

BAB II

TINJAUAN LITERATUR

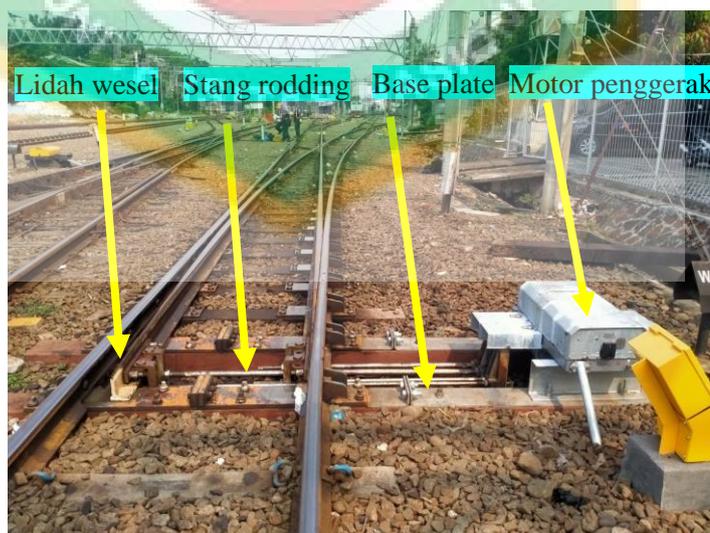
2.1 Perangkat Wesel

Wesel merupakan konstruksi rel kereta api yang bercabang tempat memindahkan arah jalan kereta api. Wesel terdiri dari sepasang rel yang ujungnya diruncingkan sehingga dapat melancarkan perpindahan kereta api dari jalur yang satu ke jalur yang lain dengan menggeser bagian rel yang runcing ^[1].

Disinilah wesel akan sangat berperan penting dalam proses perpindahan jalur kereta api. Fungsi wesel sendiri bias berbagai penghubung antara jalur-jalur rel kereta api.

Adapun perangkat yang mencakupi pada peralatan wesel sebagai berikut :

1. Motor penggerak wesel (*point machine*)
2. *Base plate* dudukan motor wesel
3. Stang *rodding* penggerak dan stang *rodding* deteksi
4. Lidah wesel



Gambar 2.1 Bagian Tata Letak Peralatan Wesel

2.2 Pengelasan

Definisi pengelasan menurut AWS (*American welding society*), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing^[2].

Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya^[3].

Persyaratan berhasilnya penyambungan adalah :

1. Bahwa benda padat tersebut dapat cair saat dipanaskan.
2. Bahwa antara benda padat tersebut ada kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan kekuatan sambungannya.
3. Bahwa cara sambungan harus sesuai dengan sifat benda yang disambung.

2.2.1 Las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) merupakan suatu teknik pengelasan dengan menggunakan arus listrik yang membentuk busur arus dan elektroda berselaput. Di dalam pengelasan SMAW ini terjadi gas pelindung ketika elektroda terselaput itu mencair, sehingga dalam proses ini tidak diperlukan tekanan *pressure gas inert* untuk menghilangkan pengaruh oksigen atau udara yang dapat menyebabkan korosi atau gelembung-gelembung di dalam hasil pengelasan^[4].

Prinsip kerja pengelasan busur elektroda terbungkus SMAW (*Shield Metal Arc*

Welding) adalah pengelasan busur listrik terumpun yang menggunakan elektroda yang terbungkus *fluks* sebagai pembangkit busur dan sebagai bahan pengisi. Panas yang timbul diantara elektroda dan bahan induk mencairkan ujung elektroda (kawat) las dan bahan induk, sehingga membentuk lasan. Bungkus (*coating*) elektroda yang berfungsi sebagai *fluks* akan terbakar pada waktu proses berlangsung, gas yang terjadi akan melindungi proses terhadap pengaruh udara luar (Oksidasi) yang sekaligus berfungsi memantapkan busur. Gas pelindung (*Shielded Gas*) timbul dari lapisan pembungkus elektroda atau *fluks* yang terurai (*decomposition*)^[5].



Gambar 2.2 Skema Proses SMAW

Fluks yang mencair akan terapung dan kemudian membeku pada permukaan las berupa terak (*slag*). Karena massa jenisnya lebih kecil dari logam las. Pada pengelasan ini yang terpenting adalah memperhatikan bahwa *fluks* dan jenis las listrik yang digunakan^[6].

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

- a. Mesin las arus searah (*Direct Current / DC*).
- b. Mesin las arus bolak-balik (*Alternating Current / AC*).
- c. Mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC).

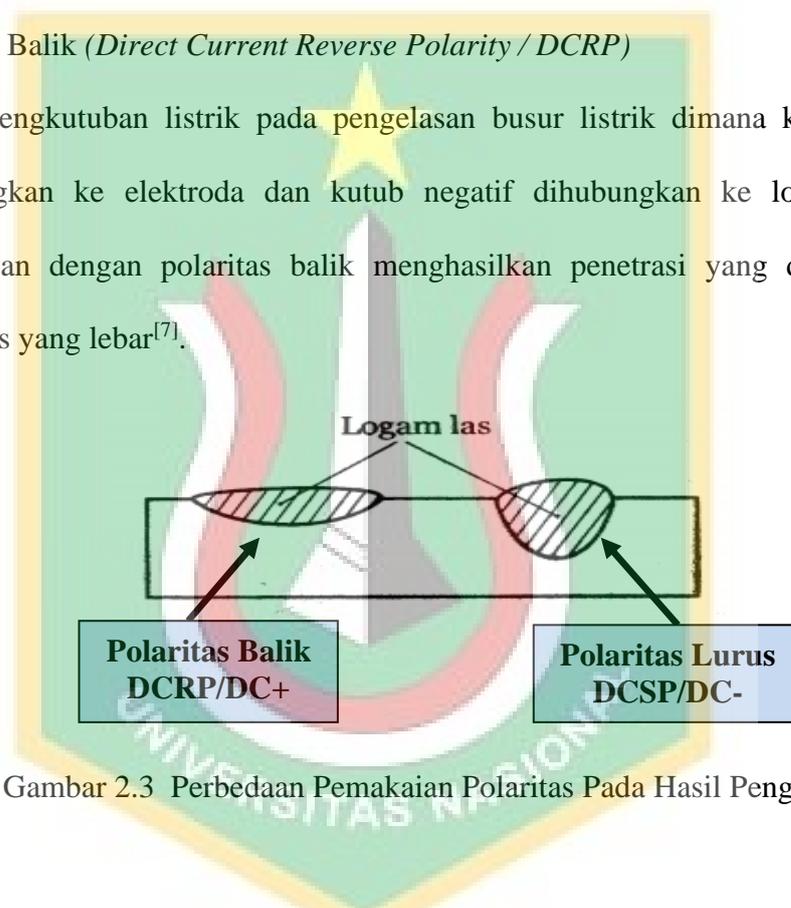
Pada mesin las arus searah (DC) dapat digunakan dengan dua cara yaitu:

1. Polaritas Lurus (*Direct Current Straight Polarity / DCSP*)

Istilah pengkutuban listrik pada pengelasan busur listrik yang merupakan kebalikan dari polaritas balik dimana kutub negatif dihubungkan ke elektroda dan kutub positif dihubungkan ke logam induk. Pengelasan dengan polaritas lurus menghasilkan penetrasi lebih dalam dan manik las lebih sempit.

2. Polaritas Balik (*Direct Current Reverse Polarity / DCRP*)

Istilah pengkutuban listrik pada pengelasan busur listrik dimana kutub positif dihubungkan ke elektroda dan kutub negatif dihubungkan ke logam induk. Pengelasan dengan polaritas balik menghasilkan penetrasi yang dangkal dan manik las yang lebar^[7].



Gambar 2.3 Perbedaan Pemakaian Polaritas Pada Hasil Pengelasan

Penyetelan kuat arus pengelasan SMAW akan mempengaruhi hasil las. Apabila arus yang digunakan terlalu rendah, maka 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, apabila arus yang digunakan terlalu tinggi maka akan membuat elektroda mencair terlalu cepat

sehingga akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam. Hal ini akan berdampak pada hasil kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan. Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh tegangan busur, besar arus, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik^[8].

2.2.2 Daerah Pengelasan

Pada daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas/HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi.

1. Daerah logam las

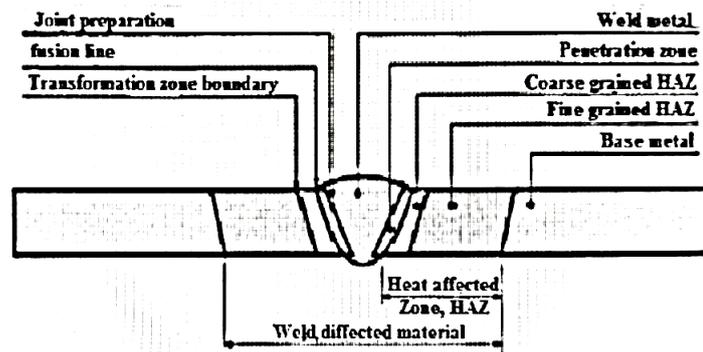
Logam las atau logam cair adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku.

2. Daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*)

Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ mengalami perubahan. Luas dan besar dari HAZ tergantung dari arus pengelasan, tebal pengelasan, kecepatan proses pengelasan, tebal dari logam induk, diameter dan jenis *filler metal* pada saat proses pengelasan.

3. Daerah logam induk yang tak terpengaruhi

Logam induk tak terpengaruh adalah logam dasar dimana panas dan temperatur pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat pada logam^[9].



Gambar 2.4 Daerah Pengelasan

2.2.3 Posisi Pengelasan

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi-posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*), posisi pengelasan tegak (*vertical position*), dan posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*).

1. Posisi Pengelasan di bawah tangan (*down hand position*)

Benda kerja terletak diatas bidang datar dan posisinya dibawah tangan dengan arah tangan dari kiri ke arah kanan. Dari keempat posisi pengelasan tersebut, posisi bawah tanganlah yang paling mudah melakukannya. Oleh sebab itu untuk menyelesaikan setiap pekerjaan pengelasan sedapat mungkin diusahakan pada posisi dibawah tangan.

2. Posisi Pengelasan mendatar (*horizontal position*)

Benda tegak berdiri dan arah pengelasan berjalan mendatar dari kiri ke arah kanan sejajar dengan bahu pengelas. Pada posisi horizontal kedudukan benda dibuat tegak dan arah pengelasan mengikuti garis horizontal. Panjang busur

nyala dibuat lebih pendek jika dibandingkan dengan panjang busur nyala pada posisi pengelasan dibawah tangan.

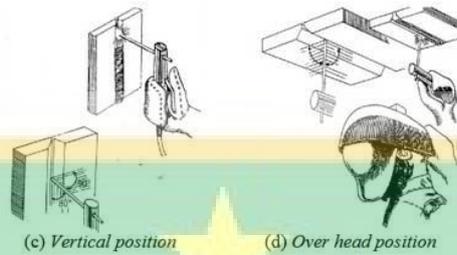
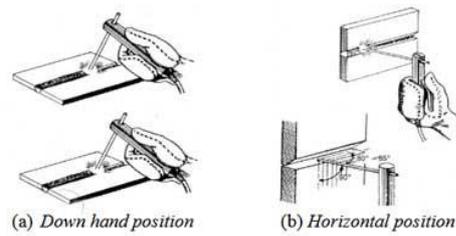
3. Posisi Pengelasan tegak (vertical position).

Posisi benda kerja tegak dan arah pengelasan berjalan naik dan turun. Pada pengelasan vertical, benda kerja dalam posisi tegak dan arah pengelasan dapat dilakukan keatas atau naik atau ke bawah atau turun. Arah pengelasan yang dilakukan tergantung pada jenis elektroda yang digunakan. Elektroda yang berbusur lemah dilakukan pengelasan ke atas, elektroda yang berbusur keras dilakukan pengelasan kebawah.

4. Posisi Pengelasan di atas kepala (over head position).

Pengelasan dari bawah dan benda kerja berada diatas operator. Posisi pengelasan diatas kepala, bila benda kerja berada pada daerah sudut 45° terhadap garis vertical, dan juru las berada dibawahnya. Pengelasan posisi diatas kepala, sudut jalan elektroda berkisar antara 75° - 85° tegak lurus terhadap kedua benda kerja. Busur nyala dibuat sependek mungkin agar pengaliran cairan logam dapat ditahan.

Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*) memungkinkan penetrasi dan cairan logam tidak keluar dari kampuh las serta kecepatan pengelasan yang lebih besar dibanding lainnya. Pada *horizontal position*, cairan logam cenderung jatuh ke bawah, oleh karena itu busur (*arc*) dibuat sependek mungkin. Demikian pula untuk *vertical* dan *over head position*. Penimbunan logam las pada pengelasan busur nyala terjadi akibat medan *electromagnetic* bukan akibat gravitasi, pengelasan tidak harus dilakukan pada *down hand position* ataupun *horizontal position*^[10].

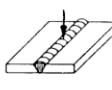
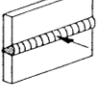
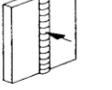
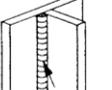
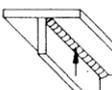


Gambar 2.5 Posisi Pengelasan

2.3 Jenis-Jenis Sambungan Pengelasan

Penyambungan dalam pengelasan diperlukan untuk meneruskan beban atau tegangan diantara bagian-bagian yang disambung. Karena meneruskan beban, maka bagian sambungan juga akan menerima beban. Oleh karenanya, bagian sambungan paling tidak memiliki kekuatan yang sama dengan bagian yang disambung.

Sambungan las dalam kontruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.

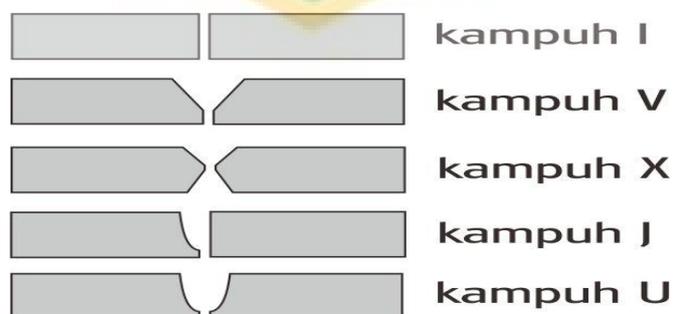
	Flat	Horizontal	Vertical	Overhead
Butt	 1G	 2G	 3G	 4G
Fillet	 1F	 2F	 3F	 4F

Gambar 2.6 Jenis Sambungan dasar.

2.3.1 Bentuk-Bentuk Kampuh Las

Kampuh las adalah bentuk persiapan pada suatu sambungan. Umumnya hanya ada pada sambungan tumpul, namun ada juga pada beberapa bentuk sambungan sudut tertentu, yaitu untuk memenuhi persyaratan kekuatan suatu sambungan sudut. Bentuk kampuh las yang banyak dipergunakan pada pekerjaan las dan fabrikasi logam adalah :

1. Kampuh I (*Open Square Butt*)
2. Kampuh V (*Single Vee Butt*)
3. Kampuh X (*Double Vee Butt*)
4. Kampuh U (*Single U Butt*)
5. Kampuh J/Sambungan T dengan penguatan satu sisi (*Single J-butt weld*)



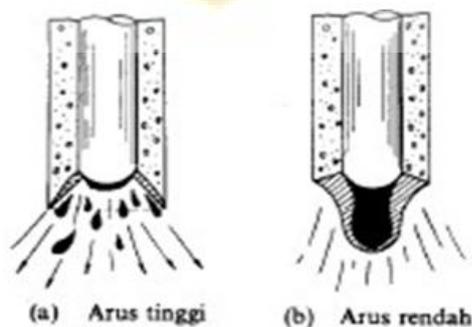
Gambar 2.7 Bentuk-Bentuk Kampuh Las

2.4 Elektroda

Elektroda adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa saat ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Dalam gambar 2.8 dapat dilihat dengan jelas bahwa busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. 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 listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat dalam gambar 2.8(a), sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti tampak dalam gambar 2.8(b).



Gambar 2.8 (a) Proses Pengelasan



Gambar 2.8 (b) Pengaruh Arus Terhadap *Fluks*

2.4.1 Klasifikasi Elektroda Las

Menurut *American Welding Society* (AWS) elektroda diklasifikasikan dengan huruf “E” dan diikuti empat angka sebagai berikut E XXXX. Dimana E adalah elektroda las listrik (E7018 diameter 3,2 mm). Dua digit yang pertama menunjukkan kekuatan tarik bahan las setelah dilaskan dalam satuan Psi (kg/mm^2). Misalkan E 7018 berarti bahan tersebut setelah dilaskan kekuatan tariknya adalah 70000 Psi (492 Mpa).

Digit ketiga dari depan menunjukkan posisi pengelasan. Angka “1” menunjukkan bahwa elektroda boleh digunakan untuk semua posisi pengelasan, yaitu: *flat* (datar bawah), *horizontal* (datar tegak), *vertical* (tegak lurus), dan *overhead* (atas kepala). Angka “2” menunjukkan boleh digunakan untuk *flat* (datar bawah) dan *horizontal* (datar tegak). Sedangkan angka “3” menunjukkan elektroda hanya untuk posisi pengelasan *flat* (datar bawah). Satu digit terakhir menunjukkan jenis selubung, arus dan polaritas. Misalnya E 7018, angka “8” menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.

Tabel 2.1 Spesifikasi Elektroda

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis fluks	Posisi pengelasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Kekuatan luluh (kg/mm^2)	Perpanjangan (%)
E 6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC Polaritas balik	43,6	35,2	22
E 6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E 6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E 6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E 6020	Oksida besi tinggi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
E 6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S F	AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25

E 7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E 7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E 7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E 7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E 7024	Serbuk besi, titania	H-S F	AC atau DC polaritas ganda			17
E 7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S F	AC atau DC polaritas balik			22

2.4.2. Salutan (Fluks) Pada Elektroda

Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung dan menstabilkan busur. Adapun *fluks* ini terdiri dari campuran bahan mineral dan zat kimia, yang menentukan karakter pengoperasian dan komposisi pada akhir pengelasan. Berdasarkan tipe dan penggunaannya, bahan *fluks* dibagi menjadi delapan jenis yaitu :

1. Jenis oksida titania

Jenis itu juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak (TiO_2) di dalamnya. Busur yang dihasilkan oleh elektroda yang dibungkus dengan *fluks* jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik las yang halus.

2. Jenis titania kapur

Jenis ini di samping berisi rutil juga mengandung kapur. Di samping sifat-sifat seperti yang dimiliki oleh jenis oksida titan, jenis ini mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuannya menghasilkan sifat mekanik yang baik.

3. Jenis ilmenit

Jenis ini terletak diantara jenis oksida titan dan jenis oksida besi. Bahan *fluksnya* yang utama adalah ilmenit (FeTiO_3). Busur yang dihasilkan agak kuat dan memberikan penetrasi yang cukup dalam.

4. Jenis low hidrogen

Jenis ini disebut juga dengan nama jenis kapur, karena bahan utama yang dipergunakan adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah, karena itu kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, sehingga ketangguhannya sangat memuaskan. Karena *fluks* ini sangat baik dalam sifat mampu-lasnya maka elektroda dengan *fluks* jenis ini biasanya digunakan untuk kontruksi-kontruksi yang memerlukan tingkat pengamanan tinggi seperti kontruksi dengan pelat tebal dan bejana tekan.

5. Jenis cellulose

Jenis ini berisi kira-kira 30% zat organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume besar yang kemudian melindungi logam cair. Busurnya kuat dan penembusannya dalam.

6. Jenis oksida besi

Bahan pokok untuk jenis ini adalah oksida besi. Busur yang dihasilkan terpusatkan dan penetrasinya dalam, karena itu jenis ini baik untuk pengelasan sudut horizontal.

7. Jenis serbuk besi oksida

Bahan utama dari *fluks* ini meliputi antara 15 sampai 50% adalah silikat dan serbuk besi. Kecepatan pengisian sangat tinggi karena itu efisiensinya juga

baik. Jenis ini banyak sekali digunakan untuk pengelasan sudut *horizontal* dan pengelasan gaya berat.

8. Jenis serbuk besi titania

Jenis ini menghasilkan busur yang sedang dan menghasilkan manik las yang halus. Karena di dalamnya berisi serbuk besi maka efisiensi pengelasan menjadi tinggi.

Tabel 2.2 Klasifikasi Salutan Pada Elektroda

Klasifikasi	Tipe sautan	Arus	Penggunaan secara umum
E XX10	Selulose	DC Positif	-Pengelasan Akar (root)
E XX11		AC/DC Positif	-Pengelasan Pipa
E XX12	Rutle	AC/DC Positif	Penggunaan Umum
E XX13		AC/DC	
E XX14	Rutle serbuk besi \pm 30%	AC/DC	Penggunaan Umum
E XX15	Low hydrogen	DC Positif	Untuk penyambungan yang kuat dan kualitas tinggi
E XX16		AC/DC Positif	
E XX18	Low hydrogen, serbuk besi \pm 25%	AC/DC Positif	
E XX20	Oksida besi kadar tinggi (High iron oxide)	AC/DC	Untuk pengelasan akar (root) pada sambungan tumpul posisi di bawah tangan dan sambungan sudut posisi horizontal.

E XX24	Rutle, serbuk besi \pm 50%	AC/DC	Untuk pengisian jumlah banyak/cepat pada posisi di bawah tangan
E XX27	Mineral, serbuk besi \pm 50%	AC/DC	
E XX28	Low hydrogen, serbuk besi \pm 50%	AC/DC Positif	Untuk pengelasan jumlah banyak/cepat dan sambungan yang kuat

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 pula penembusan dan kecepatannya.

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.

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. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI (\text{Heat Input}) = (\text{Teg. Las} \times \text{Arus Las}) / (\text{Kec. Pengelasan}) \dots (1)$$

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, 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, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada. Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses (η) sehingga persamaannya meliputi:

$$HI (\text{Heat Input}) = \eta (\text{Teg. Las} \times \text{Arus Las}) / (\text{Kec. Pengelasan}) \dots (2)$$

Efisiensi masing – masing proses pengelasan dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Efisiensi Proses Pengelasan

Proses Pengelasan	Efisiensi (%)
SAW (<i>submerged arc welding</i>)	90-99
GMAW (<i>gas metal arc welding</i>)	65-85
FCAW (<i>flux cored arc welding</i>)	65-85
SMAW (<i>shielded metal arc welding</i>)	50-85
GTAW (<i>gas tungsten arc welding</i>)	20-50

2.7 Sifat Mampu Las (*Weld Ability*)

Weld ability atau mampu las atau keterlasa yaitu kemampuan suatu logam atau kombinasi logam yang dilas menjadi konstruksi tertentu yang memiliki karakteristik dan sifat tertentu dan sanggup memenuhi persyaratan yang diinginkan. Apabila suatu logam mudah untuk dilas, maka logam tersebut mempunyai las yang tinggi.

Tabel 2.4 Sifat Mampu Las Logam

Jenis Logam	Sifat Mampu Las
Baja karbon	Baja karbon rendah : tinggi Baja karbon medium : cukup Baja karbon tinggi : rendah
Baja paduan rendah	Serupa dengan baja karbon medium
Baja paduan tinggi	Umumnya baik dibawah kondisi terkontrol
Baja tahan karat	Sifat mampu las-nya tergantung pada proses pengelasan

Paduan Alumunium	Mampu dilas pada masukan panas tinggi. Paduan yang mengandung seng dan tembaga memiliki sifat mampu las sangat rendah
Paduan Tembaga	Serupa dengan paduan Alumunium
Paduan Magnesium	Mampu dilas dengan penggunaan gas pelindung dan <i>fluks</i>
Paduan Nikel	Serupa dengan baja tahan karat
Paduan Titanium	Mampu dilas dengan penggunaan gas pelindung

2.8 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, oleh karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,3%, baja karbon sedang mengandung 0,30% - 0,45% karbon dan baja karbon tinggi mengandung kadar karbon 0,45% - 1,70%. Bila kadar karbon naik, maka kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun.

1. Baja karbon rendah (low carbon steel)

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08% - 0,3% yang biasa digunakan untuk body kendaraan.

2. Baja karbon sedang (medium carbon steel)

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,3% - 0,45%. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja karbon

rendah dan memiliki kualitas perlakuan panas yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan dan dapat dikeraskan dengan baik. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

3. Baja karbon tinggi (high carbon steel)

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan baja karbon sedang, yakni memiliki kandungan karbon 0,45% - 1,7%. Pada umumnya, baja karbon tinggi lebih sukar dalam proses pengelasan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang, karena keuletan yang berkurang dan sukar dibentuk^[11].

2.9 Baja Paduan (alloy steel)

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai baja yang ditambahkan unsur selain karbon dengan jumlah tertentu untuk menghasilkan peningkatan kualitas. Penambahan unsur lain ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan aus, ketahanan korosi dan untuk meningkatkan sifat listrik dan magnetik, yang tidak dapat diperoleh dalam baja karbon biasa.

Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Baja Paduan Rendah (Low Alloy Steel)

- a. Memiliki elemen paduan <8%.
- b. Memiliki kadar karbon sama seperti baja karbon, tetapi ada sedikit unsur 10 paduan.
- c. Manfaat penambahan paduan untuk meningkatkan kekuatan tanpa

mengurangi keuletannya, kekuatan fatik, daya tahan terhadap korosi, aus dan panas.

d. Biasanya banyak digunakan pada kapal, jembatan, roda kereta api, pipa gas dan sebagainya.

2. Baja Paduan Tinggi (High Alloy Steel)

a. Memiliki elemen paduan >8%.

b. Contoh : baja tahan karat, baja perkakas, dan baja mangan.

2.9.1 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 kereta 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 yaitu :

a. 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.

b. 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/mm².

- c. 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 600⁰C.

2.10 Destructive Testing (DT)/Pengujian Merusak

Uji merusak merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material atau spesimen sampai material tersebut mengalami kerusakan. Tujuan dari pengujian merusak untuk mengetahui ketahanan suatu material sehingga menghasilkan material yang berkualitas tinggi.

Terdapat beberapa metode yang paling umum digunakan dalam dunia industri yaitu uji tarik (*Tensile Testing*), uji tekan (*Compressed Tester*), uji bengkok (*Bending Tester*), uji kekerasan (*Hardness Tester*) dan uji *impac* ^[12].

2.11 Pengujian Hasil Pengelasan

Pengujian hasil dari pengelasan mempunyai beberapa metode dalam pengujian yaitu uji makro mikrografi, uji komposisi kimia, dan uji kekerasan:

2.11.1 Pengujian Metalografi

Metalografi digunakan dibidang pengembangan bahan, inpeksi, produksi, manufaktur dan untuk analisis kegagalan. Analisis metalografi atau mikro struktur mencakup, tetapi tidak terbatas pada, jenis analisis berikut.

Analisa mikro struktur adalah suatu analisa mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi untuk mengetahui sifat dan karakteristik bentuk suatu material logam. Pengujian metalografi merupakan ilmu tentang logam yang mempelajari mikro struktur distribusi butiran, fasa yang

terjadi pada material, dan unsur paduan yang terdapat pada material. Pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan kristal logam berupa struktur mikro yang terbentuk akibat proses perlakuan permukaan spesimen uji. Hasil dari pengujian struktur mikro ini digunakan untuk mendukung hasil pengujian kekerasan.

Proses pengujian mikro struktur dilakukan dengan memperhatikan kondisi material yang akan diuji. Penggunaan material yang cacat dapat mengakibatkan hasil yang tidak sesuai. Untuk melakukan analisa struktur mikro ada beberapa tahap yang harus dilakukan, beberapa tahap tersebut yaitu:

1. Pemotongan (Cutting)

Proses pemotongan material merupakan suatu proses untuk mendapatkan spesimen uji dengan cara memotong atau mengurangi dimensi ukuran material uji menjadi dimensi ukuran yang sesuai untuk pengujian. Pemotongan material ini berfungsi untuk mempermudah proses pengamatan struktur mikro.

2. Pengamplasan (Grinding)

Pengamplasan bertujuan untuk meratakan permukaan spesimen uji setelah proses pemotongan. Proses pengamplasan ini merupakan proses yang sangat penting untuk membuat permukaan spesimen uji benar-benar halus agar dapat dilakukan observasi. Proses pengamplasan dibedakan atas pengamplasan kasar dan pengamplasan sedang. Pengamplasan kasar dilakukan sampai permukaan spesimen uji benar-benar rata. Sedangkan pengamplasan sedang dilakukan agar permukaan spesimen uji lebih halus. Pada saat proses pengamplasan spesimen uji harus diberikan cairan pendingin untuk menghindari *overheating* akibat panas yang dibutuhkan dari proses pengamplasan.

3. Pemolesan (Polishing)

Proses pemolesan bertujuan untuk menghasilkan permukaan yang benar-benar rata dan sangat halus hingga tampak mengkilap tanpa ada goresan sedikitpun pada spesimen uji. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan serat kain dan diolesi larutan autosol *metal polish* berbentuk pasta.

4. Pengetsaan (Etching)

Pengetsaan adalah pemberian bahan etsa pada material. Tujuan dari pengetsaan untuk menghilangkan lapisan yang terdapat pada permukaan benda uji sehingga permukaan benda uji dapat dilihat dengan jelas menggunakan mikroskop. Proses etsa untuk mendapatkan kontras dapat diklasifikasikan atas proses etsa tidak merusak (*nondestructive etching*) dan proses etsa merusak (*destructive etching*). Etsa merusak adalah proses perusakan permukaan spesimen secara kimia agar terlihat kontras atau perbedaan intensitas di permukaan spesimen.

Tabel 2.5 Ketentuan Bahan Etsa Pada Material

1	Logam Baja	HNO ₃ 2,5%
2	Logam Besi Cor	HNO ₃ 5%
3	Logam Tembaga	HNO ₃ 65%
4	Logam Kuningan	HNO ₃ 65%
5	Logam <i>Stainless Steel</i>	<i>Aqua Regia</i> (HNO ₃ + HCl dengan perbandingan 1:3)
6	Logam Aluminium	NaOH 50%

5. Pemotretan

Setelah semua proses persiapan dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop logam dengan pembesaran yang ditentukan. Biasanya 50, 100, 200, 400, dan 1000 kali dari besar benda uji. Dari hasil mikroskop, akan mendapatkan informasi dan analisa data tentang mikro struktur yang terbentuk pada spesimen uji^[13].

2.11.2 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dari suatu logam penting dilakukan untuk memastikan kualitas sebuah produk, terutama pada proses *incoming quality assurance*. Pada saat penerimaan material di industri manufaktur baik sebagai bahan baku produksi maupun sebagai komponen konstruksi yang siap pakai.

Pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer *analiser PMI-Master Pro*. Pengujian komposisi dimaksudkan untuk mengetahui komposisi kimia dan besarnya unsur pembentukan dalam bahan yang diuji sesuai dengan standar material. Misalnya Fe, Si, Mn, C, Cu, S dan berbagai macam unsur lainnya.

Setiap unsur kimia yang terkandung dalam suatu material akan memberikan pengaruh pada material tersebut, baik dari kekerasan (*hardness*), kekuatan (*strength*), keuletan (*Ductility*), kelelahan (*fatigue*) maupun ketangguhan (*Toughness*). Dengan mengetahui komposisi kimia dari suatu material maka dapat diketahui sifat atau karakteristik dari material tersebut^[14].



Gambar 2.9 Mesin Uji Komposisi Kimia (*Spectrometry*)

2.11.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekekeraan dilakukan menggunakan standar kekerasan *Vickers*. Dalam pengujian *hardness Vickers* ini digunakan indentor berupa piramida intan dengan 4 sisi yang 55 menggunakan sudut 136° antar sisinya, ujung indentor intan ini sangat halus dan tajam sehingga mampu untuk memberikan identasi pada material uji.



Gambar 2.10 Indentor dan Jejak Pada Metode *Vickers*

Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak harus diukur terlebih dahulu dengan memakai mikroskop. Angka kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan jejak, Nilai kekerasan *vickers* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{1,854.P\alpha}{d^2} = \frac{1,854.P}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : α : Angka konversi satuan SI = 0,102 (N/mm)

P : Gaya (kg)

d : Panjang diagonal rata – rata (mm) = $\frac{d1+d2}{2}$

Di dalam pengujian kekerasan Vickers perlu diperhatikan mengenai jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir spesimen, di mana menurut standar ASTM adalah sebesar 2,5 kali diagonal jejak. Dan jarak minimal antara jejak-jejak yang berdekatan juga 2,5 kali diagonal jejak. Sedangkan menurut standar ISO, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir benda uji adalah 2,5 diagonal untuk baja dan paduan tembaga dan 3 diagonal untuk logam-logam ringan, sementara jarak minimal antara jejak adalah 3 diagonal untuk baja dan paduan tembaga, dan 6 diagonal untuk logam-logam ringan^[15].

