BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi di bidang industri yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, misalnya pada bidang perkapalan, jembatan, rangka baja, konstruksi pagar, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya. Oleh karena itu, sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualiatas yang baik.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan, yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat, dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan yang meliputi pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, dan penggunaan jenis kampuh (Wiryosumarto, 2000).

Sering kali pengelasan harus dilakukan pada posisi tertentu karena mengikuti rancangan suatu konstruksi seperti pengelasan langit-langit/plafon bangunan, pada pojok bangunan, diatas lantai dan sebagainya. Terlebih lagi pada proses pengelasan berkelanjutan yaitu suatu konstruksi memerlukan pengelasan yang berurutan dan cepat dengan posisi pengelasan yang berbeda-beda. Dengan adanya keharusan posisi pengelasan tertentu, maka akan memberikan hasil yang berbeda terhadap kekuatan dan ketahanan hasil lasan (Cary, 1980).

Berdasarkan klasifikasinya cara kerja pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas (las busur gas). Jenis dari las busur listrik ada empat yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO2), las busur tanpa gas, dan las busur rencam. Jenis dari las

busur elektroda terbungkus salah satunya adalah las SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*).

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC), dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah dan pengelasan dengan arus bolak-balik.

Penentuan besarnya kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan penyalaan busur listrik dan menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam (Arifin, 1997).

Untuk mengetahui besar arus optimal yang menghasilkan nilai ketangguhan yang paling baik, perlu dilakukan pengujian *impact*. Ketangguhan merupakan salah satu sifat mekanik yang paling penting dalam pengelasan. Oleh karena itu, dengan melakukan pengujian *impact* ini dapat diketahui ketangguhan suatu material terhadap beban tiba-tiba.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kuat arus pada *Shielded Metal Arc Welding* terhadap kekuatan *impact stainless steel* A304.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu dibatasi permasalahan yang akan dibahas, agar dalam penyusunannya nanti tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Oleh karena itu penyusun membatasi masalah permasalahan sebagai berikut:

1. Pengelasan dilakukan dengan las SMAW arus searah (DC) semi otomatis.
2. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah 1G (*Flat Position*).
3. Bahan yang digunakan adalah *stainless steel* A304 dengan ketebalan 10 mm.
4. Tegangan busur 24 volt.

5. Elektroda yang digunakan adalah elektroda AWS A5.4 E308-16 dengan diameter 3,2 mm.
6. Kampuh las yang digunakan adalah jenis kampuh V tunggal dengan sudut 60^{o}.
7. Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian kekuatan *impact* berdasarkan standar ASTM E23.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat arus pada *Shielded Metal Arc Welding* terhadap kekuatan *impact stainless steel* A304.

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai peran nyata dalam pengembangan teknologi khususnya pengelasan, maka penulis berharap dapat mengambil manfaat dari penelitian ini, diantaranya:

1. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, pengelasan, dan bahan teknik.
2. Sebagai informasi bagi juru las untuk meningkatkan kekuatan hasil pengelasan.
3. Sebagai literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khusunya bidang pengelasan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Hakim (2014) meneliti tentang pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan uji tarik dan *impact* pada pengelasan 1G las SMAW untuk baja karbon rendah dengan elektroda E7018 dengan diameter 2,5 mm. Dari hasil penelitian rata-rata kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada arus 60 A sebesar 504.169 MPa pada arus 80 A sebesar 493.305 MPa, dan kekuatan tarik terendah diperoleh pada arus 100 A sebesar 482.616 MPa Sedangkan ketangguhan tertinggi diperoleh pada arus 60 A sebesar 0,1270 J/mm^2, pada arus 80A sebesar 0,1478 J/mm^2, dan ketangguhan terendah diperoleh sebesar 0,1148 J/mm^2, dan ketangguhan terendah adalah arus 100A sebesar 0,0920 J/mm^2. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik dan ketangguhan pada baja karbon rendah antara sebelum dan setelah mengalami proses variasi arus pengelasan sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi arus pada pada pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan baja karbon rendah. Kekuatan tarik dan ketangguhan baja akan menurun seiring bertambahnya arus pengelasan.

Sarjito (2009) yang meneliti tentang pengaruh besar arus listrik dengan menggunakan elektroda SMAW terhadap kekuatan sambungan las *butt joint* pada plat *mild steel*. Hasil yang dicapai dalam penelitian ini untuk keuletan kuat arus 90 A sebesar 0.56 Joule/mm^2 (1 *pass)* dan 0.90 Joule/mm^2 (2 *pass*) , 110 A sebesar 0.91 Joule/mm^2 (1 *pass)* dan 0.77 Joule/mm^2 (2 *pass*) dan 125 A sebesar 0.53 Joule/mm^2 (1 *pass)* dan 0.62 Joule/mm^2 (2 *pass*). Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan kuat arus 110 A dengan 1 *pass* mempunyai keuletan yang lebih baik dibanding dengan kombinasi yg lainnya.

2.2 Pengertian Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logarn tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Sonawan, 2006: 1).

Berdasarkan Deutsche Insdustri Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

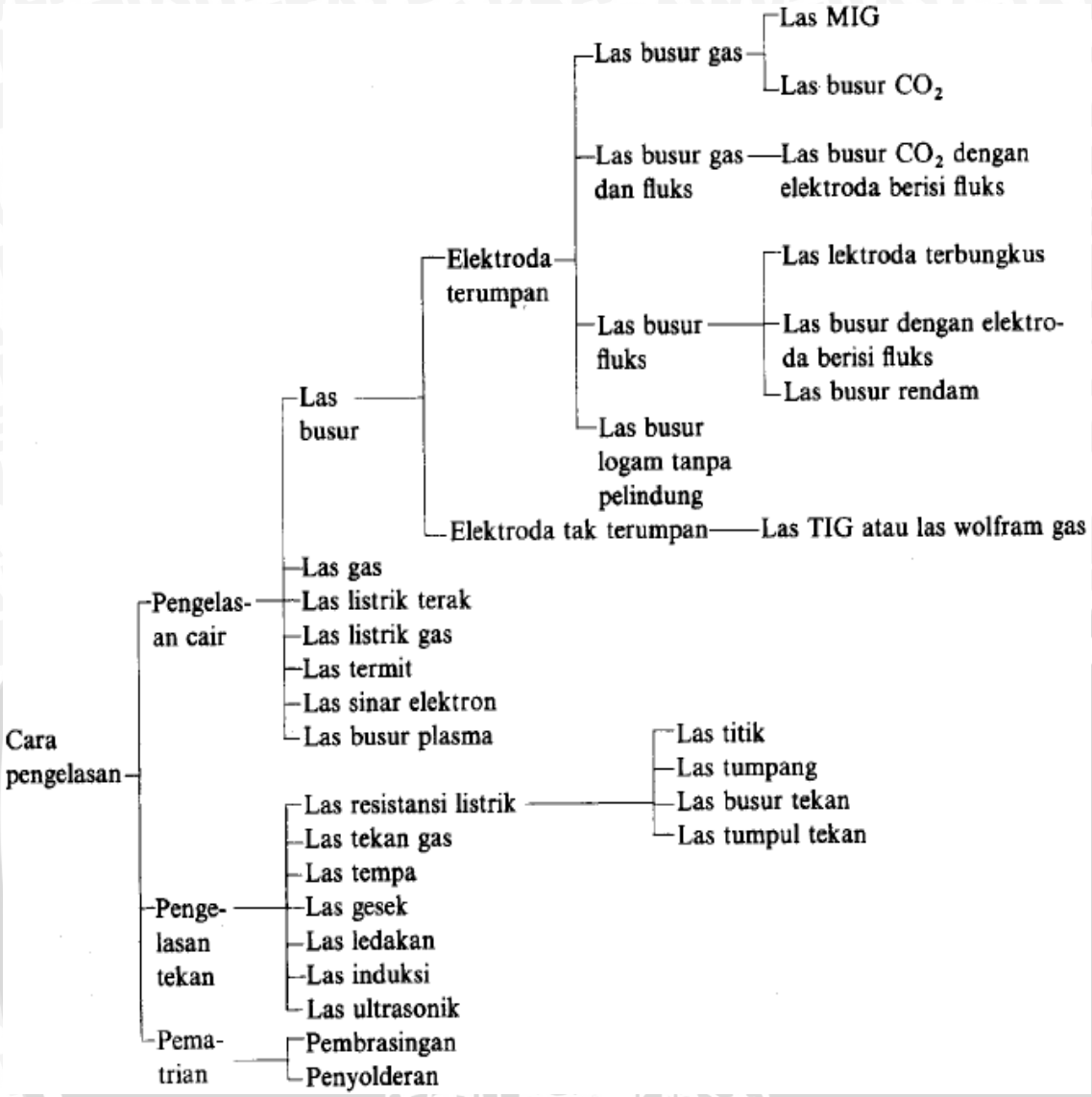
dengan kata lain las adalah sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas. Berdasarkan American Welding Society (AWS), proses pengelasan adalah proses penyambungan material dengan menggunakan kampuh las, sedangkan kampuh las didefinisikan sebagai logam yang membeku dari logam yang sebelumnya berada dalam keadaan cair akibat pemanasan pada temperatur tertentu dengan atau tanpa penekanan.

Dari kedua definisi tadi dapat disimpulkan bahwa proses las adalah proses yang menggunakan energi panas dan temperatur yang dicapai sangat tinggi. Akibat pemanasan, pencairan dan kemudian pendinginan maka logam akan mengalami perubahan ukuran maupun perubahan bentuknya (Wiryosumarto, 2000: 1).

2.3 Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan cara kerjanya pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu:

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

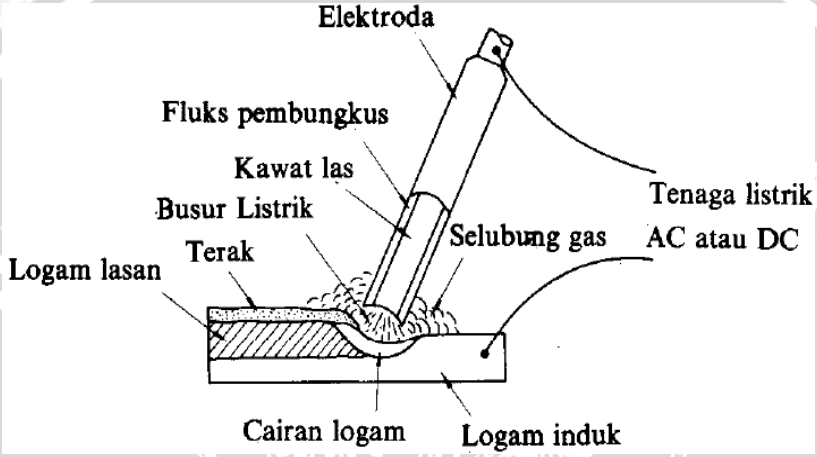


Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 8

2.3.1 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Salah satu jenis las yang sering digunakan adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dalam pengelasan ini, logam induk mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik yang ada dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang dipakai berupa kawat yang dibungkus oleh pelindung berupa fluks dan karena itu elektroda las kadangkadang disebut kawat las. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama-sama dengan logam induk yang menjadi bagian kampuh las. Dengan adanya pencairan ini maka kampuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan logam induk (Sonawan, 2006: 3).

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila arus listrik yang digunakan besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan yang terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan *fluks* yang digunakan. (Wiryosumarto, 2000: 9).



Gambar 2.2 Las SMAW
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 9

2.4 Elektroda

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

2.4.1 Kawat inti (*Core Wire Rod*)

Kawat inti yang berfungsi sebagai logam pengisi ini terbuat dari bahan logam yang disesuaikan dengan logam induk yang akan dilas, bisa *mild steel, low carbon steel, alloy steel* dan lain-lain. Komposisi kimia dari kawat inti ini cukup berpengaruh

terhadap sifat mekanis dari logam las yang terbentuk. Berikut ini komposisi kimia yang biasa terdapat pada kawat inti.

1. *Manganese* (Mn)

   Mangan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi pada tingkat lebih rendah dari karbon. Untuk tujuan pengelasan, rasio mangan untuk sulfur minimal 10 berbanding 1. Kandungan mangan kurang dari 0,3% dapat meningkatkan porositas internal dan retak pada manik las, retak juga dapat terjadi jika kandungan lebih dari 0,8%.

2. *Phosphorus* (P)

   Fosfor meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi dengan mengurangi elastisitas dan dampaknya terhadap ketangguhan, terutama pada baja karbon tinggi yang di*quenching* dan *tempering*. Fosfor memperkuat baja karbon rendah, meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan meningkatkan *machinability*. Dalam hal pengelasan, kadar fosfor lebih dari 0,04% membuat las rapuh dan meningkatkan kecenderungan untuk retak.

3. *Sulphur* (S)

   Untuk pengelasan, mampu las menurun seiring peningkatan kandungan sulfur. Sulfur merugikan kualitas permukaan karbon rendah dan baja mangan rendah dan meningkatkan *hot shortness* di las dengan peningkatan sulfur. Kandungannya terbatas pada 0,05%.

4. *Silicon* (Si)

   Silikon meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi pada tingkat yang lebih rendah daripada mangan. Dalam pengelasan, silikon merugikan kualitas permukaan, terutama pada karbon rendah. Hal ini dapat memperburuk kecenderungan retak ketika kandungan karbon cukup tinggi. Untuk kondisi pengelasan terbaik, isi silikon tidak boleh melebihi 0,10%. Namun, jumlah sampai dengan 0,30% tidak seserius daripada sulfur tinggi atau kadar fosfor.

2.4.2 Pembungkus (*Coating*)

Pembungkus berupa *fluks* yang berfungsi sebagai pelindung pada proses pengelasan dan pada saat penyimpanan. Dalam proses pengelasan, pembungkus elektroda ini akan terbakar dan membentuk terak (*slag*) cair yang kemudian membeku sehingga melindungi logam las dari pengaruh atmosfir atau mencegah terhadap kontaminasi dari udara sekitarnya. Jika pengelasan busur dilakukan dengan elektroda

telanjang, elektroda akan menempel pada logam induk, menghalangi penyalaan busur atau menyebabkan busur mati. Hal ini akan menghasilkan rigi yang tidak teratur dan lubang-lubang cacing. *Fluks* sendiri mempunyai fungsi yang sangat besar diantaranya:

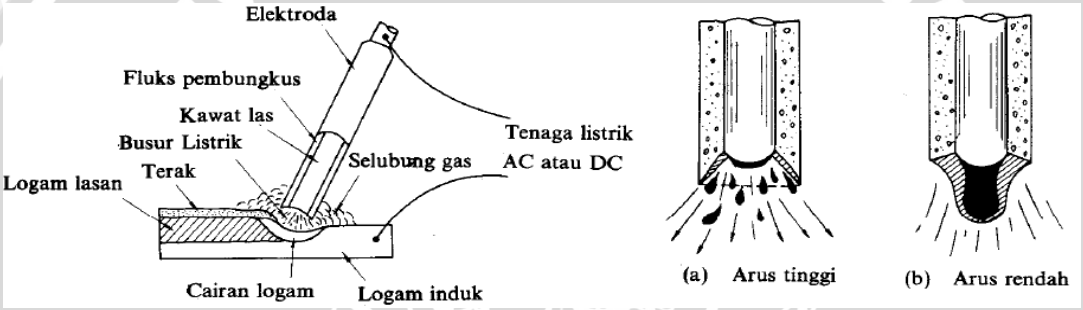
- *Fluks* memfasilitasi penyalaan busur dan meningkatkan intensitas dan stabilitas busur.
- *Fluks* menimbulkan gas untuk melindungi busur. *Fluks* akan terurai dan menimbulkan gas (CO2, Co, H, dan sebagainya) yang mengelilingi busur. Hal ini menjaga bentuk butiran logam dan cairan teroksidasi atau nitrasi yang disebabkan oleh kontak dengan atmosfer.
- *Slag* atau terak melindungi logam las dan membantuk pembentukan rigi. Selama pengelasan, *fluks* mencair menjadi terak yang melindungi cairan dan rigi las dengan cara menutupinya. Dengan berbagai kekentalan (visikositas) dari terak, memungkinkan untuk melaksanakan pengelasan dalam berbagai posisi dan memperbaiki bentuk dari rigi las.
- *Fluks* menghaluskan kembali logam las dengan deoksidasi, bila pengelasan dilaksanakan pada udara terbuka. Elemen deoksidasi seperti Mn dan Si telah ditambahkan pada *fluks* untuk melindungi pembentukan lubang cacing dan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dari logam las.
- Serbuk besi dalam *fluks* meningkatkan laju pengendapan dan efisiensi pengoperasian. Laju pengendapan dapat ditingkatkan dengan arus las yang tinggi atau diameter elektroda las yang besar.
- Fungsi isolasi, *fluks* memberikan isolasi listrik yang baik. Dalam hal elektroda las dengan kurang hati-hati disentuhkan kepermukaan las selama pengelasan, *fluks* mencegah geretan busur yang tidak terduga, dengan demikian mencegah kerusakan las dan juga kecelakaan terhadap manusia.

2.5 Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda dan posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan

mempengaruhi hasil las, bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan 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 kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus busur listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti pada gambar 2.4 (a), sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti pada gambar 2.4 (b).



Gambar 2.3 Pengaruh Pemakaian Arus Busur Listrik
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 9

2.6 Siklus Termal Las

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah *Heat Affected Zone* dan disingkat menjadi daerah HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengalasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. (Wiryosumarto, 2000: 56).

Pengelasan menghasilkan temperatur yang kompleks disepanjang daerah lasan yang juga menghasilkan variasi panas pengelasan didaerah lasan. Panas pengelasan akan mencairkan logam lasan, selanjutnya panas tersebut akan merambat dan terdistribusi kedalam lasan yang lain. Setelah proses pengelasan dihentikan, maka logam cair akan membeku dimana kecepatan pendinginan sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan. Disamping kuatnya daerah utama tersebut masih terdapat daerah yang membatasi antar daerah logam las dengan HAZ yang disebut dengan daerah batas butir.

Struktur dan sifat mekanik dari HAZ sangat dipengaruhi oleh siklus termal yang terjadi di daerah lasan yang proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di daerah lasan. Jumlah masukan panas dan lamanya pendinginan dalam suatu daerah tertentu sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil lasan. Struktur logam pada HAZ berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini yang disebut dengan batas las. Pada daerah ini dimana butir-butirnya sangat kasar logam menjadi sangat getas dan ini disebut penggetasan batas las (Wiryosumarto, 2000: 65).

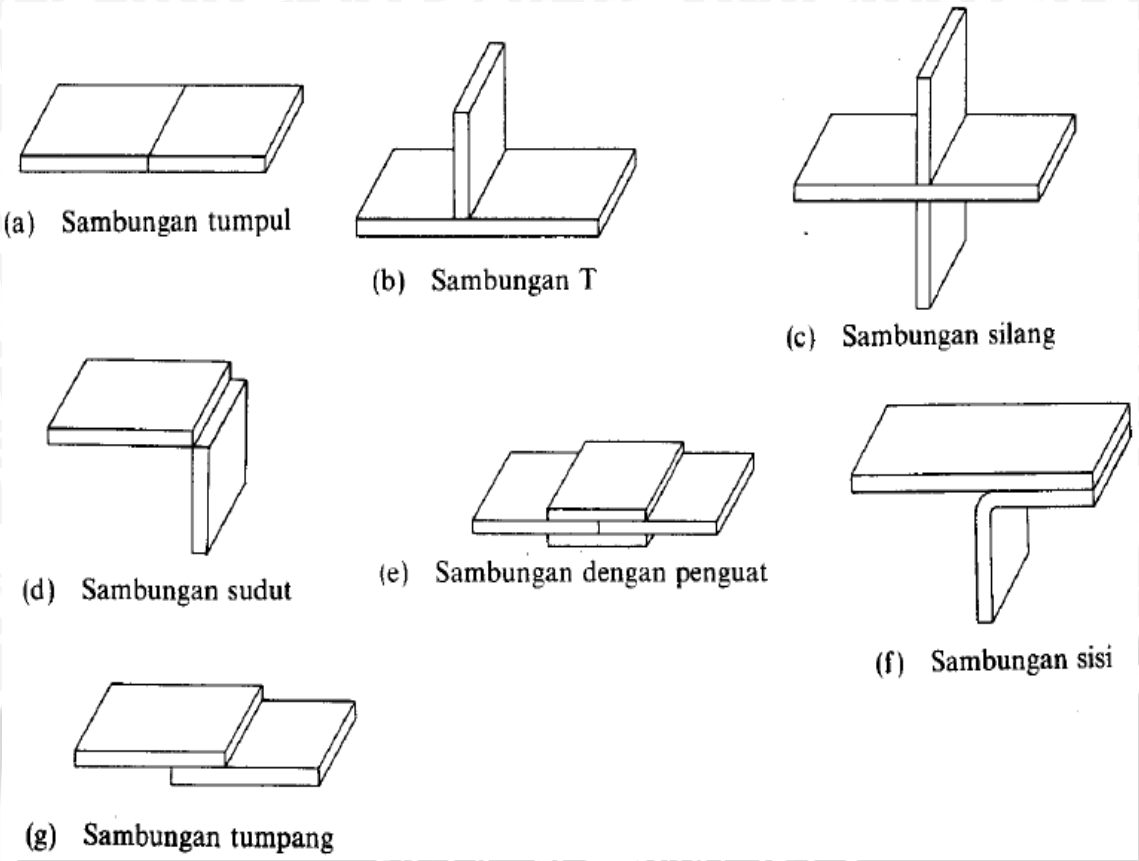
Apabila jumlah masukan panasnya meningkat maka akan menyebabkan tingkat kegetasannya meningkat pula pada batas ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh gas dikontinitas pada kaki manik lasan takik serta retak las. Kegetasan dibatas las ini disamping disebabkan oleh butiran-butiran yang kasar mungkin juga oleh cacat las akan titik-titik pusat konsentrasi tegangan yang ada didalamnya (Wiryosumarto, 2000: 66).

Faktor- faktor yang mempengaruhi kecepatan pendinginan pada logam las pada siklus termal:

1. Geometri las, mencakup ketebalan dari suatu benda kerja, bentuk, dan ukuran dari endapan las serta sudut antara benda yang disambung.
2. Karakteristik termal dari material, sering juga dihubungkan dengan konduktivitas termal dari material.

2.7 Klasifikasi Sambungan Las

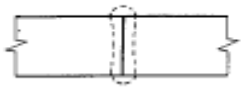
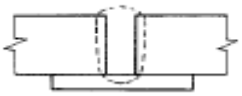
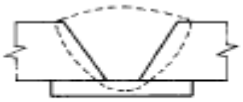
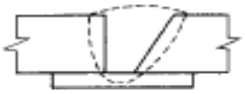
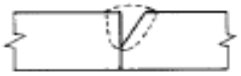
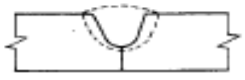
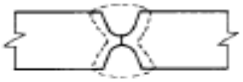
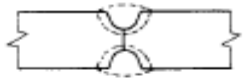
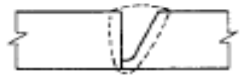
Berdasarkan jenis sambungannya ada 7 jenis sambungan dasar las, yaitu: sambungan tumpul, sambungan T, sambungan silang, sambungan sudut, sambungan dengan penguat, sambungan sisi, dan sambungan tumpang.



Gambar 2.4 Jenis-jenis Sambungan Dasar
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 157

2.8 Jenis dan Bentuk Kampuh Las

Bentuk kampuh dalam sambungan las sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan dan jaminan konstruksi yang akan dilas. Dalam memilih bentuk kampuh harus memperhatikan ketebalan material yang akan disambung. Adapun jenis-jenis kampuh las untuk jenis sambungan tumpul adalah sebagai berikut:

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)		—	

Gambar 2.5 Jenis-jenis Kampuh Las Untuk Jenis Sambungan Las Tumpul
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 158

2.9 Posisi Pengelasan

Yang dimaksud dengan posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las dan brander/pembakar. Posisi pengelasan yang diambil oleh operator las biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Terdapat empat posisi dasar dalam pengelasan, yaitu:

1. Posisi Datar (1G)

   Posisi ini merupakan posisi pengelasan yang paling mudah untuk dilakukan. Posisi ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan yang sedikit

miring dimana letak elektroda berada diatas benda kerja. Posisi kemiringan elektroda terhadap benda kerja perlu diperhatikan. Posisi pengelasan ini sering dilakukan pada pengelasan-pengelasan umum, misalnya penyambungan komponen-komponen, pengelasan benda-benda yang dapat dilepas dan diatur posisinya.

2. Posisi Horizontal (2G)

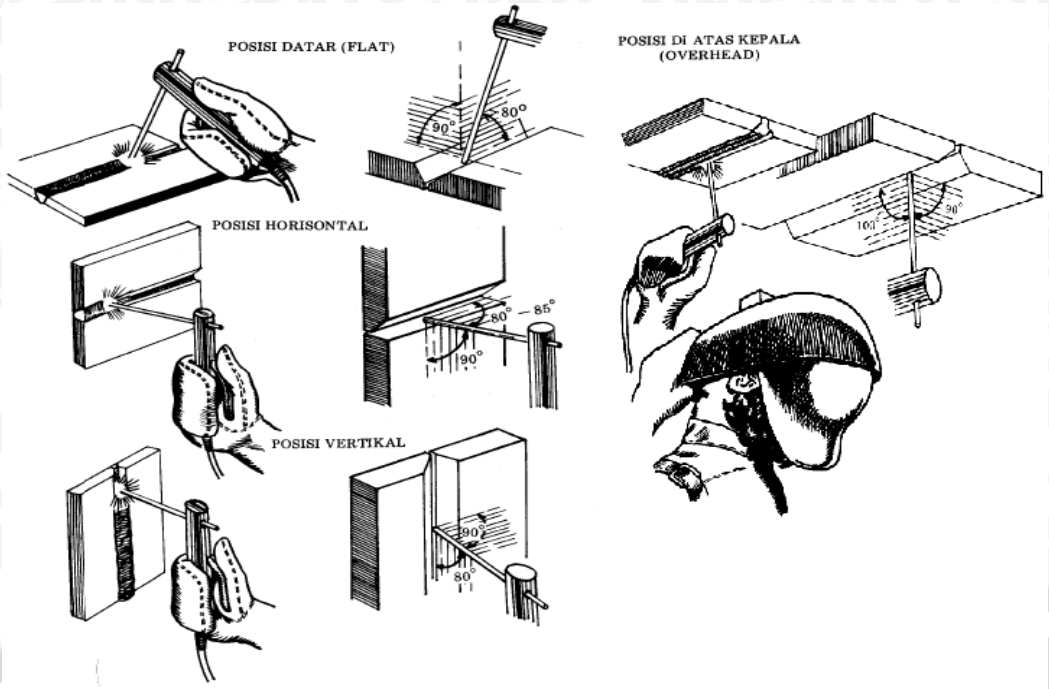
   Pengelesan yang arahnya mengikuti arah garis horizontal. Pada posisi pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda juga harus diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau sedikit miring dari arah gerak elektroda las. Pengelasan posisi mendatar sering digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak.

3. Posisi Vertikal (3G)

   Pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis vertikal. Seperti pada posisi pengelasan horizontal, pada posisi pengelasan vertikal benda kerja biasanya berdiri tegak atau sedikit miring searah dengan gerak elekroda las yaitu naik atau turun. Pengelasan pada posisi ini sering digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak.

4. Posisi di Atas Kepala (4G)

   Benda kerja terletak di atas kepala operator, sehingga pengelasan dilakukan atau berada diatas kepala operator las. Posisi pengelasan ini lebih sulit dibandingkan posisi-posisi yang lain. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan yang sedikit miring tetapi posisinya berada di atas kepala dimana letak elektroda berada di bawah benda kerja.



Gambar 2.6 Posisi Pengelasan
Sumber: Widharto, 2006: 31

2.10 Parameter Pengelasan

Dalam pengelasan, untuk mencairkan logam induk dan logam pengisi dibutuhkan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan berasal dari bermacam-macam sumber yang tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari parameter arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam ditempat akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang dikenal dengan *heat input* (masukan panas). Persamaan masukan panas hasil penggabungan ketiga parameter dituliskan sebagai berikut:

$$HI\ (Heat\ Input) = \frac{\text{Tegangan las x Arus las}}{\text{Kecepatan pengelasan}}$$

Dari persamaan itu, dapat dijelaskan bahwa ketika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diatur yaitu arus las diperbesar atau

kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diatur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada. Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan masukan panas diatas dikalikan dengan efisiensi proses (η), sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$HI = \frac{\eta\ E\ I}{v} \text{ (kJ/mm)} \qquad \text{(Funderburk, 1999)}$$

Keterangan:

H = Masukan energi (kJ/mm)

η = Efisiensi mesin

E = Tegangan busur (volt)

I = Arus pengelasan (A)

v = Kecepatan pengelasan (mm/menit)

Tabel 2.1 Efisiensi Proses Pengelasan (Malau, 2003)

Proses Pengelasan	Efisiensi (%)
SAW (*Submerged Arc Welding*)	95
GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)	90
FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)	90
SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)	90
GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)	70

Dari persamaan *heat input* diatas selanjutnya dapat diprediksi temperatur puncak pada proses pengelasan tersebut. Sehubungan dengan bergeraknya sumber panas, distribusi temperatur semakin tidak merata. Maka dari itu temperatur juga akan berbeda pada setiap daerah las. Semakin dekat dengan sumber panas maka akan semakin tinggi pula temperaturnya. Temperatur pengelasan dapat diprediksi menggunakan rumus:

$$T_p = \frac{1}{\frac{\sqrt{2\pi e}\ .Y\ .g\ .\rho C}{Q} + \frac{1}{T_m - T_o}} + T_o \qquad \text{(Sindo Kou, 2003)}$$

Keterangan:

T_p = Temperatur puncak (K)

T_o = Temperatur awal benda kerja (K)

T_m = Temperatur lebur (K)

π = 3,14

e = 2,718 angka alam logaritma

Y = Jarak batas lasan (m)

g = Tebal benda kerja (m)

ρC = *Volume Thermal Capacity* (J/m^{3}K)

Q = Masukan energi (*heat input*) (J/m)

2.11 *Stainless Steel*

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *stainless steel* adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Komposisi ini membentuk *protective laye*r (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (ferum).

Baja stainless merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja stainless mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Pada dasarnya untuk membuat besi yang tahan terhadap karat, krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting. Daya tahan *stainless steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan krom. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut.

2.11.1 Klasifikasi *Stainless Steel*

Meskipun seluruh kategori *stainless steel* didasarkan pada kandungan krom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat *stainless steel* sesuai aplikasinya. Kategori *stainless steel* tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya.

1. Martensit

   Jenis ini merupakan jenis baja tahan karat yang paling sulit dilas. Bukan berarti sulit dicapai penyambungan, akan tetapi dari hasil pengelasannya dapat menghasilkan kekerasan yang tinggi baik di logam las maupun HAZ yang pada akhirnya dapat menyebabkan retak dingin. Baja tahan karat martensit adalah jenis baja tahan karat yang ferromagnetik dan dapat dikeraskan dengan perlakuan panas walaupun pendinginan dilakukan di udara (*normalizing*). Pendinginan akibat

pengelasan dapat menyebabkan transformasi fasa menjadi struktur yang sangat keras dan getas. Kandungan unsur krom yang ada dalam baja tahan karat martensit biasanya berada dalam selang 12-18%.

2. Ferit

   Baja tahan karat jenis ini mengandung 11-30% unsur Krom (Cr). Baja tahan karat ferit memiliki ketahanan yang baik terhadap retak korosi. Satu kekurangan dari logam ini adalah menghasilkan ketangguhan rendah setelah mengalami pengelasan. Turunnya ketangguhan ini diakibatkan terjadinya pengkasaran butir tepat disebelah logam las.

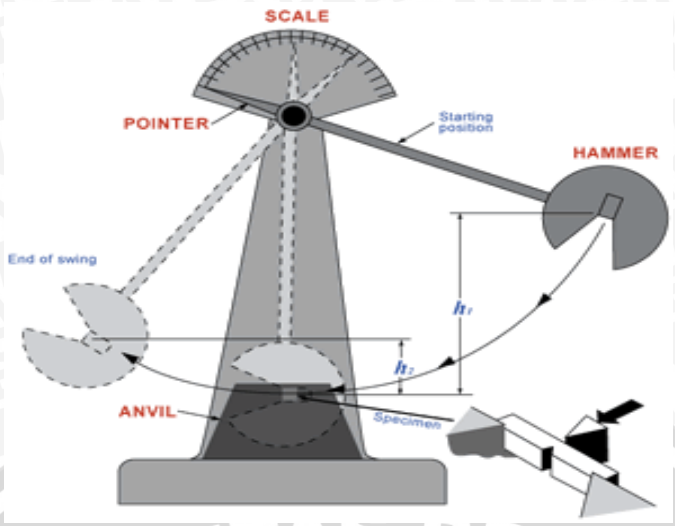
3. Austenit

   Baja tahan karat austenit termasuk yang paling tinggi mampu lasnya dibandingkan baja tahan karat lainnya. Karena perbedaan sifat fisik, perilaku dalam mengelas baja tahan karat austenit berbeda dengan baja tahan karat lain. Baja tahan karat jenis ini biasanya mengandung sedikitnya 16% unsur krom.

2.12 Pengujian Kekuatan *Impact*

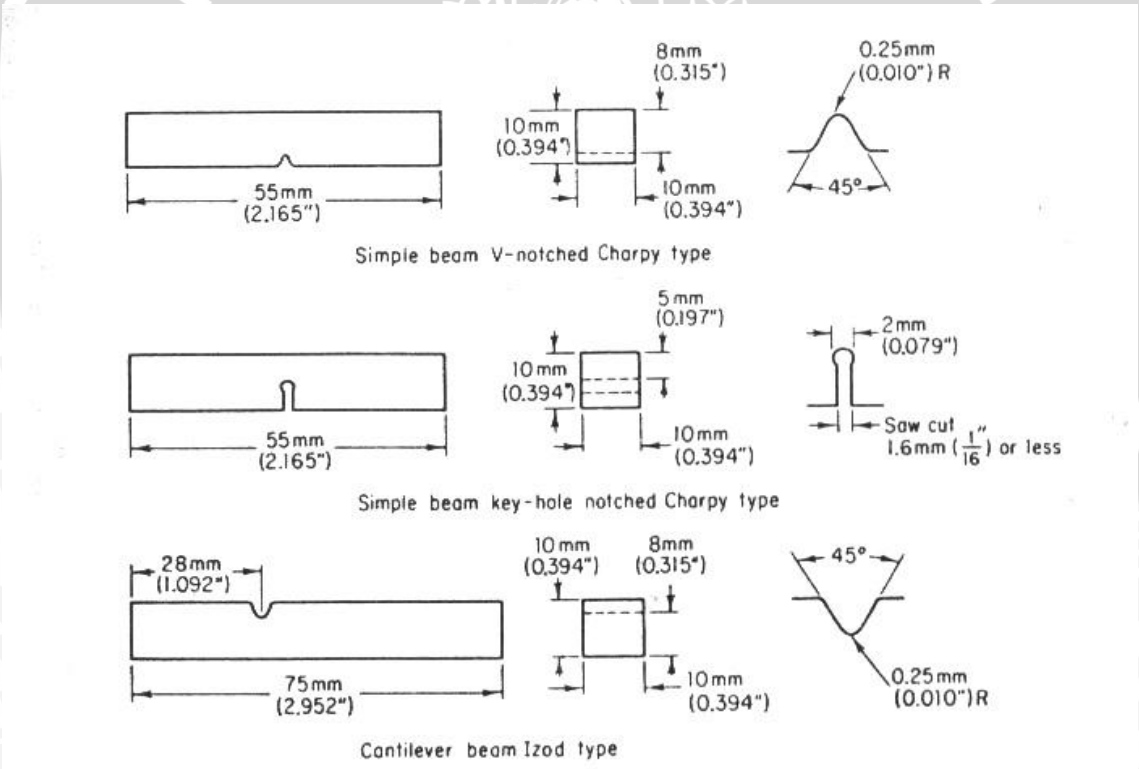
Kekuatan adalah energi yang untuk mematahkan spesimen tiap satuan bagian setempat pada penampang lintang dari *notch*. Kekuatan ini menyatakan jumlah energi yang diserap pada pengujian *impact*. Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat menjadi dua bagian akibat dikenai tegangan. Pengujian ini sering disebut juga dengan pengujian takik spesimen yang bertakik menahan suatu beban kejut. Pembebanan yang digunakan yaitu dengan pembebanan charpy (*charpy impact test*).

Adapun definisi pengujian *impact* menurut ASTM adalah pengujian dinamik pada spesimen tertentu, yang dimesin dan umumnya diberi takikan, kemudian spesimen tersebut ditumbuk dan dipatahkan oleh sebuah pukulan tunggal pada suatu mesin uji khusus lalu diukur energi yang diserap pada percobaan *impact*. Tujuan pengujian *impact* ini adalah untuk mengetahui seberapa besar suatu material dengan luas penampang tertentu mampu menerima beban kejut atau dengan kata lain seberapa besar energi yang mampu diserap oleh material tersebut ketika menerima beban kejut.



Gambar 2.7 *Charpy Impact Test*

Spesimen uji *impact* berdasarkan bentuk notchnya dapat dibagi menjadi tiga bagian. Gambar 2.10 menunjukan spesimen uji *impact* menurut standar ASTM E23.



Gambar 2.8 Macam-macam Spesimen Uji *Impact*
Sumber: Davis, 1982: 232

2.13 Rumus Perhitungan Kekuatan *Impact*

Energi atau usaha untuk mematahkan spesimen dapat dicari dari persamaan sebagai berikut (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$A_0 = mgh_1 - mgh_2$

$= G\ (h_1 - h_2)$

$= G\ R\ (Cos\ \beta - Cos\ \alpha)$

Keterangan:

A_0 = Energi untuk mematahkan spesimen (J)

G = Berat pendulum (Newton)

h_1 = Tinggi kedudukan awal pendulum (m)

h_2 = Tinggi pendulum setelah mematahkan (m)

R = Panjang lengan pendulum (m)

α = Sudut simpangan awal (^{o})

β = Sudut simpangan akhir dengan beban (^{o})

Kerugian energi dapat disebabkan karena gesekan dalam poros bantalan (Herman E, Davis, 1964: 236). Energi gesekan dapat kita hitung melalui besarnya energi ayunan sebelum spesimen diletakan di dudukan.

$f = G\ R\ (Cos\ \beta - Cos\ \alpha)$

Dimana:

f = Energi gesekan (J)

Sehingga energi yang digunakan secara aktual adalah

$A = A_0 - f$

Bila energi ini kita bagi dengan luas penampang melintang dari patahan dibawah takikan maka kita akan dapatkan besarnya kekuatan *impact* atau disebut juga nilai pukul takik.

$$A_k = \frac{A}{F_o}$$

Keterangan:

A_k = Kekuatan *impact* atau nilai pukul takik (J/mm^2)

A = Energi patahan secara aktual (J)

F_o = Luas penampang batang lintang dibawah takikan (mm^2)

2.14 Hipotesis

Semakin besar arus listrik yang digunakan maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar. Dengan arus yang semakin besar akan menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan elektroda dan logam induk. Oleh karena itu, penembusan yang terjadi akan semakin dalam dan nilai ketangguhannya akan semakin meningkat.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata dan secara langsung pada objek yang dituju bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuat arus pada *Shielded Metal Arc Welding* terhadap kekuatan *impact stainless steel* A304. Di samping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada dari sumber literatur berupa buku dan jurnal.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan November - Desember 2014. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

- Departemen Pengerjaan Logam, VEDC Malang.
- Laboratorium Uji Logam, Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel terikat dan objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah kuat arus pada pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) terhadap yaitu 90 A, 100 A, 110 A, dan 120 A.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan *impact.*

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel yang dijaga konstan dalam penelitian ini adalah kecepatan pengelasan dengan besar 240 mm/menit.

3.4 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Mesin uji *impact*
2. Gergaji tangan
3. Mesin frais
4. Stopwatch
5. Mesin amplas
6. Penggaris
7. Alat-alat las SMAW, yang dibedakan menjadi 3 kelompok:
   a. Alat Utama las SMAW antara lain:
      - Kabel tenaga
      - Trafo las (generator)
      - Kabel massa
      - Kabel elektroda
      - Pemegang elektroda
      - Penjepit massa

   b. Alat bantu las SMAW antara lain:
      - Meja las
      - Palu terak
      - Palu konde
      - Gerinda tangan
      - Ragum

   c. Alat keselamatan kerja las antara lain:
      - Helm las
      - Apron (pelindung dada)
      - Sarung tangan
      - Sepatu kulit

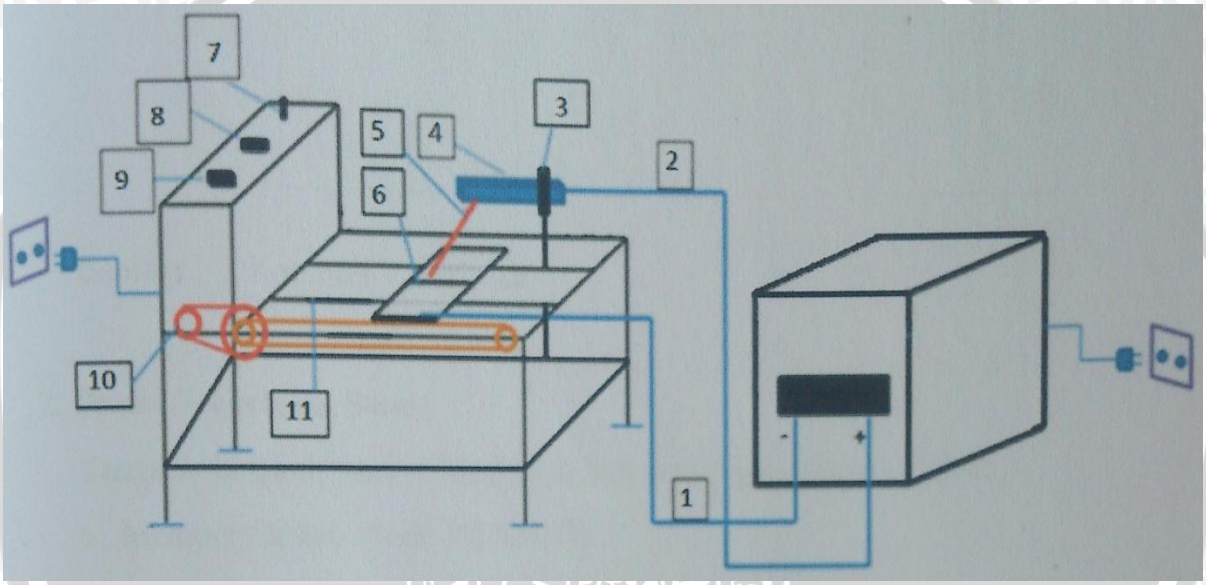
3.5 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Stainless Steel* A304
2. Elektroda AWS A5.4 E308-16 dengan diameter 3,2 mm.

3.6 Instalasi Mesin Las SMAW Semi Otomatis

Dalam penelitian ini digunakan mesin las semi otomatis agar kecepatan pengelasan lebih konstan. Berikut ini instalasi dari mesin las semi otomatis:



Gambar 3.1 Instalasi Mesin Las SMAW Semi Otomatis

Keterangan:

1. Kabel massa
2. Kabel torch
3. Pemegang torch
4. Torch
5. Elektroda las
6. Logam induk
7. Pengatur arah
8. Pengatur kecepatan
9. Tombol saklar
10. Motor Listrik
11. Lintasan

3.7 Prosedur Penelitian

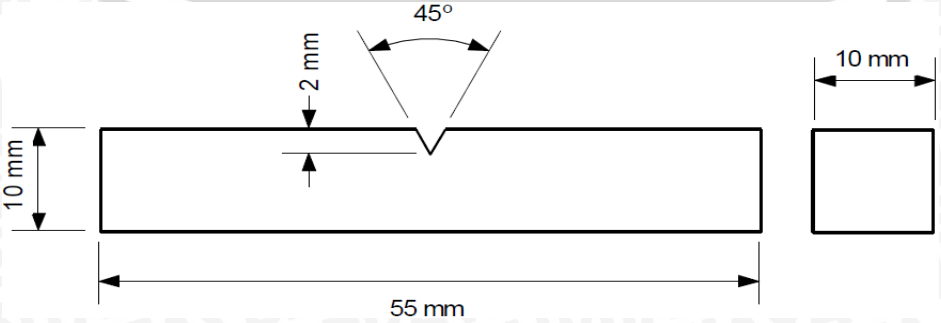
1. Pembuatan Kampuh V Tunggal

   Pembuatan kampuh V tunggal dengan menggunakan mesin frais. Bahan yang telah dipersiapkan dipotong dengan ukuran 55 mm x 50 mm dan tebal 10 mm sebanyak 12 buah. Setelah bahan dipotong sudut kampuh diukur 2 mm. Setelah itu bahan dicekam diragum dan mulai proses pengefraisan dengan sudut 60^{o}.

2. Proses Pengelasan
   a. Mempersiapkan mesin las SMAW.
   b. Tegangan diatur 24 volt.
   c. Posisi pengelasan menggunakan posisi *flat*.
   d. Kampuh yang digunakan adalah jenis kampuh V tunggal dengan sudut 60°.
   e. Mempersiapkan elektoda. Dalam skripsi ini digunakan elektroda jenis AWS A5.4 E308-16 dengan diameter 3,2 mm. Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan arus diatur pada 90 A.
   f. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan sampai selesai kemudian diulangi pada arus 100 A, 110 A, dan 120 A pada spesimen yang berbeda.

3. Pembuatan Spesimen

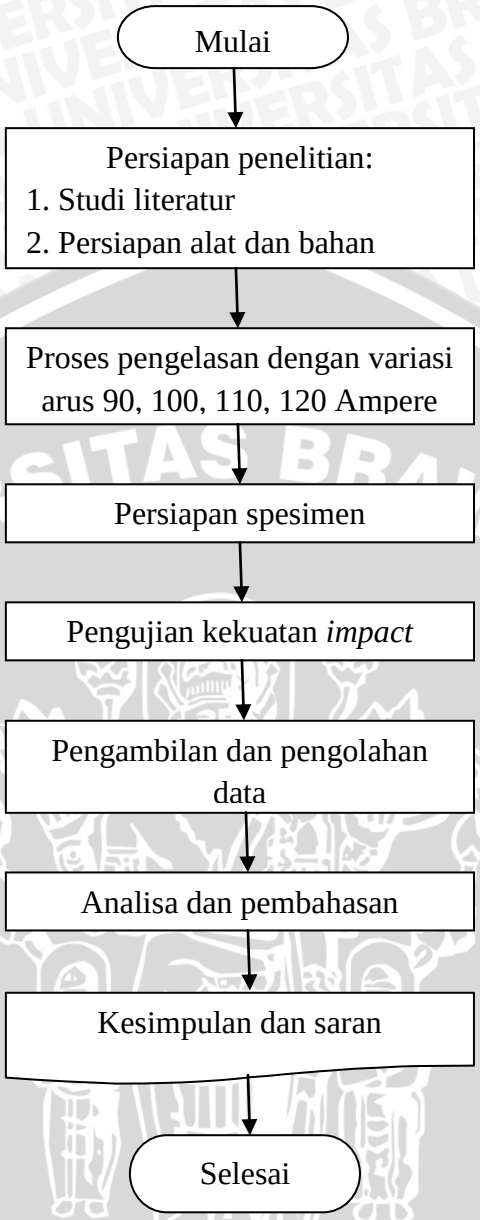
   Setelah proses pengelasan selesai, maka dilanjutkan pembuatan spesimen yang nantinya akan diuji ketangguhannya. Pembuatan spesimen mengacu pada standar ASTM E23 untuk pengujian kekuatan *impact*. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:
   a. Meratakan alur hasil pengelasan dengan mesin frais.
   b. Bahan dipotong-potong dengan ukuran 55 mm x 10 mm dan tebal 10 mm.
   c. Selanjutnya dilakukan proses pengefraisan.



Gambar 3.2 Dimensi Spesimen Uji *Impact* Standar ASTM E23

4. Proses Pengujian Ketangguhan
   a. Menyiapkan peralatan mesin *impact charpy*.
   b. Menyiapkan benda uji yang akan dilakukan pengujian sesuai standar ukuran yang telah ditetapkan.
   c. Meletakkan benda uji dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan palu *charpy*.
   d. Menaikkan palu c*harpy* pada kedudukan 120^{o} (sudut α) dengan menggunakan *handle* pengatur kemudian dikunci.
   e. Putar jarum penunjuk sampai berimpit pada kedudukan 120^{o}.
   f. Lepaskan kunci sehingga palu c*harpy* berayun membentur benda uji.
   g. Perhatikan dan cacat sudut β.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan bertujuan untuk mengetahui keuletan bahan, mengetahui pengaruh temperatur terhadap keuletan bahan, dan mengetahui kekuatan bahan terhadap beban kejut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Pendulum

Parameter	Keterangan
Panjang Lengan Pendulum	750 mm
Massa Pendulum	26,2 kg
Sudut Dry Run	14^o

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian	Arus (Ampere)	p (mm)	l (mm)	t (mm)	h (mm)	A (mm^2)	Sudut Awal (α)	Sudut Akhir (β)
1	90	55	10	10	8	80	120	73
2	90	55	10	10	8	80	120	53
3	90	55	10	10	8	80	120	83
1	100	55	10	10	8	80	120	63
2	100	55	10	10	8	80	120	57
3	100	55	10	10	8	80	120	66
1	110	55	10	10	8	80	120	61
2	110	55	10	10	8	80	120	58
3	110	55	10	10	8	80	120	64
1	120	55	10	10	8	80	120	72
2	120	55	10	10	8	80	120	63
3	120	55	10	10	8	80	120	72

4.1.1 Energi Ideal

Energi atau usaha untuk mematahkan spesimen dapat dicari dari persamaan sebagai berikut.

$A_0 = mgh_1 - mgh_2$

$= G\ (h_1 - h_2)$

$= G\ R\ (Cos\ \beta - Cos\ \alpha)$

Keterangan:

A_0 = Energi untuk mematahkan spesimen (J)

G = Berat pendulum (Newton)

h_1 = Tinggi kedudukan awal pendulum (m)

h_2 = Tinggi pendulum setelah mematahkan (m)

R = Panjang lengan pendulum (m)

α = Sudut simpangan awal (^{o})

β = Sudut simpangan akhir dengan beban (^{o})

Perhitungan energi untuk mematahkan spesimen:

$A_0 = mgh_1 - mgh_2$

$= G (h_1 – h_2)$

$= G R (Cos \beta – Cos \alpha)$

$= 26,2 . 10 . 0,75 (Cos 73 – Cos 120)$

$= 155,70$ Joule

4.1.2 Kerugian Energi

Kerugian energi dapat disebabkan karena gesekan dalam poros bantalan. Energi gesekan dapat kita hitung melalui besarnya energi ayunan sebelum spesimen diletakan di dudukan.

$f = G R (Cos \beta – Cos \alpha)$

Dimana:

f = Energi gesekan (J)

Perhitungan kerugian energi:

f = G R (Cos β – Cos α }

f = 26,2 . 10 . 0,75 (Cos 106 – Cos 120)

f = 45,19 Joule

4.1.3 Energi Aktual

Untuk menghitung energi aktual maka didapatkan rumus sebagai berikut:

$A = A_0 – f$

$A = 155,70 – 45,19$

$A = 110,51$ Joule

4.1.4 Perhitungan Kekuatan *Impact*

Bila energi ini kita bagi dengan luas penampang melintang dari patahan dibawah takikan maka kita akan dapatkan besarnya kekuatan *impact* atau disebut juga nilai pukul takik.

$$A_k = \frac{A}{F_o}$$

Keterangan:

A_k = Kekuatan *impact* atau nilai pukul takik (J/mm^2)

A = Energi patahan secara aktual (J)

F_o = Luas penampang batang lintang dibawah takikan (mm^2)

Perhitungan Nilai *Impact*:

$$A_k = \frac{A}{F_o}$$

$$A_k = \frac{110{,}51}{80}$$

A_k = 1,37 J/mm^2

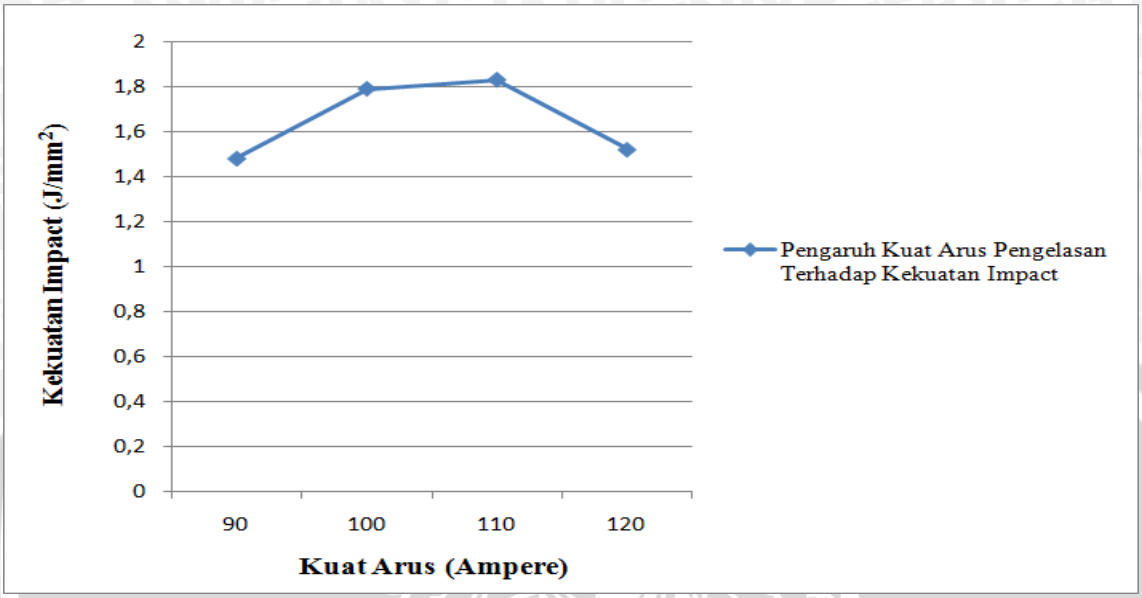
Tabel 4.3 Data Hasil Kekuatan *Impact*

Pengujian	90 A	100 A	110 A	120 A
1	1,37	1,76	1,84	1,4
2	2,13	1,99	1,94	1,76
3	0,95	1,64	1,71	1,4
Rata-rata	1,48	1,79	1,83	1,52

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Grafik

Setelah melakukan penelitian dan penganalisaan data dari hasil uji *impact* maka didapatkan grafik sebagai berikut.



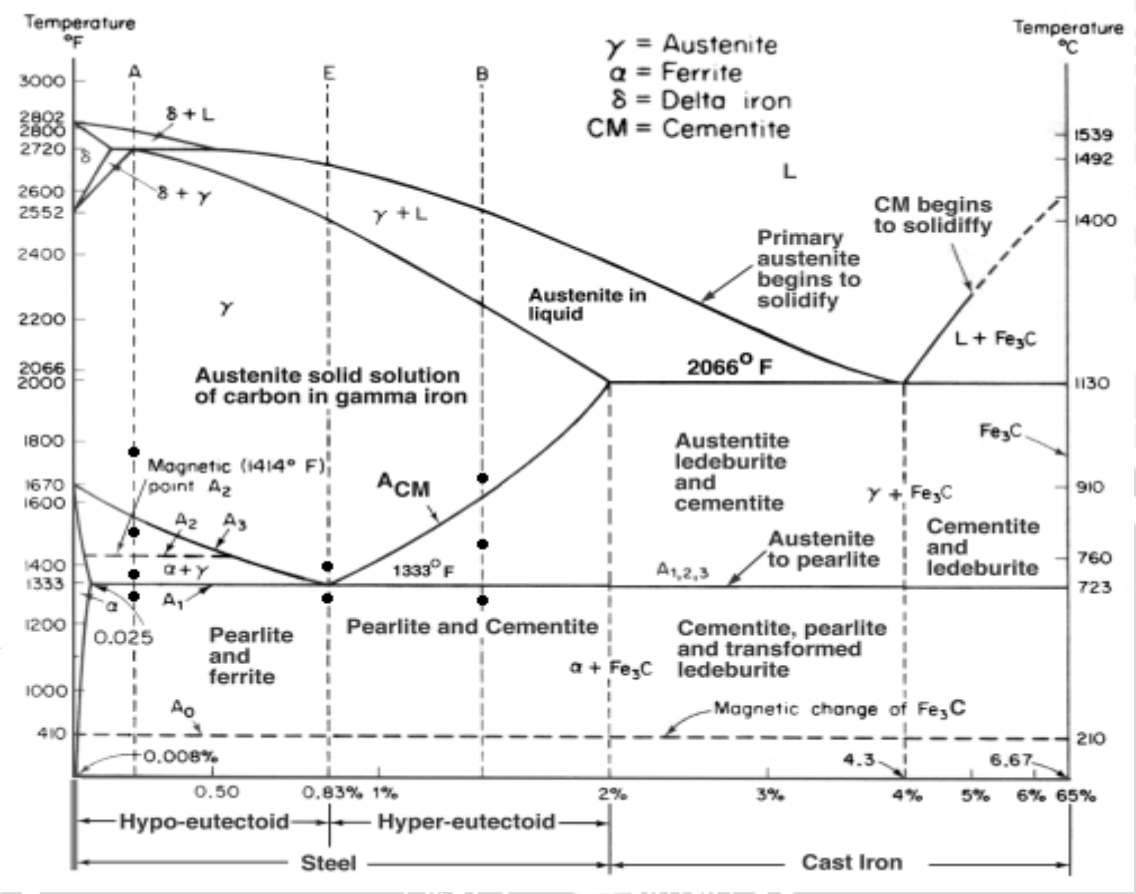
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Arus terhadap Nilai *Impact*

Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar kuat arus maka kekuatan *impact* yang didapat akan semakin meningkat namun pada arus 120 A harga *impact* yang didapat cenderung kembali menurun. Untuk kuat arus 90 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,48 J/mm^2. Untuk kuat arus 100 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,79 J/mm^2. Untuk kuat arus 110 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,83 J/mm^2. Untuk kuat arus 120 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,52 J/mm^2.

Dari pengolahan data diatas menunjukan bahwa besar kecilnya arus listrik yang digunakan pada pengelasan akan mempengaruhi kekuatan *impact* suatu material. Hal ini dikarenakan semakin besarnya arus, maka panas yang dihasilkan untuk mencairkan elektroda dan logam induk dengan pendinginan yang sama yaitu *normalizing* akan semakin bertambah, sehingga struktur baja yang terbentuk akan berbeda pula dan mempengaruhi kekuatan *impact*-nya.

Proses pemanasan pada pengelasan dimulai dari masuknya energi panas yang berasal dari kampuh. Kadar karbon pada spesimen akan mempengaruhi daerah

pemanasan pada grafik diagram Fe-Fe_3C. Pada diagram keseimbangan besi-karbon dimana pemanasan terjadi sampai titik dimana logam mencair.



Gambar 4.2 Diagram Fase Fe – Fe_3C

Secara singkat pendinginan pada diagram fase besi – karbon dijelaskan bahwa transformasi delta pada baja terjadi pada suhu lebih dari 1500°C. Perubahan dari fase austenite kemudian ferrite dan baja karbida akan terjadi. Austenite dapat melarutkan sekitar 2% karbon pada fase padat. Pada garis temperatur A_1, austenite berubah menjadi ferrite dan karbon yang lebih dikenal sebagai cementite (Fe_3C) seperti diagram diatas.

4.2.2 Hubungan Kuat Arus dan Kekuatan *Impact*

Semakin tinggi masukan panas maka struktur butiran yang terbentuk akan berbeda juga. Struktur butiran inilah yang akan mempengaruhi ketangguhan atau kekuatan *impact*-nya. Masukan panas untuk mencairkan logam induk dan elektroda dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$HI = \frac{\eta\ E\ I}{v}\ \text{(kJ/mm)}$$

Keterangan:

HI = *Heat Input* (kJ/mm)

η = Efisiensi mesin

E = Tegangan busur (volt)

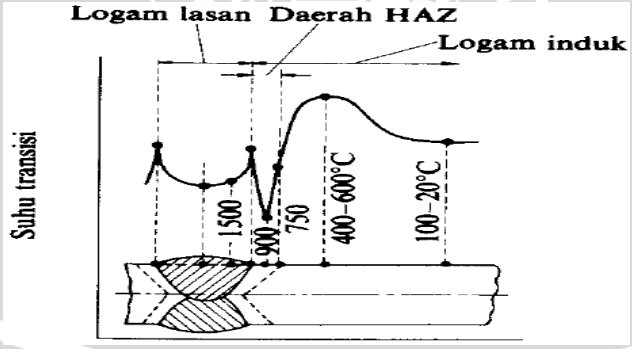
I = Arus pengelasan (A)

v = Kecepatan pengelasan (mm/menit)

Dari rumus diatas dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang digunakan pada proses pengelasan, maka akan semakin besar pula nilai *heat input* atau masukan panasnya. Hal tersebut akan mempermudah proses pencairan antara logam induk dan logam pengisinya. Berikut ini hasil perhitungan *heat input* pada arus 90, 100, 110 dan 120 ampere.

Tabel 4.4 Data Hasil *Heat Input*

Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kecepatan Pengelasan (mm/menit)	Efisiensi Mesin	Heat Input (kJ/mm)
90	24	240	0,9	8,1
100	24	240	0,9	9
110	24	240	0,9	9,9
120	24	240	0,9	10,8



Gambar 4.3 Perubahan temperatur transisi pada lasan
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 66

Transfer panas yang terjadi pada pengelasan merupakan kombinasi dari panas yang hilang ke lingkungan, pada logam induk dan lasan itu sendiri. Struktur akhir yang terbentuk pada daerah pengelasan sangat ditentukan oleh laju pendinginan. Perbedaan

laju pendinginan akan diketahui dengan memperhitungkan temperatur puncak pada tiap arus yang dicapai dengan menggunakan rumus:

$$T_p = \frac{1}{\frac{\sqrt{2\pi e}\,.Y\,.g\,.\rho C}{Q} + \frac{1}{T_m - T_o}} + T_o$$

Keterangan:

T_p = Temperatur puncak (K)

T_o = Temperatur awal benda kerja (K)

T_m = Temperatur lebur (K)

π = 3,14

e = 2,718 angka alam logaritma

Y = Jarak batas lasan (m)

g = Tebal benda kerja (m)

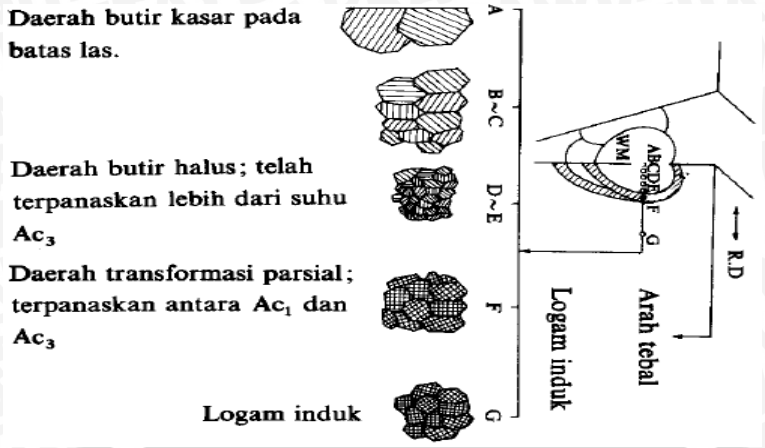
ρC = *Volume Thermal Capacity* (J/m^{3}K)

Q = Masukan energi (*heat input*) (J/m)

Tabel 4.5 Data Hasil Temperatur Puncak

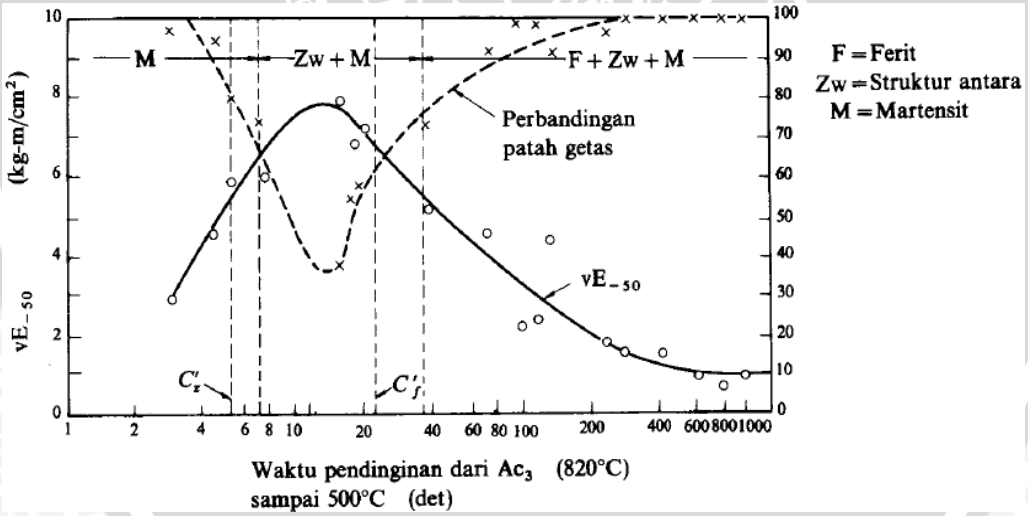
Arus (Ampere)	Q (J/m)	ρC (J/m^{3}K)	Y (m)	g (m)	To (K)	Tm (K)	Tp (K)	Tp (C)
90	8,1 x 10^6	4,7 x 10^6	0,02	0,01	300	1773	1.163,30	890,3
100	9,0 x 10^6	4,7 x 10^6	0,02	0,01	300	1773	1.200,57	927,57
110	9,9 x 10^6	4,7 x 10^6	0,02	0,01	300	1773	1.233,56	960,56
120	10,8 x 10^6	4,7 x 10^6	0,02	0,01	300	1773	1.262,94	989,94

Struktur logam pada daerah panas berubah dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah pengaruh panas (HAZ) yang berada didekat garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat membentuk butir-butir yang kasar. Daerah ini dinamakan batas las. Besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termalnya. Siklus termal yang terjadi bervariasi dengan masukan panas yang berbeda maka ketangguhannya pun akan berbeda.



Gambar 4.4 Skema struktur mikro pada daerah HAZ
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 66

Pada daerah batas las dimana butir-butirnya sangat kasar, logam menjadi sangat getas. Kegetasan dari batas las ini, selain disebabkan oleh butir-butir yang kasar, dapat juga disebabkan karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan yang ada di dalam logam. Perubahan struktur disebabkan oleh komposisi kimia dan perbedaan laju pendinginan karena panas pengelasan dan tebal plat.



Gambar 4.5 Hubungan waktu pendinginan, struktur mikro dan kekuatan tumbuk
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 67

Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama seperti yang terjadi pada batas las. Logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku maka terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan struktur yang tidak homogen.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh kuat arus terhadap kekuatan *impact* pada *stainless steel* A304 dengan menggunakan las SMAW, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut. Semakin tinggi kuat arus yang digunakan, maka kekuatan *impact*-nya akan semakin tinggi hingga mencapai titik maksimum lalu kembali mengalami penurunan.

5.1 Saran

1. Sebaiknya dilakukan analisis lebih lanjut pada struktur mikro logam las dan daerah pengaruh panas (HAZ) pada *stainless steel* A304.
2. Perlu dikembangkan penelitian untuk mengetahui kekuatan *impact stainless steel* A304 yang dilas dengan menggunakan las SMAW dan tanpa dilas.