

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Widia Setiawan dan Nugroho Santoso (2006) melakukan penelitian tentang pengelasan *dissimilar metal* baja karbon rendah St 37 dan baja austenitik SUS 304 (tahan karat) pada pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik. Pada penelitian ini digunakan kuat arus 60 A dengan variasi elektrode E 304 dan R 990. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa tegangan tarik maksimum untuk pengelasan dengan menggunakan elektroda R 990 sebesar 609 MPa, sedangkan untuk pengelasan dengan menggunakan elektroda E 304 didapatkan tegangan tarik maksimum sebesar 377 MPa.

Suheni dan Syamsuri (2007) melakukan penelitian tentang variasi kuat arus listrik dan elektroda pengelasan TIG terhadap kekuatan impak pada baja karbon ST 42 dengan baja anti karat austenit SUS 304. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 100A, 120 A dan 140 A dengan tegangan 20 volt. Dan elektroda yang digunakan adalah tipe ESAB E308 dan E50 dengan diameter elektroda 2,5 mm serta jenis kampuh V tunggal (*single vee*) dengan sudut 45° . Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa kekuatan impak maksimum pengelasan dengan elektrode E308 adalah pada kuat arus 140 A, yaitu sebesar $83,44 \text{ kg/mm}^2$. Sedangkan untuk kekuatan impak maksimum pengelasan dengan elektrode E50 adalah sebesar $95,38 \text{ kg/mm}^2$ pada kuat arus 140 A.

2.2 Pengelasan

2.2.1 Definisi Pengelasan

Menurut *American Welding Society* (1989), definisi pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan baik dengan atau tanpa tekanan (*pressure*), hanya dengan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler metal*).

Berdasarkan definisi dari *British Standards Institution* (1983), pengelasan adalah proses penyambungan antara dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau dengan tekanan (*pressure*) atau keduanya. Logam pengisi (*filler metal*) dengan temperatur lebur yang sama dengan titik lebur dari logam induk dapat atau tanpa digunakan dalam proses penyambungan tersebut.

Sedangkan definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas yang dimanfaatkan untuk melumerkan logam tersebut (Wiryosumarto, 1996).

Dari beberapa penjelasan definisi pengelasan diatas, dapat diambil definisi pengelasan secara umum bahwa pengelasan adalah proses penyambungan material dari jenis atau klasifikasi yang sama dalam keadaan cair atau lumer dengan menerapkan panas (*heat*) yang terkadang juga menggunakan tekanan (*pressure*) serta dengan atau tidak memakai logam pengisi (*filler metal*).

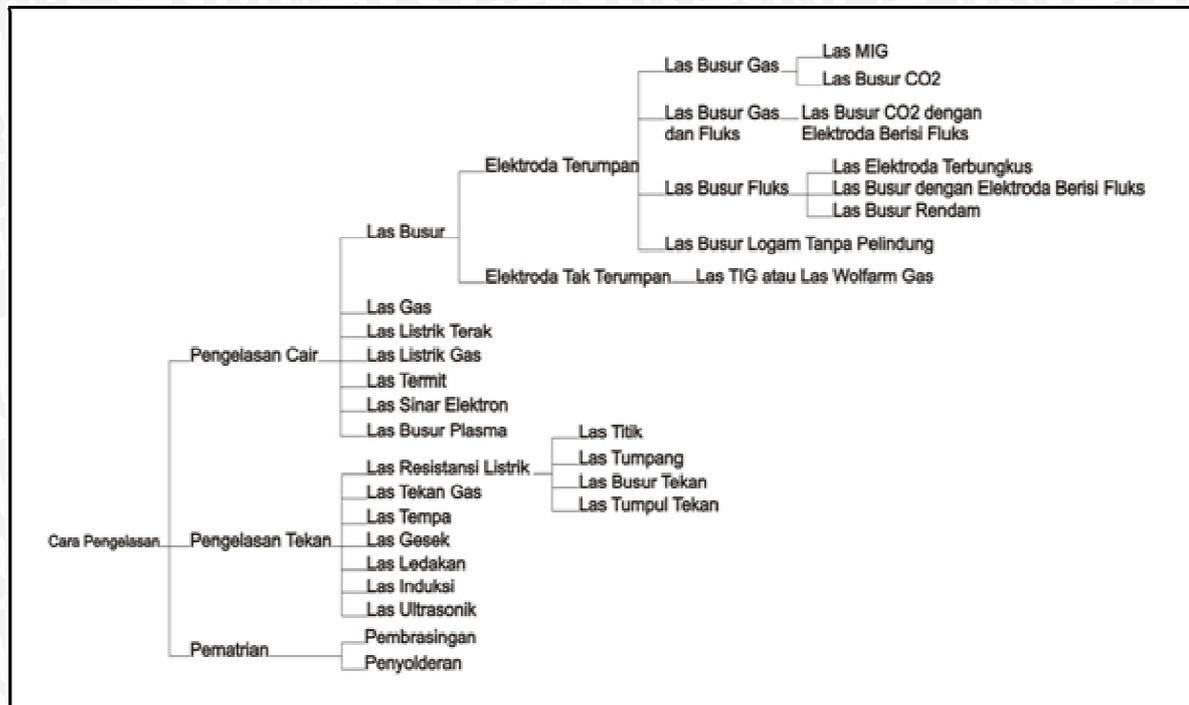
2.2.2 Klasifikasi Pengelasan

Sampai saat ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian pengelasan dibagi menjadi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lain. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Bila diadakan klasifikasi yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi tersebut di atas akan terburai dan akan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak sekali.

Diantara kedua klasifikasi tersebut diatas, klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan. Berdasarkan cara kerjanya, pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama, antara lain:

- a. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- b. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- c. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang memiliki titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

Proses pengelasan berdasarkan cara kerja sebenarnya masih banyak dan luas. Secara terperinci beberapa cara pengelasan yang digunakan sampai saat ini akan dijelaskan melalui gambar 2.1 di bawah ini yang memuat beberapa rincian tentang metode yang digunakan pada masing-masing klasifikasi utama berdasarkan cara kerjanya.

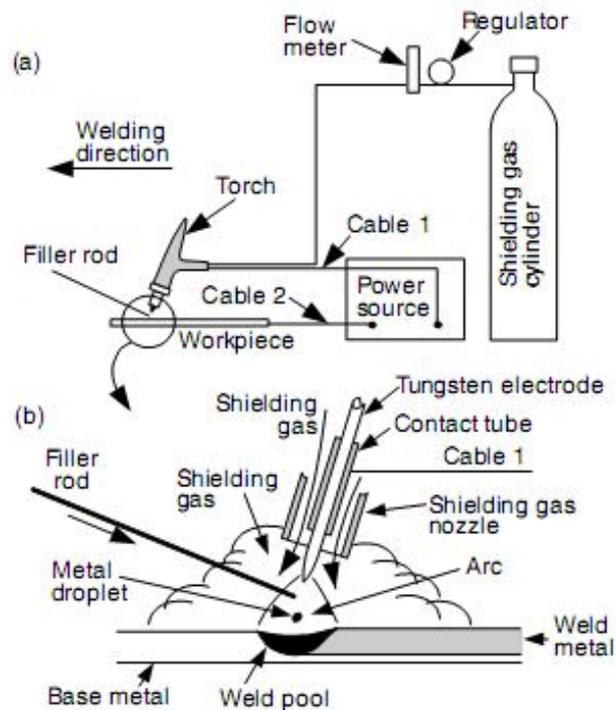


Gambar 2.1 Klasifikasi cara pengelasan

Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 8

2.3 Las TIG (*Tungsten Inert Gas*)

Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah sebuah proses pengelasan yang memanfaatkan busur listrik yang timbul antara batang wolfram (elektroda tak terumpan) dan logam induk yang dilindungi oleh gas pelindung, biasanya yang digunakan adalah gas Argon (Ar). Pada pengelasan TIG, logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Tetapi untuk mengelas pelat yang sangat tipis kadang tidak diperlukan logam pengisi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 (a) Proses pengelasan TIG secara umum
(b) Daerah pengelasan TIG
Sumber : Sindo Kou, 2003

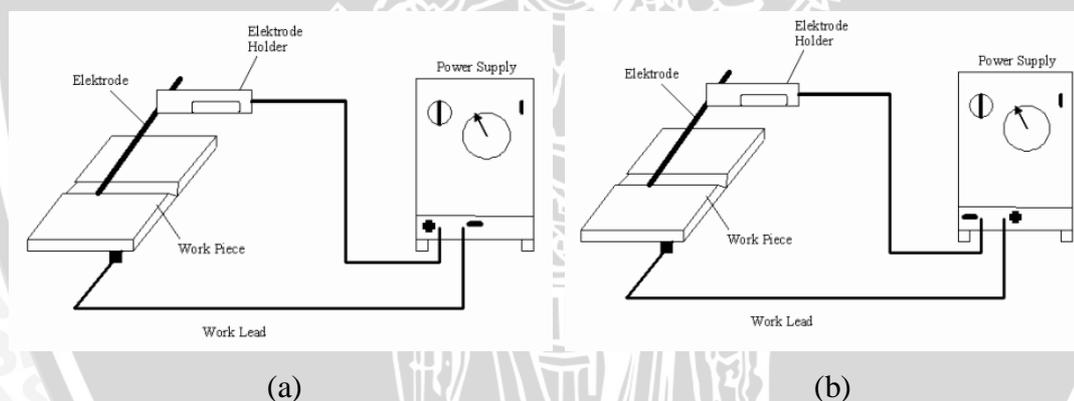
Sedangkan untuk skematik proses pengelasan TIG secara umum dapat dilihat pada gambar 2.2 (a), pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa tang pemegang elektroda terhubung ke silinder gas pelindung dan satu terminal dari sumber listrik. Biasanya dalam tabung kontak terdapat tembaga dengan media pendinginan berupa air yang terhubung ke kabel las (kabel 1) dari terminal. Hal ini untuk mencegah agar tidak terjadi pemanasan yang berlebihan pada benda kerja saat memasukkan elektroda karena memungkinkan adanya dua masukan panas baik dari gas maupun arus listrik. Tang benda kerja terhubung ke terminal lain dari sumber listrik melalui kabel yang berbeda (kabel 2). Gas pelindung melewati pengatur laju gas dan diarahkan oleh sebuah *nozle* ke benda kerja untuk melindunginya dari udara luar yang tidak diharapkan. Pengelasan TIG ini dapat dilaksanakan dengan tangan maupun secara otomatis dengan mengotomatisasikan cara pengumpanan logam pengisi.

Penggunaan las TIG mempunyai dua keuntungan, yaitu pertama kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur dengan bebas tergantung pada besar arus listrik yang digunakan sehingga penetrasi kedalam logam induk dapat diatur sedemikian rupa. Cara pengaturan ini memungkinkan las TIG dapat digunakan dengan memuaskan

baik untuk pelat baja tipis maupun pelat yang tebal. Kedua adalah kualitas yang lebih baik pada daerah las. Oleh karena itu las TIG biasanya digunakan untuk mengelas baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja tahan panas dan untuk mengelas logam-logam bukan baja.

2.4 Polaritas

Dalam pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas, arus listrik yang digunakan dapat berupa arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC). Pada pengelasan arus searah (DC), terdapat dua jenis polaritas pengelasan yang harus diperhatikan, yaitu polaritas lurus (*straight polarity*) yang biasa disebut DCSP dan polaritas terbalik (*reverse polarity*) yang biasa dikenal dengan sebutan DCRP. Pemakaian polaritas yang berlawanan dengan yang seharusnya dipakai untuk jenis elektroda tertentu akan mengakibatkan buruknya hasil pengelasan seperti nyala busur tidak stabil, reduksi gas berlebihan sehingga menimbulkan percikan dan gelembung gas. Untuk lebih jelasnya mengenai DCRP dan DCSP dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 (a) Skema polaritas terbalik (DCRP)
(b) Skema polaritas lurus (DCSP)

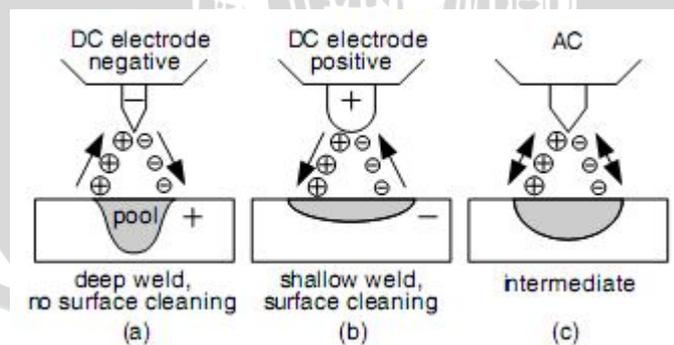
Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 17

Direct-Current Straight Polarity (DCSP) disebut juga polaritas lurus, adalah yang paling umum dalam pemilihan polaritas elektroda las TIG. Tang elektroda terhubung ke terminal negatif elektron yang dipancarkan dari elektroda dan dipercepat saat berpindah melalui busur. Ketika elektron memasuki benda kerja, jumlah energi yang digunakan setara dengan fungsi kerjanya. Inilah sebabnya dalam pengelasan TIG dengan DCSP, sekitar dua pertiga terletak pada busur paling dalam dan sekitar

sepertiganya berada pada ujung elektroda. Akibatnya, hasil las relatif sempit dan mendalam pada benda kerja.

Direct-Current Reverse Polarity (DCRP) ini juga disebut polaritas terbalik. Tang elektroda terhubung ke terminal positif sehingga efek pemanasan elektron berada di elektroda sehingga hasil pengelasannya dangkal dan melebar. Oleh karena itu, untuk mencegah ujung elektroda mencair maka harus digunakan media pendinginan berupa air. Ion-ion positif dari gas pelindung memberikan tumbukan pada benda kerja sehingga menghasilkan permukaan las yang bersih. Pada polaritas terbalik ini biasanya dapat digunakan untuk lembaran pelat tipis dimana tidak diperlukan penetrasi yang cukup dalam.

Mesin las dengan arus *Alternating Current* (AC) atau arus bolak-balik banyak dipakai karena pertimbangan harga, mudahnya penggunaan dan sederhananya perawatan. Arus AC merupakan jenis sumber arus mesin las listrik yang sering digunakan untuk paduan aluminium. Hal ini dikarenakan pada permukaan aluminium selalu dilapisi dengan oksida yang mempunyai titik cair yang tinggi, maka sebaiknya arus pengelasan yang digunakan bolak-balik biasa yang ditambah dengan arus bolak-balik frekuensi tinggi sehingga tidak ada polaritas yang digunakan. Hasil dari pengelasan dengan arus AC ini berada di tengah-tengah polaritas lurus (DCSP) dan polaritas terbalik (DCRP) yaitu tidak terlalu dangkal maupun terlalu dalam dan juga tidak terlalu sempit maupun terlalu lebar. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Perbedaan hasil pengelasan berdasar polaritas dan arus listrik

Sumber : Sindo Kou, 2003

Pemakaian jenis polaritas pada pengelasan TIG untuk beberapa macam logam ditunjukkan dalam tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Penggunaan Mesin Las TIG untuk Beberapa Logam

Logam	Listrik AC Frekuensi Tinggi	Listrik DC Polaritas Lurus	Listrik DC Polaritas Terbalik
Baja	Terbatas	sesuai	-
Baja tahan karat	terbatas	sesuai	-
Besi cor	terbatas	sesuai	-
Aluminium dan paduannya	sesuai	-	dapat untuk pelat tipis
Magnesium dan paduannya	sesuai	-	dapat untuk pelat tipis
Tembaga dan paduannya	terbatas	sesuai	-
Aluminium brons	sesuai	terbatas	-

Sumber : Wiryosumarto (1996 : 19)

2.5 Gas Pelindung (*Shielding Gas*)

Pada umumnya gas pelindung yang sering digunakan pada pengelasan TIG adalah gas mulia, yaitu Argon (Ar) dan Helium (He).

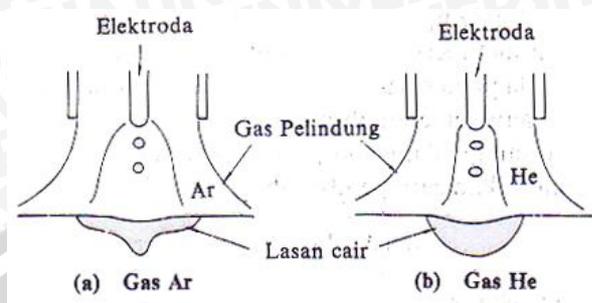
- Argon (Ar)

Argon merupakan gas mulia yang stabil, tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Oleh karena itu Argon biasa digunakan sebagai gas pelindung pada pengelasan busur dengan alasan bisa membuat busur lebih stabil, mengurangi percikan karena adanya penekanan busur yang disebabkan kecepatan arus yang tinggi pada busur, akibatnya pada logam las terjadi penetrasi yang dalam dan manik las yang sempit. Selain itu gas Argon memiliki sifat penghantar panas yang rendah menyebabkan pengaliran panas melalui busur lambat sehingga sangat cocok untuk pengelasan pada logam yang tidak terlalu tebal.

- Helium (He)

Sifat penghantar panas pada Helium lebih tinggi daripada Argon, akibatnya pemindahan panas melalui busur juga lebih besar. Oleh karena itu Helium sangat cocok digunakan untuk proses pengelasan pada logam yang tebal.

Untuk memperdalam penembusan las biasanya digunakan pelindung campuran kedua jenis gas mulia diatas. Bentuk dan dalamnya penembusan oleh kedua gas tersebut ditunjukkan dalam gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Bentuk penembusan dari pemakaian gas pelindung Ar dan He
Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 118

2.6 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan sebuah elektroda, elektroda adalah sebuah batang logam yang berfungsi untuk menghantarkan panas dari sumber panas berupa listrik yang digunakan sebagai peleburan logam induk yang akan disambung. Pada pengelasan TIG, elektroda tidak ikut mencair melainkan hanya mengalirkan gas pelindung dan arus listrik untuk masukan panas pada pengelasan tersebut. Persyaratan bahan elektroda las TIG adalah memiliki pancaran elektron yang kuat sehingga mampu menahan temperatur tinggi saat meleburkan logam induk dan logam pengisi.

Elektroda yang digunakan pada las TIG biasanya dibuat dari wolfram murni atau paduan antara wolfram-torium yang berbentuk batang. Dalam banyak hal elektroda dari wolfram-torium lebih baik daripada elektroda dari wolfram murni terutama dalam ketahanan ausnya. Elektroda dengan torium memiliki elektron yang lebih baik dilihat dari segi emisivitas, kapasitas pembawa arus, dan ketahanan terhadap kontaminasi dibandingkan elektroda murni. Akibatnya, pembentukan awal busur lebih mudah dan lebih stabil. Emisivitas elektron adalah mengacu pada kemampuan dari ujung elektroda untuk memancarkan elektron. Sebuah emisivitas elektron diperlukan karena pada saat pencairan ujung elektroda akan digunakan pada suhu yang lebih tinggi dari titik lebur logam induk yang akan dilas. (Sindo Kou, 2003)

2.7 Parameter Pengelasan

Didalam proses pengelasan terdapat beberapa macam parameter diantaranya kuat arus, tegangan, kecepatan pengelasan dan jenis sambungan pengelasan. Semua parameter - parameter tersebut berpengaruh terhadap masukan panas (*heat input*) didalam proses pengelasan. Penelitian ini akan membahas mengenai kuat arus pengelasan dan sudut kampuh tipe *single vee* pada jenis sambungan tumpul sebagai parameter pengelasan yang akan divariasikan.

2.7.1 Kuat Arus Pengelasan

Kuat arus pengelasan adalah aliran pembawa muatan listrik dari mesin las menuju ke elektroda yang kemudian menghasilkan panas yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan. Besar kecilnya kuat arus pengelasan dapat diatur pada panel yang ada pada mesin las sesuai dengan kebutuhan. Besarnya kuat arus pengelasan harus disesuaikan dengan jenis material yang dilas, tebal material yang dilas dan diameter elektroda yang digunakan berdasarkan WPS (*Welding Procedure Specification*) pengerjaan las tersebut. Berikut adalah tabel besar kuat arus yang digunakan berdasarkan diameter elektroda pada pengelasan TIG :

Tabel 2.2 Besar Arus dalam Pengelasan dengan Elektroda Wolfram.

Diameter Elektroda (mm)	Arus Pengelasan (A)	
	Wolfram Standar	Wolfram Torium
1,0	10 – 60	15 – 80
1,6	40 – 110	60 – 150
2,4	80 – 160	140 – 250
3,2	140 – 210	225 – 325
4,0	170 – 275	300 – 425
5,0	250 – 350	400 – 500
6,4	300 – 450	-----

Sumber : Wiryosumarto (1996 : 120)

Dalam pengelasan dikenal adanya masukan panas (*heat input*) yaitu panas yang diberikan elektroda selama pengelasan. Masukan panas akan mempengaruhi laju pendinginan, yang dapat mempengaruhi struktur metalurgi las dan HAZ serta sifat mekanik dari lasan. Harga masukan panas yang dibutuhkan untuk setiap satuan panjang pengelasan adalah :

$$H = \frac{60 EI}{1000 S} \quad (\text{Funderburk, 1999}) \quad (2-1)$$

Dimana :

H = masukan panas (kJ/mm)

E = tegangan busur las (volt)

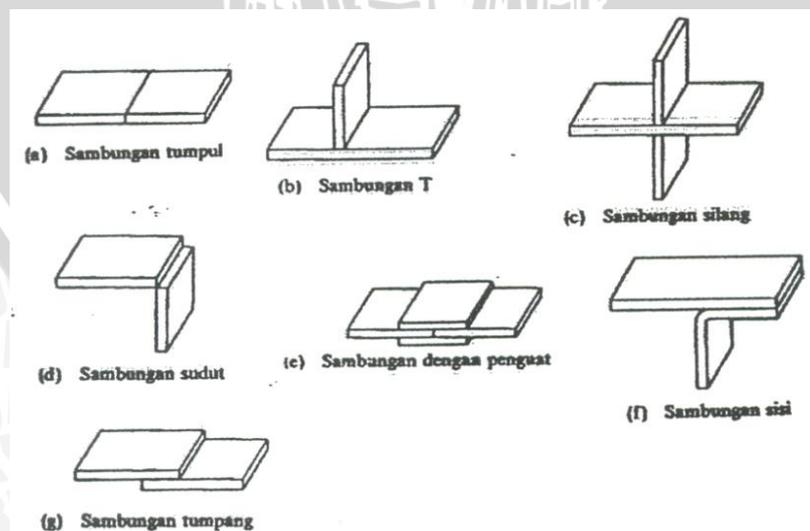
I = kuat arus pengelasan (ampere)

S = kecepatan pengelasan (mm/min)

Dari persamaan diatas terlihat bahwa masukan panas akan semakin besar dengan kenaikan arus listrik dengan asumsi bahwa variabel tegangan dan kecepatan pengelasan konstan. Penggunaan kuat arus pengelasan haruslah sesuai, apabila terlalu kecil akan mengakibatkan masukan panas menjadi kurang sehingga penetrasi logam pengisi rendah dikarenakan logam pengisi yang dilebur lebih sedikit dibandingkan dengan kebutuhan, dan mengakibatkan kekuatan hasil sambungan las kurang baik. Sedangkan apabila kuat arus yang digunakan terlalu besar maka akan mengakibatkan masukan panas meningkat sehingga daerah las yang dihasilkan semakin luas dan laju pendinginannya akan semakin lama, ini berarti daerah yang mengalami perubahan mikrostruktur juga semakin luas. Dengan demikian akan berpengaruh pada kekuatan sambungan lasnya.

2.7.2 Sambungan Las

Berdasarkan jenis sambungannya, didalam pengelasan dikenal 7 jenis sambungan diantaranya:



Gambar 2.6 Jenis-jenis sambungan dasar las

Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 157

a. Sambungan tumpul.

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian seperti yang terlihat dalam tabel 2.3. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu yang masih dibagi lagi dalam pelat pembantu yang turut menjadi bagian dari konstruksi dan pelat pembantu yang hanya sebagai penolong pada waktu proses pengelasan saja.

Bentuk alur atau lebih dikenal dengan kampuh dalam sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur (kampuh) sangat penting. Bentuk dan ukuran kampuh sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, BS, DIN, GOST, JSSC dan lain-lainnya. Pada dasarnya dalam memilih bentuk kampuh harus menuju kepada penurunan masukan panas dan penurunan logam las sampai kepada harga terendah yang tidak menurunkan mutu dari sambungan.

Tabel 2.3 Jenis Alur (Kampuh) Sambungan Las Tumpul

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

Sumber : Wiryosumarto (1996 : 158)

b. Sambungan T dan bentuk silang.

Pada kedua sambungan ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis, yaitu jenis las dengan alur (kampuh) dan jenis las sudut. Hal-hal yang dijelaskan untuk sambungan tumpul di atas juga berlaku untuk sambungan jenis ini. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur.

c. Sambungan sudut.

Dalam sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel. Hal ini dapat dihindari dengan membuat alur (kampuh) pada pelat tegak. Bila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu.

d. Sambungan dengan penguat.

Sambungan ini dibagi dalam dua jenis yaitu sambungan dengan pelat penguat tunggal dan dengan pelat penguat ganda. Dengan alasan yang sama dengan sambungan silang, maka sambungan ini jarang digunakan untuk penyambungan konstruksi utama.

e. Sambungan sisi.

Sambungan jenis ini hanya digunakan untuk pengelasan tambahan atau sementara pada pengelasan pelat-pelat tebal.

f. Sambungan tumpang.

Karena alasan efisiensi yang rendah maka sambungan jenis ini jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang ini biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las sisi.

Pada jenis sambungan tumpul diatas, terdapat penambahan alur pengelasan atau yang biasa disebut kampuh dengan berbagai variasi. Kampuh las disini berguna untuk mempermudah penetrasi dan sebagai tempat pengisian logam pengisi (*filler*). Pemilihan bentuk kampuh menuju pada efisiensi sambungan dan mutu sambungan. Ada tiga aturan dalam pemilihan alur sambungan (kampuh), antara lain:

1. Pemilihan sambungan yang memerlukan sedikit logam pengisi.
2. Penggunaan akar kampuh yang minimum dengan sudut yang kecil agar dapat mengurangi jumlah logam pengisi.

3. Pada pelat yang tebal menggunakan kampuh ganda untuk mengurangi logam pengisi.

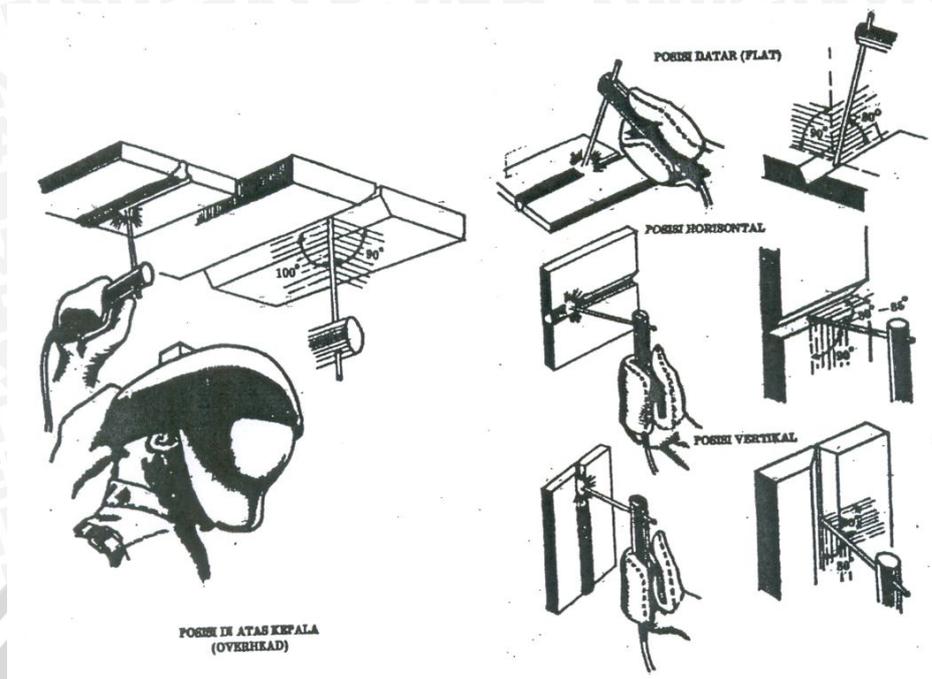
Salah satu jenis kampuh yang sering digunakan didalam pengelasan adalah model *single vee*. Dan dalam penelitian ini jenis kampuh yang digunakan juga model *single vee* dengan memvariasikan besar sudutnya. Pemilihan sudut pada kampuh jenis *single vee* haruslah sesuai. Apabila sudutnya terlalu besar maka kolam las yang terbentuk juga akan semakin luas sehingga waktu pengisian juga semakin lama karena kecepatan pengelasannya rendah. Karena waktu pengisiannya lama maka waktu panas terhenti pada satu titik juga semakin lama sehingga masukan panasnya juga semakin tinggi yang mengakibatkan tegangan termal yang terjadi semakin besar. Dengan tegangan termal yang besar maka daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang terbentuk juga semakin luas sehingga mengakibatkan kekuatan tarik dari material hasil pengelasan tersebut rendah.

Standar untuk sudut kampuh model *single vee* dari AWS (*American Welding Society*) adalah 60° . Pada penelitian ini, akan digunakan 3 variasi sudut kampuh jenis *single vee*. Yang pertama, nilai sudut kampuh dibawah standar yaitu 45° . Yang kedua berdasar standar yaitu 60° dan yang ketiga sudut kampuh yang diatas standar yaitu 75° .

2.7.3 Posisi Pengelasan

Selain jenis sambungan, terdapat faktor lain yang harus diperhatikan yaitu posisi dalam proses pengelasan. Terdapat 4 posisi dasar dalam proses pengelasan, antara lain :

1. Posisi datar (*flat position* = 1G)
Yaitu pelat dalam posisi horisontal dan diisi logam las dari atas pelat.
2. Posisi horisontal (2G)
Yaitu pelat dalam posisi vertikal dengan pengelasan pada posisi horisontal.
3. Posisi vertikal (3G)
Yaitu pelat dalam posisi vertikal dengan pengelasan pada posisi vertikal.
4. Posisi diatas kepala (*Overhead* = 4G)
Yaitu pelat dalam posisi horisontal dan diisi logam las dari bawah pelat.

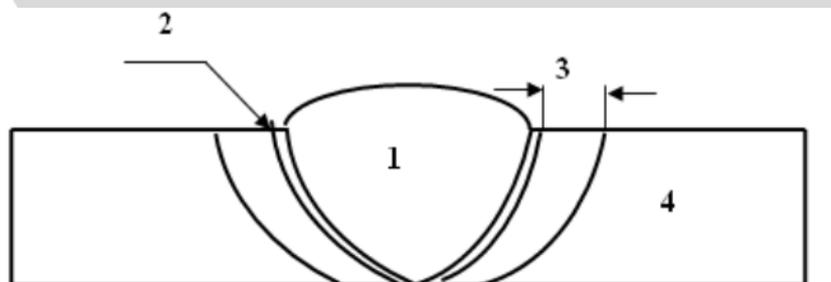


Gambar 2.7 Berbagai posisi pengelasan
 Sumber : Widharto, 2003

2.8 Metalurgi Las

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan kekuatan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi las.

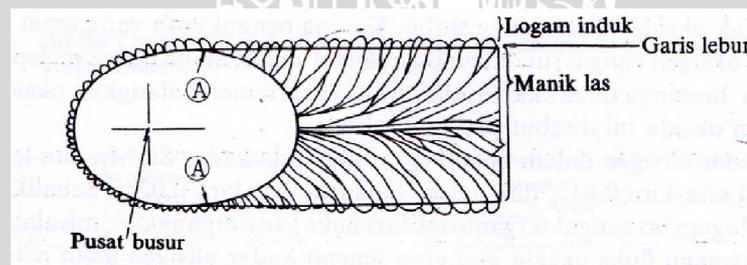
Pada saat proses pengelasan terdapat empat daerah hasil pengelasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8, antara lain :



Gambar 2.8 Daerah las
 Sumber : ASM Handbook Vol. I

1. Logam Las (*Weld Metal*) adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan ikut mencair dan dengan cepat kemudian membeku.
2. *Fusion Line* merupakan daerah perbatasan antara daerah yang mengalami peleburan dan yang tidak melebur. Daerah ini biasa dinamakan garis gabungan antara *weld metal* dan *Heat Affected Zone (HAZ)*.
3. *Heat Affected Zone (HAZ)* merupakan daerah yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal dan pendinginan cepat, sehingga mengalami perubahan mikrostruktur akibat pemanasan tersebut.
4. Logam Induk (*Parent Metal*) merupakan logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan mikrostruktur dan sifat.

Dalam membahas siklus termal daerah lasan maka tidak bisa lepas dari proses pembekuan dan mikrostruktur yang terbentuk pada logam las. Pada gambar 2.9 berikut akan ditunjukkan mengenai arah pembekuan dari logam las, dimana titik A adalah titik awal dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Kemudian titik ini melebar mendekati garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur, sebagian dari logam dasar turut mencair dan sebagian lagi menjadi *Heat Affected Zone (HAZ)* atau daerah pengaruh panas las, yaitu daerah pada logam yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat pemanasan karena pengelasan.



Gambar 2.9 Arah pembekuan dari logam las
Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 57

Logam akan mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan sehingga mengalami perubahan mikrostruktur di sekitar daerah lasan. Pada umumnya bentuk mikrostruktur dari logam tergantung pada kecepatan pendinginan dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Karena perubahan mikrostruktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki logam juga berubah.

2.9 Pengelasan Baja

2.9.1 Pengelasan Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. (Wiryosumarto, 1996). Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbonnya, oleh karena itu baja dapat dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya sebagai berikut :

- Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3 %
- Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon 0,3 % - 0,45 %
- Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45 % - 1,70%

Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam tabel 2.4 berikut ini :

Tabel 2.4 Klasifikasi Baja Karbon

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

Sumber : Wiryosumarto (1996 : 90)

Berdasarkan klasifikasi diatas didapatkan bahwa terdapat tiga jenis baja berdasarkan kandungan karbonnya. Pada aplikasinya, baja yang digunakan untuk rangka kereta api adalah baja karbon rendah, dimana kandungan karbonnya kurang dari 0,30 %. Baja karbon jenis ini mempunyai sifat mampu keras yang rendah, sehingga pembentukan martensit dengan proses perlakuan panas sulit dilakukan. Meskipun baja ini lunak tetapi mempunyai ketangguhan dan keuletan yang baik.

2.9.2 Pengelasan Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau biasa disebut *stainless steel* adalah baja paduan tinggi yang tahan terhadap laju korosi, suhu tinggi, dan suhu rendah. Selain itu mempunyai ketangguhan yang baik dan sifat mampu potong yang cukup. Secara umum baja tahan karat ini dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu baja tahan karat martensit, baja tahan karat ferit dan baja tahan karat austenite. Berikut adalah tabel klasifikasi baja tahan karat:

Tabel 2.5 Klasifikasi Baja Tahan Karat

Klasifikasi	Komposisi Utama (%)			Sifat mampu keras	Sifat tahan korosi	Sifat mampu tempa	Sifat mampu las	Kemagnitan.
	Cr	Ni	C					
Baja tahan karat martensit	11-15	—	≤1,20	Mengeras sendiri	kurang baik	kurang baik	tidak baik	Magnit
Baja tahan karat ferit	16-27	—	≤0,35	Tidak dapat dikeraskan	Baik	Baik	Kurang baik	Magnit
Baja tahan karat austenit	≤16	≤7	≤0,25	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik sekali	Baik sekali	Bukan magnit

Sumber : Wiryosumarto (1996 : 109)

Didalam aplikasinya, metode yang banyak digunakan untuk pengelasan baja tahan karat adalah SMAW, MIG, maupun TIG. Hal ini disebabkan karena baja tahan karat termasuk jenis baja paduan kualitas tinggi, maka jelas bahwa kualitas sambungan pada baja tahan karat juga begitu diperhatikan. Kualitas sambungan las sangat dipengaruhi oleh masukan panas (*heat input*) dan akan menjadi getas oleh panas dari atmosfer pengelasan tersebut. Pada penelitian ini, baja yang digunakan adalah baja tahan karat jenis austenit yaitu baja SUS 304. Baja tahan karat jenis austenit ini memiliki kualitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis ferit maupun martensit. Hal ini dikarenakan struktur yang ada pada baja tahan karat jenis austenit memiliki nilai karbon yang sedikit sehingga lebih mudah dalam penyambungan. Selain itu, baja tahan karat jenis austenit ini memiliki sifat ketangguhan dan keuletan yang lebih baik. Namun, pada suhu 680⁰ C ke 480⁰ C terjadi pembentukan karbid khrom. Hal ini bisa dihindari dengan menjaga suhu pembekuan pada saat proses pendinginan setelah pengelasan.

2.10 Dissimilar Metal Welding

Dissimilar metal welding adalah suatu proses pengelasan antara dua atau lebih logam yang berbeda jenis dan karakteristiknya. Pada *dissimilar metal welding* ada beberapa prosedur yang harus diperhatikan diantaranya sebagai berikut:

- Meminimalkan masukan panas untuk meminimalkan dilusi dan membatasi difusi.
- Memilih bahan pengisi yang tepat / kompatibel dengan kedua bahan yang dilas.
- Mengurangi peleburan berlebih oleh variabel proses pengelasan yang terkait sehingga menentukan dalamnya penetrasi.
- Pengenceran dan pembentukan fase *intermetalik* dapat diminimalkan dengan menerapkan lapisan bahan kompatibel di kedua permukaan masing-masing logam las.

Jika untuk beberapa kemungkinan perlakuan panas tidak mungkin dilakukan, pada logam pengisi harus digunakan jenis austenitik yang ulet (untuk mengerasakan bahan). Ini akan mengkompensasi kurangnya *ductility* di daerah pengaruh panas HAZ.

Pengelasan logam tidak sejenis (*dissimilar metal welding*) pada penelitian kali ini salah satunya menggunakan logam jenis *stainless steel*, berikut adalah macam - macam pengelasan logam tidak sejenis yang menggunakan *stainless steel* :

- a. Pengelasan logam tidak sejenis *austenitic stainless steel* dengan *low alloy steel* atau *carbon steel* .
- b. Pengelasan logam tidak sejenis *martensitic stainless steel* dengan *low alloy steel* atau *carbon steel*.
- c. Pengelasan logam tidak sejenis *ferritic stainless steel* dengan *low alloy steel* atau *carbon steel*.

Pada penelitian ini menggunakan plat baja jenis SUS 304 (*austenitik stainless steel*) dengan plat baja jenis St 37 (*low carbon steel*). Kemudian, masalah yang timbul adalah karena perbedaan koefisien ekspansi termal dari baja karbon rendah dan baja tahan karat. Tegangan termal sangat besar karena tidak setara dengan saat logam berekspansi dan berkontraksi saat melakukan pembekuan. Hal lain juga dipengaruhi oleh kelarutan karbon yang tinggi di daerah austenit. Oleh karena itu, akan mengakibatkan terjadi zona *decarburized* yang akhirnya dapat menyebabkan kegagalan sambungan. Variabel tersebut dapat diatasi dengan menambah temperatur awal seperti memvariasikan variabel kuat arus dan sudut kampuhnya. Hal ini bertujuan agar tetap

didapatkan kekuatan pada sambungan logam tersebut sama dengan logam induknya. Karena kegagalan saat terjadi sambungan disebabkan adanya kesalahan pemilihan prosedur pengelasan baja tidak sejenis.

2.11 Kekuatan Tarik

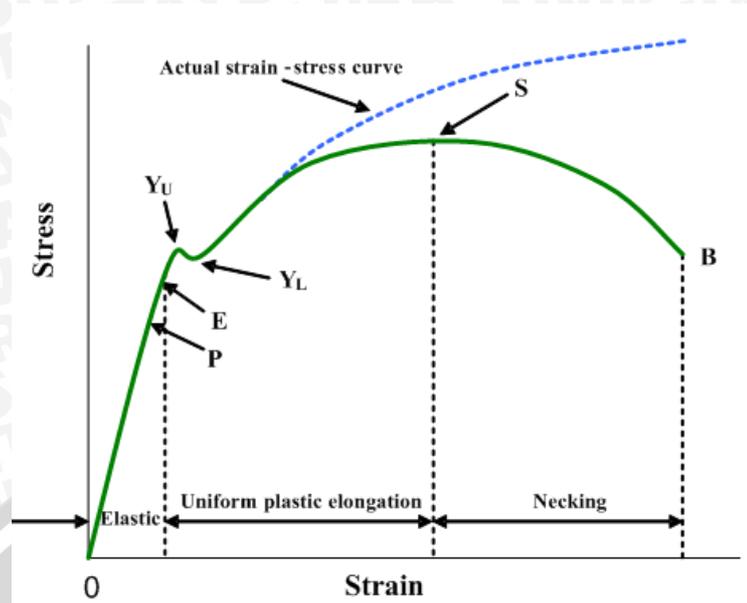
2.11.1 Definisi Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik didefinisikan sebagai kemampuan yang dimiliki material untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum putus. Tegangan maksimum sebelum putus dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini.

Hubungan tegangan dan regangan dapat diketahui dengan jelas pada diagram tegangan regangan yang didasarkan dari data yang diperoleh dalam pengujian tarik. Ini juga berlaku hukum Hooke yang menyatakan bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Jika beban ditambah secara perlahan maka penambahan beban itu akan menambah regangan sampai pada batas elastis dimana beban yang ditambah tetap akan terjadi penambahan regangan. Pada pengujian tersebut benda uji diberi beban tarik secara aksial yang bertambah besar secara kontinyu dan dilakukan juga pengamatan penambahan panjang.

Dalam hal ini :

- Titik proporsional merupakan titik tempat terjadinya keseimbangan antara tegangan dan regangan.
- Titik luluh merupakan titik tempat penambahan regangan tanpa penambahan beban.
- *Ultimate point* merupakan titik tempat tegangan tertinggi yang dapat dicapai oleh material tersebut.
- Titik patah merupakan titik tempat material tersebut patah.



Gambar 2.10 Diagram tegangan regangan

Sumber : *Anonymous 1*, 2012

Keterangan gambar:

- P : Titik proporsional
- E : Batas daerah elastis
- Y : *Yield point*
- S : *Ultimate point*

2.11.2 Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Tarik

Berikut adalah beberapa faktor yang dapat berpengaruh pada kekuatan tarik dari suatu material, diantaranya :

1. Kadar Karbon

Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik dari suatu material adalah kadar karbon dari material tersebut. Kekuatan tarik akan terus meningkat seiring dengan penambahan kadar karbon sampai dengan 1%. Dan selanjutnya untuk penambahan kadar karbon diatas 1% akan menjadikan material tersebut menjadi sangat rapuh dan getas, sehingga apabila material diberi beban tarik maka akan patah tanpa mengalami perpanjangan.

2. Heat Treatment

Proses *heat treatment* yang dilakukan akan menghasilkan sifat mekanik logam yang keras, kuat dan keuletannya bertambah dan sebagainya yang tergantung dari jenis *heat treatment* yang dikenakan pada logam tersebut. Misalnya dilakukan *heat treatment* untuk meningkatkan kekerasan (*hardening*). Dengan peningkatan kekerasan ini maka tegangan tarik yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan ini lebih besar. Tetapi ia akan bertambah rapuh (*brittle*) sehingga perpatahannya terjadi tanpa adanya tegangan yang besar (terjadi secara mendadak). Selain itu, *heat treatment* yang dilakukan akan menentukan mikrostruktur dari spesimen. Kekuatan tarik suatu baja sangat tergantung pada gaya ikat antar atomnya. Perubahan struktur menyebabkan pula terjadinya perubahan kekuatan tarik.

Kekuatan tarik suatu spesimen tergantung pada *heat treatment*nya. Secara teoritis memiliki urutan sebagai berikut :

a *Hardening*

Bertujuan untuk menghasilkan kekerasan maksimum sehingga tegangan tarik yang dibutuhkan kecil.

b *Tempering*

Bertujuan untuk mengurangi tegangan dalam, meningkatkan keuletan bahan sehingga kekuatan tarik sedang.

c Tanpa perlakuan

Material diuji tanpa mendapat perlakuan panas sebelumnya, ini digunakan sebagai pembanding.

d *Normalizing*

Bertujuan untuk meningkatkan kekerasan daripada proses *annealing*, menghilangkan tegangan dalam.

e *Annealing*

Bertujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan dalam, menurunkan kekerasan.

3. Homogenitas (kesamaan partikel logam)

Homogenitas suatu bahan atau material akan berpengaruh terhadap gaya ikatan antar atomnya. Untuk material dengan tingkat homogenitas yang tinggi maka gaya ikat antar atom juga tinggi, sehingga kekuatannya juga tinggi.

4. Laju pendinginan

Laju pendinginan juga menjadi salah satu faktor yang berpengaruh pada kekuatan tarik dari suatu material. Semakin cepat laju pendinginan yang diberikan maka akan meningkatkan kekerasan material, sehingga kekuatan tariknya juga besar.

5. Konduktivitas termal bahan

Apabila suatu material memiliki konduktivitas termal yang tinggi maka bisa mempercepat laju pendinginan, sehingga bisa meningkatkan kekerasan material tersebut. Dengan demikian kekuatan tariknya juga meningkat.

6. Unsur paduan

Adanya unsur paduan yang pada umumnya dapat bersenyawa dengan baja atau bahan seperti Nikel, Chromium dan Mangan dapat meningkatkan kekuatan tarik karena unsur paduan tersebut memiliki sifat keras.

7. Ukuran butir

Ukuran butir yang besar bersifat *ductile* dibandingkan dengan butir yang halus. Ini dikarenakan ukuran butir yang besar menjadikan gaya tarik menarik antar butir kurang kuat, sebaliknya ukuran butir yang halus memiliki sifat yang keras sehingga kekuatan tarik besar.

Berikut adalah rumus perhitungan untuk tegangan tarik (σ_t) dan regangan (ε) :

a. Tegangan tarik dalam N/mm^2

$$\sigma_t = \frac{P}{A} \quad (2-2)$$

dimana : P = beban tarik (N)

A = luas penampang (mm^2)

b Regangan

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-3)$$

dimana : ε = regangan (%)

l = panjang akhir (mm)

l_0 = panjang awal (mm)

2.12 Hipotesis

Semakin besar kuat arus yang digunakan maka masukan panas yang dihasilkan juga semakin tinggi yang mengakibatkan tegangan termalnya semakin besar, sehingga daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang terbentuk semakin lebar dan berdampak pada kekuatan tarik material hasil las yang semakin menurun. Begitu pula dengan sudut kampuh yang semakin besar akan mengakibatkan semakin luasnya kolam lasan yang menjadikan waktu pengisiannya semakin lama sehingga waktu panas terhenti pada satu titik juga semakin lama, dan itu akan mengakibatkan masukan panasnya semakin tinggi. Semakin tinggi masukan panas maka daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang terbentuk semakin lebar dan berdampak pada kekuatan tariknya yang semakin berkurang.

