

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. [Wiryosumarto, 1996].

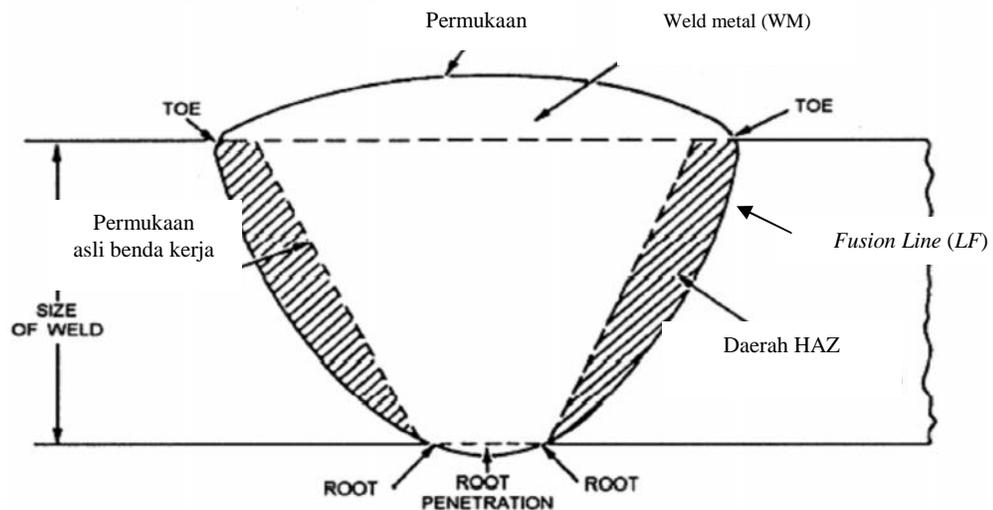
Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktivitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan

mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki.

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.

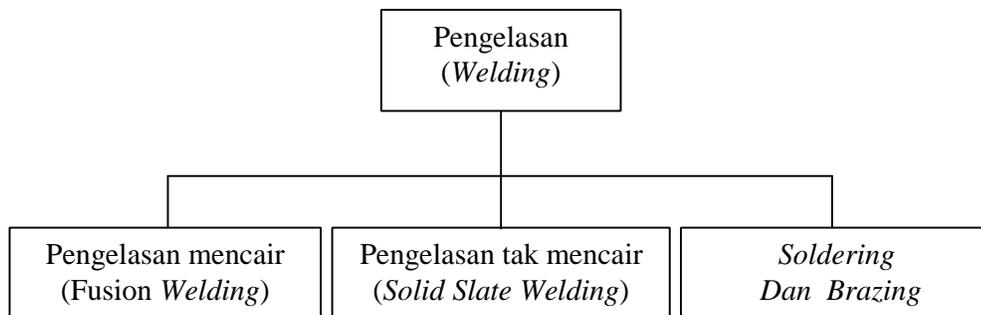


Gambar 1. Daerah hasil pengelasan [Timing, 1992]

Dalam proses pengelasan, secara umum dapat dikategorikan 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 menyebabkan 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. *Based Metal* (BM) atau logam induk, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat.

1. Klasifikasi Las



Gambar 2. Klasifikasi proses pengelasan

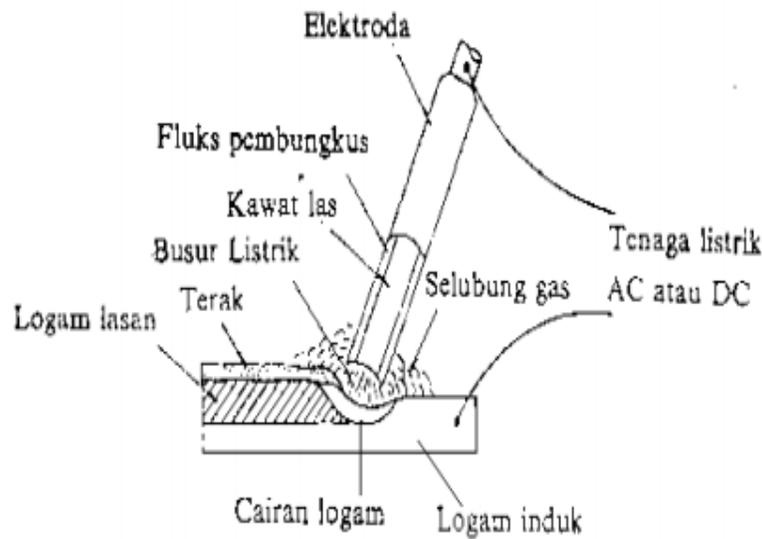
Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa proses pengelasan dapat dibagi dalam tiga bagian utama yaitu pengelasan mencair (*fusion welding*), pengelasan tidak

mencair (*solid state welding*), dan *soldering/brazing*. Peralatan pencair atau pemanas logam dapat didasarkan pada penggunaan energi listrik, energi gas, atau energi mekanik. Berdasarkan klasifikasi tersebut, pengelasan cair yang paling banyak digunakan dalam praktik di dunia industri. Salah satu metode pengelasan cair ini adalah las busur listrik elektroda terbungkus (*shielded metal arc welding* disingkat dengan *SMAW*) [Sonawan, 2003].

2. Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

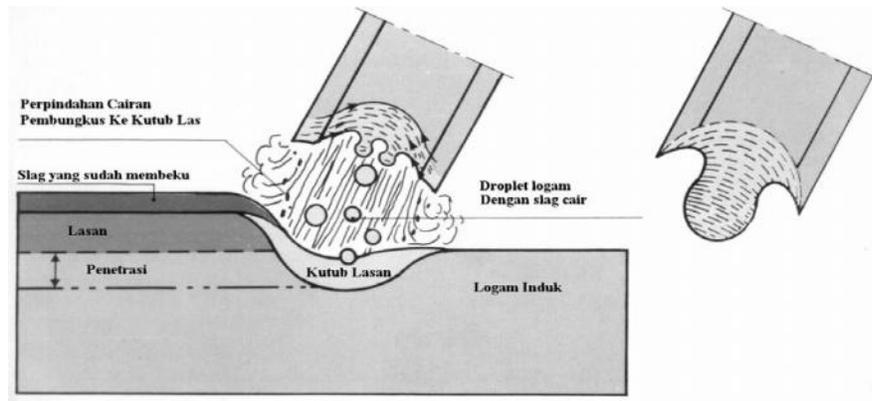
Las elektroda terbungkus atau pengelasan busur listrik logam terlindung (*Shielded Metal Arc Welding* atau *SMAW*) merupakan salah satu jenis yang paling sederhana dan paling canggih untuk pengelasan baja struktural. Proses *SMAW* sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan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

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar 3. Las SMAW (WiryoSumarto, 2000)

Prinsip kerja las busur listrik ini adalah dengan mengubah energi listrik menjadi panas untuk mencairkan permukaan logam induk dengan menghasilkan busur nyala listrik melalui sebuah elektroda. Terjadinya busur nyala listrik ini diakibatkan oleh perbedaan tegangan antara kedua kutub pada dua logam konduktif yaitu elektroda dan logam induk (seperti Gambar 3). Busur nyala listrik itu sendiri terbentuk dengan mendekatkan elektroda ke logam induk hingga pada jarak beberapa millimeter kemudian menarik elektroda agar tidak kontak langsung dengan logam induk untuk menjaga busur tetap menyala. Suhu dari busur nyala listrik tersebut dapat mencapai 5000°C sehingga mampu mencairkan elektroda dan logam induk.



Gambar 4. Prinsip kerja perpindahan logam pada proses SMAW

Selama proses pengelasan elektroda yang berlapis *fluks* akan habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke logam induk selama proses pengelasan untuk membentuk paduan baru yaitu paduan antara bahan inti elektroda yang mencair dan logam induk yang turut mencair (seperti Gambar 4). Kawat elektroda menjadi bahan pengisi dan lapisannya sebagian lagi dikonversi menjadi gas pelindung untuk melindungi pengaruh atmosfer saat pencairan berlangsung dan sebagian lagi menjadi terak oleh logam las untuk melindungi logam paduan selama proses solidifikasi. Pemindahan logam dari elektroda ke bahan yang dilas terjadi karena penarikan molekul dan tarikan permukaan tanpa memberikan tekanan.

3. Pemilihan parameter pengelasan SMAW

Pemilihan parameter-parameter pengelasan busur listrik elektroda terbungkus sangat berperan penting dalam menentukan kualitas hasil las yang akan diperoleh, adapun pemilihan parameter las untuk SMAW adalah:

a. Tegangan busur las

Panjang busur (*Arc Length*) yang dianggap baik lebih kurang sama dengan diameter elektroda yang dipakai. Untuk besarnya tegangan yang dipakai setiap posisi pengelasan tidak sama. Misalnya diameter elektroda 3-6 mm, mempunyai tegangan 20-30 volt pada posisi datar, dan tegangan ini akan dikurangi antara 2-5 volt pada posisi di atas kepala. Kestabilan tegangan ini sangat menentukan mutu pengelasan dan kestabilan juga dapat didengar melalui suara selama pengelasan.

b. Besar arus listrik

Besarnya arus juga mempengaruhi pengelasan, di mana 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. Sedangkan 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. 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 500 Ampere.

Tabel 1. Seleksi Arus

Diameter (mm)	Panjang (mm)	Arus (A)
8	450	300-500
6,3	450	200-370
6	450	190-310
5	450	150-250
4	450	120-180
4	350	120-190
3,25	450	80-125
3.25	350	80-130
2,5	350	60-95
2	300	50-80

(Sumber: W,Kenyon. 1979)

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.

Didalam kenyataannya pemilihan ukuran diameter tergantung dari perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas serta keahlian tukang lasnya. Ini bisa pula berarti bahwa tiap ukuran diameter elektroda mempunyai kaitan dengan besarnya Ampere yang lewat pada elektroda tersebut

Tabel 2. Hubungan Diameter Elektroda dengan Arus Pengelasan

Diameter Elektroda (mm)	Arus (Ampere)
2,5	60 - 90
2,6	60 - 90
3,2	80 - 130
4,0	150 - 190
5,0	180 - 250

(Sumber : Howard B .C, 1998)

B. Mesin Las

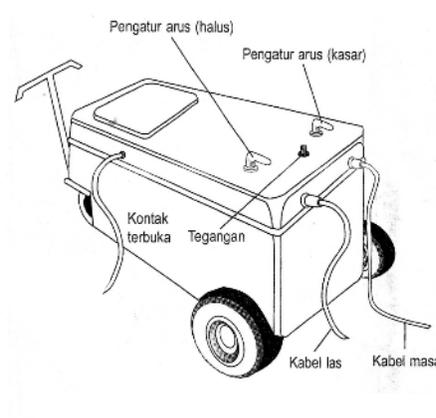
Mesin las pada unit peralatan las berdasarkan arus yang dikeluarkan pada ujung-ujung elektroda dibedakan menjadi sebagai berikut [Bintoro, 2000]:

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 pengelasan 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.

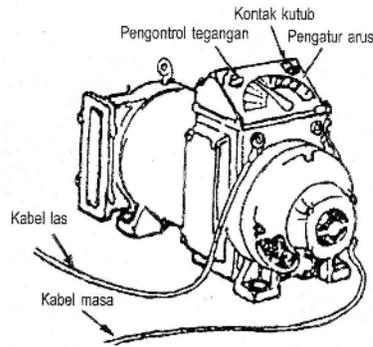


Gambar 5. Mesin las arus AC [Bintoro, 2000]

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 yang 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 yang berfungsi sebagai penyearah arus. Penyearah atau *rectifier* berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC).



Gambar 6. Mesin las arus DC [Bintoro, 2000]

Mesin las AC dan mesin las DC mempunyai kelebihan masing-masing, seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan Mesin Las AC dan DC

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

(Sumber : Bintoro, 2000)

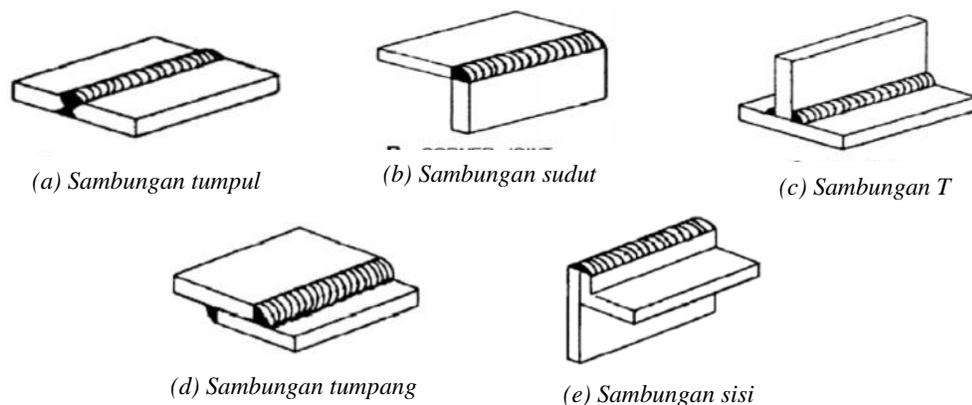
Gangguan-gangguan yang sering timbul dari mesin las yaitu tegangan melemah atau turun dan mesin las terlalu panas. Gangguan-gangguan tersebut menyebabkan mesin las tidak mengeluarkan arus listrik atau nyala busur listrik melemah.

C. Jenis Sambungan Las dan Bentuk Kampuh (Alur)

1. Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi 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 8).

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 7. Jenis-jenis sambungan las [Wiryosumarto, 1996]

Ada lima jenis sambungan dasar pengelasan (seperti pada Gambar 7), meskipun dalam praktiknya dapat ditemukan banyak variasi dan kombinasi, diantaranya adalah [Wiryosumanto, 1996]:

a. Sambungan tumpul/sebidang (*butt joint*)

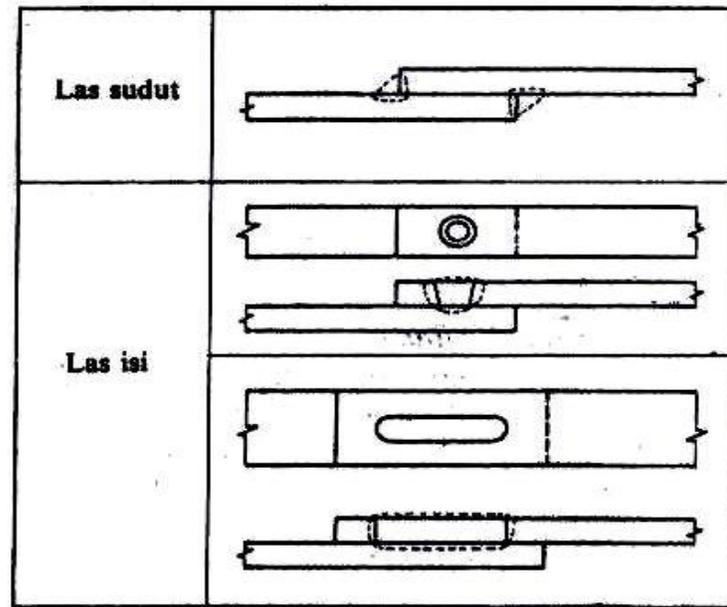
Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Bentuk alur sambungan ini sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting, di mana bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, BS, DIN, GOST, JSSC, dan lain-lain. Sambungan tumpul digunakan untuk menyambung ujung-ujung pelat yang datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama, biasanya divariasikan pada alur atau kampuh. Jenis kampuh sambungan tumpul (*butt joint*) dapat dilihat pada Gambar 8.

Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persagi (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)		—	

Gambar 8. Alur sambungan las tumpul

b. Sambungan tumpang (*lap joint*)

Sambungan tumpang dibagi dalam tiga jenis seperti ditunjukkan dalam Gambar 9. karena sambungan ini efisiensinya rendah maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las isi. Sambungan tumpang (*lap joint*) digunakan untuk menyambung pelat yang ketebalan yang berbeda, kelebihanannya ialah sambungan ini tidak membutuhkan kampuh atau alur.



Gambar 9. Kampuh sambungan tumpang

c. Sambungan bentuk T (*Tee joint*)

Pada sambungan bentuk T ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur. Sambungan bentuk T (*Tee joint*)

digunakan untuk menyambung pelat pada bagian-bagian *built up*, seperti profil T, Profil I, atau bagian-bagian yang berbentuk rangka (Gambar 7c).

d. Sambungan sudut (*corner joint*)

Pada sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel. Bila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu. Sambungan sudut (*corner joint*) digunakan untuk membentuk penampang boks segi empat terangkai (*built-up*) seperti untuk balok baja yang membutuhkan ketahanan terhadap torsi yang tinggi (Gambar 7b).

e. Sambungan sisi (*edge joint*)

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama pada pelatnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis kedua pengelasan dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur. Sambungan ini digunakan untuk menjaga dua atau lebih pelat agar tetap pada suatu bidang tertentu ataupun untuk mempertahankan kedudukan seperti semula (Gambar 7e)

Pemilihan jenis sambungan las terutama didasarkan pada ketebalan pelat yang akan dilas. Dalam pengelasan, ada yang disebut pelat tipis dan pelat tebal. Menurut AWS Code (*American Welding Society*) disebut pelat tipis apabila ketebalannya kurang dari 1 in (= 25,4 mm) dan disebut pelat tebal bila ketebalannya lebih dari 1 in. Mungkin saja dalam pemilihan sambungan ini terdapat lebih dari dua sambungan yang memenuhi persyaratan ketebalan pelat.

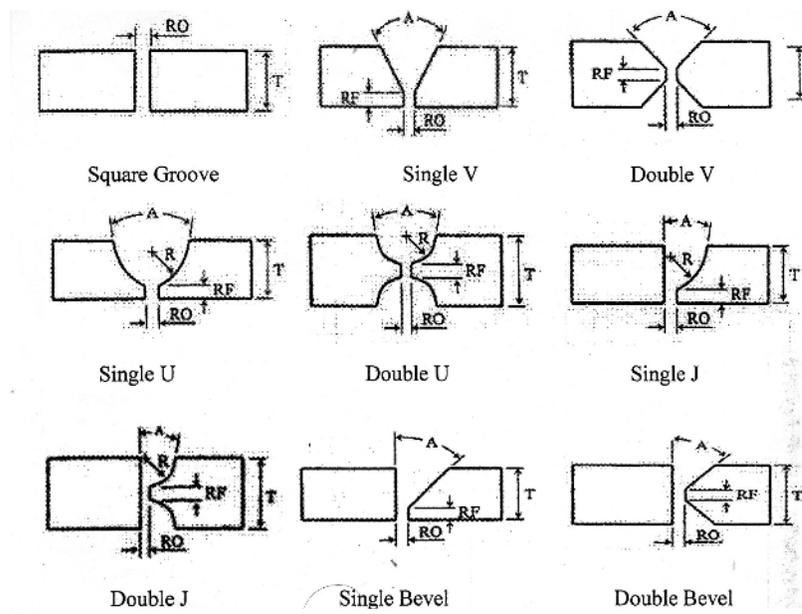
Jika hal itu terjadi maka harus dipilih kembali salah satu dari jenis sambungan yang ada [Sonowan 2003].

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

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

2. Bentuk Kempuh Las

Bentuk kempuh las sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan, dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk kempuh las sangat penting. Adapun jenis-jenis kempuh las pada sambungan tumpul dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Jenis-jenis kempuh las [Sonowan, 2003]

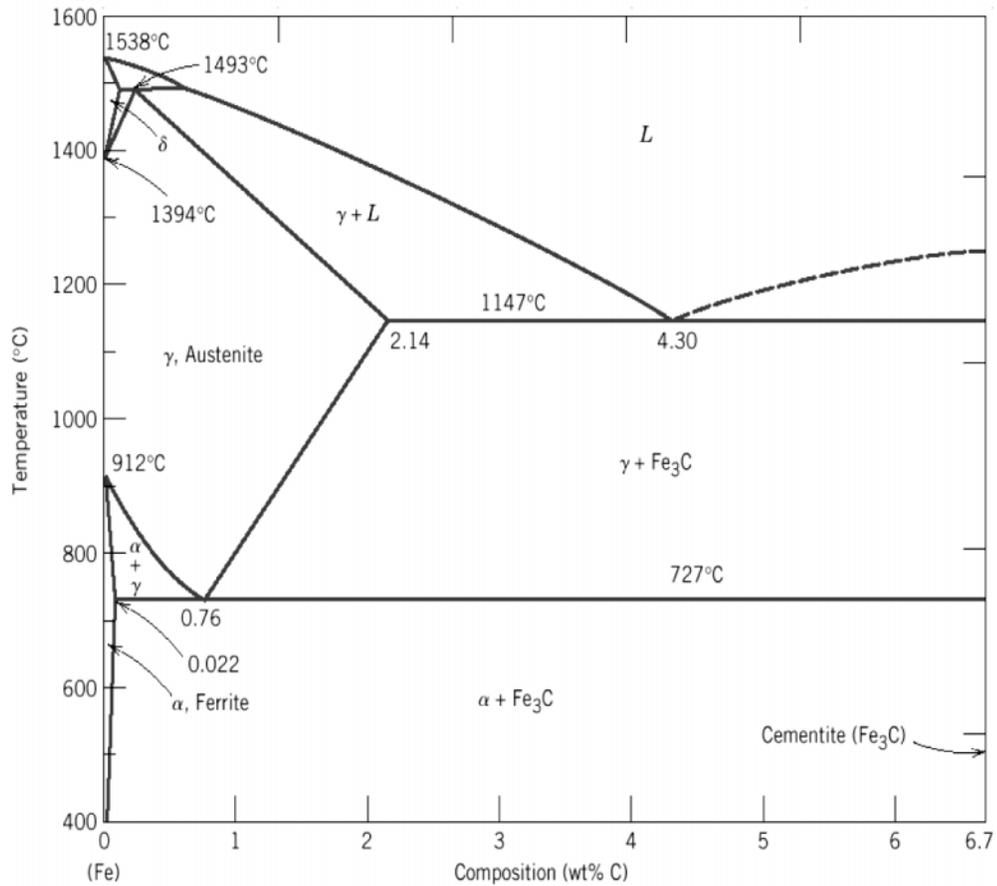
D. Baja

Logam baja dihasilkan dari pengolahan lanjut besi kasar pada dapur konverter, 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 ASTM.

Besi murni lunak, tidak kuat sehingga tidak dapat dipakai. 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 fosfor (P) serta belerang (S) sebagai unsur-unsur pada pembuatan baja. Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbon yang terkandung di dalamnya, bila kadar karbon tinggi maka nilai kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi tetapi perpanjangannya akan menurun. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya [Wiryosumarto, 1996].

Gambar 11 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 (*Continuous Cooling Temperature*).



Gambar 11. Diagram keseimbangan fasa Fe-C

Untuk mengetahui perubahan fasa pada baja karbon dapat dijelaskan menggunakan diagram keseimbangan fasa Fe-C yang ditunjukkan pada Gambar 11. 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].

1. Baja Karbon

Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah kadar karbonnya. Baja karbon dibagi menjadi tiga kelompok. Adapun pembagian jenis – jenis baja karbon adalah:

a). Baja karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung karbon antara 0,1% sampai dengan 0,3% dan dalam perdagangan karbon rendah berbentuk batang, pelat – pelat baja dan baja strip. Baja karbon rendah memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik dan sesuai dengan tujuan fabrikasi digunakan dalam kondisi anil atau normalisasi untuk tujuan konstruksi dan struktural, seperti jembatan, bangunan gedung, kendaraan bermotor, dan kapal laut.

b). Baja karbon sedang

Baja karbon sedang mempunyai kandungan karbon antara 0,3 % sampai dengan 0,6 %. Penemperan di daerah temperatur lebih tinggi (yaitu 350-550 °C) menghasilkan karbida *sferoidisasi* yang meningkatkan keuletan baja, dan dalam perdagangan baja karbon sedang digunakan untuk bahan baut, mur, piston, poros engkol, material as roda, poros, roda gigi, dan rel. Proses *ausforming* dapat diterapkan pada baja dengan kadar karbon sedang tersebut sehingga dicapai kekuatan lebih tinggi tanpa mengurangi keuletan.

c). Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon antara 0,7 % sampai dengan 1,3 % dan setelah mengalami proses heat treatment, baja tersebut digunakan untuk pegas (per), alat – alat perkakas, gergaji, pisau, kikir dan pahat potong. Baja karbon tinggi umumnya dikeraskan dengan ditemper ringan pada temperatur 250° C untuk menghasilkan kekuatan dan keuletan yang memadai untuk per, die, dan perkakas potong. Keterbatasan penggunaan terjadi karena kemampukerasan yang kurang baik dan pelunakan cepat yang terjadi pada penemperan temperatur sedang.

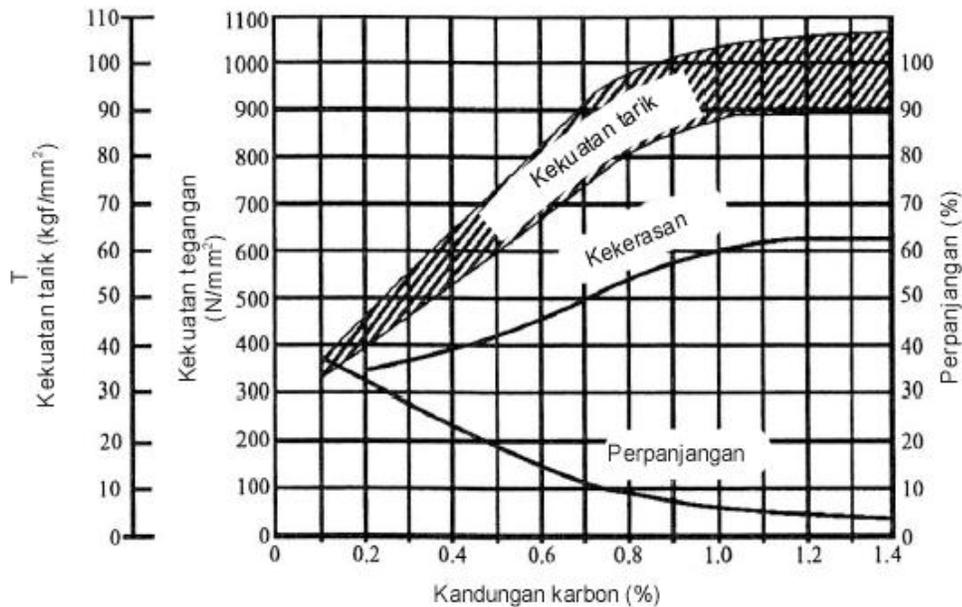
Tabel 4. Klasifikasi baja karbon

Jenis	Kelas	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170
	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200
Baja karbon tinggi	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235

(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

2. Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik mulur dan kekerasan tetapi menurunkan perpanjangan, sifat mampu pengerjaan dan sifat mampu las serta cenderung retak.



Gambar 12. Hubungan antara kandungan karbon dan sifat mekanis

3. Pengelasan Baja Karbon Sedang

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

E. Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang terbungkus (*fluks*) dan tidak terbungkus yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Elektroda terbungkus terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau *fluks*. Pelapisan *fluks* pada bagian inti dapat dilakukan dengan destruksi, semprot atau celup. Selaput yang ada pada elektroda berfungsi untuk melindungi cairan las, busur listrik, dan sebagian benda kerja dari udara luar. Udara luar mengandung gas oksigen, yang dapat mengakibatkan bahan las mengalami oksidasi, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanis dari logam yang dilas. Oleh karena itu, elektroda yang terbungkus digunakan untuk pengelasan benda-benda yang butuh kekuatan mekanis.

Bila ditinjau dari logam yang dilas kawat elektroda dibedakan menjadi lima bagian besar yaitu, baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Karena *filler metal* harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam induk, maka sekaligus ini berarti bahwa tidak ada elektroda yang dapat dipakai untuk semua jenis dari pengelasan. Pemilihan ukuran diameter tergantung dari perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas, serta keahlian dalam pengelasan. Ini berarti bahwa tiap ukuran diameter elektroda mempunyai kaitan dengan besarnya kuat arus yang harus lewat pada elektroda tersebut. Di mana elektroda tersebut mempunyai selubung atau *coating*.

Elektroda perlu disimpan di tempat yang kering dan hangat dan digunakan berurutan misalnya elektroda baru tidak ditumpuk di atas yang lama. Kadang-kadang elektroda yang sudah sangat lama mempunyai lapisan bulu berwarna putih yang disebabkan oleh kaca air pada elektroda. Elektroda harus ditumpuk dengan hati-hati dan jangan dijatuhkan yang akan menyebabkan retak dan terkelupasnya lapisan. Las yang berkualitas jelek biasanya sebagai akibat jika digunakan elektroda terkelupas, lembab, atau rusak. Jika elektroda kering digetarkan di tangan menghasilkan bunyi logam yang kuat, akan tetapi yang lembab mempunyai bunyi yang teredam [Kenyon, 1985]. Beberapa fungsi lapisan elektroda, antara lain:

- a. Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair dan dengan demikian mencegah oksigen dan nitrogen dari udara memasuki logam las.
- b. Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol.

- c. Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan.
- d. Menyediakan suatu terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan pendinginan logam las dan dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
- e. Membantu mengontrol (bersama-sama dengan arus las) ukuran dan frekuensi tetesan logam cair.
- f. Memungkinkan dipergunakannya posisi-posisi yang berbeda.

Dilihat dari fungsinya, maka untuk pemilihan jenis elektroda yang digunakan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Jenis logam yang akan dilas.
2. Tebal bahan yang akan dilas.
3. Kekuatan mekanis yang diharapkan dari hasil pengelasan.
4. Posisi pengelasan.
5. Bentuk kampuh benda kerja.

Dari kriteria di atas dapat dilihat kode elektroda yang sesuai untuk keperluan yang diinginkan. Kode elektroda yang berupa huruf dan angka mempunyai arti khusus yang berguna untuk pemilihan elektroda. Kode elektroda sudah distandarkan oleh badan standarisasi kode elektroda yaitu AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society For Testing Materials*). Simbol atau kode yang diberikan yaitu satu huruf E yang diikuti oleh empat atau lima angka dibelakangnya, contoh E7016. Sedangkan simbol standarisasi JIS (*Japan*

Industrial Standard), kode yang diberikan yaitu satu huruf D yang diikuti oleh empat atau lima angka dibelakangnya, contoh D5016.

Elektroda dengan kode **E 7016**, untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing-masing, yaitu:

- E** : elektroda untuk las busur listrik.
- 70** : menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 psi, jadi 70.000 psi atau 483 MPa.
- 1** : menyatakan posisi pengelasan, angka 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.
- 6** : menunjukkan jenis fluks hidrogen rendah.

F. METODE PENGUJIAN

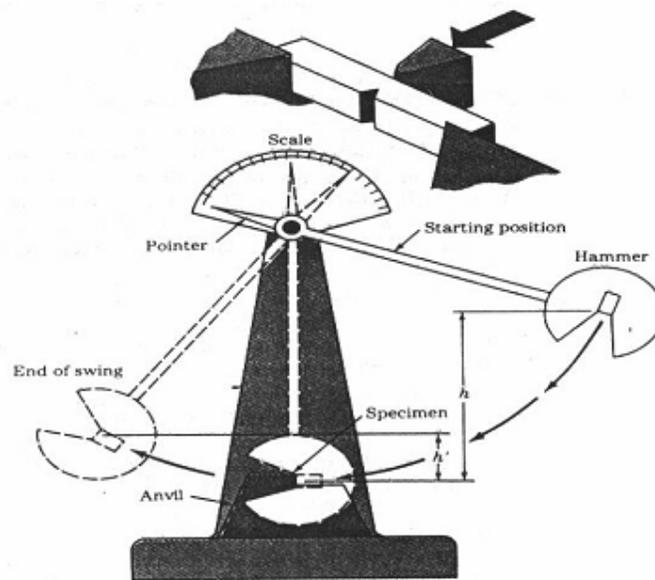
Pengujian untuk logam pada umumnya dapat dibagi menjadi dua yaitu: pengujian bersifat merusak dan pengujian tak merusak. Tujuan dari pengujian dan pemeriksaan ini adalah untuk menjamin mutu dan kepercayaan terhadap konstruksi las. Syarat yang diutamakan dalam konstruksi las adalah kekuatan.

Dalam penelitian ini pengujian yang hendak dilakukan adalah pengujian yang bersifat merusak pada konstruksi las, di mana pengujian tersebut dilakukan terhadap model dari konstruksi atau batang uji yang telah dilas dengan cara yang sama dengan proses pengelasan yang akan digunakan sampai terjadi kerusakan pada model konstruksi atau batang uji. Sampai saat ini hubungan antara hasil pengujian pada model dan batang uji terhadap kekuatan konstruksi masih belum jelas. Oleh karena itu, pada pengujian merusak yang penting adalah pengujian untuk melihat kesamaan antara logam induk dan logam pada daerah lasan. 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 dampak.

1. Pengujian Dampak

Pengujian dampak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejutan. Inilah yang membedakan pengujian dampak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian dampak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi

operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Gambar 13 di bawah ini memberikan ilustrasi suatu pengujian impak dengan metode Charpy.



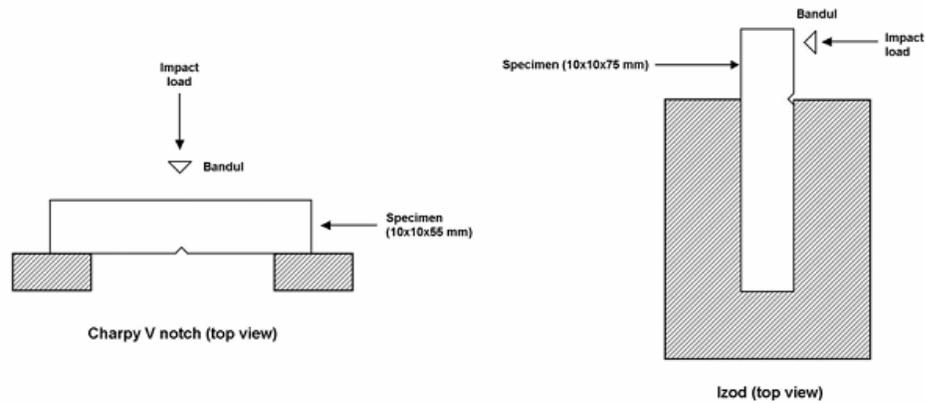
Gambar 13. Ilustrasi skematis pengujian Charpy

Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Pada Gambar 13 di atas dapat dilihat bahwa setelah benda uji patah akibat deformasi, bandul pendulum melanjutkan ayunannya hingga posisi h' . Bila bahan tersebut tangguh yaitu makin mampu menyerap energi lebih besar maka makin rendah posisi h' . Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah. Pada pengujian impak, energi yang diserap oleh

benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan Joule dan dibaca langsung pada skala (dial) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode Charpy diberikan oleh :

$$HI = \frac{E}{A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana E adalah energi yang diserap dalam satuan Joule dan A luas penampang di bawah takik dalam satuan mm². Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu : batang uji Charpy sebagaimana telah ditunjukkan pada Gambar 1, banyak digunakan di Amerika Serikat dan batang uji Izod yang lazim digunakan di Inggris dan Eropa. Benda uji Charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10 x 10 mm) dan memiliki takik (notch) berbentuk V dengan sudut 45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul. Benda uji Izod mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dengan takik V di dekat ujung yang dijepit. Perbedaan cara pembebanan antara metode Charpy dan Izod ditunjukkan oleh Gambar di bawah ini :



Gambar 14. Ilustrasi skematik pembebanan uji Charpy dan Izod

Kerja yang dilakukan untuk mematahkan benda kerja adalah

$$W = G \cdot L (\cos \theta - \cos \theta_0) \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana W = kerja patah dalam Joule

G = beban yang digunakan dalam kg

L = panjang lengan ayun dalam m

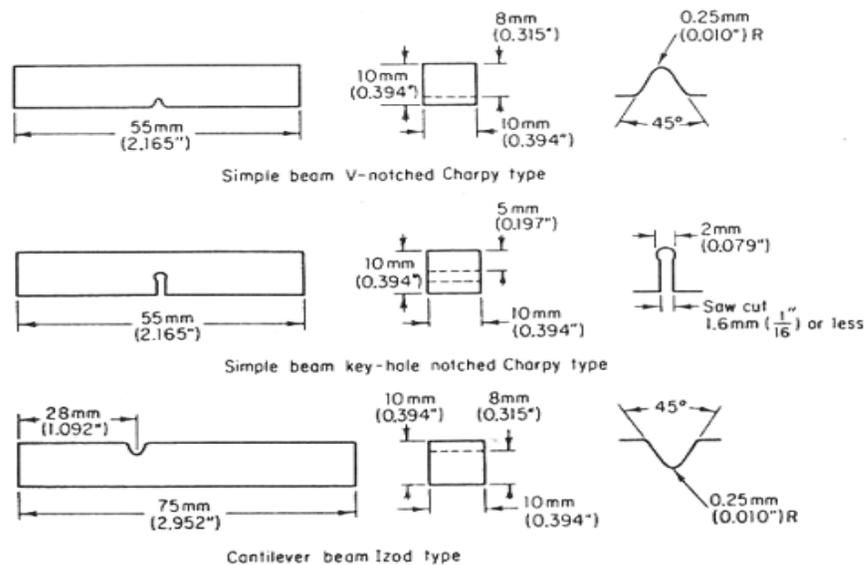
θ = sudut jatuh dalam derajat

θ_0 = sudut awal dalam derajat

Takik (notch) dalam benda uji standar ditujukan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga perpatahan diharapkan akan terjadi di bagian tersebut. Selain berbentuk V dengan sudut 45° , takik dapat pula dibuat dengan bentuk lubang kunci (*key hole*). Pengukuran lain yang biasa dilakukan dalam pengujian impak Charpy adalah penelaahan permukaan perpatahan untuk menentukan jenis perpatahan (*fracografi*) yang terjadi.

Secara umum sebagaimana analisis perpatahan pada benda hasil uji tarik maka perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam logam yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.
2. Perpatahan granular/kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari logam yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
3. Perpatahan campuran (berserat dan granular). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.



Gambar 15 Bentuk dan dimensi benda uji impak berdasarkan ASTM E23-56T

2. Pengujian Kekerasan

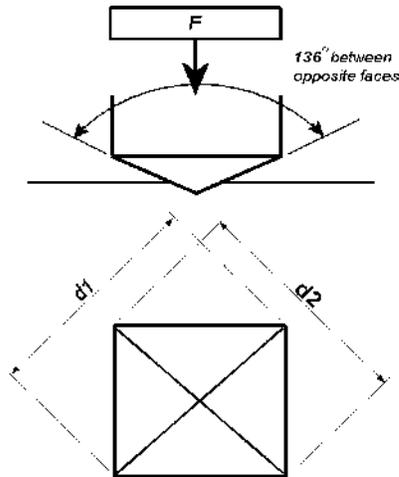
Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanik (Mechanical properties) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (*Metallurgy Engineering*).

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Metode uji kekerasan dapat dibagi menjadi beberapa macam, yaitu: metode *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, *Knoop* dan *Shore*. Alat uji kekerasan menggunakan bola kecil, piramida intan, atau kerucut ke permukaan spesimen dengan beban tertentu, dan nilai kekerasan (*Brinell* atau piramida intan *Vickers*) diperoleh dari diameter jejak. Kekerasan dapat dihubungkan dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik logam, karena sewaktu indentasi, material di sekitar jejak mengalami deformasi plastis mencapai beberapa persen regangan tertentu. Nilai kekerasan *Vickers* didefinisikan sebagai piramida dan dinyatakan dalam satuan kg/mm^2 dan besarnya sekitar tiga kali tegangan luluh untuk material yang tidak mengalami pengerasan-kerja yang berarti. Untuk penelitian ini digunakan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers*. Untuk penelitian ini digunakan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers*.

Pemilihan masing-masing skala (metode pengujian) tergantung pada:

- a. Permukaan material
- b. Jenis dan dimensi material

- c. Jenis data yang diinginkan
- d. Ketersedian alat uji



Gambar 16. Uji kekerasan vickers [www.gordonengland.co.uk]

Pada pengujian kekerasan *Vickers* suatu benda penekan (intan), dengan bentuk piramida lurus dengan alas bujur sangkar dengan sudut 136°, ditekan ke dalam spesimen uji dengan gaya F tertentu selama waktu tertentu. Setelah piramida diangkat diagonal (d) bekas tekanan tepat diukur (Gambar 16). Kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan yang berbentuk piramida.

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \text{ Approximatelyly} \quad \dots 3)$$

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1,854 F}{d^2} \quad \dots 4)$$

Dimana d = diagonal rata-rata limas

Hasil-hasil kekerasan *Vickers* tidak tergantung pada gaya F. Dengan penggunaan bentuk piramida yang selalu sama, maka pada gaya F yang lebih besar akan diperoleh suatu luas yang lebih besar berbanding dengan gaya tersebut, sehingga $HV = F/A$ tetap. Kekerasan *Vickers* yang diperoleh dengan berbagai gaya, dapat dibandingkan dengan yang lainnya. Gaya yang biasa digunakan adalah; 10, 25, 50, 100, 300, 500, 600 dan 1000 N, dengan waktu beban penuh sebagai berikut: untuk baja, tembaga, dan paduan tembaga 10-25 detik, sedangkan untuk aluminium, paduan aluminium, magnesium, dan paduan magnesium 28-32 detik.