

## BAB II

### TINJAUAN LITERATUR

#### 2.1. Pengelasan

Pengelasan menurut definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah sambungan metalurgi pada titik sambungan logam atau paduan logam yang dibuat dalam keadaan cair. Pengelasan diklasifikasikan menjadi sumber panas mekanik, sumber panas listrik, dan sumber panas kimia dari sudut pandang sumber panas. Dari proses pengelasannya yaitu pengelasan cair (*Fusion Welding*), pengelasan tekanan (*Pressure Welding*) dan pematrian [3].

##### 1. Pengelasan Cair (*Fusion Welding*).

Pengelasan cair adalah proses mencairkan logam dengan cara mencairkan logam yang tersambung. Jenis pengelasan cair yaitu:

1. *Oxyacetyline Welding*
2. *Electric Arc Welding*
3. *Shield Gas Arc Welding*
4. *Resistance Welding*

##### 2. Pengelasan Tekanan (*Pressure Welding*).

Pengelasan tekanan yaitu pengelasan dimana dua logam yang akan disambung, dipanaskan sampai meleleh, dan kemudian keduanya ditekan bersama-sama hingga menyatu. Pengelasan tekanan diklasifikasikan sebagai berikut:

###### a. Pengelasan Tempa

Pengelasan tempa adalah proses pengelasan yang diawali dengan proses pemanasan logam dan pembuatan sambungan logam melalui penempaan.

b. Proses Pengelasan Tahanan meliputi:

1. Pengelasan Proyeksi

Pengelasan proyeksi adalah suatu proses pengelasan dimana hasil pengelasan sangat bergantung pada distribusi arus dan tekanan yang sesuai. Pelat yang terhubung diapit diantara elektroda paduan tembaga, kemudian dialiri arus yang besar.

2. Pengelasan Titik

Pengelasan titik hampir sama prosesnya dengan pengelasan proyeksi yaitu pelat yang akan disambung diapit diantara elektroda paduan tembaga, kemudian dialiri arus yang besar dan waktunya disesuaikan dengan ketebalan pelat yang akan dilas.

3. Pengelasan Kampuh

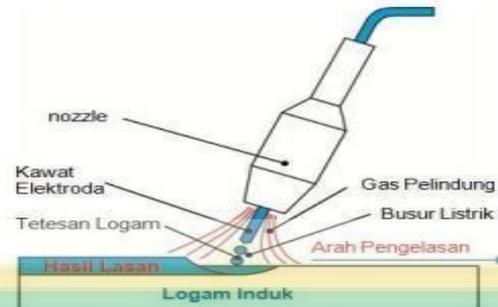
Las kampuh adalah proses pengelasan yang menghasilkan sambungan las yang terus menerus antara dua lembaran logam yang bertumpuk. Ada tiga jenis pengelasan kampuh, yaitu pengelasan kampuh sudut, pengelasan kampuh putaran sederhana dan pengelasan kampuh penyelesaian akhir.

**2.2. Las MIG (*Metal Inert Gas*)**

Las *Metal Inert Gas* (MIG) yaitu merupakan proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu melalui proses pencairan setempat, dengan menggunakan elektroda gulungan (*filler metal*) yang sama dengan logam dasarnya (*base metal*) dan menggunakan gas pelindung (*inert gas*). Las *Metal Inert Gas* (MIG) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (*rol*) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon (Ar), helium (He),

karbondioksida (CO<sub>2</sub>), campuran

Ar dengan He, atau campuran Ar dengan CO<sub>2</sub>.



Gambar 2.1 Las *Metal Inert Gas* (MIG)



Gambar 2.2 Peralatan Las *Metal Inert Gas* (MIG)

a. Peralatan Las *Metal Inert Gas* (MIG)

Peralatan Las *Metal Inert Gas* terdiri dari Mesin las.

Alat yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas.

1. *Earthlamp*

Kabel yang menghubungkan antara mesin las ke benda kerja. Kabel ini sering disebut dengan kabel massa.

2. *Gas Tube*

Selang yang menghubungkan dan mengalirkan gas dari selang ke *welding*

gun yang nantinya akan keluar sebagai gas pelindung dari lelehan logam las selama proses pengelasan.

3. *Torch Handle* atau *Welding Gun*

Alat ini dipegang oleh *welder* dan digunakan untuk pengelasan. Dari *welding gun* ini, dapat menghidupkan atau mematikan pelepasan kawat dan menghidupkan atau mematikan saat proses pengelasan.

4. Peralatan *Wire Roll* seperti *Catalisator*, *Hose Clamp*, dan *Spin Roll Wire*.

5. Tabung Gas

Tabung gas digunakan sebagai penyimpan gas pelindung yang nantinya akan disalurkan melalui selang ke *welding gun*.

6. Regulator

Regulator berfungsi sebagai pengatur aliran gas yang keluar untuk proses pengelasan.

7. *Wire Feeder*

Alat yang digunakan untuk tempat *roller* kawat las, *wire feeder* ini juga memiliki pengatur arus atau kecepatan kawat yang keluar dari *welding gun* dan tegangan. Untuk saat ini, mesin las *Metal Inert Gas* ada yang *wire feeder* terpisah dan ada juga yang jadi satu dengan mesin.

b. Gas Pelindung Las *Metal Inert Gas* (MIG) :

Las MIG merupakan jenis pengelasan dengan gas *inert* dan kemudian gas pelindung adalah :

1. *Argon (Ar)*.
2. *Helium (He)*.
3. *Campuran Argon dan Helium*.

c. Jenis *Filler Metal* pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) :

*Filler metal* yang digunakan harus sesuai dengan bahan yang akan dilakukan pengelasan. Ada beberapa jenis *filler metal*, yaitu:

- ER70S-6

Untuk pengelasan material baja karbon.

- ER309L.

Untuk pengelasan *Stainless Steel* tipe 309.

- ER4043

Untuk pengelasan *Aluminium Grade* 2014, 3003, 3004, 4043, 5052, 6061, 6062 dan 6063.

- ER5356

Untuk pengelasan *Aluminium Grade* 5050, 5052, 5056, 5083, 5086, 5154, 5356, 5454, 5456.

d. Parameter *Las Metal Inert Gas*:

1. *Wire Feed Speed*

Kecepatan pelepasan *filler metal*, harus disesuaikan dengan *travel speed* pengelasan yang akan dilakukan.

2. Tegangan (*voltage*)

Tegangan mempengaruhi profil pengelasan, mulai dari lebar las dan tebal las.

3. Arus pengelasan MIG berbanding lurus dengan kecepatan pada *wire feeder*.

4. *Metal Transfer*



5. Gas pelindung yang digunakan adalah *Argon*, *Helium* dan Campuran keduanya.

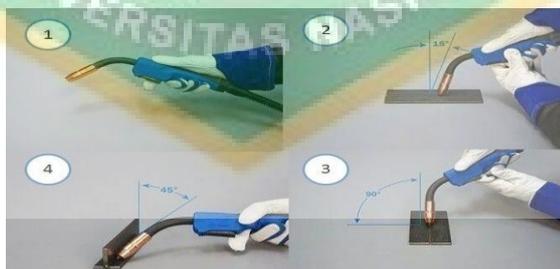
e. Keunggulan Las *Metal Inert Gas* (MIG):

1. Tidak menghasilkan kerak karena tidak menggunakan *flux* sebagai pelindung.
2. Pembersihan berlebihan setelah klasifikasi tidak diperlukan .
3. Proses pengelasan lebih efisien dan cepat dibandingkan SMAW karena elektroda dan *filler metal* tidak perlu diganti.

f. Kekurangan las *Metal Inert Gas* (MIG):

1. Persiapan dan pengaturan parameter pengelasan lebih rumit daripada SMAW.
2. *Welder* MIG lebih mahal dari SMAW.
3. Proses pengelasan lebih mahal daripada pengelasan MAG karena tipe pelindungnya menggunakan *gas inert*.
4. Pembakaran sesekali terjadi pada awal pengelasan.

g. Teknik Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)



Gambar 2.3 Teknik Pengelasan MIG

Saat melakukan pengelasan aluminium dan baja tahan karat menggunakan mesin las *metal inert gas* yang mirip dengan metode MIG terbuat dari aluminium dan *stainless steel*, bahan - bahan ini dibersihkan dengan *wire brush* khusus atau larutan pembersih, yaitu:

1. Memegang *Welding Gun*

Untuk memegang *welding gun*, gunakan ibu jari untuk menahannya di belakang punggung dan jari telunjuk untuk menahan tombol *on/off*, setelah itu jari tengah, jari manis dan kelingking mengikuti dibelakangnya.

2. Las Posisi datar *Butt Joint* dan Rigi-rigi.

Sudut arah pengelasan *welding gun* adalah 70-80 derajat, sisi yang berlawanan adalah 90 derajat, dapat melihat pergerakannya pada gambar no 2 dan 3.

3. Las *Fillet Weld*.

Untuk mengelas *Tee Joint* atau *fillet weld*, sudut kemiringan *welding gun* adalah 45 derajat dan sudut arah las adalah 70-80 derajat untuk menjaga busur di depan *filler metal*.

### 2.2.1 Pengaruh Panas Pada Kekuatan Las

Panas yang terjadi pada proses pengelasan sangat mempengaruhi distribusi suhu, tegangan sisa (*residual stress*) dan distorsi. Selain itu panas juga mempengaruhi transformasi fasa yang selanjutnya berpengaruh pada struktur mikro dan sifat-sifat fisik dan mekanik las. Sumber energi atau panas pengelasan membutuhkan dua hal yang sangat penting yaitu:

1. Energi thermal (panas)
2. Energi mekanik yang berupa tekanan las yaitu:

- a. Sumber energi panas didapatkan dari energi kimia (misalnya pembakaran gas dengan oksigen) dan energi listrik (misalnya busur listrik dan sinar intensitas tinggi).
- b. Besarnya energy (Q) yang terkandung dalam sumber panas dinamakan tingkat energi (*energy level*) atau kapasitas energi (*energy capacity*).

### 2.2.2 Elektroda

Jenis kabel elektroda yang digunakan dalam pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) umumnya adalah *solid wire* dan *flux cored wired*, dan digunakan tergantung dari jenis pekerjaan. *Solid wire* digunakan untuk mengelas konstruksi berskala ringan hingga menengah dan beroperasi di ruang yang *relatif* terbatas, dimana gas pelindung tidak tertiuap angin, sedangkan *flux cored wire*, biasanya digunakan untuk mengelas konstruksi berskala sedang hingga berat dimana area pengelasan lebih terbuka (ada sedikit angin).

Kawat elektroda yang sering dijumpai di pasaran berupa gulungan (*rol*) dimana berat gulungan kawat elektroda yang banyak digunakan adalah 15 kg, 17 kg dan 30 kg. Kemasan dan pengepakan kawat elektroda yang baik dapat menjaga agar kawat tidak rusak atau berkarat.

Karena berkembangnya penggunaan las busur karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ini maka telah di produksi dan di standarkan kawat-kawat elektroda las yang digunakan untuk pengelasan tersebut. Standarisasi kawat las menurut *American Welding Society* (AWS) untuk pengelasan baja lunak dan baja kuat ditunjukkan pada gambar.

Adapun jenis-jenis elektroda untuk pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) adalah sebagai berikut:

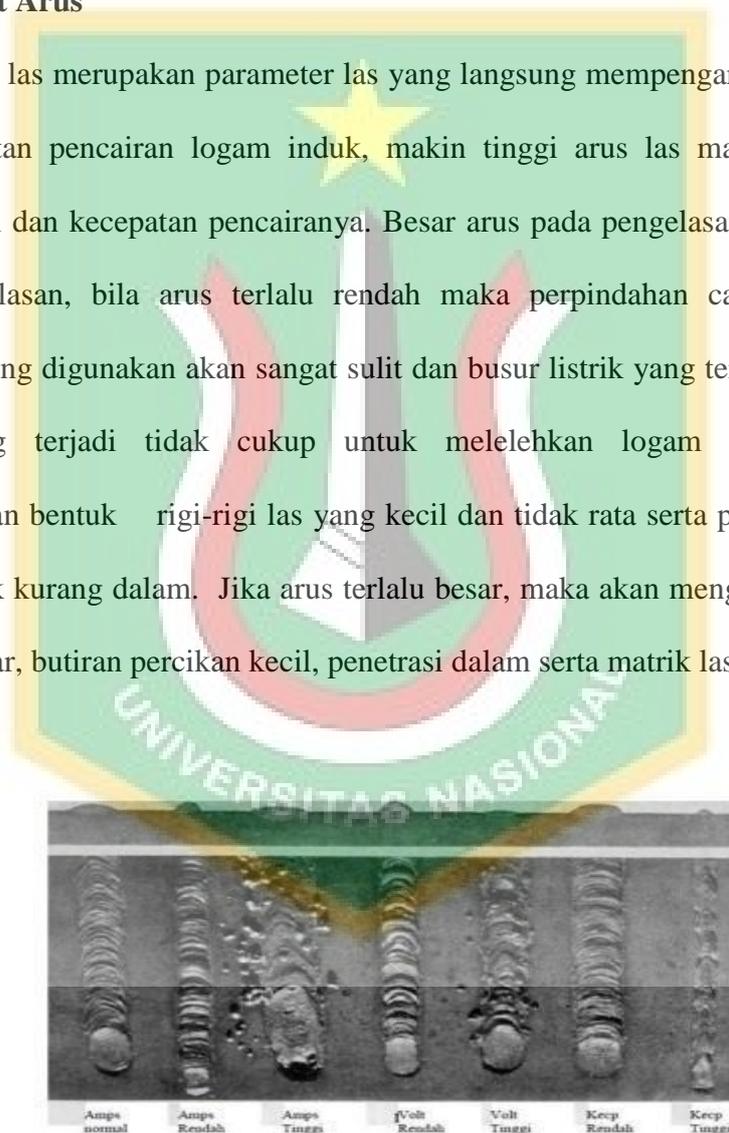
1. E 70 S-1 Memiliki persentase silikon terkecil diantara elektroda baja padat. Biasanya digunakan dengan gas pelindung argon (Ar) dan terkadang dengan tambahan sedikit oksigen (O<sub>2</sub>).
2. E 70 S-2 Elektroda ini mengandung elemen deoksidasi yang sangat berat. Mengandung kombinasi zirconium (Zr), titanium (Ti) dan alumunium deoksidasi dengan jumlah total 0,2% dan karbon 0,07 % berat. Elektroda ini cocok untuk jenis pengelasan dengan transfer logam arus pendek. Elektroda ini dirancang untuk proses pengelasan dengan gas pelindung campuran argon (Ar) dan oksigen (O<sub>2</sub>) 1 hingga 5 % atau dengan gas pelindung karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).
3. E 70 S-3 Elektroda dengan klasifikasi ini paling banyak digunakan. Elektroda ini dapat menggunakan gas pelindung campuran argon (Ar) dan oksigen (O<sub>2</sub>). Kekuatan tarik pada pengelasan single-pass pada baja karbon rendah dan medium akan melebihi dari logam dasarnya (base metal). Pada pengelasan multi-pass kekuatan tarik antara 65.000 hingga 85.000 psi tergantung dilusi logam dasar dan jenis gas pelindung.
4. E 70 S-4 Elektroda ini mengandung lebih banyak mangan (Mn) pada konsentrasi 1,50% dan silikon (Si) dengan konsentrasi 0,85% disbanding dengan elektroda sebelumnya. Gas pelindung yang tersedia adalah Ar-O<sub>2</sub>, Ar-CO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Elektroda ini biasanya digunakan selama proses pengelasan karena transfer logam spray atau arus pendek.
5. E 70 S-5 Elektroda ini juga mengandung mangan (Mn) dan silikon (Si), dan juga mengandung alumunium (Al) dengan kadar 0,5 % hingga 0,9% yang berfungsi sebagai elemen deoksidasi. Elektroda ini dapat digunakan untuk

pengelasan untuk permukaan yang telah berkarat. Gas plindung yang dapat digunakan adalah CO<sub>2</sub>. Jenis pengelasan ini terbatas hanya ada posisi datar.

6. E 70 S-6 Elektroda golongan ini memiliki kandungan silikon tertinggi (1,15%) dan mangan (1,85%) sebagai elemen deoksidasi. Biasanya untuk baja karbon rendah dengan gas pelindung CO<sub>2</sub> dan arus tinggi.

### 2.2.3 Kuat Arus

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk, makin tinggi arus las maka makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil pengelasan, bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan akan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan pada logam induk kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik-manik yang melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta matrik las tinggi [3].



Gambar 2.4 Pengaruh Kecepatan Arus dan Pengelasan Pada Hasil Sambungan Las.

#### 2.2.4 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan sangat bergantung pada besar kuat arus yang digunakan, jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang akan dilas, geometri sambungan dan lain sebagainya. Dalam pengelasan, kecepatan yang tinggi dapat menyebabkan kurangnya penetrasi, berkurangnya kekuatan sambungan dan mengakibatkan masukkan panas yang diterima persatuan panjang akan menjadi lebih kecil. Hal ini dapat berdampak pada pendinginan yang cepat sehingga dapat memperkeras daerah terpengaruh panas. Kecepatan las yang terlalu tinggi akan berpengaruh pada bentuk manik las yang menyempit dan penguatan manik yang rendah. Selain itu dapat merubah sifat mekanik daerah lasan yang berupa naiknya kekuatan tarik dan perpanjangan yang rendah [4].

Pada umumnya dalam pelaksanaan pengelasan, kecepatan selalu diusahakan setinggi-tingginya tetapi masih belum merusak kualitas manik las. Berdasarkan pengalaman di bidang pengelasan bahwa semakin tinggi kecepatan pengelasan maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi.

Berikut merupakan pernyataan yang sering berhubungan dengan kecepatan pengelasan:

- a. Dengan meningkatnya ketebalan material maka kecepatan harus diturunkan.
- b. Dengan material dan jenis penyambungan yang sama, jika arus listrik meningkat maka kecepatan pengelasan juga harus meningkat.
- c. Kecepatan pengelasan yang lebih tinggi dapat menggunakan teknik pengelasan maju (*fore hand technique*).

### 2.2.5 Cacat Las

Cacat las adalah suatu keadaan yang mengakibatkan turunnya kualitas dari hasil lasan. Cacat las tidak hanya menurunkan kualitas hasil lasan tetapi juga berpengaruh pada keselamatan kerja baik itu pekerja, alat, lingkungan, perusahaan maupun industri. Dalam pengelasan selalu terjadi cacat las, oleh karena itu seorang ahli las harus menguasai sepenuhnya tentang sebab-sebab cacat las dan kemudian menentukan usaha penghindarannya.

Bila ada cacat yang melebihi batas spesifikasi maka perbaikan cacat harus dilakukan. Pengelasan perbaikan biasanya memerlukan kondisi dan prosedur yang lebih teliti, sebab kalau tidak akan menyebabkan cacat las yang lebih parah pada lasan disekitarnya.

## 2.3. Baja Karbon

### 2.3.1 Klasifikasi Baja Karbon

Baja adalah paduan logam dengan besi (Fe) sebagai elemen dasar dan karbon (C) sebagai elemen paduan utama. Kandungan karbon dalam baja berkisar dari 0.2 % hingga 2,1 % tergantung pada *grade* nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai elemen pengerasan. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), kromium (*chromium*), *vanadium* dan *nikel*. Berbagai jenis nilai baja dapat diperoleh dengan memvariasikan kandungan karbon dan elemen lainnya. Penambahan kandungan karbon pada baja meningkatkan kekerasannya (*hardness*), sekaligus membuatnya rapuh dan mengurangi keuletan kandungan karbon dalam baja terutama mempengaruhi kekuatan, kekerasan, dan keuletan kandungan karbon yang tinggi pada baja meningkatkan kekerasannya, tetapi juga membuat baja rapuh dan sulit dibentuk [5].

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit tambahan Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja 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.

- a. Baja Karbon Rendah, memiliki kandungan karbon di bawah 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.
- b. Baja Karbon Sedang, merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30 % - 0,60 %. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang biasa dilas dengan las busur listrik elektroda terlindungi dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang lebih baik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan normalizing setelah pengelasan.
- c. Baja Karbon Tinggi, memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon lainnya dengan kandungan karbon antara 0,60 % - 1,7 %. Sebagian besar baja karbon tinggi sulit untuk dilas daripada baja karbon rendah dan sedang.

Pada penelitian ini, jenis material yang digunakan adalah baja karbon rendah standar ASTM A36, yaitu baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%.

### 2.3.2 Pelat Baja ASTM A36

Baja karbon ASTM A36 termasuk dalam kategori baja karbon rendah jenis (*plain carbon steel*) yang banyak di gunakan di industri dan kontruksi. Berbeda dengan baja paduan yang di tambahkan paduan lain dalam komposisi unsur tertentu untuk menaikkan sifat mekanik dan meningkatkan ketahanan korosi. Baja ASTM A36 dapat diproduksi menjadi berbagai bagian baja struktural, sangat banyak digunakan di berbagai industri untuk berbagai aplikasi, seperti konstruksi jembatan, otomotif, alat berat, industri minyak dan gas [6].

Baja ASTM A36, produk baja dengan kandungan karbon rendah kurang dari 0,3%, baja ASTM A36 ini mengandung beberapa elemen paduan seperti mangan, belerang, fosfor dan silicon baja ASTM A36 tidak mengandung nikel atau kromium dalam jumlah besar oleh karena itu memiliki ketahanan korosi yang rendah. Produk baja ASTM A36 yang memenuhi syarat harus memiliki rentang kekuatan tarik *Ultimate* dari 58.000 hingga 79.800 psi, ini bukan angka yang pasti karena dipengaruhi oleh komposisi kimianya yang di dominasi oleh karbon (C), fosfor (P), sulfur (S), silicon (Si) dan tembaga (Cu). Dalam hal pengujian tarik, batang baja ASTM A36 dapat memanjang hingga sekitar 20% dari panjang aslinya ini juga menunjukkan kekuatan impact yang sangat baik pada suhu kamar.



Gambar 2.5 Pelat Baja ASTM A36

### 2.3.3 Baja Struktur *Welded Beam*

Baja *welded beam* sama dengan *Welded Steel Beam* (WB), adalah satu jenis material baja yang memiliki dimensi dan bentuk profil menyerupai *Wide Flange* (WF) dan *H Beam*. Perbedaannya *welded beam* terbuat dari material pelat baja lembaran, sementara *Wide Flange* (WF) dan *H Beam* adalah material jadi produksi industri dari baja *welded beam* pada gambar 2.6 terlihat profil *Wide Flange* dan *H Beam*.



Gambar 2.6 Contoh profil *Wide Flange* dan profil *H Beam*

## 2.4 Pengujian Bahan

### 2.4.1 Klasifikasi Pengujian Bahan

Pengujian bahan adalah pengujian suatu material untuk mengetahui sifat mekanik, cacat, dan lain-lain suatu material. Dalam pengujian bahan dikelompokkan menjadi 2 (dua) macam jika ditinjau berdasarkan sifat dari pengujian tersebut, yaitu:

#### a. Pengujian Destruktif

Pengujian destruktif adalah pengujian suatu material, tapi hasil akhirnya akan menyebabkan cacat atau rusak. Pengujian ini dilakukan dengan cara merusak benda uji dengan cara pembebanan atau penekanan sampai benda uji tersebut rusak, dari pengujian ini akan diperoleh sifat mekanik bahan [7].

b. Pengujian yang tidak merusak (*Non Destructive Test*)

Pengujian tak merusak adalah pengujian untuk mengetahui adanya cacat ataupun retak tanpa menyebabkan kerusakan pada benda tersebut. Yang termasuk dalam pengujian tidak merusak adalah uji *penetrant*, uji visual, pengujian *ultrasonic* dan lain lain.

### 2.4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam yang telah di las, karena mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan seragam (*uniform*) pada penampang serta kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan [7].

Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Tegangan} : \sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (2.1)$$

dimana:

F : Beban (kg)

A<sub>0</sub> : Luas muka dari penampang batang uji (mm<sup>2</sup>)

$$\text{Regangan} = \varepsilon \frac{L-L_0}{L} \times 100\% \quad (2.2)$$

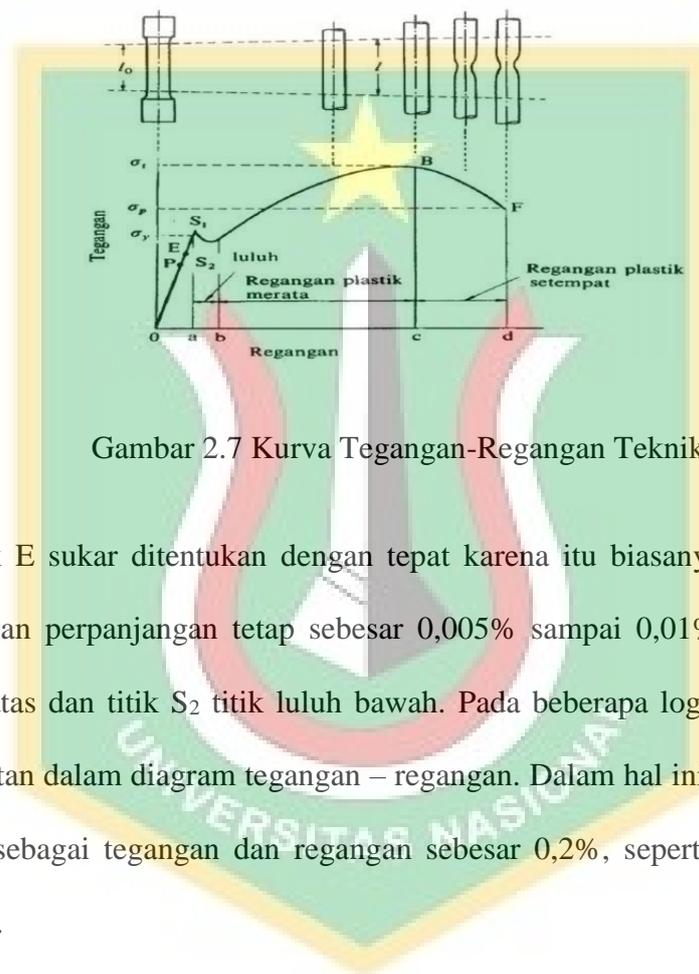
dimana:

L<sub>0</sub> : Panjang mula dari batang uji (mm)

L : Panjang batang uji yang dibebani (mm)

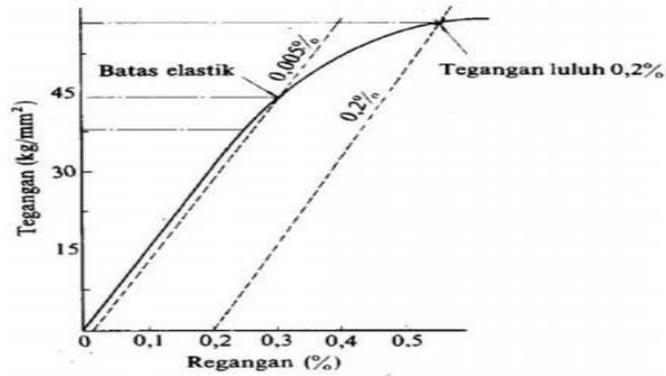
Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.7. Titik

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, pada kondisi ini disebut batas elastis.



Gambar 2.7 Kurva Tegangan-Regangan Teknik

Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastis 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. Dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dan regangan sebesar 0,2%, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Batas Elastis Dan Tegangan Luluh

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Mesin Uji Tarik

Tempatkan benda uji pada alat uji Tarik dan secara bertahap tingkatkan beban statis sampai benda uji putus. Tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *Ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), modulus elastisitas beban ( $E$ ), ketangguhan dan keuletan sambungan las, uji tarik pengelasan, karena besarnya beban dan pertambahan panjang terhubung langsung ke Departemen *plotter*.

### 2.4.3 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. Tiga jenis uji kekerasan, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain:

a. Uji Kekerasan Metode *Brinell*

Uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. *Brinell* pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali digunakan serta disusun pembakuannya. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu tertentu. Hasil penekanannya berbentuk lingkaran bulat yang harus dihitung diameternya dibawah mikroskop khusus pengukur jejak [8]. Pengukuran nilai kekerasan material diukur dengan menggunakan rumus:

$$\text{BHN} = \frac{2 P}{\pi D (D - (D^2 - d^2)^{1/2})} \quad (2.3)$$

dimana:

P : Beban (kg)

D : Diameter indentor (mm)

d : Diameter jejak (mm)



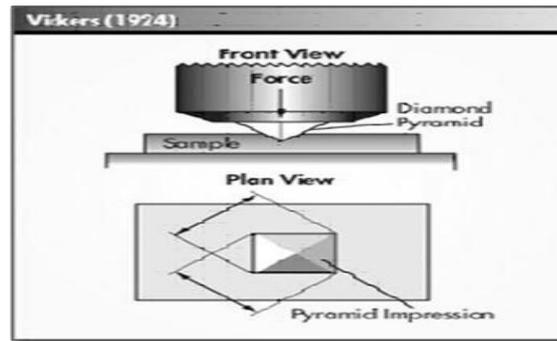
Gambar 2.10 Indentasi *Brinell*

b. Uji Kekerasan Metode *Vickers*

Kekerasan *Vickers* menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136°. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *Vickers* [9]. Nilai kekerasan *Vickers* dapat di hitung dengan menggunakan persamaan rumus:

rumus:

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (2.4)$$



Gambar 2.11 Indentasi *Vickers*

c. Uji Kekerasan *Rockwell*

Berbeda dengan *Brinell* dan *Vickers* dimana kekerasannya diketahui dengan cara menghitung ukuran jejak yang dihasilkan, maka metode *Rockwell* merupakan metode dengan pembacaan langsung. Metode ini dinilai praktis. Variasi dalam beban dan indenter yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Yang paling umum digunakan ada metode *Rockwell B* dengan indenter bola baja berdiameter 1/6 inch dan beban 100 kg dan *Rockwell C* dengan indenter intan beban 150 kg.

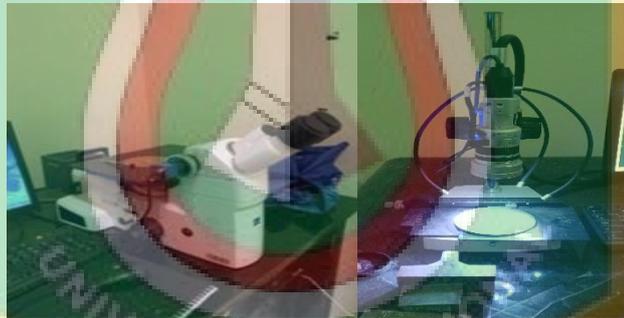
*Range* kekerasannya dari 0 – 100. Bila indenter bola baja dipakai untuk menguji bahan yang kekerasannya melebihi B 100, indenter dapat terdefomasi dan berubah bentuk. Selain itu, karena bentuknya, bola baja tidak sesensitif brale untuk membedakan kekerasan bahan-bahan yang keras. Tetapi jika indenter bola baja dipakai untuk menguji bahan yang lebih lunak dari B 0, dapat mengakibatkan pemegang indenter mengenai benda uji, sehingga hasil-pengujian tidak benar dan pemegang indenter dapat rusak [10].



Gambar 2.12 Mesin Uji Kekerasan

#### 2.4.4 Pengujian Metalografi

Struktur bahan berorde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus dilihat dengan pengamat struktur yang baik [11]. Dalam penelitian ini, pengamat mikrostruktur yang digunakan adalah mikroskop optik. Alat ini dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Gambar Alat Uji Struktur Mikro

Persiapan pra observasi adalah pemotongan sampel, pengamplasan, pemolesan dan pengetsaan. Setelah penyortiran, kedua sisi benda uji diratakan dengan kikir dan amplas, namun proses penghalusan harus selalu dijaga agar tidak menimbulkan panas yang akan mempengaruhi struktur. Arah pengampelasan harus diubah pada setiap langkah. Pengamplasan yang panjang dan hati-hati akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Bahan yang halus dan rata kemudian

diolah dengan autosol untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada bahan. Langkah terakhir sebelum struktur mikro adalah merendam sampel kedalam larutan etsa dengan klem *stainless steel*, menghadap ke atas. Sampel kemudian dicuci dan diamati struktur mikronya.

