

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengelasan

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

Perkembangan teknologi pengelasan logam memberikan kemudahan umat manusia dalam menjalankan kehidupannya. Saat ini kemajuan ilmu pengetahuan dibidang elektronik melalui penelitian yang melihat karakteristik atom, mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap penemuan material baru dan sekaligus bagaimanakah menyambungnya. Jauh sebelumnya, penyambungan logam dilakukan dengan memanasi dua buah logam dan menyatukannya secara bersama. Logam yang menyatu tersebut dikenal dengan istilah *fusion*. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut.

Pada zaman sekarang pemanasan logam yang akan disambung berasal dari pembakaran gas atau arus listrik. Beberapa gas dapat digunakan, tetapi yang sangat populer adalah gas *acetylene* yang lebih dikenal dengan gas karbit. Selama pengelasan, gas *acetylene* dicampur dengan gas oksigen murni. Kombinasi campuran gas tersebut memproduksi panas yang paling tinggi diantara campuran gas lain.

Cara lain yang paling utama digunakan untuk memanasi logam yang dilas adalah arus listrik. Arus listrik dibangkitkan oleh generator dan dialirkan melalui kabel ke sebuah alat yang menjepit elektroda diujungnya, yaitu suatu logam batangan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Ketika arus listrik dialirkan, elektroda disentuhkan ke benda kerja dan kemudian ditarik ke belakang sedikit, arus listrik tetap mengalir melalui celah sempit antara ujung elektroda dengan benda kerja. Arus yang mengalir ini dinamakan busur (*arc*) yang dapat mencairkan logam.

Terkadang dua logam yang disambung dapat menyatu secara langsung, namun terkadang masih diperlukan bahan tambahan lain agar deposit logam lasan terbentuk dengan baik, bahan tersebut disebut bahan tambah (*filler metal*). *Filler metal* biasanya berbentuk batangan, sehingga biasa dinamakan *welding rod* (Elektroda las). Pada proses las, *welding rod* dibenamkan ke dalam cairan logam yang tertampung dalam suatu cekungan yang disebut *welding pool* dan secara bersama-sama membentuk deposit logam lasan, cara seperti ini dinamakan las listrik atau *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW).

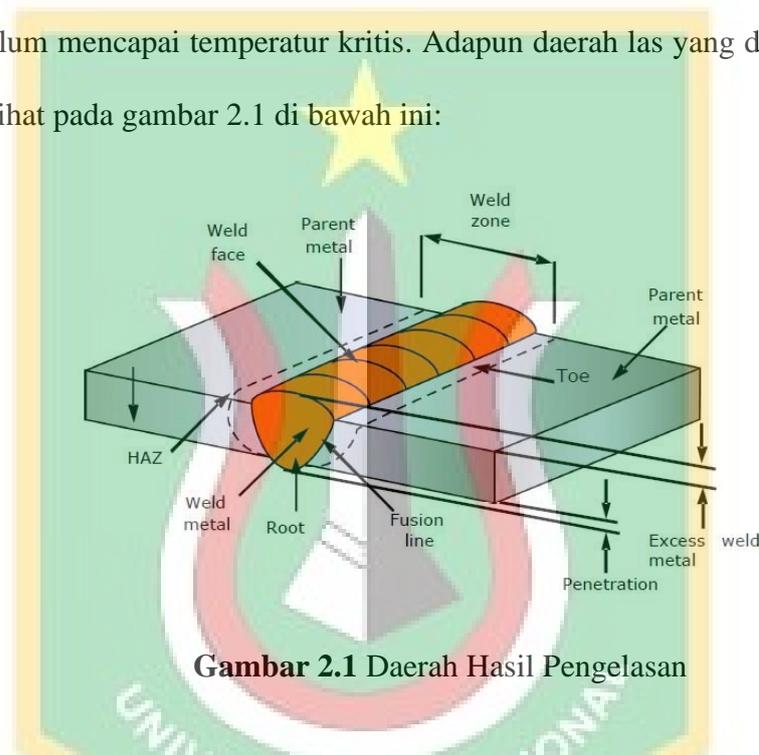
Sebagian besar logam akan berkarat ketika bersentuhan dengan udara atau uap air, sebagai contoh adalah karat di logam besi. Jika logam berkarat maka kotoran atau material lain akan ikut tercampur ke dalam cairan logam lasan yang dapat menyebabkan kekroposan deposit logam lasan yang terbentuk sehingga menyebabkan cacat pada sambungan las.

Aspek-aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus benar-benar diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Pada setiap penyambungan dengan las, selalu dijumpai daerah-daerah atau bagian-bagian dari sambungan las sebagai berikut :

1. Logam lasan (*weld metal*) adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las (*weld deposit*) berasal dari logam pengisi (*filler metal*);
2. Garis gabungan (*fusion line*) adalah garis gabungan antara logam lasan dan HAZ, dapat dilihat dengan mengetsa penampang las. Daerah ini adalah batas bagian cair dan padat dari sambungan las;
3. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah pengaruh panas atau daerah di mana logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat. Penyebaran panas pada logam induk dipengaruhi oleh temperatur panas dari logam cair dan kecepatan dari pengelasan. Pada batas HAZ dan logam cair temperatur naik sangat cepat sampai batas pencairan logam dan temperatur turun sangat cepat juga setelah proses pengelasan selesai. Hal ini dapat disebut juga sebagai efek *quenching*. Pada daerah ini biasanya terjadi transformasi struktur mikro. Struktur mikro menjadi *austenit* ketika temperatur naik (panas) dan menjadi *martensit* ketika temperatur turun (dingin). Daerah yang terletak dekat garis fusi ukuran butirnya akan cenderung besar yang disebabkan oleh adanya temperatur tinggi dan menyebabkan *austenit* mempunyai kesempatan besar untuk menjadi homogen. Karena dengan keadaan homogen menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar. Sedangkan daerah yang semakin menjauhi garis fusi ukuran butirnya semakin mengecil. Hal ini disebabkan oleh temperatur yang tidak begitu tinggi menyebabkan *austenit* tidak mempunyai waktu yang banyak untuk menjadi lebih homogen. Transformasi struktur mikro yang terjadi akibat perubahan temperatur menyebabkan daerah HAZ sangat berpotensi

terjadinya retak (*crack*) dan hal ini sangat penting untuk diperhatikan untuk mendapatkan hasil lasan yang baik;

4. Logam induk (*parent metal*) adalah bagian logam yang tidak berpengaruh oleh pemanasan karena proses pengelasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat-sifat dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis. Adapun daerah las yang dijelaskan di atas dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini:



**Gambar 2.1** Daerah Hasil Pengelasan

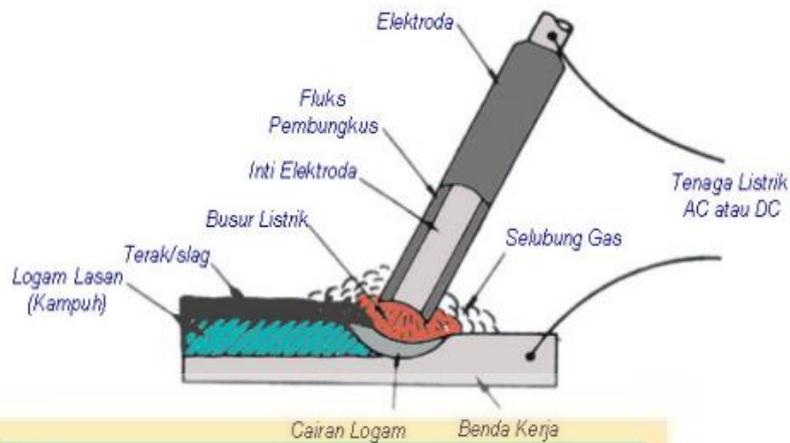
### 2.1.1. Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Las SMAW yang berasal dari kata *Shield Metal Arc Welding* adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (kawat las). Panas tersebut ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Panas yang timbul dari lonjakan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000° sampai dengan 4500° C.

Las listrik ini menggunakan elektroda berselaput sebagai bahan tambah. Busur listrik yang terjadi diantara ujung elektroda dan bahan dasar akan mencairkan ujung elektroda dan sebagian bahan dasar. Selaput elektroda yang turut terbakar akan mencair dan menghasilkan gas yang melindungi ujung elektroda, kawah las, busur listrik dan daerah las di sekitar busur listrik terhadap pengaruh udara luar. Cairan selaput elektroda yang membeku akan menutupi permukaan las yang juga berfungsi sebagai pelindung terhadap pengaruh luar. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

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 2.2** *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

### 2.1.2. Perlengkapan dan Komponen Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Perlengkapan yang diperlukan untuk proses pengelasan SMAW adalah peralatan yang paling sederhana dibandingkan dengan proses pengelasan listrik yang lainnya. Adapun perlengkapan las SMAW adalah sebagai berikut :

#### 1. Mesin Las

Mesin las adalah bagian terpenting dari peralatan las. Mesin ini harus dapat memberi jenis tenaga listrik yang diperlukan dan tegangan yang cukup untuk terus melangsungkan suatu lengkung listrik las.

##### a. Transformator

Mesin ini memerlukan sumber arus bolak-balik dan sebaliknya memberi arus bolak-balik dengan *voltage* (tegangan) yang lebih rendah pada proses pengelasan. Berdasarkan sistem pengaturan arus yang digunakan, mesin las 3 busur listrik AC dapat dibagi dalam empat jenis yaitu: jenis inti bergerak, jenis kumparan bergerak, jenis reaktor jenuh dan jenis saklar.



**Gambar 2.3** *Transformator*

b. Mesin Las Rectifier

Mesin ini merubah arus listrik bolak-balik (AC) yang masuk menjadi arus listrik searah (DC) keluar. Bekerjanya tenang dan biasanya mempunyai tombol pengontrol tunggal untuk menyetel arus listrik keluar. Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin la yang berupa dinamo motor listrik searah. Dinamo dapat digerakkan oleh motor listrik, motor bensin, motor *diesel*, atau alat penggerak lainnya yang memerlukan peralatan yang berfungsi sebagai penyearah arus. Mesin las *rectifier* arus searah ini mempunyai beberapa keuntungan, antara lain :

- 1) Nyala busur listrik yang dihasilkan lebih stabil dan tenang;
- 2) Setiap jenis elektroda dapat digunakan untuk pengelasan pada mesin DC;
- 3) Tingkat kebisingannya lebih rendah;
- 4) Mesin las lebih fleksibel karena dapat diubah ke arus bolak-balik atau arus searah.



**Gambar 2.4** Mesin Las *Rectifier*

c. Inverter

Pada tipe ini sumber *power* menggunakan *inverter*. *Power* berasal dari sumber utama yang diubah menjadi DC tegangan tinggi dan AC frekwensi tinggi antara 5 sampai 30 KHz. Keluaran dari rangkaian dikontrol menurut prosedur pengelasan yang diperlukan. Frekwensi tinggi diubah menjadi tegangan pada saat pengelasan. Keuntungan dari *inverter* adalah menggunakan transformer kecil, semakin kecil transformer semakin meningkat frekwensinya.



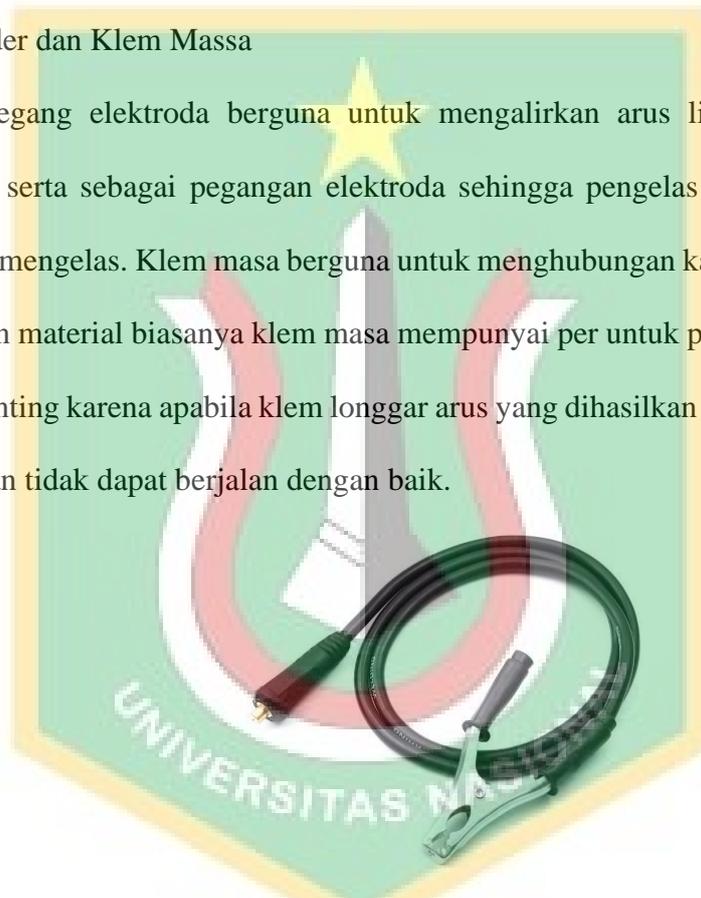
**Gambar 2.5** *Inverter*

d. Kabel Massa dan Kabel Elektroda

Kabel masa dan kabel elektroda berfungsi menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel masa dan kabel elektroda ini harus cukup besar untuk mengalirkan arus listrik, apabila kurang besar akan menimbulkan panas pada kabel dan merusak isolasi kabel yang akhirnya membahayakan pengelasan.

e. Holder dan Klem Massa

Pemegang elektroda berguna untuk mengalirkan arus listrik dari kabel ke elektroda serta sebagai pegangan elektroda sehingga pengelas tidak merasa panas pada saat mengelas. Klem masa berguna untuk menghubungkan kabel masa dari mesin las dengan material biasanya klem masa mempunyai per untuk penjepitnya. Klem ini sangat penting karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil sehingga pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.



**Gambar 2.6** Holder dan Klem Massa

f. Elektroda

Pada las busur listrik (SMAW), Elektroda las listrik yang digunakan adalah elektroda terbungkus, di mana terdiri dari batang kawat (inti) dan salutannya (*flux*).

Kawat elektroda dan salutannya akan mencair di dalam busur selama proses pengelasan dan membentuk rigi-rigi las / kempuh las.

Di mana salutan / *flux* dari elektroda las listrik tersebut berfungsi sebagai pelindung yang mana dapat melindungi cairan las dari pengaruh udara luar. Adapun salutan (*flux*) ini terdiri dari campuran bahan mineral dan zat kimia dan inilah yang menentukan karakter pengoperasian dan komposisi pada akhir pengelasan.

Jenis arus las yang dipakai adalah arus AC, DC + atau DC -, dan akan berubah sesuai dengan jenis elektroda yang dipergunakan dan ini diharapkan dapat memilih jenis elektroda secara berhati-hati sebelum dipergunakan untuk mengelas.



**Gambar 2.7** Elektroda Las SMAW

Ada standar tertentu yang dipergunakan oleh para pelaku industri pengelasan untuk bisa menentukan elektroda yang akan dipakai dan besaran arus listrik yang diperlukan. Standar yang umum dipakai adalah standar yang ditentukan oleh *American Welding Society* (AWS), yang merupakan badan pengelasan resmi di Amerika Serikat. Standar yang ditetapkan oleh badan ini telah diakui secara luas dan dipergunakan sebagai

standar pengelasan di berbagai negara. Badan ini mengeluarkan standar yang dinyatakan dengan tanda E XXXX yang berarti:

- 1) E merujuk pada keterangan kawat las listrik alias elektroda;
- 2) XX (dua angka pertama) merujuk pada kekuatan tarikan dari kawat las yang dinyatakan dalam satuan kilo *pound square inch* atau Ksi. Satuan ini juga sering dinyatakan dalam lb/in<sup>2</sup>;
- 3) X (angka ketiga) merujuk pada posisi pengelasan yang bisa dilakukan dengan elektroda tersebut. Angka 1 menunjukkan penggunaan pada semua posisi, angka 2 menunjukkan bahwa kawat las tersebut dapat dipakai pada posisi datar dan horizontal dan angka 3 menunjukkan bahwa kawat las tersebut hanya dapat dipakai pada posisi flat saja;
- 4) X (angka keempat) merujuk pada jenis pelapis dan arus yang dipergunakan pada elektroda tersebut.

## 2.2. Elektroda AWS A5.1 E6013

Elektroda las AWS A5.1 E6013 adalah elektroda baja karbon rendah dengan tinggi titanium jenis kalium. Hal ini dapat memberikan pengelasan yang sangat baik, dikarenakan kinerja busur sangat stabil dan pecahannya yang diabaikan.

Elektroda AWS A5.1 E6013 yang di mana berada pada jenis E 6013 sendiri akan dapat digunakan pada sebuah mesin las dengan menggunakan sebuah arus AC atau *alternating current* dan juga DC atau *direct current* dengan seluruh macam posisi pengelasan. Kawat yang berada pada elektroda serta las yang di mana sejenis tersebut akan memiliki sebuah lapisan luar yang akan dianggap sangatlah banyak mengandung berbagai macam kalium titania. Kekuatan daripada tegangan tarik kawat ini sendiri

hingga mencapai sebesar 60.000 psi. Komposisi kimia dari Elektroda AWS A5.1 E6013 adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Komposisi Kimia Elektroda AWS A5.1 E6013

Komposisi kimia	C	Mn	Si	S	P
Menjamin Nilai	≤ 0.12	0.3-0.6	≤ 0.35	≤ 0.035	≤ 0.040



**Gambar 2.8** Elektroda AWS A5.1 E6013

### 2.3. Baja SS400

Berdasarkan penamaan *Japanese Industrial Standar* (JIS), SS400 termasuk ke dalam kategori *structural steel*. Berdasarkan standar ekivalensi SS400/JIS G3101/ASTM A36/St37 adalah baja karbon rendah (*low carbon steel*) di mana komposisi kimianya terdiri atas besi (Fe), karbon (C), *manganese* (Mn), silikon (Si), sulfur (S) dan posfor (P). Baja SS400 sangat umum digunakan (*general purpose structural steel*) untuk aplikasi struktural seperti bangunan, jembatan, plat kapal dan otomotif.

Dibandingkan dengan standar baja lainnya, SS400 memiliki kekuatan tarik dan ketangguhan yang bagus, plastisitas yang baik, mudah untuk dilas dan mudah untuk dimachining. Untuk mengetahui sifat mekanik dan komposisi kimia baja SS400 berdasarkan standar JIS G3101 adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.2 Mechanical Properties Baja SS400**

Grade 钢号	Steel Product 钢材产品	Chemical Composition 化学成份%				Tensile Strength 抗拉强度 N/mm <sup>2</sup>	Thickness 厚度t mm	Elongation 伸长率 %
		maximum 最大						
		C	Mn	P	S			
SS 400	Steel plates and sheets, coils, sections, flats and bars	-	-	0.05	0.05	400 to 510	Steel plates and sheets, coils, flats and sections 5<t≤16	17

#### 2.4. Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan adalah variabel yang mempengaruhi dari hasil pengelasan, baik dari hasil pengujian mekanik maupun uji visual. Jika pemilihan parameter las kurang tepat maka dapat mengakibatkan terjadinya cacat las dan sifat mekanik hasil pengelasan kurang dari syarat keberterimaan yang ditentukan oleh standar. Adapun parameter pengelasan khususnya untuk metode SMAW adalah sebagai berikut :

##### a. Arus Pengelasan

Merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi hasil pengelasan mulai dari kedalaman penetrasi atau *fusi weld metal* dengan benda kerja. Sebagai catatan semakin besar arus yang digunakan maka penetrasi akan semakin dalam dan sebaliknya jika arus semakin kecil maka penetrasi semakin dangkal.

Pemilihan besar arus ini harus diperhatikan dengan baik apalagi proses pengelasan pada material yang berbeda. Karena dengan material yang berbeda akan mempunyai titik lebur yang berbeda sehingga mempengaruhi tingkat mencairnya logam induk.

##### b. Arc Voltage

*Arc Voltage* atau tegangan busur ini sangat erat kaitannya dengan panjang busur las atau jarak elektroda dengan benda kerja saat proses pengelasan berlangsung. Untuk

proses pengelasan seperti SMAW ini dipengaruhi oleh *power source* dan dapat divariasikan tersendiri oleh arus. Saat melakukan pengaturan pada *voltage* maka dapat mempengaruhi hasil dari pengelasan baik kedalaman atau lebarnya.

c. Polaritas

Pemilihan polaritas ini berpengaruh terhadap konsentrasi panas yang dihasilkan yang lebih besar terjadi pada elektroda atau pada benda kerja. Untuk konsentrasi panas setiap proses pengelasan mempunyai hasil dan karakteristik yang berbeda beda. Seperti proses SMAW yang terbaik adalah menggunakan polaritas DCEP.

d. Kecepatan Pengelasan (Travel Speed)

Dalam menentukan kecepatan kita harus menyesuaikan dengan besar arus yang digunakan. Arus dan kecepatan harus seimbang agar didapatkan profil pengelasan yang baik, penetrasi, serta sambungan las yang sesuai *acceptance criteria*.

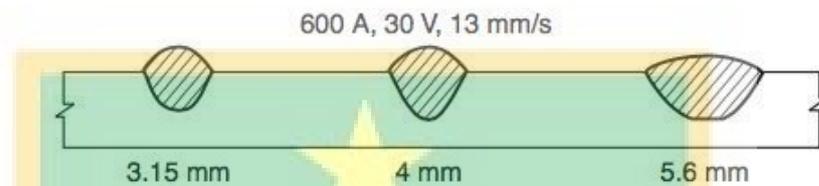
Semakin tinggi arus las maka kecepatan las juga meningkat, karena arus yang tinggi akan menyebabkan elektroda juga semakin cepat mencair sehingga *travel speed* juga ditingkatkan agar lebar lasan tidak berlebih.

## 2.5. Diameter Elektroda

Elektroda mempengaruhi konfigurasi kepala lasan yang mempengaruhi penetrasi dan laju deposisi. Pada setiap arus yang diberikan, diameter elektroda yang lebih kecil akan memberikan kerapatan arus yang lebih tinggi dan menyebabkan tingkat deposisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda berdiameter besar. Elektroda diameter yang lebih besar, membutuhkan arus minimum yang lebih tinggi untuk mencapai karakteristik transfer logam yang sama.

Dengan demikian elektroda yang lebih besar akan menghasilkan tingkat deposisi yang lebih tinggi pada arus yang lebih tinggi. Jika laju umpan yang diinginkan lebih tinggi

dari *feed-moter* dapat memberikan perubahan ke elektroda ukuran lebih besar akan memungkinkan tingkat deposisi yang diinginkan dan sebaliknya. Dalam kasus *fit-up* atau pengelasan pelat tebal, ukuran elektroda yang lebih besar lebih baik untuk menjembatani pembukaan root besar dibandingkan yang lebih kecil. Pada gambar 2.9 dapat dilihat geometri beberapa kepala lasan terhadap diameter elektroda.



**Gambar 2.9** Pengaruh Diameter Elektroda Terhadap Geometri Kepala Lasan

## 2.6. Pengujian Hasil Pengelasan

Ada dua cara dalam pengujian material di industri yaitu dengan cara pengujian merusak (*Destructive Testing*) dan pengujian tanpa merusak (*Non Destructive Testing*) pengujian ini sangat diperlukan dibidang industri sebab pengujian ini akan membantu mengetahui sifat dari material yang akan digunakan di industri. Material yang digunakan di industri seperti besi, *stainless*, beton, aluminium, baja, kayu akan diuji sebelum digunakan.

### 2.6.1. Destructive Testing

*Destructive testing* (DT) adalah salah satu metode pengujian yang mengakibatkan kerusakan pada struktur untuk menentukan sifat fisiknya, seperti sifat mekanik kekuatan, ketangguhan, fleksibilitas, dan kekerasan. Pengujian ini sering digunakan untuk menguji barang-barang yang pada umumnya diproduksi secara massal pada umumnya proses

pengujian ini dilakukan dengan merusak beberapa *sample* untuk mengetahui kelayakannya secara keseluruhan.

Pengujian destruktif juga dapat dilakukan dengan tujuan peninjauan keamanan dan keselamatan kerja untuk memverifikasi kapasitas perlindungan peralatan keselamatan atau untuk memastikan bahwa bagian vital-keselamatan dari suatu struktur tidak mengalami kegagalan. Pengujian destruktif juga sering dilakukan dengan tujuan untuk memverifikasi kemampuan peralatan keselamatan untuk terus berfungsi dalam keadaan apapun dan juga kondisi yang *extreme*, seperti kemampuan respirator untuk terus berfungsi disuhu yang sangat tinggi atau kondisi fisik lainnya yang menuntut kondisi fisik *extreme*. Pengujian *destructive testing* dapat dilakukan pada hasil pengelasan dengan metode sebagai berikut:

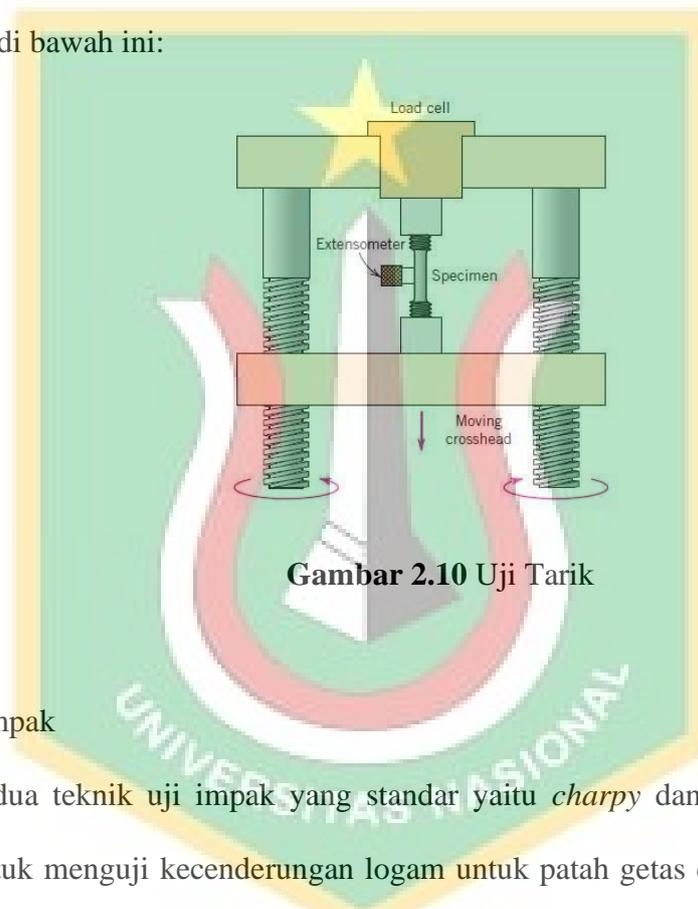
1) Uji Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan benda uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga perpanjangan benda uji terus meningkat sampai dengan putus. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur.

Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara tegangan regangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan. Mesin uji tarik sering diperlukan dalam kegiatan *engineering* untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin uji tarik

terdiri dari beberapa bagian pendukung utama, diantaranya kerangka, mekanik pencekam spesimen, sistem penarik dan mekanik, serta sistem pengukur.

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontiniu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. seperti terlihat pada gambar 2.10 di bawah ini:

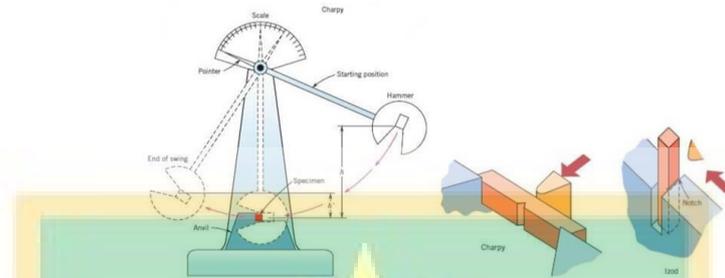


## 2) Uji Impak

Ada dua teknik uji impak yang standar yaitu *charpy* dan *izod*. Pengujian ini bertujuan untuk menguji kecenderungan logam untuk patah getas dan untuk mengukur energi impak atau istilah lainnya disebut *notch toughness* (mengukur ketangguhan logam terhadap adanya takik) teknik *charpy V-notch* (CVN) adalah teknik yang paling banyak digunakan.

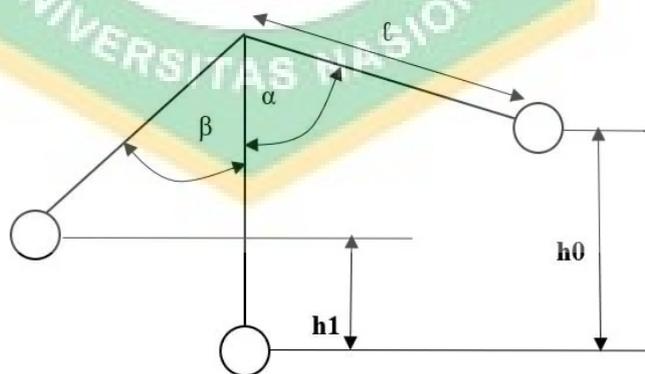
Pada uji impak digunakan spesimen uji bertakik yang dipukul dengan sebuah pendulum, pada teknik *izod* spesimen dijepit pada satu ujung hingga takik berada didekat penjepit. Pendulum diayunkan dari ketinggian tertentu akan memukul ujung spesimen

yang tidak dijepit dari depan takik. Pada *charpy* spesimen uji diletakkan mendatar dan kedua ujungnya ditahan, selanjutnya pendulum akan memukul batang uji dari belakang takik sesuai dengan gambar 2.11 di bawah ini :



**Gambar 2.11 Uji Impak**

Uji impak berguna untuk melihat efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya takikan, bentuk takikan, temperatur, dan faktor-faktor lainnya. Uji impak dapat juga disebut sebagai suatu pengujian material untuk mengetahui kemampuan suatu material/bahan dalam menerima beban tumbuk dengan diukur besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen material/bahan dengan ayunan seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



**Gambar 2.12 Sketsa Perhitungan Energi Impak**

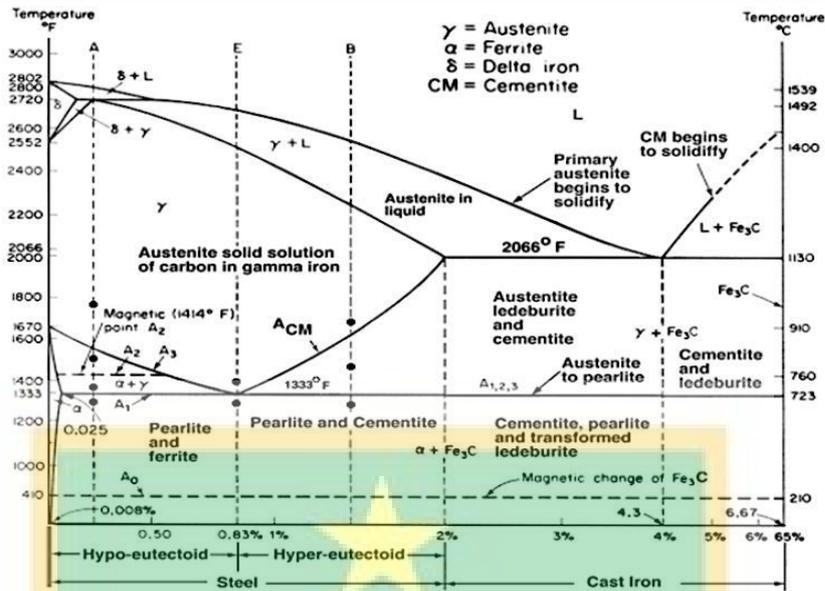
Bandul dengan ketinggian tertentu berayun dan memukul spesimen. Energi potensial dari bandul berkurang sebelum dan sesudah memukul spesimen merupakan energi yang diserap oleh spesimen.

### 2.6.2. Non Destructive Testing (NDT)

NDT adalah singkatan dari *Non-Destructive Testing* merupakan suatu teknik pengujian material tanpa merusak benda yang diuji. Pengujian ini dilakukan untuk menjaga material yang sedang digunakan masih aman untuk digunakan dan tidak mengalami kerusakan.

Pengujian NDT ini biasanya dilakukan paling sedikit 2 kali. Pertama, pada saat akhir proses fabrikasi untuk menentukan komponen yang dapat diterima setelah melalui proses fabrikasi, hasil dari pengujian ini akan dijadikan bagian kendali mutu komponen atau material. Kedua, NDT dilakukan saat komponen telah digunakan pada jangka waktu tertentu untuk menemukan kesalahan sistem atau kegagalan pada komponen untuk mendeteksi kerusakan.

Salah satu metode pengujian tidak merusak yaitu pengujian struktur mikro. Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengamatan mengenai struktur logam melalui perbesaran dengan menggunakan mikroskop khusus *metalografi*. Tujuan dari pengamatan struktur mikro ini adalah untuk mengamati bentuk dan ukuran butir logam, kerusakan logam akibat proses deformasi dan perbedaan komposisi. Untuk penelitian kali ini menggunakan baja tergolong dalam *low carbon steel* yaitu baja SS400. Oleh karena itu, struktur mikro baja tersebut dapat dianalisa menggunakan diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C pada gambar 2.13 berikut :



Gambar 2.13 Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C

Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut daerah pengaruh panas (DPP), atau *Heat Affected Zone*. Daerah hasil pengelasan terdiri dari :

- 1) Logam lasan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las (*weld deposit*) berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
- 2) Garis gabungan (*fusion line*), adalah garis gabungan antara logam lasan dan HAZ, dapat dilihat dengan mengetsa penampang las. Daerah ini adalah batas bagian cair dan padat dari sambungan las.
- 3) HAZ (*Heat Affected Zone*) pada batas HAZ dan logam cair temperatur naik sangat cepat sampai batas pencairan logam dan temperatur turun sangat cepat juga setelah proses pengelasan selesai. Hal ini dapat disebut juga sebagai efek *quenching*. Pada

daerah ini biasanya terjadi transformasi struktur mikro. Struktur mikro menjadi austenit ketika temperatur naik (panas) dan menjadi martensit ketika temperatur turun (dingin). Daerah yang terletak dekat garis fusi ukurannya akan cenderung besar yang disebabkan oleh adanya temperatur tinggi dan menyebabkan *austenit* mempunyai kesempatan besar untuk menjadi homogen.

- 4) Logam induk (*base metal*) adalah bagian logam yang tidak berpengaruh oleh pemanasan karena proses pengelasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat-sifat dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis.



**Gambar 2.14** Perbandingan Daerah Lasan Dengan Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Struktur mikro yang terbentuk dalam logam las (WM) dari baja karbon rendah terdiri dari *ferit* batas batas (GBF), *ferit widmanstatten* (pelat samping), *ferit acicular* (AF) dan mikrofasa. Input panas tinggi dan laju pendinginan rendah menghasilkan struktur butir kasar dan akibatnya memberikan kekerasan rendah, kekuatan tarik kurang, kekuatan luluh dan las ulet. Input panas rendah dan laju pendinginan tinggi menghasilkan struktur butiran halus dan kemungkinan pembentukan *martensit* dan akibatnya menyebabkan

kekerasan lebih tinggi. Berikut merupakan jenis struktur mikro yang biasa ditemukan pada hasil pengelasan baja SS400:

1) Austenit

*Austenit* merupakan larutan padat interstitial dari karbon yang dilarutkan dalam besi gamma dan memiliki struktur FCC. Kelarutan maksimum karbon dalam *austenit* adalah 2,11% pada 1147°C yang berkurang menjadi 0,77% karbon pada 727°C. Sifatnya lunak, ulet, mudah dibentuk dan non-magnetik. Sifat mekanisnya seperti kekuatan tarik, perpanjangan dan kekerasan adalah 1035 MN/m<sup>2</sup>, 10% dalam 5 cm dan *rockwell C* 40 masing-masing

2) Sementit

*Sementit* atau karbida besi (Fe<sub>3</sub>C) mengandung 6,67% berat karbon. *Sementit* memiliki struktur kristal ortorombik yang kompleks. *Sementit* adalah senyawa interstitial yang keras dan rapuh dengan kekuatan tarik rendah (35 MN/m<sup>2</sup>) tetapi kuat tekan tinggi dan dengan kekerasan tinggi (1000 VPN).

3) Perlit

*Perlit* merupakan campuran *eutektoid* yang mengandung 0,80% karbon dan terbentuk pada 727°C pada pendinginan yang sangat lambat. *Perlit* merupakan campuran *ferit* atau *sementit* yang sangat mirip *platelet* atau pipih. Sifat mekanisnya seperti kekuatan tarik, perpanjangan dan kekerasan adalah 837 MN/m<sup>2</sup>, 20% dalam 5 cm dan *rockwell C* 20.

4) Bainit

*Bainit* terbentuk sebagai agregat, disebut berkas gandum, dari pelat *ferit* (sub-unit) yang dipisahkan oleh *austenit*, *martensit* atau *sementit* yang ditahan. Sementara sub-unit tampak terpisah ketika dilihat pada bagian 2 dimensi mereka sebenarnya saling

berhubungan dalam 3 dimensi dan biasanya mengambil pelat *lenticular* atau morfologi bilah.

5) Martensit

*Martensit* merupakan bentuk yang sangat keras dari struktur kristal baja yang dibentuk oleh transformasi displasif. *Martensit* merupakan butir kristal berbentuk butir atau pelat.

6) Acicular ferit

*Acicular ferit* merupakan struktur yang ditandai dengan kristalit berbentuk butiran atau butiran bila dilihat dalam dua dimensi. Butir sebenarnya berbentuk tiga dimensi dan memiliki bentuk *lenticular* yang tipis. *Acicular ferit* terbentuk di bagian dalam butir austenitic asli dengan nukleasi langsung dari inklusi, menghasilkan jarum ferit pendek yang diorientasikan secara acak dengan penampilan 'keranjang menenun'. Sifat yang saling terkait ini bersama dengan ukuran butirannya yang halus memberikan ketahanan maksimum terhadap perambatan retak oleh pembelahan. *Acicular ferit* juga ditandai dengan batas sudut yang tinggi antara butiran *ferit*. Hal ini semakin mengurangi kemungkinan *cleavage fracture* karena batas-batas ini menghambat perambatan retak.

7) Widmanstatten ferit

Ketika baja berbutir *austenit* kasar karena pemanasan suhu tinggi didinginkan dengan cepat tetapi kurang dari laju pendinginan kritis, struktur mikro tipikal yang kemudian dikembangkan disebut struktur *widmanstatten*. Dalam struktur ini, fase proeutektoid memisahkan tidak hanya di sepanjang batas butir *austenit*, tetapi juga di dalam butir setelah bidang kristalografi tertentu dan arah dalam bentuk pelat atau jarum, membentuk pengaturan seperti jaring. Struktur *widmanstatten* dicirikan oleh nilai dampak rendah dan perpanjangan persentase rendah.

8) Polygonal Ferit

*Polygonal Ferit* terjadi dalam bentuk pulau *ferit* kasar di dalam butir *austenit* sebelumnya. Kehadirannya mengurangi ketangguhan logam las. Jumlahnya berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon dan kromium dari logam las. Jumlahnya meningkat dengan meningkatnya input panas selama pengelasan dan berkurang dengan peningkatan kandungan karbon dan kromium dari logam las.

9) Ferit batas butir

Bentuk *ferit pro-eutektoid* di sepanjang batas butir *austenit* ketika logam las didinginkan dalam tahap transformasi *austenit-ferit*. Memanjang atau bergranul, *ferit* batas butir ini tumbuh menjadi butir *austenit* di satu sisi batas. Reaksi ini dikenal sebagai urat *ferit* karena aspek percabangannya di seluruh logam las.

