuk gigi-gigi cekung.

4 : Elektroda dengan penembusan sedang. Bahan dari selaput titania serbuk besi. Penembusan sedang dan cepat membeku.

5 : Elektroda dengan penembusan sedang. Bahan dari selaput soda hydrogen rendah. Penembusan sedang bentuk gigi-gigi cekung, digunakan untuk mengelas logam yang kadar belerangnya tinggi.

6 : Elektroda dengan penembusan sedang. Bahan dari selaput soda hidrogen rendah. Penembusan sedang bentuk gigi-gigi cekung, digunakan untuk mengelas logam yang kadar belerangnya tinggi.

7 : Elektroda dengan penembusan menengah. Bahan dari selaput oksida besi. Bentuk gigi-gigi datar dan cepat membeku.

8 : Elektroda dengan penembusan dangkal dan menengah. Bahan dari selaput serbuk besi hidrogen rendah.penembusan dangkal dan menengah. Bentuk gigi-gigi cekung.

2. Arus listrik

Besarnya arus juga mempengaruhi pengelasan, dimana besarnya arus listrik pada pengelasan tergantung dari bahan dan ukuran lasan, geometri sambungan pengelasan, macam elektroda dan diameter inti elektroda. Untuk pengelasan pada daerah las yang mempunyai daya serap kapasitas panas yang tinggi diperlukan arus listrik yang besar dan mungkin juga diperlukan tambahan panas. Sedang untuk pengelasan baja paduan, yang daerah HAZ-nya dapat mengeras dengan mudah akibat pendinginan yang terlalu cepat, maka untuk menahan pendinginan ini diberikan masukan panas yang tinggi yaitu dengan arus pengelasan yang besar.

Pengelasan logam paduan, agar untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya digunakan arus las yang sekecil mungkin. Pengaturan besar kecilnya arus dilakukan dengan cara memutar tombol pengatur arus. Besar arus yang digunakan dapat dilihat pada skala yang ditunjukkan oleh amperemeter yang terletak pada mesin las. Pada masing-masing mesin las, arus minimum dan arus maksimum yang dapat dicapai berbeda-beda, umumnya berkisar antara 100 Ampere sampai 600 Ampere. Pemilihan besar arus listrik tergantung dari beberapa faktor, antara lain; diameter elektroda yang digunakan, tebal benda kerja, jenis elektroda yang digunakan, polaritas kutub-kutubnya, dan posisi pengelasan. Umumnya pemilihan besar arus diambil pada nilai tengah dari batas yang

direkomendasikan. Misalnya pengelasan dengan elektroda E6014 berdiameter 5,5 mm, biasanya arus diambil pada nilai tengah yaitu 300 Ampere. Pada tabel 5. Di bawah ini ditampilkan hubungan antara diameter elektroda dengan besar arus las.

Tabel 5. Besar arus dan diameter elektroda

Diameter elektroda (mm)	Tipe elektroda dan besar arus (Ampere)					
	E6010	**E6014**	**E7018**	**E7024**	**E7027**	**E7028**
2,5	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	180-250
4	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-305
5,5	-	260-340	260-340	275-375	250-350	275-365
6,3	-	330-415	315-400	335-430	300-420	35-430
8	-	90-500	375-470	-	-	-

Sumber: Bintoro, 1999

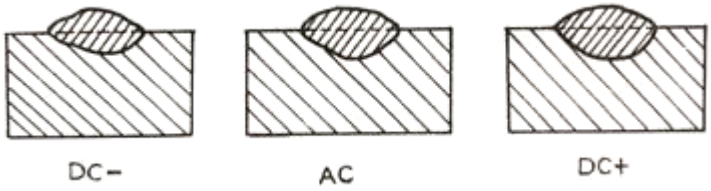
3. Tegangan (Voltase) listrik

   Tegangan listrik yang digunakan pada proses pengelasan SMAW berbanding lurus dengan tinggi busur listrik. Tinggi busur listrik yang dimaksud adalah jarak antara ujung elektroda dengan permukaan logam yang akan dilas.

4. Polaritas listrik

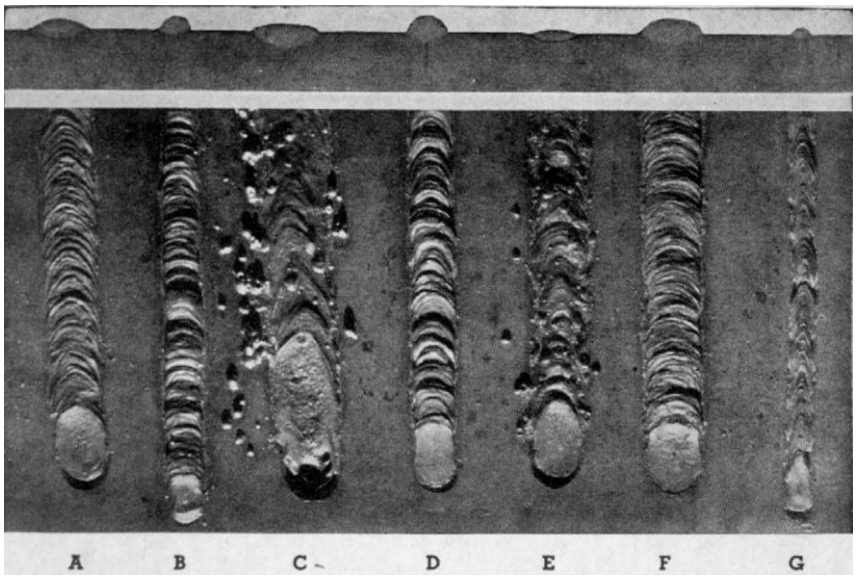
   Polaritas listrik mempengaruhi hasil dari busur listrik. Sifat busur listrik pada arus searah (DC) akan lebih stabil daripada arus bolak-balik (AC). Terdapat dua jenis polaritas yaitu polaritas lurus (DC–)**,** di mana benda

kerja positif dan elektroda negatif. Polaritas balik (DC+) adalah sebaliknya.



Gambar 9. Pengaruh pengkutuban pada hasil las

Karakteristik dari polaritas balik yaitu pemindahan logam terjadi dengan cara penyemburan, maka polaritas ini mempunyai hasil pengelasan yang lebih dalam dibanding dengan polaritas lurus.



Gambar 10. Karakteristik hasil pengelasan

Dari keterangan diatas tentang polaritas listrik mempengaruhi hasil dari busur listrik dapat disimpulkan seperti pada tabel 6 dan gambar 10.

Tabel 6. Karakteristik hasil pengelasan

NO.	Variabel Operasi	Karakterisitk Hasil Pengelasan			
		Suara Arc	**Penetrasi**	**Burn Off Electrode**	**Bentuk Bead**
A	Normal Amps, Normal Volts, Kec. Normal	Percikan kecil Suara gemercak kuat	Baik, dalam dan galengan normal	Bentuk normal	Fusionnya sangat baik, tidak ada overlap
B	Amps Rendah, Normal Volts, Kec. Normal	Percikan tidak beraturan, suara gemercak kecil	Dangkal	Tidak besar, beda dengan yang diatas.	Tonjolan tinggi
C	Amps. Tinggi, Normal Volts, Kec. Normal	Suaranya seperti ledakan, jarang beraturan	Dalam dan panjang	Coating tertinggal dan lebar serta panjang	Luas bead tidak lebar. Fusionnya baik
D	Normal Amps, Kec. Normal, Volts rendah	Percikan kecil dan tenang	Kecil	Coating membentuk kawah dan porosity	Tonjolan tinggi dan lebih lebar dari No. B
E	Amps. Normal, Kec. Normal, Volts Tinggi	Suaranya halus	Lebar dan dangkal	Rata dan membentuk kawah	Lebar
F	Amps. Normal, Normal Volts, Kec. Rendah	Normal	Kawah Normal	Normal	Bead lebar
G	Amps. Normal, NormalVolts, Kec. Tinggi	Normal	Kecil dan dangkal	Normal	Bead kecil dan undercut

Sumber: Zamil, 1999

Kolaborasi arus listrik pengelasan, tegangan (Voltase) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu. Hubungan ketiga parameter tersebut

dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [Sonawan dan Suratman, 1994]:

HI (*heat input*) = $\frac{\eta \times I \times V}{v}$ (Kj / mm) (1)

Dimana:

η = efisiensi pengelasan SMAW (50% – 85%)

I = arus listrik pengelasan (A)

V = tegangan (Voltase) listrik pengelasan (V)

v = kecepatan pengelasan (cm / menit)

D. BAJA KARBON

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya [Wiryosumarto, 1996].

American Iron And Steel Institute (AISI) memakai sistem penomoran baja dengan empat digit angka: 10xx, 10 mengindikasikan bahwa baja tersebut adalah baja karbon, dua angka terakhir mengindikasikan persentase karbon. Sebagai contoh, angka 1020 mengindikasikan bahwa baja tersebut adalah baja karbon dengan kadar karbon 0,20% [Groover, 1996].

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

1. Baja Karbon Rendah

   Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08% – 0,30% yang biasa digunakan untuk *body* kendaraan [Sack, 1997].

2. Baja Karbon Sedang

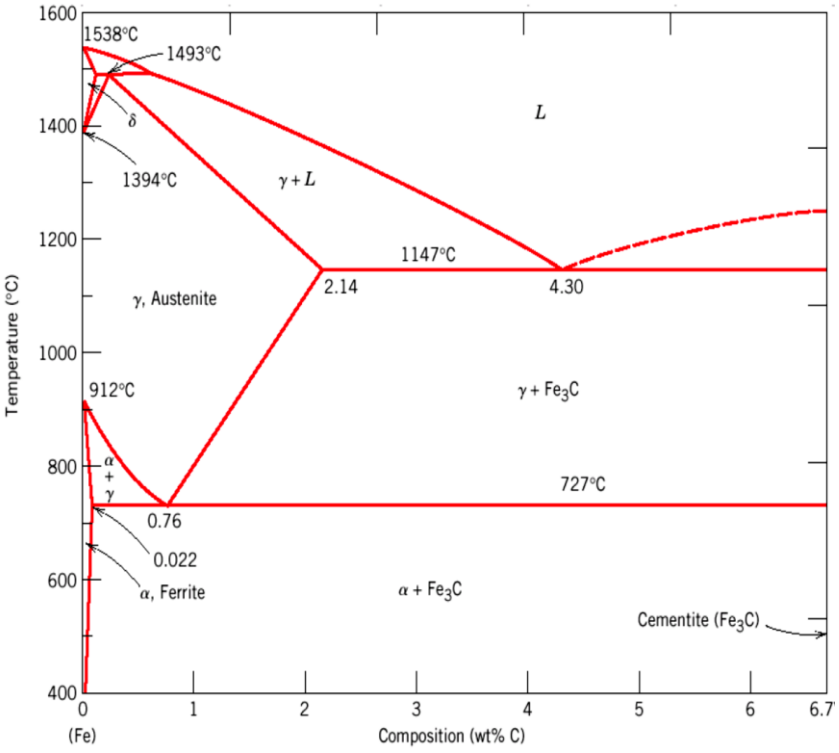
   Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30% - 0,60%. Baja karbon sedang mempunyai kekuatan yang lebih dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang bisa dilas dengan las busur listrik elektroda terlindung dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang terbaik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan normalizing setelah pengelasan [Sack, 1997].

3. Baja Karbon Tinggi

   Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon yang lain yakni 0,60% - 1,7%. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang [Sack, 1997]. Karena memiliki banyak kandungan karbon dan unsur pengelas baja yang lain maka pada

daerah pengaruh panas (HAZ) mudah terjadi pengelasan. Sifat yang mudah menjadi keras ini ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Pemanasan mula sebelum pengelasan dan perlakuan panas setelah dilas baik untuk mengurangi retak las pada baja karbon tinggi [Wiryosumarto, 1996].

Siklus *thermal* akan terjadi pada saat dilakukannya proses pengelasan baja karbon. Siklus *thermal* las adalah proses pemananasan dan pendinginan yang terjadi di daerah pengelasan. Gambar 11 menunjukkan diagram fasa besi karbon yang menampilkan hubungan antara temperatur dengan perubahan fasa selama proses pemanasan dan pendinginan yang lambat [Wiryosumarto, 1996].

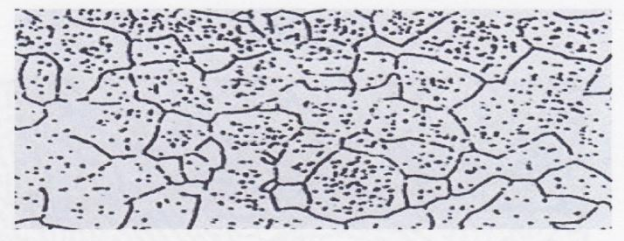


Gambar 11. Diagram fasa besi karbon

Fasa-fasa yang ada pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut [Suratman, 1994]:

- *Ferrit* (disimbolkan dengan α)

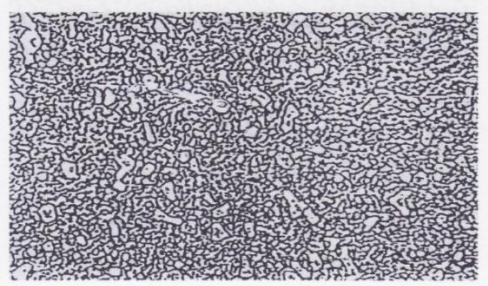
  Memiliki bentuk sel satuan BCC, terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeuctoid* (baja dengan kandungan karbon < 0,8%), bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas thermalnya tinggi.



Gambar 12. Struktur mikro *ferrit* [Suratman, 1994]

- *Cementit* (disimbolkan dengan Fe_3C)

  Adalah senyawa besi dengan karbon, umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe_3C, bentuk sel satuannya *ortorombik*, dan bersifat keras (65-68) HRC.

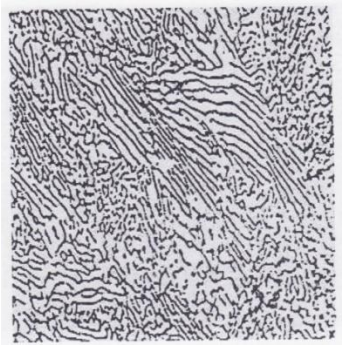


Gambar 13. Struktur mikro *cementit* [Suratman, 1994]

- *Perlit* (disimbolkan dngan $\alpha + Fe_3C$)

  Adalah campuran *ferit* dan *cementit* berlapis dalam suatu struktur butir, memiliki nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan lambat

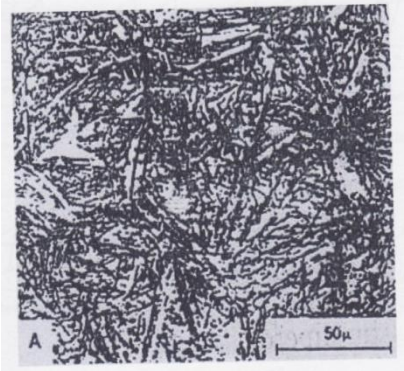
menghasilkan *perlit* kasar, sedangkan struktur mikro *perlit* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *perlit* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *perlit* halus.



Gambar 14. Struktur mikro *perlit* [Suratman, 1994]

- *Martensit*

  Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenite* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC, unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro *martensit* seperti bentuk jarum-jarum halus, bersifat keras (20-67) HRC, dan getas.

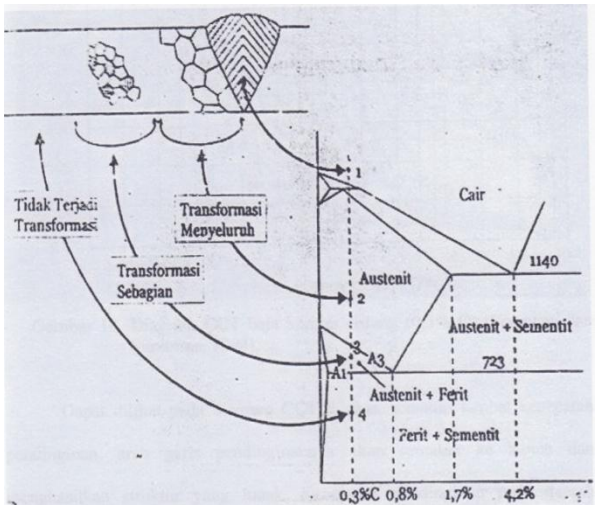


Gambar 15. Struktur mikro *martensit* [Suratman, 1994]

- *Austenite* (disimbolkan dengan γ)

  Memiliki bentuk sel satuan FCC yang mengandung unsur karbon hingga maksimum 1,7%.

Transformasi fasa pada daerah pengelasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 16, dapat dianalisa secara eksperimental dengan menggunakan diagram CCT (*Continous Cooling Transformation*), karena kecepatan pendinginan dari temperatur *austenite* sampai ke temperatur ruangan berlangsung secara cepat. Kecepatan pendinginan tersebut berpengaruh pada kekuatan sambungan las, karena akan menentukan fasa akhir yang terbentuk [Sonawan, 1994].



Gambar 16. Transformasi fasa pada daerah pengelasan [Sonawan, 1994].

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi [Wiryosumarto, 1996].

E. UJI TARIK SAMBUNGAN LOGAM HASIL PENGELASAN

Pengujian untuk mengetahui kekuatan yang terjadi pada sambungan logam 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, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan [Wiryosumarto, 1996].

Untuk melaksanakan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari spesimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap spesimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah [Tony, 2005].

Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan [Wiryosumarto, 1996] :

Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{Ao} \qquad (kg/mm^2) \qquad (2)$$

Dimana: F = beban (kg)

A_o = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

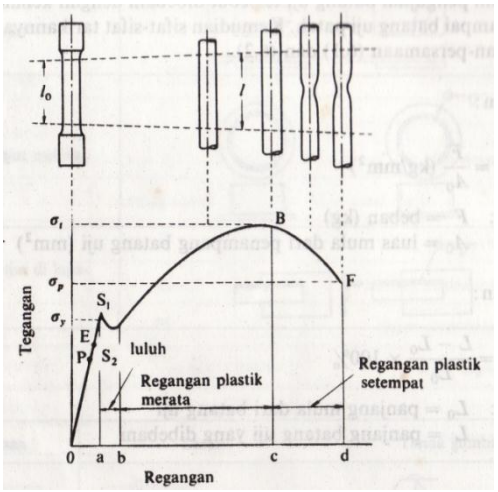
Regangan:

$$\varepsilon = \frac{L - Lo}{Lo} \times 100\% \qquad (3)$$

Dimana: L_o = panjang mula dari batang uji (mm)

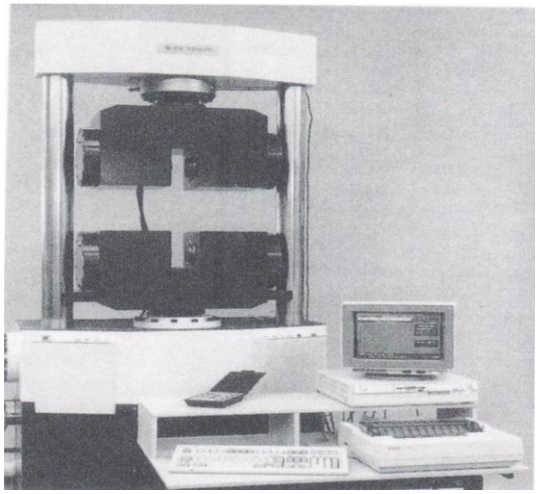
L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 17. Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastic. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastic dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2% [Wiryosumarto, 1996].



Gambar 17. Kurva tegang-regang teknik [Wiryosumarto, 1996]

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 18. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh (σ_{ys}), tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik [Dowling, 1999].



Gambar 18. Mesin uji tarik (*universal testing machine*) [Dowling, 1999]