

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Joko Santoso, 2006 melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Las SMAW dengan Elektroda E7018 Pada Baja Karbon Rendah Pada Baja St37. Dari hasil penelitian tersebut nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh untuk kualitas baja karbon rendah mempunyai nilai yang paling tinggi adalah 100 Ampere dibandingkan arus 130 dan 160 Ampere. Sedangkan data dari hasil pengujian tarik diketahui bahwa nilai raw materials mengalami penurunan dibaning variasi arus pengelasan. Hal ini disebabkan semakin arus diperkecil maka masukan panas pun juga semakin kecil yang menyebabkan perubahan pada mikrostruktur pada daerah haz menjadi lebih lembut yang berupa bilah-bilah pada saat proses solidifikasi, sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan juga semakin tinggi.

Aria Wira Arrahman, 2014 melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Arus Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan bending dan Perubahan Struktur Mikro Pada Baja St45. Dari hasil penelitian yang diperoleh kekuatan bending tertinggi pada arus pengelasan 160 dibandingkan 180 dan 200 ampere. Bentuk butiran yang terbentuk didaerah HAZ pada proses solidifikasi berupa *acicular ferrite* yang bentuknya seperti bilah bilah menyilang. Namun bentuk butiran *ferrite perlite* akan mendominasi pada daerah HAZ yang mendapatkan energi panas yang lebih tinggi dengan bentuk butiran seperti *grain boundary ferrite*. Hasil uji kekuatan bending sangat dipengaruhi oleh bentuk butiran yang dihasilkan dari pengelasan baja St45 akan menjadi lebih rendah dibandingkan arus yang lebih rendah dengan seiring bertambahnya arus pengelasan.

2.2 Proses Pengelasan

2.2.1 Definisi Pengelasan

Berdasarkan *American Welding Society* (AWS), Pengelasan adalah proses penyambungan material dengan menggunakan kumpuh las, sedangkan kumpuh las

didefinisikan sebagai logam yang membeku dari logam yang sebelumnya berada dalam keadaan cair akibat pemanasan pada temperatur tertentu dengan atau tanpa penekanan, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Sedangkan Las adalah sebuah ikatan metalurgi yang terjadi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam pada keadaan cair atau lumer, hal ini berdasarkan definisi dari *Deutche Industrie Normen (DIN)*.

Dapat disimpulkan bahwa pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan energi panas. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengelasan tersebut berasal dari pembakaran gas, sinar elektron, gesekan gelombang elektronik, tahanan listrik, ataupun busur listrik sehingga akan terjadi ikatan antar atom-atom atau molekul dari logam yang disambungkan.

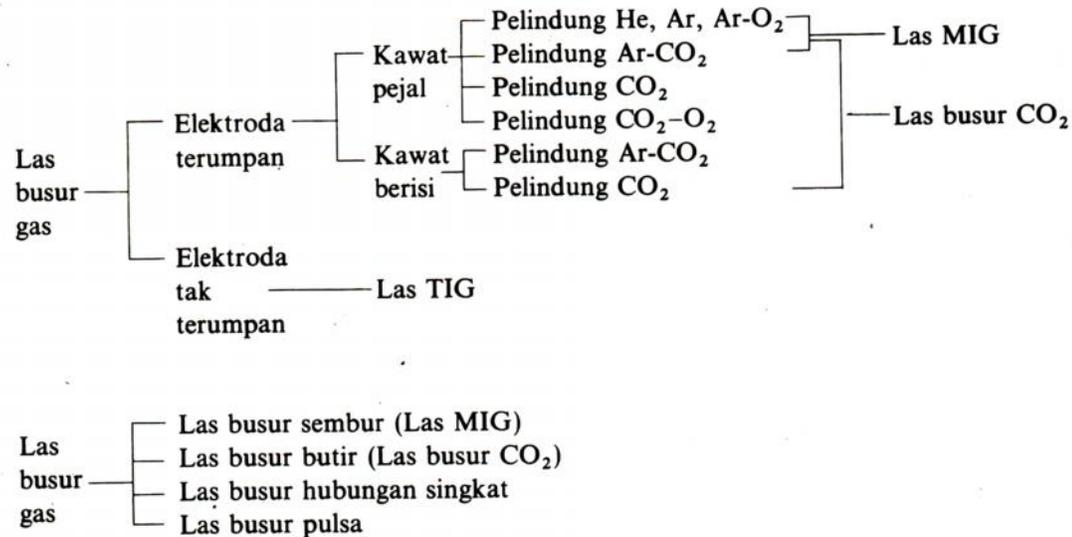
2.2.2 Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan bisa dibagi dalam 3 jenis yaitu :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dengan cara sambungan diberi panas sampai mencair dengan sumber energi panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dengan cara sambungan dipanaskan kemudian logam ditekan menjadi satu.
3. Pematrian adalah pengelasan dengan cara sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

2.2.3 Las Busur Gas

Las busur gas merupakan proses pengelasan dengan dilakukan penghembusan gas pelindung pada daerah yang dilas dengan tujuan untuk melindungi busur las juga logam yang sedang mencair agar tidak terkontaminasi oleh unsur-unsur yang ada di atmosfer. Gas yang biasa digunakan untuk gas pelindung antara lain gas helium (He), gas argon (Ar), gas karbondioksida (CO₂) atau campuran dari gas-gas tersebut. (Wiryosumarto, 1985: 16). Klasifikasi las busur gas dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.1 Klasifikasi Las Busur Gas

Sumber: Wiryosumarto, 1985: 17

2.2.4 Las Logam Gas Mulia atau MIG

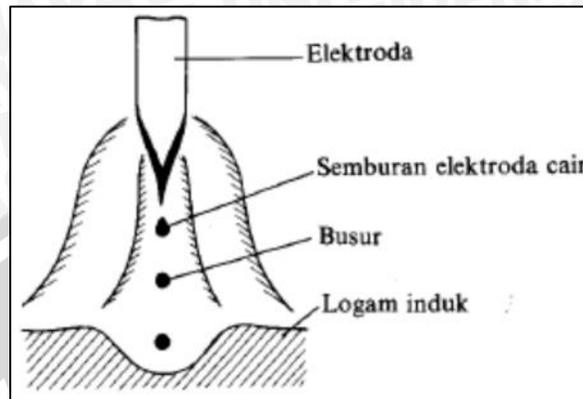
Las MIG (*Metal Inert Gas*) adalah suatu pengembangan dari pengelasan GMAW (*gas metal arc welding*). Las MIG yaitu proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu dengan proses pencairan setempat menggunakan elektroda gulungan (*filler metal*) yang sama dengan logam dasarnya (*base metal*), dan menggunakan gas pelindung (*inert gas*). Las MIG adalah 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 antara lain gas karbondioksida (CO_2), gas helium (He), gas argon (Ar), atau campuran dari gas-gas tersebut (Wiryosumarto, 1985: 16).

Keuntungan menggunakan las MIG antara lain:

1. Konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat baik dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
2. Karena dapat menggunakan arus listrik yang tinggi, maka kecepatannya juga tinggi sehingga efisiensinya sangat baik.
3. Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara, serta sifat-sifat lainnya lebih baik daripada yang dihasilkan dengan cara pengelasan lain.

Diatas dijelaskan bahwa sebagian besar sifat-sifat logam yang terjadi bisa disimpulkan berasal dari sidat busur yang dihasilkan pada saat proses pengelasan. Pada pengelasan ini

biasanya hasil busur selalu runcing. Dalam hal ini butiran logam akan menjadi halus dan pada saat perpindahannya berlangsung cepat sehingga terlihat seperti disemburkan.



Gambar 2.2 Pemindahan Sembur pada Las MIG
Sumber: Wiryosumarto, 1985: 20

2.2.5 Pengelasan Baja Karbon

2.2.5.1 Definisi Baja

Baja merupakan paduan antara besi dengan karbon dengan unsur lainnya dimana kadar karbonnya tidak melebihi 2%. Pengaruh karbon pada baja memberikan sifat keras pada baja, sehingga untuk kebutuhan dibidang teknik pemilihan baja bisa disesuaikan dengan kadar karbonnya.

Sebagian besar dari produksi logam yaitu besi dan paduannya. Untuk memperoleh logam-logam yang mempunyai sifat yang diinginkan, ketahanan aus, kekerasan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, keuletan, dan sebagainya maka diperlukan penambahan bahan-bahan lain ke dalam besi. Penambahan ini akan memberikan keuntungan-keuntungan yang besar terhadap sifat-sifat mekanik dan kimiawi (Tata Surdia, 1999:77).

2.2.5.2 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon adalah komposisi dari besi dengan karbon dan ada sedikit unsur Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat dari baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon (Wiryosumarto, 1985: 89). Berdasarkan kadar karbonnya, baja dibedakan menjadi tiga :

- a. Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%
- b. Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon 0,3% - 0,45%

c. Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45% - 1,70%

2.2.5.3 Baja St37

Baja St37 adalah singkatan dari *staal* yang berarti baja, dan angka 37 yaitu material tersebut mempunyai kekuatan terhadap beban tarik sebesar 37 kgf/mm² (Bhandari, 2014) Baja St37 merupakan baja yang memiliki kadar karbon yang kurang dari 0,25% didalamnya, yang tidak responsif pada perlakuan panas dalam arti pembentukan martensit. Paduan yang relatif lunak dan lemah ini tetapi memiliki tingkat keuletan yang baik dan kemampuan untuk proses permesinan, kemampuan untuk penyambungan logam dengan pengelasan. Dan untuk aplikasinya pada badan mobil, pipa saluran, konstruksi jembatan dan bangunan banyak menggunakan baja karbon rendah. Oleh karena itu perlu diadakannya penelitian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi hasil las tersebut. Salah satu upaya untuk melihat kemampuan mekanik hasil pengelasan dengan dilakukan pengujian *bending* dengan standar pengelasan dan parameter pengelasan yang sudah ditentukan. Berikut adalah *chemical properties* dari baja St37:

C	Mn	S	P	Fe
0.17	1.40	0.045	0.045	sisanya

Sumber: http://www.steelstrip.co.uk/structural_steels.htm

2.2.5.4 Pengelasan Baja Karbon Rendah

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Kelas Baja	Tingkat Deoksidasi	Jenis Baja	Komposisi Kimia (%)			Cara Deoksidasi	Rongga Halus	Pemisahan	Rongga Penyusutan
			C	Si	Mn				
Baja rim	Rendah	Baja karbon rendah	< 0,3	< 0,01	0,25-0,45	Fe-Mn	Banyak	Banyak	Sedikit sekali
Baja semi-kil	Sedang	Baja karbon	< 1,0	0,01-0,1	0,45-0,8	Fe-Mn, Fe-Si (dalam tungku)	Sedikit	Sedikit	Sedikit
Baja kil	Tinggi	Baja karbon Khusus	< 1,5	> 0,1	> 0,3	Fe-si, Al (dalam label)	Hampir tidak ada	Sedikit sekali	Banyak

Sumber: Wiryosumarto, (1985:90)

Pada baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila perisapannya sempurna dan persyaratan yang diperlukan

terpenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. (Wirosumarto, 1985)

2.3 Parameter Pengelasan

Untuk memperoleh hasil pengelasan yang baik, dibutuhkan ketepatan dalam pemilihan parameter pengelasan. Perbedaan dimensi, geometri material, cara pengelasan dan lain-lain yang digunakan pada saat pengelasan akan membutuhkan parameter yang berbeda untuk memperoleh hasil terbaik.

Parameter pada pengelasan diantaranya adalah elektroda, gas pelindung, kecepatan, arus, dan tegangan pengelasan. Semua parameter tersebut mempengaruhi masukan panas pada proses pengelasan tersebut. Pada penelitian ini akan membahas mengenai arus pengelasan sebagai parameter yang divariasikan.

2.3.1 Elektroda

Pengelasan dengan las busur listrik memerlukan kawat las yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam dengan dilapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia. Selain digunakan sebagai pembangkit, elektroda yang berfungsi sebagai logam pengisi harus memiliki kesamaan sifat dengan logam induk sehingga tidak ada elektroda yang dapat digunakan untuk semua pengelasan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan elektroda antara lain kekuatan mekanik, gas pelindung yang digunakan, komposisi kimia elektroda, dan logam induk.

2.3.2 Gas Pelindung

Pada pengelasan GMAW gas yang dipakai adalah gas mulia, karena selain tidak mudah beraksi dengan unsur-unsur lainnya juga karena gas mulia ini sifatnya stabil. Fungsi gas pelindung adalah melindungi busur listrik dan logam las dari kontaminasi udara luar. Beberapa alasan las GMAW lebih sering memakai gas argon (Ar) sebagai gas pelindung antara lain:

1. Membuat busur lebih stabil dan halus serta mengurangi percikan.
2. Argon lebih mudah mengion sehingga tidak memerlukan tegangan busur yang tinggi.

3. Penghantar panas argon yang rendah menyebabkan pengaliran panas melalui busur listrik lambat sehingga baik untuk plat logam yang tipis.

2.3.3 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan adalah jarak logam induk yang akan dilas dibandingkan dengan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pengeleasan dengan jarak logam induk yang akan dilas. Pada umumnya kecepatan pengelasan disesuaikan dengan kombinasi tertentu dari arus dengan tegangan busur pada saat pengelasan. Atau bisa dikatakan kecepatan pengelasan adalah kecepatan maju dari busur las yang diukur dalam satuan centimeter per menit, milimeter per menit atau milimeter per detik. Kecepatan pengelasan dapat diaplikasikan menggunakan las manual atau semi-otomatis tergantung pada ketangkasan dari *welder* yang mengoperasikan. Namun, dengan pengelasan semi otomatis kecepatan diatur pada motor yang dikendalikan untuk mengatur jalannya logam induk terhadap pembentukan las dari tang elektroda (Funderburk, 1999).

2.3.4 Arus Pengelasan

Besar arus las yang diperlukan tergantung dari bahan, ukuran yang akan dilas, sambungan pengelasan, macam elektroda dan diameter inti elektroda. Besar arus yang digunakan juga mempengaruhi jumlah panas yang akan dihasilkan. Pemberian masukan panas yang berlebihan atau kekurangan bisa menyebabkan terjadinya cacat produk, dan juga bisa mempengaruhi kecepatan pendinginan yang menyebabkan pembentukan struktur mikro yang terbentuk kurang baik.

Las GMAW bisa menggunakan arus AC maupun DC. Tetapi pada las GMAW lebih sering digunakan untuk arus DC karena bagusnya busur yang akan ditimbulkan saat proses pengelasan, sehingga sangat sesuai untuk pengelasan plat tebal atau pada pengelasan plat yang sangat tipis.

2.3.5 Tegangan Busur Las

Tegangan busur las adalah perbedaan potensial listrik antara ujung elektroda dengan permukaan logam yang akan dilas. Tegangan pengelasan akan berubah seiring dengan perubahan jarak antara elektroda dengan permukaan benda kerja, jika jarak membesar maka

tegangannya akan meningkat atau sebaliknya. Tegangan pengelasan ini berpengaruh tetapi hanya memiliki pengaruh kecil terhadap jumlah endapan logam las. Jumlah endapan logam las sangat dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan dan besar arus las. Tegangan pengelasan akan menentukan ukuran dari daerah lebur dan penguatan las. Tegangan busur yang rendah akan menghasilkan penembusan yang dalam sedangkan tegangan busur yang tinggi akan menghasilkan penembusan yang dangkal dan akan energi panas akan terbuang sia-sia (Wiryo Sumarto, 1985:240).

2.4 Masukan Panas

Kualitas dari hasil pengelasan akan dipengaruhi oleh energi panas yang ada pada tiga parameter yaitu arus listrik, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter tersebut menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut (AWS Vol. I, 1996):

$$H_i = \frac{E \cdot I}{v} \dots(1)$$

dengan:

H_i = Masukan panas per satuan panjang (J/mm)

E = Tegangan listrik (Volt)

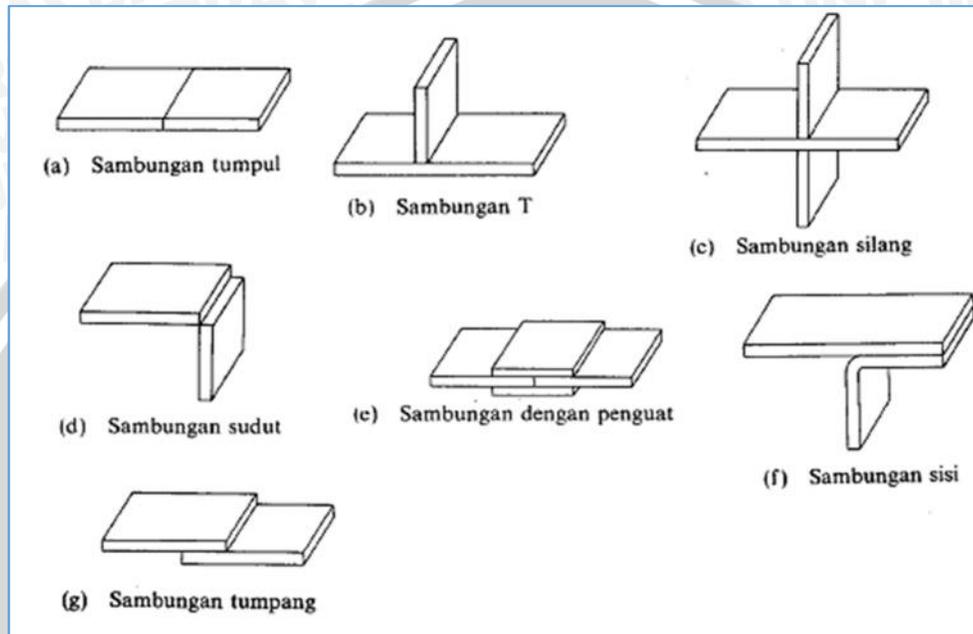
I = Arus listrik (Ampere)

v = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Dari persamaan tersebut dapat dijelaskan bahwa apabila masukan panas yang diinginkan sangat tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus listrik diperbesar atau kecepatan pengelasan diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.5 Klasifikasi Sambungan Las

Berdasarkan jenis sambungannya terdapat 7 jenis sambungan dasar las, yaitu: sambungan tumpul, sambungan T, sambungan silang, sambungan sudut, sambungan dengan penguat, sambungan sisi, dan sambungan tumpang.



Gambar 2.3 Jenis- jenis Sambungan
Sumber: Wiryosumarto, 1985: 157

1. Sambungan tumpul
Sambungan tumpul dibagi menjadi dua yaitu sambungan tumpul dengan penetrasi penuh dan penetrasi sebagian.
2. Sambungan T dan sambungan silang
Sambungan T dan sambungan silang dibagi menjadi dua yaitu jenis dengan alur dan jenis dengan sudut.
3. Sambungan sudut
Sambungan ini bisa terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang bisa menjadikan adanya retakan pada hasil pengelasan.
4. Sambungan dengan pelat penguat

Sambungan dengan pelat penguat dibagi menjadi dua yaitu sambungan dengan penguat tunggal dan penguat ganda.

5. Sambungan sisi

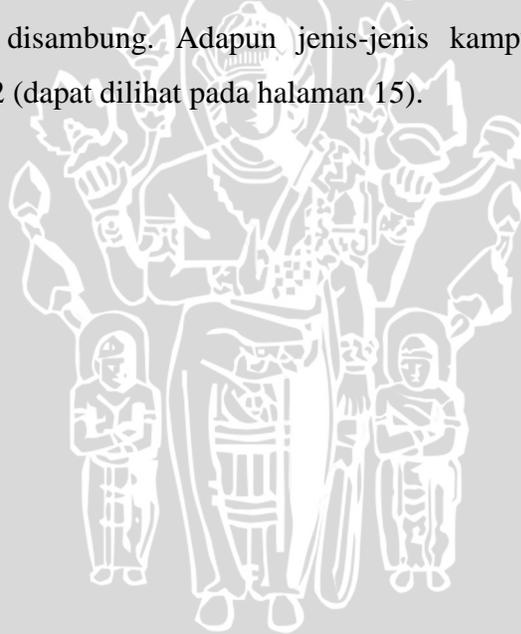
Sambungan sisi dibagi menjadi dua yaitu sambungan las dengan alur dan sambungan las dengan ujung.

6. Sambungan tumpang

Sambungan ini memiliki efisiensi yang rendah maka dari itu sangat jarang ditemukan untuk pelaksanaan penyambungan dalam konstruksi.

2.6 Jenis dan Bentuk Kampuh Las

Bentuk kampuh pada sambungan las sangat berpengaruh pada efisiensi pengerjaan dan jaminan konstruksi yang akan dilas. Dalam memilih bentuk kampuh las harus memperhatikan ketebalan material yang akan disambung. Adapun jenis-jenis kampuh las untuk jenis sambungan tumpul pada tabel 2.2 (dapat dilihat pada halaman 15).



Tabel 2.2 Alur Sambungan Las Tumpul

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

Sumber: Wiryosumarto, 1985: 158

Salah satu jenis kampuh yang sering digunakan didalam pengelasan adalah model *single vee*. Dalam penelitian ini jenis kampuh yang digunakan model *single v 60°*. Standar untuk model *single v* dari AWS (*American Welding Society*) adalah 60°.

2.7 Posisi Pengelasan

Posisi atau sikap pengelasan merupakan pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las dan *brander/* pembakar. Posisi pengelasan yang diambil oleh operator las biasanya tergantung dari letak kampuh atau celah benda kerja yang akan dilas. Terdapat 4 posisi dasar pengelasan, yaitu:

1. Posisi Datar (1G)

Posisi ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan yang sedikit miring dimana letak elektroda berada di atas benda kerja.

2. Posisi Horizontal (2G)

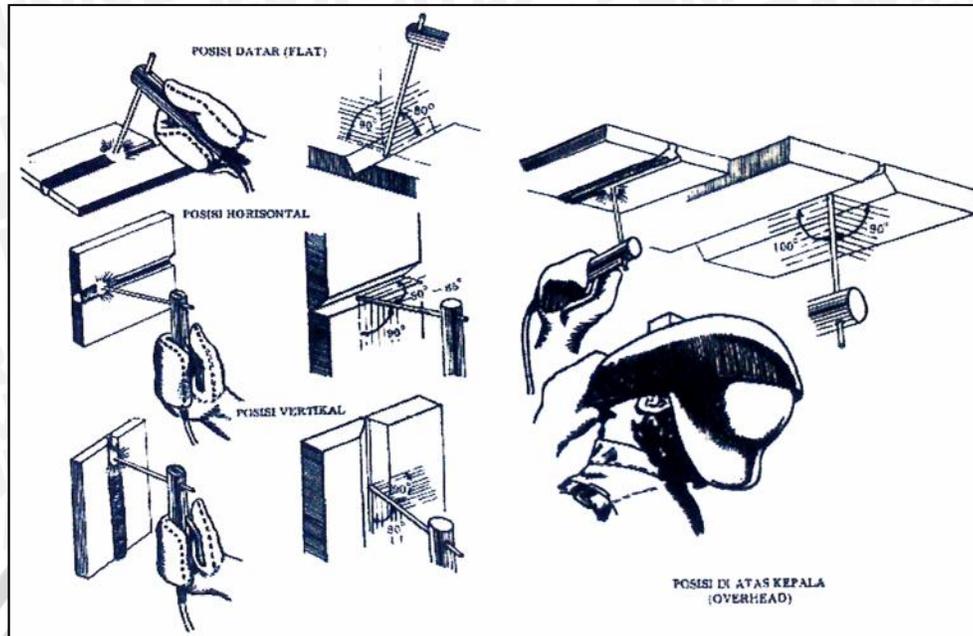
Pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis horizontal. Pada posisi pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda juga perlu diperhatikan serta posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau sedikit miring dari arah gerak elektroda las.

3. Posisi Vertikal (3G)

Pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis vertikal. Posisi pengelasan vertikal umumnya benda kerja berdiri tegak atau sedikit miring searah dengan gerak elektroda las yaitu naik atau turun.

4. Posisi di Atas Kepala (4G)

Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan yang sedikit miring tetapi posisinya berada di atas kepala operator las dimana letak elektroda berada di bawah benda kerja.



Gambar 2.4 Posisi Pengelasan
Sumber: Widharto, Sri, 2003: 31

2.8 Mampu Las Baja (*Weld Ability*)

Mampu las adalah kemampuan material untuk disambung dengan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan. Kontruksi baja biasanya akan dibuat dengan melakukan pengelasan, untuk itu diperlukan lembaran baja yang tebal dan mempunyai sifat mampu las yang baik. Namun tidak bisa dihindari perubahan sifat meterial karena panas saat pengelasan membuat daerah yang dipengaruhi panas terjadi pengerasan atau menghasilkan retakan atau juga terjadinya penurunan keuletan pada sambungan las (Surdia, 1999:77).

2.9 Metalurgi Las

Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan energi panas sehingga di sekitar hasil lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan perubahan metalurgi, deformasi, dan tegangan-tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan sebagainya yang berpengaruh terhadap keamanan dan konstruksi las.

2.10 Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah suatu batas logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Daerah HAZ memiliki tiga daerah pengelasan yaitu :

1. Daerah logam induk adalah daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur.
2. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan mikrostruktur karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan.
3. Daerah las merupakan daerah terjadinya pencairan logam dan kemudian secara cepat mengalami pembekuan.

2.11 Siklus Termal Las

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan. Daerah pengelasan terdiri atas 4 bagian yaitu logam lasan, *heat affected zone* (HAZ), *fusion zone*, dan logam induk yang tidak terpengaruhi. Struktur dan sifat mekanik pada HAZ sangat dipengaruhi oleh siklus termal yang terjadi dimana proses pemanasan dan pendinginan terjadi di daerah lasan. Jumlah masukan panas dan lamanya pendinginan pada suatu daerah tertentu sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil lasan. Struktur logam pada HAZ berubah secara perlahan dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini yang disebut dengan batas las (Wiriyosumarto, 1985: 65).

Terbentuknya struktur mikro dan sifat mekanik sangat bergantung pada proses pendinginan di daerah HAZ dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin sangat bergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C. (Wiriyosumarto, 1985: 59).

terbentuk juga akan semakin banyak, karena martensit terbentuk dari fase austenit yang didinginkan secara cepat. Hal ini terjadi karena atom karbon yang terdapat didalam tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal yang membentuk struktur tetagonal ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga nilai kekerasannya meningkat.

Untuk mendinginkan logam hasil lasan dikenal berbagai macam bahan, yaitu:

1. Air

Air mampu melakukan pendinginan secara cepat, bahkan untuk memperbesar daya pendinginannya sering dilarutkan garam dapur antara 5 sampai 10%.

2. Minyak atau Oli

Minyak maupun oli juga dapat melakukan pendinginan secara cepat. Oli maupun minyak memiliki viskositas (kekentalan), semakin kecil nilai viskositas maka daya pendinginannya semakin besar.

3. Udara

Udara memberi pendinginan secara perlahan karena udara tersebut ada yang disirkulasi dan ada pula yang tidak disirkulasi.

4. Garam

Garam memberi pendinginan yang cepat dan merata sehingga sering digunakan terutama untuk proses hardening.

2.14 Pengujian Kekuatan bending

Pengujian kekuatan bending adalah merupakan salah satu pengujian bahan uji dalam menerima pembebanan seperti kekuatan tegangan lentur, elastisitas, memeriksa sifat-sifat mekanis bahan yang dijadikan spesimen maupun bahan yang yang diberi pembebanan semisal hasil pengelasan. Dengan pembebanan ini bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan pada saat yang bersamaan. (Surdia, 1999:21)

2.14.1 Macam-macam Pengujian *Bending*

Pengujian bending pada logam hasil pengelasan adalah pengujian transvesal bending. Dimana pada pengujian ini, pengambilan spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Pada umumnya dilakukan dengan dua metode berikut:

1. *Three point bending*

Pada *three point bending*, benda kerja dikenai beban pada satu titik yaitu tepat pada bagian tengah batang ($\frac{1}{2} L$). Pada metode ini material harus tepat berada di $\frac{1}{2} L$ agar mendapatkan momen maksimum karena saat mencari σ dibutuhkan momen maksimum tersebut.

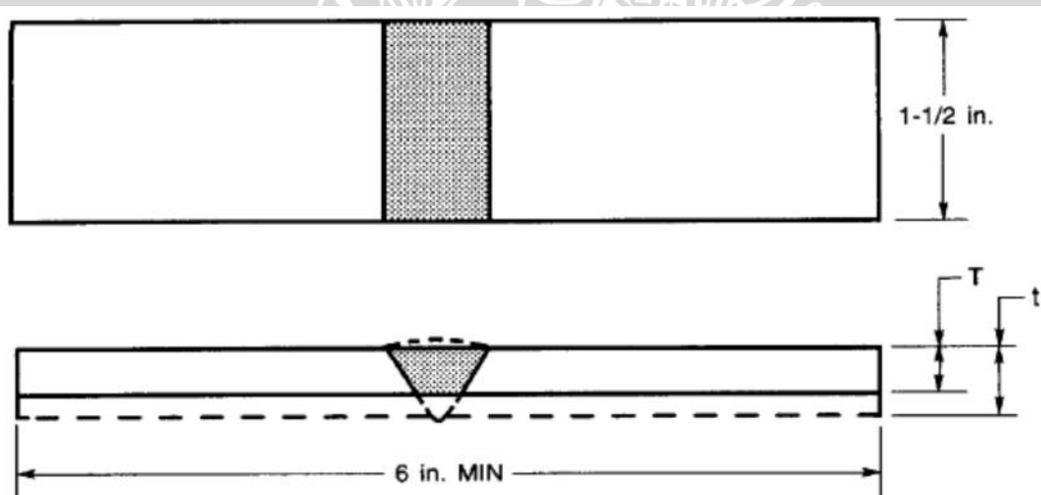
2. *Four point bending*

Pada *four point bending*, benda kerja dikenai beban pada dua titik, yaitu pada $\frac{1}{3} L$ dan $\frac{2}{3} L$. Pembebanan menggunakan *four point bending* lebih baik daripada menggunakan *three point bending* ini dikarenakan adanya rentang pada spesimen yang menyebabkan tegangan geser = 0.

Namun berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian transvesal dibagi menjadi tiga yaitu:

1. *Face Bend* (*bending* pada permukaan hasil las)

Pengujian *face bend* dilakukan untuk melihat tegangan tarik pada permukaan las dan tegangan tekan pada akar las. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik.

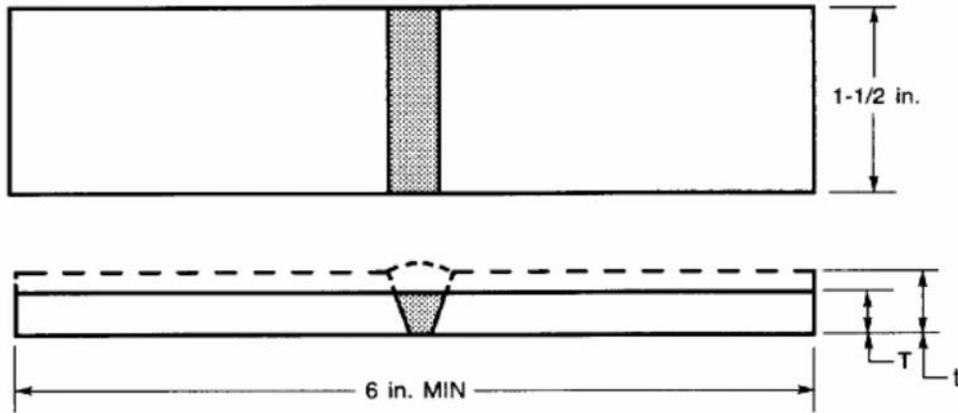


Gambar 2.6 Spesimen *face bend*

Sumber: American Welding Society B 4-0

2. Root Bend (bending pada akar hasil las)

Pengujian root bend dilakukan untuk melihat tegangan tarik pada akar dan tegangan tekan pada permukaan las. Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan tarik.



Gambar 2.7 Spesimen *root bend*

Sumber: American Welding Society B 4-0

3. Side Bend (bending pada sisi hasil las)

Side bend dilakukan pada sisi hasil pengelasan yang memiliki ketebalan lebih besar dari 3/8 inci.

2.14.2 Rumus Perhitungan

Persamaan berikut untuk mengetahui kekuatan bending maksimal yang didapatkan dari hasil pengelasan:

$$\sigma = \frac{M.y}{I} \quad \dots(2)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \dots(3)$$

$$y = \frac{h}{2} \quad \dots(4)$$

$$M = \frac{1}{4} P.L \quad \dots(5)$$

(Standar, ASTM D6110)

Dengan:

σ : Kekuatan bending (MPa)

M : Momen lentur (N.mm)

- y : Jarak serat terluar dari sumbu netral
P : Beban maksimum (kN)
b : Lebar spesimen (mm)
I : Momen inersia pada penampang persegi panjang (mm^2)
h : Tebal spesimen (mm)
L : Jarak antar titik tumpu (mm)

2.15 Pengujian Mikrostruktur

Tujuan dari pengujian mikrostruktur adalah memperoleh gambar yang memperlihatkan fasa dari sebuah logam dan paduannya, sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material logam tersebut. Pemeriksaan suatu struktur mikro dapat memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir dan banyaknya bagian struktur yang beragam. Langkah-langkah untuk melakukan pengamatan struktur mikro adalah memotong spesimen menjadi ukuran yang lebih kecil kurang lebih seukuran 20 mm x 10mm x 15mm, penempatan spesimen ke dalam cetakan dan cetakan tadi diisi resin dengan tujuan untuk mempermudah dalam proses penghalusan, pengampelasan dengan menggunakan amplas halus secara berurutan, mulai dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar), pemolesan dengan menggunakan bubuk penggosok ataupun pasta diamond.

2.16 Hipotesa

Dengan arus yang semakin meningkat akan menghasilkan panas yang terlalu tinggi dan membuat logam yang akan dicairkan semakin lama mengalami pendinginan. Dari hal tersebut bisa menyebabkan perubahan struktur mikro yang berada disambungan menjadi melebar dan meningkatkan keuletan. Ketika keuletan meningkat akan mengakibatkan kekuatan bending menurun juga. Maka semakin besar arus pengelasan, kekuatan bending dari hasil pengelasan baja St37 akan semakin menurun dan perubahan struktur mikro yang terbentuk baja St37 cenderung berupa struktur *ferrite* yang lebih banyak ditemukan.