

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang mengalami kemajuan sangat pesat, hampir tidak ada logam yang tidak dapat di las terutama pada teknologi konstruksi. Saat ini banyak elemen pengelasan yang terlibat dalam pembangunan konstruksi, terutama di bidang merancang bangun. Menurut *Deutche Industrie Normen* (DIN) las merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair (Mahendra, 2022).

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan oleh manusia dalam berbagai keperluan. Baja karbon biasanya diperlukan dalam dunia industri sebagai bahan baku pembuatan struktur rumah, komponen mesin, rangka pesawat dan lain-lain. Baja karbon memiliki tiga tipe yaitu *low carbon steel* yaitu kurang dari 0,25% C, *medium carbon steel* diantara 0,25-0,60% C dan *high carbon steel* diantara 0,60-1,4% C. Baja AISI 4340 merupakan baja paduan karbon dengan kadar karbon 0,40% sehingga dapat dikategorikan sebagai baja karbon sedang. Baja paduan ini biasanya digunakan sebagai bahan mesin seperti poros, batang penghubung piston kendaraan bermotor dan sebagainya.

Terdapat kegagalan atau kerusakan pada baja yang sering terjadi yang disebabkan oleh insiden atau bukan insiden. Kegagalan karena insiden umumnya terjadi karena beban yang melebihi kekuatan komponen atau struktur, misalnya

beban kaget (*shock*) karena benturan, beban berlebih (*over load*), sedangkan kegagalan yang bukan insiden disebabkan karena umur operasi yang telah melampaui kalkulasi desain.

Salah satu jenis pengelasan yang sering digunakan di Indonesia adalah las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). SMAW merupakan proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (kawat las), dimana panas tersebut ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas).

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga jenis yaitu mesin las arus searah atau *direct current (DC)* dan 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 (DC) dan pengelasan dengan arus bolak balik (AC). Mesin las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah,

Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja paduan rendah biasanya digunakan untuk pelat tipis-tipis dan konstruksi umum.

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila kuat arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi 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 jika kuat arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan.

Penelitian tentang kuat arus pada pengelasan baja karbon telah banyak dilakukan oleh peneliti. Penelitian terdahulu (Tanjung, 2023) mengenai pengaruh variasi arus listrik dengan pengujian tarik disimpulkan bahwa semakin besar arus listrik yang diberikan pada spesimen maka semakin besar pula kekuatan tarik dan regangan yang dihasilkan. Sedangkan penelitian lain (Suherman & Muliadi, 2018) menyatakan bahwa peningkatan kuat arus pada sambungan las SMAW baja menyebabkan menurunnya kekuatan tarik dan ketangguhan pada daerah las.

Ketangguhan sambungan hasil lasan dipengaruhi oleh tegangan busur, besar busur, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik. Penentuan besarnya kuat arus dalam pengelasan mempengaruhi efisiensi pekerjaan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mendalam tentang

“Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketangguhan Sambungan Pada Proses Pengelasan. Busur Listrik Elektroda Terbungkus (SMAW) Baja AISI 4340”.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh ketangguhan sambungan pada proses pengelasan dengan kuat arus 80, 120, 160 Ampere
2. Untuk mengetahui kekerasan sambungan pada proses pengelasan dengan kuat arus 80, 120, 160 Ampere
3. Mampu mengoperasikan mesin uji kekerasan
4. Mampu mengoperasikan mesin uji impact charpy

## **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian dalam latar belakang dan judul skripsi maka yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi kuat arus 80 A, 120 A, dan 160 A terhadap ketangguhan sambungan pengelasan dengan metode SMAW dan bahan baja AISI 4340.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Agar pembahasan yang dibahas tidak melebar maka perlu dibuat pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja AISI 4340
2. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW
3. Elektroda yang digunakan adalah E7018
4. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW
5. Material yang akan dilas menggunakan kuat arus listrik 80, 120, 160 Ampere
6. Hasil pengelasan material akan dilakukan uji kekerasan dan uji Impak

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengelasan**

Proses penyambungan yang paling sering digunakan pastilah pengelasan dalam dunia industri. Untuk penampang yang sangat tebal digunakan metode metode terak listrik, nosel mampu habis (*consumable-nozzle*), busur benam (*submerged arc*). Pelat-pelat yang relative tipis disambung dengan memakai busur api metal dilindungi gas CO<sub>2</sub> dan busur api logam manual. Pipa-pipa berdinding tebal sering diberi akar halus dipenetrasi rata dimasukkan dengan menggunakan bahan sisi pas yang dapat habis E.B. dan proses busur api tungsten menyatukan akar.

Proses-proses pengelasan yang dipakai serupa yang dipakai terhadap L.C.S apa bila pengerjaan pengelasan baja-baja bulur tinggi dengan tarikan yang lebih tinggi, masalah yang besar adalah apa yang dikenal sebagai kurang lapisan las (*underbead*) atau peretakan di area yang keras. Ini retak yang terjadi berbatasan dengan batas peleburan di daerah yang di pengaruhi oleh panas. Ini sering kali mulai pada akar atau kaki las temu dan las sudut dan berjalan sejajar dengan batas peleburan, namun retak-retak mungkin tersembunyi di bawah permukaan plat. Keretakan kadang-kadang bias juga terjadi setelah pengelasan dan pemeriksaan (Nurhaji & dkk, 2023).

Berdasarkan defenisi dari Deutche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan

dalam keadaan lumer atau cair. Dari defenisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energy panas.

Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambungkan dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh (Nasution, 2023). Penyambungan bias dengan bahan tambahan (filler metal) yang sama berbeda titik cair maupun strukturnya. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambahan atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang di hendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa factor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan.

### **2.1.1 Pengelasan SMAW**

Menurut *Deutsche Industrie Norman* (DIN) pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair, yang artinya las merupakan sambungan dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Sedangkan mengelas diartikan sebagai suatu aktifitas menyambung dua bagian atau lebih dengan cara memanaskan atau menggabungkan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan limbah atau tanpa limbah yang sama atau berbeda titik cairnya maupun strukturnya.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dapat dipengaruhi beberapa faktor seperti prosedur pengelasan, bahan, elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan.

Proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi) (Johan & Pineng, 2023). Panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan pelat yang akan dilas). Panas yang dihasilkan dari lonjakan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000 derajat C sampai 4500 derajat C. Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW ini ada dua macam, yaitu AC (*alternating current*) / arus bolak balik dan DC (*Direct Current*) / arus searah.

Kata *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merujuk pada proses penyambungan dua buah logam atau penambahan logam pada permukaan logam yang ada. Masing-masing kata dalam SMAW memiliki makna, *shielded* maksudnya kemampuan untuk menghilangkan udara di sekitar lasan agar terhindar dari efek-efek yang menurunkan kualitas lasan (Bakhori, 2023).

Logam induk dalam pengelasan SMAW mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dialirkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan

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

Pola penindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan *fluks* yang digunakan. Bahan *fluks* yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



**Gambar 2.1 Las SMAW**

Proses terjadinya pengelasan ini karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas. Panas akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Besarnya arus listrik untuk pengelasan bergantung pada ukuran diameter dan macam-macam elektroda las. Tabel berikut adalah besar ampere pengelasan untuk bermacam-macam ukuran diameter elektroda dan beberapa tipe elektroda

**Tabel 2.1 Arus Listrik Baja Lunak**

Diameter Elektroda		Arus (Ampere) Tipe Elektroda					
Inci	Mm	E6010	E6014	E7018	E7024	E7027	E7028
3/32	2,5		80-125	70-100	100-145		
1/8	3,2	60-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
5/32	4	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
3/16	5	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-305
7/32	5,6		260-340	260-340	275-285	250-350	275-365
¼	6,3		330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
5/16	8		390-500	375-470			

### 2.1.2 Elektroda

Elektroda adalah bahan yang digunakan untuk melaksanakan pengelasan listrik, fungsinya ialah sebagai nyala api yang ditimbulkan dari pembakaran. Ada beberapa jenis kawat las dengan spesifikasinya masing masing, tapi kebanyakan

orang melakukan pengelasan dengan kawat las yang tanpa dia sadari jenis kawat las yang dia gunakan sudah sesuai dengan prosedur atau belum. Padahal elektroda tersebut yang khususnya tipe SMAW mempunyai kode spesifikasi tersendiri yang tertulis di bagian kardus pembungkus kawat las, dari kardus tersebut kita dapat melihat berapa arus yang harus kita gunakan pada saat pengelasan. Akan tetapi kebanyakan pengelas menghiraukan dan lebih sering memakai pengalaman dan insting mereka dalam melakukan pengelasan seperti menentukan elektroda dan besarnya arus listrik.

Ada beberapa jenis elektroda atau kawat las yang biasanya di gunakan pada material yang berbeda. Ada beberapa hal pada perbedaan berbagai jenis kawat las listrik atau elektroda ini salah satunya besaran arus listrik yang digunakan pada proses pengelasan. Pada pengelasan sendiri setiap bahan berbeda maka besar arus listrik yang digunakan akan berbeda juga agar sesuai dengan hasil yang diinginkan

Pada saat pengelasan berlangsung, lasan merupakan logam yang mencair jika bersentuhan dengan udara di sekitarnya maka oksigen maupun nitrogen yang terdapat pada udara akan beraksi dengan logam cair tersebut. Reaksi oksidasi tersebut dapat mengakibatkan kualitas dari lasan menjadi menurun, yaitu terdapatnya rongga-rongga udara pada lasan atau terjadinya sambungan yang keropos.

Pada las busur listrik, untuk menghindari terjadinya sambungan yang keropos dan untuk menguatkan kualitas sambungan las maka dicari bermacam-macam cara untuk melindungi lasan dari pengaruh udara atau atmosfer tersebut,

yaitu dengan menggunakan terak las sebagai pelindung atau menggunakan bahan tambah/elektroda yang berselaput/berbalut terbuat dari bahan yang dapat melindungi las dari pengaruh atmosfer tersebut.

Elektroda atau sering disebut juga kawat las adalah benda yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik. Busur nyala akan timbul ketika ujung elektroda sebagai pembakar bersinggungan dengan logam induk, kemudian menghasilkan banyak panas untuk melelehkan dan melebur logam pengelasan. Secara umum elektroda bisa dibedakan 3 macam yaitu: Elektroda berselaput / salutan, Elektoda polos dan Elektroda Terbungkus (Tanjung, 2023)

#### 1. Elektroda Berselaput

Elektroda berselaput adalah bahan inti kawat yang dilapisi salutan (flux) dari bahan kimia tertentu disesuaikan dengan jenis pengelasan. Elektroda ini disebut juga *consumable electrode*, karena bisa habis saat digunakan mengelas. Kawat las smaw yang biasa kita pakai sehari-hari adalah termasuk elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari dua bagian dengan fungsi yang berbeda, yaitu:

- a. Bagian inti elektroda, berfungsi sebagai penghantar arus listrik dan sebagai bahan tambah. Bahan inti elektroda dibuat dari logam ferro dan non ferro, seperti: baja karbon, baja paduan, aluminium, kuningan dan lain-lain.
- b. Bagian salutan elektroda, berfungsi untuk: memberikan gas pelindung pada logam yang dilas, melindungi kontaminasi udara pada waktu logam dalam keadaan cair, membentuk lapisan terak yang melapisi hasil pengelasan dari oksidasi udara selama proses pendinginan, mencegah proses pendinginan

agar tidak terlalu cepat, memudahkan penyalaan dan mengontrol stabilitas busur.

Flux adalah bagian yang melapisi inti kawat las yang terbuat dari campuran bahan kimia khusus dengan persentase yang berbeda-beda untuk tiap jenis elektroda. Jenis bahan kimia pembuat flux misalnya: selulosa, kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya.

Pelapisan fluks pada kawat inti bisa dengan cara destrusi, semprot atau celup. Tebal selaput berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas  $\text{CO}_2$  yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung  $\text{O}_2$  dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

Elektroda yang telah dibuka dari bungkusnya, harus disimpan di dalam kabinet pemanas atau oven dengan suhu 15 derajat lebih tinggi dari suhu udara luar, sebab lapisan tersebut sangat peka terhadap kelembaban. Apabila dibiarkan lembab, maka pada saat digunakan bisa menyebabkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Salutan mudah terkelupas, sehingga sulit untuk dinyalakan
- b. Percikan yang berlebihan
- c. Busur tidak stabil
- d. Asap yang berlebihan.

## 2. Elektroda Polos

Elektroda polos adalah jenis elektroda tanpa lapisan flux. Elektroda ini disebut juga dengan 'non consumable electrode' karena tidak bisa mencair saat digunakan pengelasan. Jenis elektroda ini terbuat dari bahan logam tungsten atau wolfram yang mempunyai sifat tahan panas dan tidak bisa mencair / meleleh. Yang termasuk salah satu jenis elektroda ini dapat kita temui pada pengelasan TIG atau GTAW, atau biasanya kita menyebut las argon.

## 3. Elektroda Terbungkus

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, menstabilkan busur.

Bahan fluks yang digunakan untuk jenis E7016 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan. Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las

fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi.

#### 4. Standart Kawat Las Listrik

Standar yang di tentukan AWS (American Welding Society) adalah standar umum yang sering digunakan oleh para pelaku industri pengelasan, Dimana standar ini digunakan untuk menentukan elektroda dan besaran arus yang di pakai. AWS adalah badan resmi pengelasan di Amerika Serikat. Lembaga ini telah menentukan Standar yang telah digunakan sebagai standar pengelasan di banyak negara. kode standar dari badan ini ditandai dengan kode E XXXX yang berarti (Rosyid, Lasmanah, & Basjir, 2022):

E singkatan dari kawat las atau elektroda.

XX (dua angka pertama) sebagai kekuatan tarik dari kawat las, satuannya adalah kilo pound square inch. Biasanya juga menggunakan satuan lb/in<sup>2</sup>

X (angka ketiga) sebagai posisi pengelasan. Angka 1 artinya bahwa elektroda dapat digunakan pada segala posisi, angka 2 diartikan dengan elektroda hanya dapat digunakan diposisi vertikal atau horizontal dan pada angka 3 diartikan elektroda cuman bisa digunakan diposisi flat saja

X (angka keempat) sebagai jenis pelapis dan arus yang akan digunakan dikawat las.

Spesifikasi ini berlaku di pengelasan *Mild Steel*, sedangkan spesifikasi diproses las seperti *Low Alloy Steel* dan *Stainless Steel* mempunyai kode tambahan lagi. Untuk para pengelas harus mengetahui kode kode yang tercantum

pada kotak kemasan kawat las tersebut agar mereka dapat mengetahui kegunaan atau spesifikasi dari kawat las tersebut.

#### 5. Besar Arus Listrik Yang Masuk

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klarifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda *Exxx* yang artinya sebagai berikut. E menyatakan elektroda, *xx* (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan  $lb/in^2$ , lihat tabel berikut:

**Tabel 2.2 Kekuatan Tarik Menurut AWS**

Klarifikasi	Kekuatan Tarik	
	$lb/in^2$	$Kg/mm^2$
E 60 XX	60.000	42
E 70 XX	70.000	49
E 80 XX	80.000	56
E 90 XX	90.000	63
E 100 XX	100.000	70
E 110 XX	110.000	77
E 120 XX	120.000	84

Keterangan:

X (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan

Angka 1 untuk pengelasan segala posisi

Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan bawah tangan

X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

**Tabel 2.3 Jenis Selaput dan Pemakaian Arus**

Angka Ke Empat	Jenis Selaput	Pemakaian Arus
0	Solulosa natrium	DC (+)
1	Solulosa kalium	AC, DC (+)
2	Rutil natrium	AC, DC(-)
3	Rutil kalium	AC, DC (+) atau (-)
4	Rutil serbuk besi	AC, DC (+) atau (-)
5	Nutrium hidrogen rendah	AC, DC (+)
6	Kalium hidrogen rendah	AC, DC (+)
7	Serbuk besioksida besi	AC, DC (+) atau (-)
8	Serbuk besi hydrogen rendah	AC, DC (+)

### 2.1.3 Cara Menyalakan Busur

Untuk memulai pengelasan diperlukan busur las listrik yang baik yaitu dengan cara pengaturan arus / *ampere* yang tepat sesuai dengan tipe dan ukuran elektroda. Menyalakan busur dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

#### a. Dengan Cara Menggosokkan

Untuk dapat mendapatkan busur dengan cara menggosokkan elektroda pada benda kerja dilakukan jika pesawat las yang digunakan adalah pesawat jenis las AC.

b. Dengan Cara Menyentuh

Untuk mendapatkan busur dengan cara menyentuh yaitu sentuhkan elektroda pada benda kerja, kemudian tarik dengan jarak tertentu sehingga terdapat busur api listrik. Cara tersebut dilakukan jika pesawat kerja yang digunakan adalah las jenis DC.

Jika elektroda harus diganti sebelum pengelasan selesai. Maka untuk melanjutkan pengelasan busur perlu dinyalakan lagi. Menyalakan busur kembali ini dilakukan pada tempat kurang lebih 25 mm di muka las yang terhenti seperti pada gambar. Jika busur berhenti di B, busur dinyalakan lagi di A dan kembali ke B untuk melanjutkan pengelasan. Bila mana busur sudah terjadi, elektroda diangkat sedikit dari permukaan benda kerja hingga jaraknya  $\pm$  sama dengan diameter elektroda. Untuk elektroda berdiameter 3,2 mm, jarak ujung elektroda dengan permukaan bahan dasar  $\pm$  3,2 mm.

#### **2.1.4 Pergerakan Elektroda Pengelasan**

Pergerakan elektrode relatif terhadap benda kerja dapat dilakukan secara manual atau dengan bantuan peralatan mekanik (pengelasan mesin, pengelasan otomatis, pengelasan robotik). Kelemahan bila pengelasan busur dilakukan secara manual, kualitas las-an sangat tergantung kepada ketrampilan pengelas. Kebanyakan proses pengelasan busur, logam pengisi ditambahkan selama operasi untuk menambah volume dan kekuatan sambungan las-an.

Ada berbagai cara didalam menggerakkan/mengayunkan elektroda las yaitu:

- a. Elektroda digerakan dengan melakukan maju dan mundur, metoda ini salah satu bentuk metoda *weaving*.

- b. Bentuk *weaving* lainnya yaitu dengan melakukan gerakan seperti setengah bulan.
- c. Gerakan elektroda yang menyerupai bentuk angka 8.
- d. Elektroda dengan melakukan gerakan memutar.
- e. Gerakan dengan membentuk *heisitation*.

Semua gerakan mempunyai tujuan untuk mendapatkan deposit logam las dengan permukaan rata, mulus terhindar dari terjadinya takik-takik dan termasuk terak-terak, yang terpenting dalam gerakan elektroda ini adalah ketepatan sudut dan kestabilan kecepatan. Ayunan elektroda las agar berbentuk anyaman atau lipatan manik las maka lebar las dibatasi sampai 3 (tiga) kali besarnya diameter elektroda.

Kecepatan pengelasan tergantung dari bahan induk, jenis *electrode*, diameter inti *electrode*, geometri sambungan, ketelitian sambungan agar dapat mengelas lebih cepat diperlukan arus yang lebih tinggi. Polaritas listrik mempengaruhi hasil dari busur listrik. Polaritas dipengaruhi oleh kekuatan arus yang diberikan pada saat pengelasan. Sifat busur listrik pada DC akan lebih stabil dari pada AC. Terdapat dua jenis polaritas lurus, dimana benda kerja positif dan *electrode negative* (DCEN). Polaritas balik adalah sebaliknya. Karakteristik dari polaritas balik yaitu pemindahan logam terjadi dengan cara penyemburan, maka polaritas ini mempunyai hasil pengelasan yang lebih dalam dibanding dengan polaritas lurus (DCEN) dari keterangan diatas dapat disimpulkan seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.4 Karakteristik Hasil Pengelasan

No	Karakteristik Hasil Pengelasan				
	Variabel Operasi	Suara Arc	Penetrasi	<i>Burn Off Electrode</i>	Bentuk Bead
1	Normal Ampere, Normal <i>Volts</i> , Kec. Normal.	Percikan kecil, Suara gemercak kuat	Baik, dalam dan galengan	Bentuk normal	<i>Fusion</i> sangat baik
2	Amper Rendah, Normal <i>Volts</i> , Kec. Normal.	Percikan tidak beraturan, suara gemercak kecil	Dangkal	Tidak besar, beda dgn, yang diatas.	Tonjolan tinggi
3	Amper Tinggi, Normal <i>Volts</i> , Kec. Normal	Suaranya seperti ledakan, jarang beraturan	Dalam dan Panjang	<i>Coating</i> tertinggal dan lebar serta panjang	Luas <i>bead</i> tidak lebar, <i>Fusion</i> baik
4	Normal Amper, Kec. Normal, <i>Volts</i> rendah	Percikan kecil dan Tenang	Kecil	<i>Coating</i> membentuk kawah	Tonjolan tinggi dan lebih lebar
5	Normal Amper, Kec. Normal, <i>Volts</i> Tinggi	Suaranya halus	Lebar dan Dangkal	Rata dan membentuk kawah	Lebar
6	Normal Amps, Normal <i>Volts</i> , Kec. Rendah	Normal	Kawah Normal	Normal	Bead lebar
7	Normal Amper, Normal <i>Volts</i> , Kec. Tinggi	Normal	Kecil dan Dangkal	Normal	Bead kecil dan Undercut

## 2.2 Teknik Pengelasan Untuk Jenis Sambungan

Posisi pengelasan yang diambil oleh operator mesin las biasanya tergantung dari letak kampuh yang akan di las. Simbol huruf G berasal dari kata *groove* dimana dua material logam yang akan disambung diletakan dalam posisi sejajar dan diberi kerenggan semacam alur yang biasa disebut kampuh las. Sedangkan

untuk symbol F berasal dari kata *fillet* yang artinya suatu bentuk sudut yang berada pada pertemuan dua garis atau bentuk salah satu tepi/sisi dari benda yang berbentuk setengah lingkaran atau membentuk busur. Berikut posisi-posisi pengelasan:

### 2.3 Prinsip Kerja Las Listrik

Secara umum mengelas diartikan sebagai salah satu cara menyambung logam dengan menggunakan panas, tenaga panas pada proses pengelasan diperlukan untuk memanaskan bahan lasan sampai cair/leleh sehingga bahan las tersambung dengan atau tanpa kawat las sebagai bahan pengisi. Pengelasan busur listrik merupakan cara pengelasan menggunakan busur listrik atau percikan bunga api listrik akibat hubungan singkat antara dua kutub listrik yang terionisasi dengan udara melalui penghantar batang elektroda yang sekaligus dapat digunakan pula sebagai bahan tambah atau bahan pengisi dalam pengelasan (Siddiq & Amalia, 2019).

Ada beberapa macam proses las busur listrik berdasarkan elektroda yang digunakannya, antara lain (Husni, 2020):

1. Las busur dengan elektroda karbon, misalnya: Las busur dengan elektroda karbon tunggal, dan Las busur dengan elektroda karbon ganda
2. Las busur dengan elektroda logam, misalnya:
  - a. Las busur dengan elektroda berselaput/ SMAW
  - b. Las TIG (Tungsten Inert Gas)/GTAW
  - c. Las MIG/GMAW
  - d. Las Submerged.

## 2.4 Baja

### 2.4.1 Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Baja merupakan besi dengan kadar karbon kurang dari 2%. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *grade* nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), *vanadium*, dan *nikel*. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan.

Kualitas baja bisa didapatkan dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya. Baja yang baik ditentukan dari bahan penyusunnya. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Bimariga, 2019).

### 2.4.2 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon C dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbonnya, baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga macam (Ilmi, 2017):

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Memiliki kadar karbon lebih kecil dari 0,20%, biasanya dipakai untuk automobile bodies, pipa, rantai, roda gigi, kerangka bangunan.

2. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*)

Memiliki kadar karbon 0,20 % - 0,50 %, biasa dipakai untuk: connecting rods, crank pins, poros as, crankshafts, rel, obeng, palu.

3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Memiliki kadar karbon 0,50 % - 2 %, biasa dipakai untuk: obeng, gergaji untuk memotong baja, palu pandai besi, sekrup, ragum.

### **2.4.3 Baja Paduan (*Alloy Steel*)**

Baja paduan adalah baja cor yang ditambah unsur-unsur paduan. Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur fosfor dan mangan Tujuan dari pemberian unsur-unsur paduan seperti mangan, nikel atau molibden, chrom untuk memberikan sifat-sifat khusus pada baja paduan tersebut. Sebagai contoh sifat-sifat ketahanan aus, ketahanan asam dan korosi atau menambah ketangguhan/*toughness*. Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi 2:

1. *Low Alloy Steel* jika elemen paduannya = 8%
2. *High Alloy Steel*, jika elemen paduannya > 8%

#### 2.4.4 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk kapal, jembatan, roda kerta api, ketel uap, tangki-tangki dan dalam permesinan.

Baja paduan rendah dibagi menurut sifatnya yaitu baja tahan suhu rendah, baja kuat dan baja tahan panas.

1. Baja tahan suhu rendah.

Baja ini mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi dan suhu transisi yang rendah, karena itu dapat digunakan dalam konstruksi untuk suhu yang lebih rendah dari suhu biasa.

2. Baja kuat.

Baja ini dibagi dalam dua kelompok yaitu kekuatan tinggi dan kelompok ketangguhan tinggi. Kelompok kekuatan tinggi mempunyai sifat mampu las yang baik karena kadar karbonnya rendah. Kelompok ini sering digunakan dalam konstruksi las. Kelompok yang kedua mempunyai ketangguhan dan sifat mekanik yang sangat baik. Kekuatan tarik untuk baja kuat berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm<sup>2</sup>.

3. Baja tahan panas adalah baja paduan yang tahan terhadap panas, asam dan mulur. Baja tahan panas yang terkenal adalah baja paduan jenis Cr-Mo yang tahan pada suhu 600°C. Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las

busur rendam dan las MIG (las logam 18 gas mulia). Perubahan struktur daerah las selama pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ.

#### 2.4.5 Baja AISI 4340

AISI merupakan singkatan dari *American Iron and Steel Institute*. Setiap jenis baja diberi nama agar mudah dikenali. Nama ini merupakan kode yang ditetapkan dalam suatu standar, lengkap dengan spesifikasi utamanya. Angka pertama dalam nama baja menunjukkan jenis bajanya, angka 1 untuk baja karbon, angka 2 untuk baja nikel, angka 3 untuk baja *nickel chromium*, dan seterusnya. Angka kedua pada baja paduan sederhana menunjukkan kadar unsur panduannya. Untuk baja paduan 43xx merupakan jenis baja *nickel chrom molybden*. Kemudian untuk dua digit terakhir menunjukkan kadar karbon dalam *per serratatus persen*. Jadi baja AISI 4340 merupakan baja paduan dengan kadar *nickel* 1,83%, *chromium* 0,50% atau 0,80%, *molybdenum* 0,25% dan *carbon* 0,40 (Ihsan & Mahjoeddin, 2020). Komposisi baja AISI 4340 menurut ASTM A29 ditampilkan dalam tabel berikut:

**Tabel 2.5 Komposisi Baja AISI 4340**

Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
%	95,85	0,38	0,40	0,80	1,60	1,60	0,30	0,22

Baja AISI 4340 dianggap sebagai *ultrahigh-strength steel*. Baja ini mengkombinasikan *hardenability* yang baik dengan keuletan, ketangguhan, dan

kekuatan yang tinggi. Memiliki ketahanan *fatigue* dan ketahanan *creep* yang tinggi. Biasa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Baja ini pun memiliki *weldability* yang baik.

Dalam penggunaannya baja ini diproduksi untuk aplikasi *bolt*, *screw*, *gear*, *pinion*, *axle shaft*, *piston*, dan untuk bagian pesawat terbang. Selain itu baja ini sangat baik untuk diberi perlakuan panas seperti *hardening* dan *tempering*. Untuk temperatur *hardening* dapat dilakukan antara temperatur 800 – 845 °C dan waktu tahan selama 15 menit. Kemudian dapat di *quenching* dalam media oli, larutan garam, serta air. Kemudian untuk temperatur *tempering* dapat dilakukan dari temperatur 200 - 650 °C dengan waktu tahan setengah jam dan didinginkan di udara.

Pada struktur mikro ini tampak ukuran butir agak besar dan terdapat dua fasa dimana daerah gelap merupakan fasa pearlite dan daerah terang merupakan fasa ferrite. Komposisi baja AISI 4340 diketahui memiliki beberapa unsur yang persentasenya cukup banyak. Hal ini lah yang menyebabkan baja ini disebut baja paduan rendah dengan jenis baja nickel-chrom-molybden.

Baja karbon dan baja paduan tentu memiliki beberapa perbedaan terutama dari pengaruh unsur paduan itu sendiri pada beberapa hal. Dibawah ini akan dijelaskan pengaruh unsur paduan terhadap (Pratama & Burmawi, 2022):

#### 1. Diagram Fasa

Ketika suatu unsur paduan ditambahkan ke dalam baja maka diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C tidak lagi berada dalam kondisi ekuilibrium. Maka dari itu kehadiran unsur paduan akan mengubah titik kritikal yang ada

pada diagram fasa khususnya pada titik eutektoid dan membuat titik eutektoid bergeser ke sebelah kiri.

Unsur seperti *nickel* dan *manganese* akan menurunkan temperatur pemanasan kritis ketika *molybdenum*, *aluminium*, *silicon*, *tungsten*, dan *vanadium* justru menaikannya. Tentunya perubahan temperatur kritis yang dipengaruhi unsur paduan akan menaikkan atau menurunkan temperatur hardening bila dibandingkan dengan baja karbon biasa. Semua unsur paduan cenderung mengurangi kadar karbon pada titik eutektoid namun hanya unsur *nickel* dan *manganese* yang menurunkan temperatur eutektoid.

## 2. Pembentuk atau penstabil fasa tertentu.

Pada dasarnya terdapat beberapa kelarutan untuk semua elemen pada ferit, namun beberapa elemen tidak ditemukan secara besar dalam fasa karbida. *Nickel*, *aluminium*, *silicon*, *copper*, dan *cobalt* ditemukan besar larut dalam *ferit*. Dengan adanya kehadiran karbon, proporsi yang cukup besar unsur grup ditemukan larut dalam *ferit*. Karena itu kecenderungan pembentuk karbida hanya muncul ketika terdapat jumlah karbon yang signifikan.

## 3. Diagram Transformasi

Unsur paduan memiliki pengaruh besar pada mekanisme transformasi pada semua jenis transformasi dari *austenite* ke *pearlite*, *bainite*, dan *martensite*. Unsur paduan yang hanya larut di dalam *ferrit* hanya akan memberikan efek kuantitatif pada proses transformasi. Unsur

*cobalt* akan mempercepat proses pembentukan *ferrit* dan *cementite* pada pendinginan. Namun unsur-unsur lain seperti *nickel*, *silicon*, *copper*, *aluminium*, dan sebagainya justru akan menghambat.

Unsur-unsur paduan pembentuk karbida akan memberikan pengaruh secara kuantitatif dan kualitatif pada *isothermal transformation*, jenis unsur seperti *chrom*, *molibdenum*, *tungsten*, *vanadium* mempengaruhi dekomposisi *austenite* pada temperatur yang berbeda. Pengaruh unsur paduan secara kuantitatif berpengaruh pada banyaknya fasa yang terbentuk setelah pendinginan. Sedangkan pengaruh unsur paduan secara kualitatif akan memudahkan mendapatkan suatu fasa tertentu hanya dengan pendinginan equilibrium.

Unsur seperti *chrom*, *molibdenum*, *tungsten*, *vanadium* menghambat transformasi *pearlite* pada temperatur 700-500 °C dan menghambat transformasi *bainite* pada temperatur 500-400°C. Namun akan mempercepat transformasi *bainite* pada temperatur 400-300°C.

#### 4. Hardenability

*Hardenability* adalah kemampuan baja untuk dapat dikeraskan dengan membentuk *martensite*. *Hardenability* menggambarkan dalamnya pengerasan yang diperoleh dengan pendinginan, biasanya dinyatakan dengan jarak suatu titik di bawah permukaan dimana strukturnya terdiri dari 50% *martensite* (dianggap bahwa pengerasan terjadi bila terjadi *martensite* sebanyak 50%).

Suatu baja dikatakan memiliki *hardenability* baik bila baja memperlihatkan tebal pengerasan (*depth of hardening*) yang besar dan dikatakan memiliki *hardenability* buruk bila baja memiliki pengerasan yang dangkal (*shallow hardening*). Unsur paduan yang memperlambat reaksi *ferrite* dan *pearlite* akan meningkatkan *hardenability*. *Austenite grain size* dan kadar karbon juga mempengaruhi *hardenability* pada baja.

### 5. *Tempering*

Baja yang dikeraskan akan melunak bila dipanaskan kembali (*tempering*). Semakin tinggi temperatur *tempering* maka akan semakin banyak penurunan kekerasan yang terjadi. Semua unsur paduan akan menghambat laju penurunan kekerasan karena *tempering*, karenanya baja paduan akan membutuhkan temperatur *tempering* yang lebih tinggi. Unsur-unsur yang mudah larut dalam *ferrit*, unsur yang tidak membentuk karbida seperti *nickel*, *silicon*, dan *manganese* pengaruhnya kecil sekali.

Unsur pembentuk karbida mempunyai pengaruh yang lebih kuat apalagi unsur pembentuk karbida kompleks seperti *chrom*, *tungsten*, *molibdenum*, dan *vanadium*, pengaruhnya kuat sekali. Bukan saja akan menghambat peurunan kekerasan, bahkan bila terdapat dalam jumlah besar dapat menaikkan kekerasan pada *tempering* pada temperatur tinggi.

## 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, 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, butiriran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 2.6 Hubungan Diameter Elektroda dan Arus Pengelasan**

<b>Diameter Kawat Las (mm)</b>	<b>Arus Las (Ampere)</b>
1,6	25-45
2,4	60-90
3,25	91-130
4,0	135-180
5,0	155-240

### **2.5.1 Struktur Mikro Daerah Las-lasan**

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau heat affected zone disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

## 1. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambahan dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogeny, ketidak homogenanya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las.

Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (columnar grains). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh kearah tengah daerah logam las. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama. Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat berbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar.

Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit widmanstatten. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

- a. Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenite-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenite pada suhu 100 – 650°C.
- b. Ferit widmanstatten atau ferrite with aligned second phase, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750-650°C di sepanjang batas butir austenite, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
- c. Ferit acicular, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit acicular ini terbentuk sekitar suhu 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi di bandingkan struktur mikro yang lain.
- d. Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenite dan terbentuk pada suhu 400-500°C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
- e. Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendingin sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhan rendah.

## 2. Daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zona* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logam nya semakin kasar.

Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenite dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+ferlit kemudian bertransformasi menjadi austenite 100%. Titik 3 menunjukkan temperature pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenite dan ini yang disebut transformasi sebagai yang artinya srtuktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenite.

### 3. Logam induk

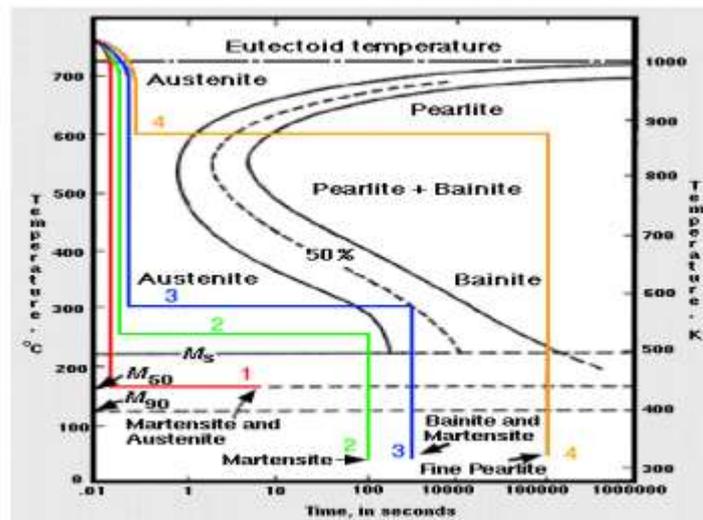
Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketika pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas yang disebut batas las.

#### **2.5.2 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)**

Pada proses pengelasan, transformasi austenite menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini di sebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenite menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las.

Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenite sampai suhu kamar. Karena perubahan

struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



**Gambar 2.2 Diagram CCT Untuk Baja AISI 4340**

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendingin naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenite turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit+perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah marenisit.

## 2.6 Heat Input

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber 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 arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter tersebut menghasilkan energi pengelasan yang disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Heat Input (HI)} = \frac{\text{Tegangan pengelasan (E)} \times \text{Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (V)}} \dots\dots\dots(1)$$

Dari persamaan tersebut diartikan bahwa jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las 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.

Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan (1) dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan ( $\eta$ ) sehingga persamaannya menjadi:

$$\text{Heat Input (HI)} = \eta \times \frac{\text{Tegangan pengelasan (E)} \times \text{Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (V)}} \dots\dots\dots(2)$$

### 2.6.1 Pengujian Impak

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Dalam pengujian mekanik, terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan, uji puntir adalah pengujian yang menggunakan beban statik. Sedangkan uji impak menggunakan beban dinamik. Pada pembebanan cepat atau disebut juga beban impak, terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen.

Proses penyerapan energi ini akan diubah dalam berbagai respon pada material seperti deformasi plastis, efek isterisis, gesekan dan efek inersia.

Ketangguhan adalah tahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan (takikan yang tajam secara drastic menurunkan ketangguhan). Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya. Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam.

Secara umum metode pengujian impak terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Metode *Charpy*

Merupakan pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal / mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Beberapa kelebihan dari metode *Charpy*, antara lain:

- a. Hasil pengujian lebih akurat.
- b. Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
- c. Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang
- d. Waktu pengujian lebih singkat.

Sementara kekurangan dari metode *Charpy*, yaitu:

- a. Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.
- b. Spesimen dapat bergeser dari tumpuan karena tidak dicekam.
- c. Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil.

## 2. Metode *Izod*

Merupakan pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan. Pada umumnya metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika sedangkan metode *Izod* digunakan di Eropa. Kelebihan metode *Izod*:

- a. Tumbukan tepat pada takikan dan spesimen tidak mudah bergeser karena salah satu ujungnya dicekam.
- b. Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.

Kerugian penggunaan metode *Izod*:

- a. Biaya pengujian lebih mahal.
- b. Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
- c. Hasil perpatahan kurang baik.
- d. Waktu yang digunakan untuk pengujian cukup panjang karena prosedur pengujian yang banyak.

### **2.6.2 Pengujian Impak Metode *Charpy***

Pengujian impak *charpy* (juga dikenal sebagai tes *charpy v-notch*) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah

energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Uji impak dilakukan untuk menentukan kekuatan material serta mengetahui ketangguhan logam akibat pembebanan kejut pada beberapa macam kondisi tertentu. Untuk menentukan kekuatan material sebagai sebuah metode uji impak digunakan dalam dunia industri yakni uji impak *charpy*.

Dasar pengujian ini adalah penyerapan energi potensial dari beban yang mengayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk material uji sehingga terjadi deformasi. Pada metode *charpy*, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. Bandul akan berayun memukul batang uji tepat dibelakang takikan.



**Gambar 2.3 Pengujian Ketangguhan *Charpy***

Kerja yang dilakukan untuk mematahkan benda kerja adalah:

$$W = G \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha) \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dimana: W = kerja patah (Joule)

G = Beban yang digunakan (kg)

L = panjang lengan ayun (m)

$\beta$  = sudut jatuh (derajat)

$\alpha$  = sudut awal (derajat)

Bila diketahui luas penampang dibawah takika (A) dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji, dihitung sebagai berikut:

$$\text{Nilai Ketangguhan} = \frac{\text{Kerja Patah (W)}}{\text{Luas penampang dibawah takikan (A)}} \text{ Joule/mm}^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

### 2.6.3 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian logam kekerasan logam dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya pembebanan yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan. Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada 3 jenis yaitu cara goresan, penekanan, cara dinamik. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu penekanan. Penentuan kekerasan penekanan ada 3 cara yaitu *Brinell, Vickers, dan Rockwell*.

Pada penelitian ini digunakan cara mikro *Vickers* dengan menggunakan penekan berbentuk piramida intan. Besar sudut antara permukaan piramida yang saling berhadapan  $136^0$ . pada pengujian ini bahan ditekan dengan gaya tertentu dan terjadi cetakan pada bahan uji dari intan. Pengujian ini sering dinamakan uji

kekerasan piramida intan, karena menggunakan bentuk piramida intan. Nilai kekerasannya disebut dengan kekerasan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan bekas penekanan.

$$\text{VHN} = \frac{2 F \sin \frac{\theta}{2}}{L^2} = \frac{2 F \sin \left( \frac{136^\circ}{2} \right)}{L^2} = \frac{1,854 F}{L^2}$$

Dimana:

F = Beban (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = Sudut piramida  $136^\circ$