

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

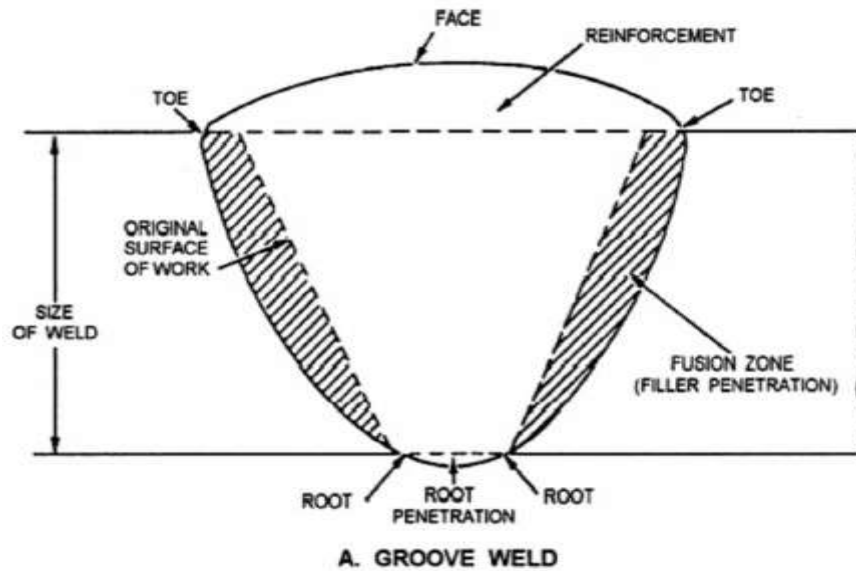
Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah “ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energy panas”. (Wiryosumarto,1996). Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktivitas 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.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. 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.

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk keberhasilan proses pengelasan, yaitu:

1. Material yang akan disambung dapat mencair oleh panas.
2. Antara material yang akan disambung terdapat kesesuaian sifat lasnya.
3. Cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan penyambungan.

Dalam proses pengelasan, secara umum dapat dikategorikan beberapa daerah hasil pengelasan berikut adalah Gambar 2.1 yang menggambarkan daerah hasil pengelasan, yaitu:

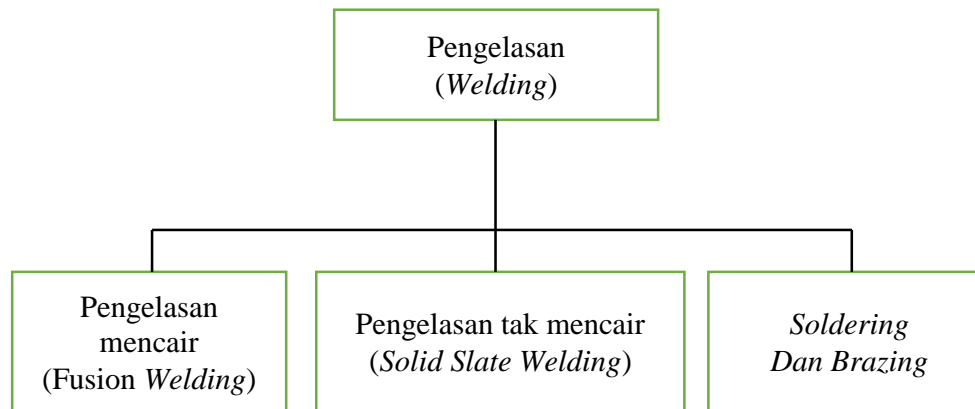


**Gambar 2.1** Daerah hasil pengelasan (Timing, 1992)

Menurut Timing (1992) dari daerah pengelasan diatas, adanya perbedaan karakteristik metalurginya, yaitu:

1. *Weld Metal* (WM) atau logam las, merupakan daerah yang mengalami pencairan dan membeku kembali sehingga meyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) atau daerah terkena pengaruh panas, merupakan daerah yang tidak terjadi pencairan dan pembekuan tetapi mengalami pengaruh panas sehingga terjadi perubahan struktur mikro.
3. *Fusion Line* (LF) atau daerah fusi, merupakan garis batas antara logam yang mencair dan daerah HAZ.
4. *Based Metal* (BM) atau logam induk, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat.

## 2.2 Klasifikasi Las



**Gambar 2.2** Klasifikasi proses pengelasan

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa proses pengelasan dapat dibagi dalam tiga bagian utama yaitu pengelasan mencair (*fusion welding*), pengelasan tidak mencair (*solid state welding*), dan *soldering/brazing*. Peralatan pencair atau pemanas logam dapat didasarkan pada penggunaan energi listrik, energi gas, atau energi mekanik. Berdasarkan klasifikasi tersebut, pengelasan cair yang paling banyak digunakan dalam praktik di dunia industri. Salah satu metode pengelasan cair ini adalah las busur listrik elektroda terbungkus (*shielded metal arc welding* disingkat dengan *SMAW*) (Sonawan, 2003).

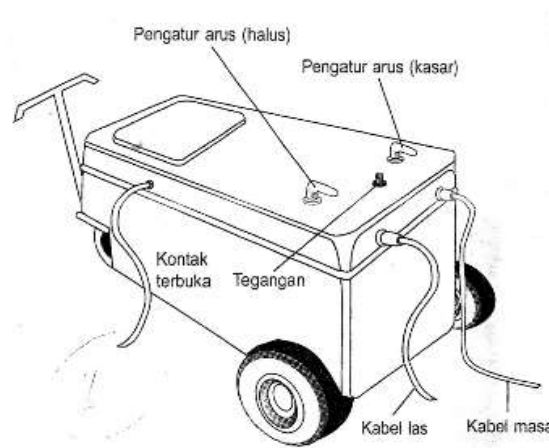
### 2.2.1 Mesin Las

Menurut Bintoro (2000) mesin las pada unit peralatan las berdasarkan arus yang dikeluarkan pada ujung-ujung elektroda dibedakan menjadi 2, yaitu:

#### a. Mesin las arus bolak-balik (mesin AC)

Arus listrik bolak-balik atau arus AC yang dihasilkan pembangkit listrik (PLN atau generator AC), dapat digunakan sebagai sumber tenaga dalam proses pengelasan. Tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik belum sesuai dengan tegangan yang digunakan untuk pengelasan. Bisa terjadi tegangan terlalu tinggi atau terlalu rendah, sehingga besarnya tegangan perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan cara menurunkan atau menaikkan tegangan. Alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan disebut *transformator* atau *trafo*.

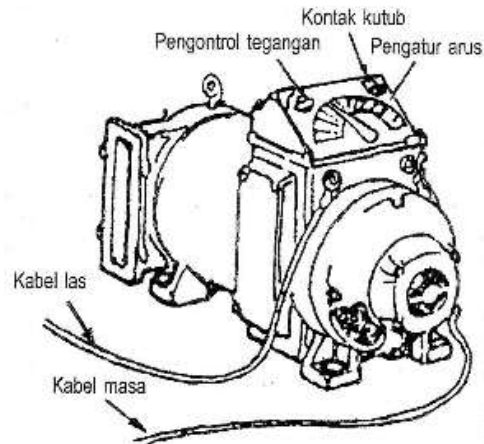
Kebanyakan *trafo* yang digunakan pada peralatan las adalah *trafo step-down*, yaitu *trafo* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Hal ini disebabkan listrik dari pembangkit listrik mempunyai tegangan yang tinggi (110 *volt* sampai 240 *volt*), padahal kebutuhan tegangan yang dikeluarkan oleh mesin las untuk pengelasan hanya 55 *volt* sampai 85 *volt*. *Trafo* yang digunakan untuk pengelasan mempunyai daya yang cukup besar. Untuk mencairkan sebagian logam induk dan elektroda dibutuhkan energi yang besar. Untuk menghasilkan daya yang besar maka perlu arus yang besar. Dengan aliran arus yang besar maka perlu kabel lilitan sekunder yang berdiameter besar. Arus yang digunakan untuk pengelasan busur listrik berkisar antara 10 *ampere* sampai 500 *ampere*. Besarnya arus listrik dapat diatur sesuai dengan keperluan pengelasan. Berikut adalah gambar 2.3 mesin las arus AC:



**Gambar 2.3** Mesin las arus AC (Bintoro, 2000)

#### **b. Mesin las arus searah (mesin DC)**

Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin las yang berupa dinamo motor listrik searah. Dinamo dapat digerakkan oleh motor listrik, motor bensin, motor diesel, dan penggerak mula lainnya. Mesin arus searah yang menggunakan penggerak mula memerlukan peralatan yang berfungsi sebagai penyearah arus. Penyearah atau *rectifier* berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Berikut adalah gambar 2.4 mesin las arus DC:



**Gambar 2.4** Mesin las arus DC (Bintoro, 2000)

### 2.2.2 Perbedaan Mesin Las AC dan DC

Mesin las AC dan mesin las DC mempunyai kelebihan masing-masing, seperti terlihat pada tabel 2.1, Yaitu:

**Tabel 2.1 Kelebihan Mesin Las AC dan DC**

Mesin Las AC	Mesin Las DC
1. Perlengkapan dan perawatan lebih murah	1. Nyala busur listrik yang dihasilkan stabil
2. Kabel massa dan kabel elektroda dapat ditukar	2. Dapat menggunakan semua jenis elektroda
3. Hasil pengelasan tidak keropos pada rigi-rigi las	3. Dapat digunakan untuk pengelasan pelat tipis

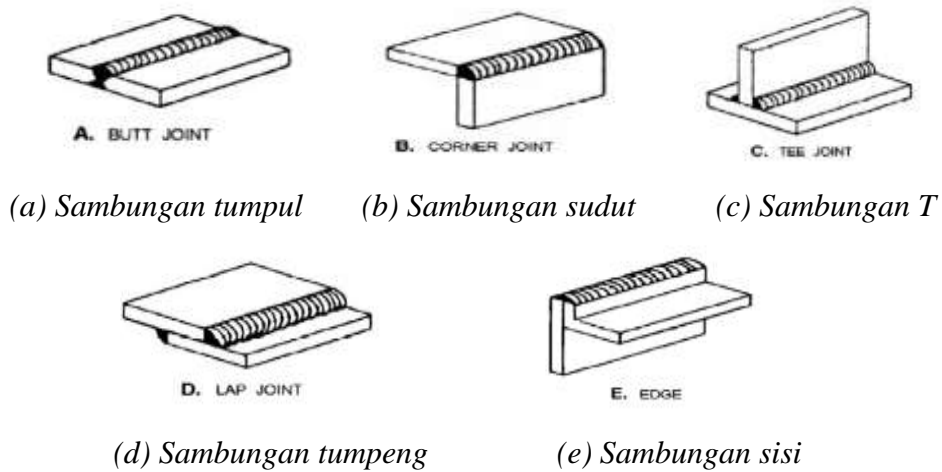
Sumber: Bintoro, 2000

Gangguan-gangguan yang sering timbul dari mesin las yaitu tegangan melemah atau turun dan mesin las terlalu panas. Gangguan-gangguan tersebut menyebabkan mesin las tidak mengeluarkan arus listrik atau nyala busur listrik melemah.

### 2.2.3 Jenis Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi baja dibagi menjadi beberapa sambungan antara lain sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, sambungan tumpang, sambungan silang, sambungan dengan penguat, dan sambungan sisi.

Pemilihan jenis sambungan las terutama berdasarkan pada ketebalan pelat yang dilas. Dalam pengelasan ada yang disebut dengan pelat tipis dan pelat tebal. Menurut AWS (*American Welding Society*) disebut pelat tipis apabila ketebalannya kurang dari 1 inch atau sama dengan 25.4 mm, dan disebut pelat tebal jika ketebalannya lebih dari 1 inch. Berikut ini adalah jenis-jenis sambungan las menurut Wiryosumarto (1996), yaitu:



**Gambar 2.5** Jenis-jenis sambungan las

Dalam praktiknya dapat ditemukan banyak variasi dan kombinasi pada jenis sambungan las, dimana diantaranya terdiri dari 5 jenis, seperti yang tampil pada gambar 2.5, berikut penjelasan masing-masing jenis sambung las menurut Wiryosumanto (1996), yaitu:

#### **a. Sambungan tumpul/sebidang (*butt joint*)**

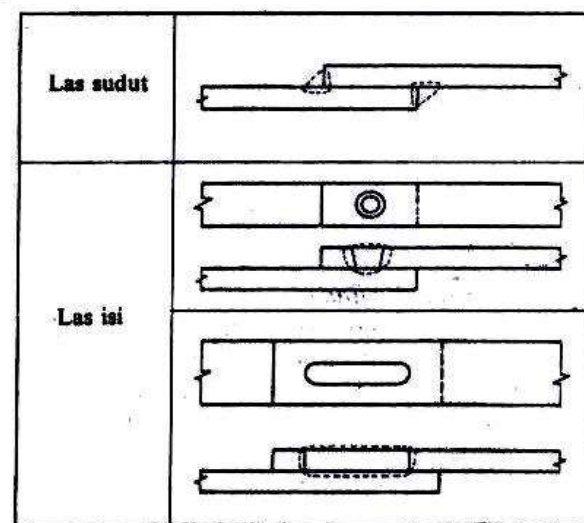
Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Bentuk alur sambungan ini sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting, di mana bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, BS, DIN, GOST, JSSC, dan lain-lain. Sambungan tumpul digunakan untuk menyambung ujung-ujung pelat yang datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama, biasanya divariasikan pada alur atau kampuh. Jenis kampuh sambungan tumpul (*butt joint*) dapat dilihat pada Gambar 2.6.

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 2.6 Alur sambungan las tumpul

#### b. Sambungan tumpang (*lap joint*)

Sambungan tumpang dibagi dalam tiga jenis seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.7, karena sambungan ini efisiensinya rendah maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las isi. Sambungan tumpang (*lap joint*) digunakan untuk menyambung pelat yang ketebalan yang berbeda, kelebihanannya ialah sambungan ini tidak membutuhkan kampuh atau alur.



Gambar 2.7 Kampuh sambungan tumpang

**c. Sambungan bentuk T (*Tee joint*)**

Pada sambungan bentuk T ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur. Sambungan bentuk T (*Tee joint*) digunakan untuk menyambung pelat pada bagian-bagian *built up*, seperti profil T, Profil I, atau bagian-bagian yang berbentuk rangka.

**d. Sambungan sudut (*corner joint*)**

Pada sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel. Bila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu. Sambungan sudut (*corner joint*) digunakan untuk membentuk penampang boks segi empat terangkai (*built-up*) seperti untuk balok baja yang membutuhkan ketahanan terhadap torsi yang tinggi.

**e. Sambungan sisi (*edge joint*)**

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama pada pelatnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis kedua pengelasan dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur. Sambungan ini digunakan untuk menjaga dua atau lebih pelat agar tetap pada suatu bidang tertentu ataupun untuk mempertahankan kedudukan seperti semula.

Pemilihan jenis sambungan las terutama didasarkan pada ketebalan pelat yang akan dilas. Dalam pengelasan, ada yang disebut pelat tipis dan pelat tebal. Menurut *AWS Code (American Welding Society)* disebut pelat tipis apabila ketebalannya kurang dari 1 in (= 25,4 mm) dan disebut pelat tebal bila ketebalannya lebih dari 1 in. Mungkin saja dalam pemilihan sambungan ini terdapat lebih dari dua sambungan yang memenuhi persyaratan ketebalan pelat. Jika hal itu terjadi maka harus dipilih kembali salah satu dari jenis sambungan yang ada (Sonawan 2003).

Ada tiga faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis sambungan menurut Wiryosumanto (1996), yaitu:

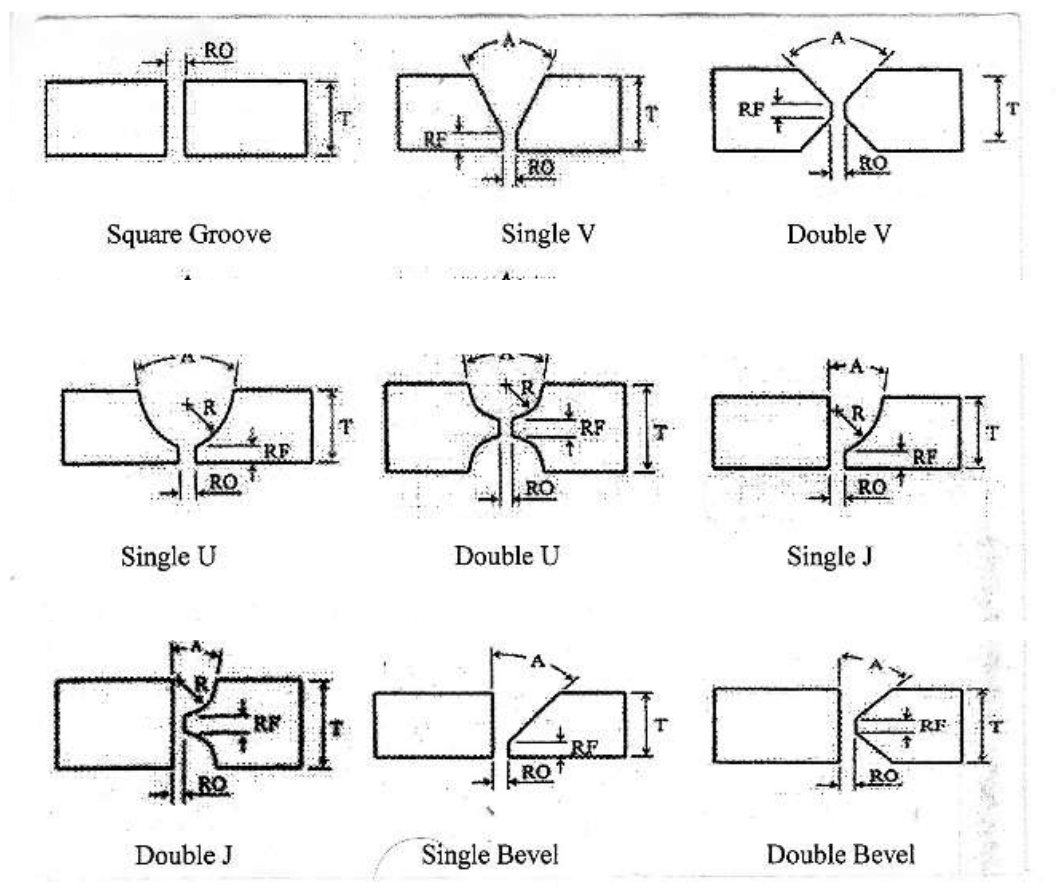
- a. luas penampang sambungan las,



- b. persiapan kampuh atau pembuatan kampuh, dan
- c. kemudahan proses pengelasan dikaitkan dengan proses pengelasan dan posisi pengelasan.

#### 2.2.4 Bentuk Kampuh Las

Bentuk kampuh las sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan, dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk kampuh las sangat penting. Adapun jenis-jenis kampuh las pada sambungan tumpul dapat dilihat pada gambar 2.8, yaitu:



**Gambar 2.8** Jenis-jenis kampuh las (Sonowan, 2003)

#### 2.3 Elektroda

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 terbungkus (*fluks*) dan tidak terbungkus yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Elektroda terbungkus terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau *fluks*. Pelapisan *fluks* pada bagian inti dapat dilakukan dengan destruksi, semprot atau celup. Selaput yang ada pada elektroda berfungsi untuk melindungi cairan las, busur listrik, dan sebagian benda kerja dari udara luar. Udara luar mengandung gas oksigen, yang dapat mengakibatkan bahan las mengalami oksidasi, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanis dari logam yang dilas. Oleh karena itu, elektroda yang terbungkus digunakan untuk pengelasan benda-benda yang butuh kekuatan mekanis.

Bila ditinjau dari logam yang dilas kawat elektroda dibedakan menjadi lima bagian besar yaitu, baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Karena *filler metal* harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam induk, maka sekaligus ini berarti bahwa tidak ada elektroda yang dapat dipakai untuk semua jenis dari pengelasan. Pemilihan ukuran diameter tergantung dari perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas, serta keahlian dalam pengelasan. Ini berarti bahwa tiap ukuran diameter elektroda mempunyai kaitan dengan besarnya kuat arus yang harus lewat pada elektroda tersebut. Di mana elektroda tersebut mempunyai selubung atau *coating*.

Elektroda perlu disimpan di tempat yang kering dan hangat dan digunakan berurutan misalnya elektroda baru tidak ditumpuk di atas yang lama. Kadangkadang elektroda yang sudah sangat lama mempunyai lapisan bulu berwarna putih yang disebabkan oleh kaca air pada elektroda. Elektroda harus ditumpuk dengan hati-hati dan jangan dijatuhkan yang akan menyebabkan retak dan terkelupasnya lapisan. Las yang berkualitas jelek biasanya sebagai akibat jika digunakan elektroda terkelupas, lembab, atau rusak. Jika elektroda kering digetarkan di tangan menghasilkan bunyi logam yang kuat, akan tetapi yang lembab mempunyai bunyi yang teredam (Kenyon, 1985).

### 2.3.1 Fungsi Elektroda

Beberapa fungsi lapisan elektroda, antara lain:

- a. Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair dan dengan demikian mencegah oksigen dan nitrogen dari udara memasuki logam las.
- b. Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol.
- c. Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan.
- d. Menyediakan suatu terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan pendinginan logam las dan dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
- e. Membantu mengontrol (bersama-sama dengan arus las) ukuran dan frekuensi tetesan logam cair.
- f. Memungkinkan dipergunakannya posisi-posisi yang berbeda.

### 2.3.2 Pemilihan Elektroda

Dilihat dari fungsinya, maka untuk pemilihan jenis elektroda yang digunakan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Jenis logam yang akan dilas.
- b. Tebal bahan yang akan dilas.
- c. Kekuatan mekanis yang diharapkan dari hasil pengelasan.
- d. Posisi pengelasan.
- e. Bentuk kampuh benda kerja.

### 2.3.3 Kode Elektroda

Kode elektroda sudah distandarkan oleh badan standarisasi kode elektroda yaitu AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society for Testing Materials*). Simbol atau kode yang diberikan yaitu satu huruf E yang diikuti oleh empat atau lima angka dibelakangnya, contoh E7016. Sedangkan simbol standarisasi JIS (*Japan Industrial Standard*), kode yang diberikan yaitu satu huruf D yang diikuti oleh empat atau lima angka dibelakangnya, contoh D5016.

Elektroda dengan kode **E 7016**, untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing-masing, yaitu:

- E** : elektroda untuk las busur listrik.
- 70** : menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 psi, jadi 70.000 psi atau 483 MPa.
- 1** : menyatakan posisi pengelasan, angka 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.
- 6** : menunjukkan jenis fluks hidrogen rendah.

## 2.4 Jenis-jenis Pengelasan

Pengelasan terdiri dari berbagai banyak jenis, namun pada laporan ini penulis hanya berfokus pada dua jenis pengelasan yang akan dilakukan untuk diteliti, berikut masing-masing penjelasannya, yaitu:

### 2.4.1 Las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

Pada pengelasan dengan proses GTAW, panas dihasilkan dari busur yang terbentuk dalam perlindungan *inert gas* (gas mulia) antara elektroda tidak terumpan dengan benda kerja. GTAW mencairkan daerah benda kerja di bawah busur tanpa elektroda tungsten itu sendiri ikut meleleh. Gambar 2.9 memperlihatkan peralatan untuk proses GTAW. Proses ini bisa dikerjakan secara manual atau otomatis. GTAW disebut juga dengan *Heliarc* yaitu istilah yang berasal dari merek dagang *Linde Company* atau TIG (*Tungsten Inert Gas*). *Filler metal* ditambahkan ke dalam daerah las dengan cara mengumpankan sebatang kawat polos. Teknik pengelasan sama dengan yang dipakai pada *Oxyfuel Gas Welding* atau OAW, tetapi busur dan kawah las GTAW dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh selimut *inert gas*, biasanya argon, helium atau campuran keduanya. *Inert gas* disebarkan dari torch dan daerah-daerah disekitar elektroda tungsten. Hasil pengelasan dengan proses GTAW mempunyai permukaan halus, tanpa slag dan kandungan hidrogen rendah.

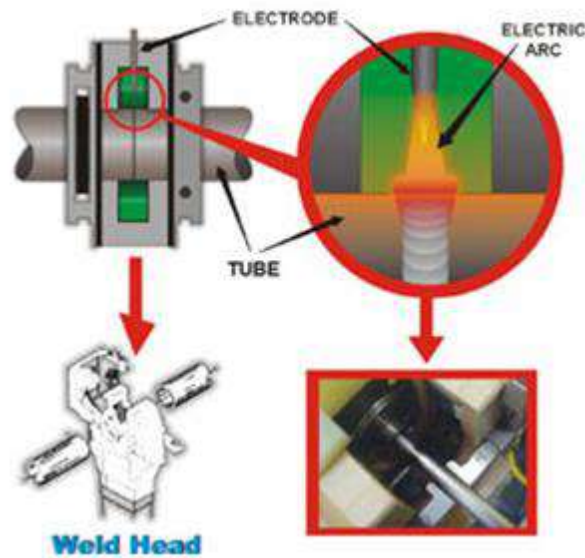


**Gambar 2.9 Mesin Las GTAW**

Jenis lain proses GTAW adalah *pulsed* GTAW, dengan menggunakan sumber listrik yang membuat arus pengelasan pulsasi. Hal ini membuat arus rata-rata menjadi lebih tinggi untuk mendapatkan penetrasi dan kontrol kawah las yang lebih baik, terutama untuk pengelasan *root pass*. *Pulsed* GTAW terutama bermanfaat untuk pengelasan pipa posisi-posisi sulit pada *stainless steel* dan *non ferrous material* seperti paduan nikel.

GTAW sudah diaplikasikan juga untuk pengelasan otomatis. Otomatisasi proses ini membutuhkan sumber listrik dan pengontrolan terprogram, sistem pengumpanan kawat dan mesin pemandu gerak. Salah satu jenis pengelasan otomatis ini adalah *Bore Welding* (las orbit). Jenis las ini dapat dilihat pada Gambar 2.10, yaitu:

## Orbital GTA Welding



**Gambar 2.10 Bore welding**

Proses las orbit juga sudah digunakan untuk membuat las sekat pada *tube-to-tubesheet* bermutu tinggi dan las tumpul pada pipa-pipa *heat exchanger* seperti pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11 Pengelasan *tube-to-tubesheet***

*Butt weld* pada pipa tebal diameter besar pada pembangkit tenaga listrik, merupakan keberhasilan lain dari aplikasi GTAW otomatis. GTAW menggunakan pengumpanan kawat otomatis disebut juga dengan *cold wire TIG*. Jenis lain dari pengelasan GTAW otomatis disebut *hot wire TIG*, yang dikembangkan untuk menyaingi yang lain dengan laju deposit lebih tinggi. Pada *hot wire TIG*, kawat las

mendapat tahanan panas yang berasal dari arus AC tegangan rendah untuk memperbesar laju pengisian.

#### 2.4.1.1 Keuntungan GTAW

Keuntungan dari pengelasan GTAW antara lain:

- a. Dapat mengelas hampir seluruh jenis logam, termasuk mengelas dua jenis logam yang berbeda (*dissimilar*).
- b. Kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur semauanya.
- c. Menghasilkan kualitas yang baik di daerah las, seperti pada gambar 2.12



**Gambar 2.12 Rootpass dengan GTAW**

- d. Dapat digunakan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*). Pengelasan GTAW tanpa menggunakan logam pengisi biasanya digunakan untuk mengelas pelat yang sangat tipis.
- e. Kecepatan gerak yang lebih rendah dibandingkan dengan SMAW akan memudahkan pengamatan sehingga lebih mudah dalam mengendalikan logam las selama pengisian dan penyatuan.

### 2.4.1.2 Kelemahan GTAW

Kelemahan proses las GTAW antara lain:

- a. Pengisian logam lebih rendah dibandingkan dengan proses las lain umpamanya SMAW (*Shield Metal Arc Welding*).
- b. GTAW butuh kontrol kelurusan sambungan yang lebih ketat, untuk menghasilkan pengelasan bermutu tinggi pada pengelasan dari arah satu sisi.
- c. GTAW harus dilindungi secara berhati-hati dari kecepatan udara di atas 5 mph untuk mempertahankan perlindungan *inert gas* di atas kawah las.
- d. Biaya operasi yang tinggi dibandingkan las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) misalnya pada kasus pengelasan pelat tipis kurang lebih 9,5 mm.

### 2.4.1.3 Aplikasi GTAW

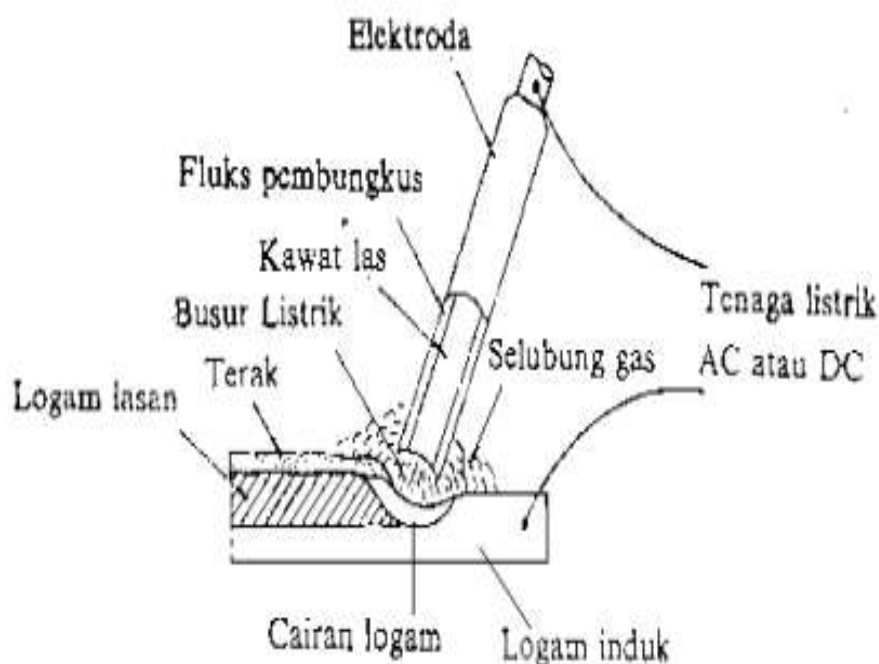
GTAW mempunyai keunggulan pada pengelasan pipa-pipa tipis dan *tubing stainless steel* diameter kecil, paduan nikel, paduan tembaga dan aluminium. Pada pengelasan pipa dinding tebal, GTAW sering kali dipakai pada *root pass* untuk pengelasan yang membutuhkan kualitas tinggi, seperti pada pipa-pipa tekanan dan temperatur tinggi, dan pipa-pipa belokan pada dapur pemanas. GTAW juga digunakan pada *root pass* apabila membutuhkan permukaan dalam yang licin, seperti pada pipa-pipa dalam *acid service*. Karena ada perlindungan *inert gas* terhadap pengelasan dan mudah dalam mengontrol proses las, membuat GTAW sering kali digunakan pada logam-logam reaktif seperti titanium dan magnesium.

Pada pipa-pipa tipis, 0,125 inci atau kurang, bisa digunakan sambungan berbentuk persegi dan rapat. *Root pass* dikerjakan tanpa menambahkan *filler metal* (disebut dengan *autogenous weld*). Pada pipa-pipa tebal, bagian ujung sambungan mesti dibevel, diluruskan dan diberi celah (disebut dengan bukaan akar), kemudian ditambahkan *filler metal* selama pengelasan *root pass*. Sebagai pengganti *filler metal*, bisa juga disisipkan *consumable insert* (ring penahan) ke dalam sambungan, yang nantinya bersatu dengan *root* (sebagai filler metal tambahan). Pengelasan dengan *consumable insert* membutuhkan kontrol kelurusan sambungan yang teliti.



### 2.4.2 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

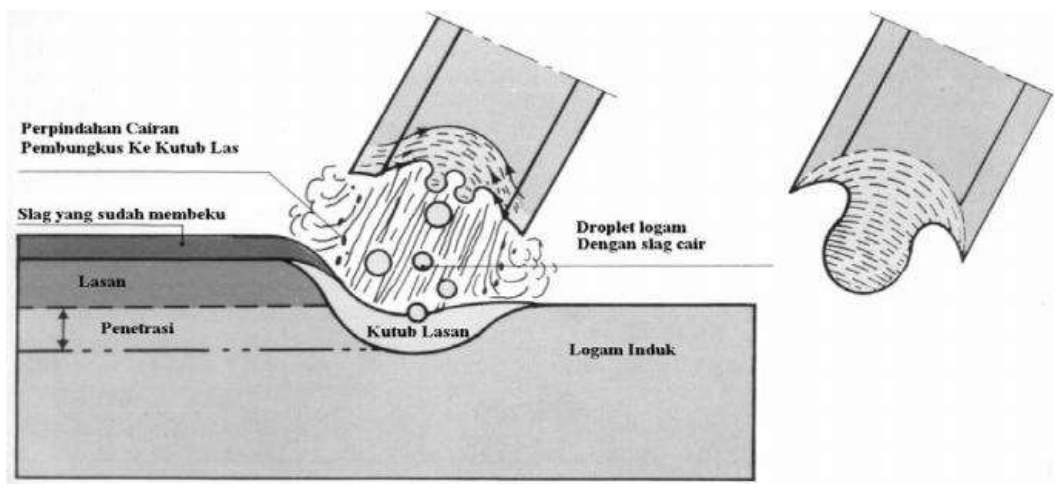
Las elektroda terbungkus atau pengelasan busur listrik logam terlindung (*Shielded Metal Arc Welding* atau SMAW) merupakan salah satu jenis yang paling sederhana dan paling canggih untuk pengelasan baja struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur nyala (listrik) antara elektroda yang dilapis dan logam yang akan disambung yang kemudian akan menjadi satu dan membeku bersama (Salmon, 1990). Pola pemindahan 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 2.13 Las SMAW (Wiryo Sumarto, 2000)**

Prinsip kerja las busur listrik ini adalah dengan mengubah energi listrik menjadi panas untuk mencairkan permukaan logam induk dengan menghasilkan busur nyala listrik melalui sebuah elektroda. Terjadinya busur nyala listrik ini

diakibatkan oleh perbedaan tegangan antara kedua kutub pada dua logam konduktif yaitu elektroda dan logam induk (seperti Gambar 3). Busur nyala listrik itu sendiri terbentuk dengan mendekatkan elektroda ke logam induk hingga pada jarak beberapa millimeter kemudian menarik elektroda agar tidak kontak langsung dengan logam induk untuk menjaga busur tetap menyala. Suhu dari busur nyala listrik tersebut dapat mencapai  $5000^{\circ}\text{C}$  sehingga mampu mencairkan elektroda dan logam induk.



**Gambar 2.14 Prinsip kerja perpindahan logam pada proses SMAW**

Selama proses pengelasan elektroda yang berlapis *fluks* akan habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke logam induk selama proses pengelasan untuk membentuk paduan baru yaitu paduan antara bahan inti elektroda yang mencair dan logam induk yang turut mencair. Kawat elektroda menjadi bahan pengisi dan lapisannya sebagian lagi dikonversi menjadi gas pelindung untuk melindungi pengaruh atmosfer saat pencairan berlangsung dan sebagian lagi menjadi terak oleh logam las untuk melindungi logam paduan selama proses solidifikasi. Pemindahan logam dari elektroda ke bahan yang dilas terjadi karena penarikan molekul dan tarikan permukaan tanpa memberikan tekanan.

#### **2.4.2.1 Pemilihan parameter pengelasan SMAW**

Pemilihan parameter-parameter pengelasan busur listrik elektroda terbungkus sangat berperan penting dalam menentukan kualitas hasil las yang akan diperoleh, adapun pemilihan parameter las untuk SMAW adalah:

a. Tegangan busur las

Panjang busur (*Arc Length*) yang dianggap baik lebih kurang sama dengan diameter elektroda yang dipakai. Untuk besarnya tegangan yang dipakai setiap posisi pengelasan tidak sama. Misalnya diameter elektroda 3-6 mm, mempunyai tegangan 20-30 volt pada posisi datar, dan tegangan ini akan dikurangi antara 2-5 volt pada posisi di atas kepala. Kestabilan tegangan ini sangat menentukan mutu pengelasan dan kestabilan juga dapat didengar melalui suara selama pengelasan.

b. Besar arus listrik

Besarnya arus juga mempengaruhi pengelasan, di mana besarnya arus listrik pada pengelasan tergantung dari bahan dan ukuran lasan, geometri sambungan pengelasan, macam elektroda dan diameter inti elektroda. Untuk pengelasan pada daerah las yang mempunyai daya serap kapasitas panas yang tinggi diperlukan arus listrik yang besar dan mungkin juga diperlukan tambahan panas. Sedangkan untuk pengelasan baja paduan, yang daerah HAZ-nya dapat mengeras dengan mudah akibat pendinginan yang terlalu cepat, maka untuk menahan pendinginan ini diberikan masukan panas yang tinggi yaitu dengan arus pengelasan yang besar. Pengaturan besar kecilnya arus dilakukan dengan cara memutar tombol pengatur arus. Besar arus yang digunakan dapat dilihat pada skala yang ditunjukkan oleh amperemeter yang terletak pada mesin las. Pada masing-masing mesin las, arus minimum dan arus maksimum yang dapat dicapai berbeda-beda, umumnya berkisar antara 100 Ampere sampai 500 Ampere.

**Tabel 2.2 Seleksi Arus**

Diameter (mm)	Panjang (mm)	Arus (A)
8	450	300-500
6,3	450	200-370
6	450	190-310
5	450	120-250
4	450	120-180

4	350	120-190
3,25	450	80-125
3,25	350	80-130
2,5	350	60-95
2	300	50-80

Sumber: W, Kenyon. (1979)

Pemilihan besar arus listrik tergantung dari beberapa faktor, antara lain; diameter elektroda yang digunakan, tebal benda kerja, jenis elektroda yang digunakan, polaritas kutub-kutubnya, dan posisi pengelasan. Umumnya pemilihan besar arus diambil pada nilai tengah dari batas yang direkomendasikan. Didalam kenyataannya pemilihan ukuran diameter tergantung dari perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas serta keahlian tukang lasnya. Ini bisa pula berarti bahwa tiap ukuran diameter elektroda mempunyai kaitan dengan besarnya Ampere yang lewat pada elektroda tersebut.

**Tabel 2.3 Hubungan Diameter Elektroda dengan Arus Pengelasan**

Diameter Elektroda (mm)	Arus (Ampere)
2,5	60-90
2,6	60-90
3,2	80-130
4,0	150-190
5,0	180-250

Sumber: Howard B .C, (1998)

#### 2.4.2.2 Peralatan Las SMAW

Las SMAW terdiri dari beberapa bagian peralatan yang disusun atau dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai suatu unit alat untuk pengelasan. Satu unit las SMAW terdiri dari (Bintoro, 1999):

- a. mesin las
- b. Kabel las
- c. Elektroda

- d. Pemegang elektroda
- e. Tang penghubung kabel massa
- f. Alat bantu, yang umum digunakan contohnya: palu terak, tang untuk memegang benda kerja yang masih panas, sikat kawat, topeng las, dan sebagainya.

Berikut adalah gambar 2.15 Kegiatan Pengelasan SMAW (*shielding metal arc welding*), yaitu:



**Gambar 2.15 Kegiatan Pengelasan SMAW**

### ***2.5 Welding Procedure Specification (WPS)***

Sebelum proses pengerjaan pengelasan dalam suatu proses produksi/ proyek dilakukan, harus terlebih dahulu dibuat *Welding Procedure Specification (WPS)*. WPS adalah dokumen resmi yang menjelaskan prosedur pengelasan yang harus dilakukan dalam suatu proses produksi/ proyek. AWS (*American Welding Society*) menyatakan bahwa WPS menyediakan informasi detail tentang variabel pengelasan sehingga dapat dipastikan pekerjaan pengelasan tersebut dapat dilakukan oleh seorang welder.

Ada empat tahap dalam kualifikasi *welding* prosedur menurut Wiryosumanto (1996), yaitu sebagai berikut:

- a. Persiapan dari Prosedur Kualifikasi benda uji.
- b. Pengujian Procedure Qualification dari sambungan las.
- c. Evaluasi hasil pengujian.
- d. Pengesahan dari Qualification Test dan Procedures Specifications.

Prosedur Pengelasan (WPS) adalah suatu perencanaan untuk pelaksanaan pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi pengelasan yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Karena itu mereka yang menentukan prosedur pengelasan harus mempunyai pengetahuan dalam hal pengetahuan bahan dan teknologi pengelasan itu sendiri serta dapat menggunakan pengetahuan tersebut untuk efisiensi dari suatu aktivitas produksi.

Didalam pembuatan prosedur pengelasan (WPS) code atau Standard yang lazim dipakai dinegara kita adalah *American Standard* (ASME, AWS dan API). Selain *American Standard design* dan fabrikasi yang sering kita jumpai adalah *British Standard* (BS), *Germany Standard* (DIN), *Japanese Standard* (JIS) dan *International Standard of Organization* (ISO). Akan tetapi, hingga saat ini standar yang paling sering dijadikan acuan untuk pembuatan prosedur pengelasan ASME Code Sect IX (*Boiler, Pressure Vessel, Heat Exchanger, Storage Tank*), API Std 1104 (*Pipeline*) dan AWS (*Structure & Plat Form*).

*Welding Procedure Specification* (WPS) adalah Prosedur yang digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan Proses pengelasan yang meliputi rancangan rinci dari teknik pengelasan yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Dalam hal ini prosedur pengelasan merupakan langkah-langkah pelaksanaan pengelasan untuk mendapatkan mutu pengelasan yang memenuhi syarat.

Dalam prosedur Pengelasan (WPS) harus ditampilkan variabel-variabel yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Variabel-variabel itu dapat digolongkan menjadi 3 (Tiga) kelompok:

- a. *Essential Variabel*. Suatu variabel yang bila diubah akan berpengaruh pada *mechanical properties* hasil pengelasan.

- b. *Supplement Essential Variabel*. Suatu variabel yang bila diubah akan berpengaruh pada Nilai *Impact* hasil pengelasan.
- c. *Non Essential Variabel*. Suatu variabel bila diubah tidak akan mempengaruhi nilai *impact* dan *mechanical properties* hasil pengelasan.

### 2.5.1 Langkah-Langkah Pembuatan Prosedure Pengelasan (WPS)

Pada umumnya langkah pertama dalam pembuatan WPS adalah dengan menyusun draft / preliminary prosedure pengelasan yang terdiri dari aktivitas:

- a. Melakukan pengelasan pada *test coupon* sesuai dengan parameter-parameter pengelasan yang telah tertulis dalam draft prosedure tersebut.
- b. Membuat *test specimen* dan melakukan uji specimen dengan *Destructive Test*.
- c. Mengevaluasi hasil *Destructive Test* dengan *Standard / code* yang digunakan.
- d. Mencatat dan mensertifikasi hasil uji tersebut pada lembar Prosedur Kualifikasi Record (PQR).

### 2.5.2 Faktor utama penyusunan pengelasan (WPS)

Berikut ini adalah faktor utama dalam menyusun WPS yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. Apakah jenis material induknya (*Base Metal*)
- b. Jenis proses *welding* yang digunakan
- c. Jenis kawat las yang dipakai
- d. Kondisi pemakaian alat yang akan di las

Faktor tambahan yang diperhatikan dalam penyusunan WPS selain pada persyaratan utama diatas antara lain:

- a. *Compability* antara kawat las dan material induk (*Base Metal*).
- b. Sifat-sifat *metallurgy* dari material tersebut khususnya kemampuan material untuk dapat di las (*weldability*).
- c. Proses pemanasan (*Preheat, Post Heat, Interpass Temperatur Dan PWHT*).
- d. *Design* sambungan dan beban.
- e. *Mechanical properties* yang diinginkan.
- f. Lingkungan kerja (*enviroment work*) pada *equipment* tersebut.
- g. Kemampuan *welder*.
- h. *Safety*.

### 2.5.3 Cara Mengkualifikasi Prosedur Pengelasan (WPS)

Langkah – langkah dalam melakukan kualifikasi prosedur pengelasan, yaitu sebagai berikut:

- a. Membuat *Test Coupon*.
- b. Melakukan pengelasan pada *test coupon* dengan parameter-parameter sesuai yang tercantum dalam *draft Procedure* pengelasan (WPS). Hal-hal yang dianjurkan adalah mencatat semua variabel *essential*, *non essential* maupun *Supplementary essential*.
- c. Memotong test coupon untuk dijadikan specimen test DT (*Destructive Test*).
- d. Jika hasil test DT dinyatakan *accepted* harus di *record* pada *Procedure Kualifikasi Pengelasan (PQR)*.
- e. Membandingkan hasil PQR dengan parameter yang ada di WPS untuk menjamin bahwa range dan parameter yang tercantum pada WPS tercover pada PQR.

### 2.5.4 Code Qualification Requirements (CQR)

Pembuatan WPS mengacu pada standar-standar dibawah ini, yaitu:

- a. AWS D1.1, Structural Welding Code – Steel.
- b. ASME Boiler and Pressure Vessel Code.
- c. API Standard 1104, Standard of Welding Pipelines and Related Facilities.

### 2.5.5 Tanggungjawab *Welding Inspector*

Berikut ini adalah tanggungjawab *Welding Inspector* terdiri dari dua klasifikasi, yaitu dalam bentuk kualifikasi dan dokumentasi, yaitu:

#### 2.5.5.1 Tanggungjawan *Welding Inspector* dalam bentuk kualifikasi

- a. *Welding Procedur Qualification*.

Sebelum kontrak pekerjaan pengelasan dilaksanakan tugas dari *Welding Inspector* untuk memeriksa apakah *welding procedure* sudah dibuat dan apakah dapat menjamin penyambungan dan pengelasan yang memuaskan.



b. *Welding Inspection.*

Setelah Lolos dari pengujian kualifikasi dilanjutkan pemeriksaan yang dilakukan untuk melihat pelaksanaan dari *welding procedure* tersebut. Welding inspector harus mengetahui pengujian pada:

- *Plate and Structural Member Welding.*
- *Pipe Welding.*
- *Sheet Metal welding.*
- *Brazing.*
- *Positions of Welding and Brazing.*
- *Testing of Qualification Welds and Brazes.*

### 2.5.5.2 Tanggungjawan *Welding Inspector* dalam bentuk dokumentasi

Berikut adalah gambar 2.16 yang merupakan contoh WPS:

#### Welding Procedure Specification:- Example

<b>Weld Procedure Number</b>		30 P1 TIG 01 Issue A	
<b>Qualifying Welding Procedure (WPAR)</b>		WP T17/A	
<b>Manufacturer:</b>	National Fabs Ltd 25 Lane End Birkenshaw Leeds	<b>Method Of Preparation and Cleaning:</b>	Machine and Degrease
<b>Location:</b>	Workshop	<b>Parent Metal Specification:</b>	Grade 304L Stainless Steel
<b>Welding Process:</b>	Manual TIG	<b>Parent Metal Thickness:</b>	3 to 8mm Wall
<b>Joint Type:</b>	Single Sided Butt Weld	<b>Pipe Outside Diameter:</b>	25 to 100mm
		<b>Welding Position:</b>	All Positions
		<b>Welding Progression:</b>	Upwards

<b>Joint Design</b>	<b>Welding Sequences</b>

Run	Process	Size Of Filler Metal	Current A	Voltage V	Type Of Current/Polarity	Wire Feed Speed	Travel Speed	Heat Input
1	TIG	1.2mm	70 - 90	N/A	DC-	N/A	N/A	N/A
2 And Subs	TIG	1.6mm	80 - 140	N/A	DC-	N/A	N/A	N/A

<b>Welding Consumables:-</b>		<b>Production Sequence</b>
Type, Designation Trade Name:	BS 2901 Part 2 : 308S92	<ol style="list-style-type: none"> <li>Clean weld and 25mm borders to bright metal using approved solvent.</li> <li>Position items to be welded ensuring good fit up and apply purge</li> <li>Tack weld parts together using TIG, tacks to at least 5mm min length</li> <li>Deposit root run using 1.2mm dia. wire.</li> <li>Inspect root run internally</li> <li>Complete weld using 1.6mm dia wire using stringer beads as required.</li> <li>100% Visual inspection of completed weld</li> </ol>
Any Special Baking or Drying:	No	
Gas Flux:	Argon 99.99% Purity	
Gas Flow Rate - Shield:	8 - 12 LPM	
- Backing:	5 LPM	
Tungsten Electrode Type/ Size:	2% Thoriated 2.4mm Dia	
Details of Back Gouging/Backing:	Gas Backing	
Preheat Temperature:	5°C Min	
Interpass temperature:	200°C Max	
Post Weld Heat Treatment Time, temperature, method:	Not Required	
Heating and Cooling Rates <sup>m</sup> :		

Gambar 2.16 Contoh WPS

WPS adalah dokumen yang harus disiapkan oleh pembuat (*fabricator*) dan berisi beberapa hal penting seperti:

- a. Proses pengelasan atau kombinasi dari proses pengelasan.
- b. Supporting PQR number or PQR number.
- c. Spesifikasi bahan (*Base Metal*).
- d. Batas ketebalan material.
- e. Filler metal *specification*, *F-number* (tipe dan ukuran dari elektroda, dll).
- f. Posisi pengelasan (*Welding position*).
- g. *Joint design* (contohnya, *single V*, *Double V*, dll).
- h. *Range of preheat and interpass temperature*.
- i. *Post weld heat treatment (temperature and time)*.
- j. Karakteristik listrik (polaritas, ampere, volts, dll).
- k. *Technique and bead placement (travel speed, stringer or wave bead)*.
- l. Metode perlindungan (*Method of shielding*).
- m. WPS memberikan petunjuk bagi *welder* dan *welding operators* serta memiliki peranan yang sangat penting dalam proses pengelasan. Beberapa item yang terdaftar dibawah pengawasan WPS harus diperhatikan setiap bagiannya dan harus diminta prosedur kualifikasi yang baru jika terjadi perubahan pada item tersebut.

## 2.6 Procedure Qualification Record (PQR)

PQR (*Procedure Qualification Record*) merupakan catatan atau record dari semua parameter essential variable pada saat test coupon dilaksanakan. PQR hanya dibutuhkan untuk WPS yang membutuhkan kualifikasi. Untuk WPS prequalifikasi tidak perlu membutuhkan PQR karena memang tidak dilakukan *test coupon*. Semua *requirement* yang ada dalam standar merupakan syarat minimum yang harus dipenuhi oleh *contractor*. Artinya kita boleh melengkapi data data lain yang dianggap perlu untuk dapat dikatakan suatu *report* yang baik. Dimana dikemudian hari akan berguna didalam argumentasi atau pertanyaan dari pihak pihak yang membutuhkan klarifikasi. PQR yang lengkap terdiri dari data-data berikut ini:

- a. *Record parameter welding* lengkap sesuai Standar.
- b. *Record parameter welding* yang bukan essential tapi mungkin di butuhkan dalam produksi atau mutu.
- c. Data Material *certificate test coupon*
- d. Data *consumable certificate* yang digunakan dalam welding test coupon
- e. Data lulus uji NDT (*Non Destructive Test*) seperti MPI (*Magnetic Particle Inspection*), PT (*Penetrant Test*) atau RT (*Radiography Test*)
- f. Data lulus DT (*Destructive Test*) dari badan *independent test*

PQR adalah dokumen pendukung untuk WPS dan berisi spesifikasi seperti:

- a. *Applicable WPS number of numbers.*
- b. Proses pengelasan.
- c. Bahan (metal) yang digunakan untuk test kualifikasi (untuk tipenya), komposisi kima (*chemical composition*), dan mechanical properties (seperti *ASTIM A-36*).
- d. Ketebalan bahan dan/atau diameter yang digunakan untuk test kualifikasi.
- e. *Filler metal type and F-number.*
- f. Ukuran *filler metal* (diameter dari elektroda).
- g. Preheat and interpass temperature.
- h. *Post weld heat treatment.*
- i. Karakteristik listrik (polaritas, *ampere, volts*, dll).
- j. *Technique and bead placement (travel speed, stringer or wave bead).*
- k. *Test result* – tensile test, bend test, dll.
- l. Nama *Welder's*.
- m. Tanda tangan pembuat (*Manufacturer's*) dan saksi inspector's.

Jenis jenis parameter *welding* yang harus *direcord* saat *running test coupon* minimal harus memuat semua essential variable yang telah ditentukan dalam standar yang digunakan untuk masing masing proses pengelasan. Perlu diingat bahwa essential variable untuk proses welding tertentu berbeda dengan proses welding yang lainnya. Misalnya essential variable proses pengelasan SMAW tidak sama dengan essential variable proses pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), GTAW (*Gas Tungsten Arc welding*), atau SAW (*Submerged Arc*

*Welding*). Perbedaan ini disebabkan oleh masing masing proses mempunyai bentuk mesin dan peralatan yang berbeda beda sesuai dengan desainnya.

## 2.7 Jenis Pengujian

Pada penelitian ini pengujian hanya difokuskan pada karakter yang dihasilkan oleh hasil uji tarik, uji bending, dan uji penetrant. Berikut masing-masing penjelasannya:

### 2.7.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap beban statis yang diberikan secara lambat, dalam hal ini beban statis tersebut adalah tarikan. Metode uji tarik yaitu dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah dalam satu garis lurus. Melalui uji tarik juga dapat diketahui elongasi dari suatu bahan. Pada penelitian ini standar pengujian uji tarik mengikuti standar ASTM D 3039.

Secara sederhana tegangan tarik yang bekerja pada suatu material dapat dirumuskan oleh persamaan:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{max}$  : Beban normal atau beban yang diberikan searah tegak lurus terhadap penampang specimen (N)

$A_0$  : Luas awal penampang specimen sebelum diberikan pembebanan (mm<sup>2</sup>)

Tegangan pada suatu sistem akan menyebabkan terjadinya regangan, yaitu perubahan panjang atau perubahan ukuran benda. Regangan dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  : Regangan

$\Delta l$  : Pertambahan panjang pada spesimen setelah pembebanan (mm)

$l_0$  : Panjang spesimen awal sebelum pembebanan (mm)

$l$  : Panjang spesimen setelah mengalami uji tarik (mm)

Dari dua besaran ini didapatkan suatu besaran lain yang dinamakan sifat elastisitas benda atau lebih umum dinamakan modulus. Modulus elastisitas adalah sifat mekanik material yang menunjukkan seberapa besar material untuk kembali ke bentuk semula setelah diberikan tegangan tertentu. Modulus elastisitas dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$E$  : Modulus elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

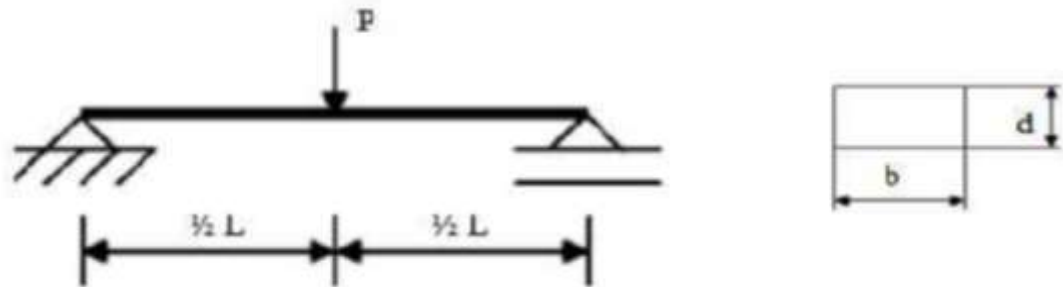
$\sigma$  : Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  : Regangan Tarik

### 2.7.2 Uji *Bending* (Uji Bengkok)

Secara umum proses pengujian bending memiliki 2 cara pengujian, yaitu: *Three point bending* dan *Four point bending*. Kedua cara pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing karena tiap cara pengujian memiliki cara perhitungan yang berbeda-beda. Namun, pada penelitian ini hanya akan dilakukan pengujian *Three point bending*, berikut penjelasannya:

*Three point bending* adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan.



**Gambar 2.17 Three point bending (Khamid, 2011)**

Perhitungan yang digunakan (West Conshohocken, 1996):

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (2.4)$$

Keterangan rumus:

- $\sigma_f$  : Tegangan lengkung (kgf/mm<sup>2</sup>)
- P : beban atau Gaya yang terjadi (kgf)
- L : Jarak point (mm)
- b : lebar benda uji (mm)
- d : Ketebalan benda uji (mm)

### 2.7.3 Uji Penetrant (*Penetrant Test*)

Penetrant test adalah pengujian pada hasil lasan yang menggunakan prinsip kapilaritas dengan menggunakan cairan penetrant. Ada 3 cairan yang digunakan dalam pengujian penetrant ini yaitu *Cleaner* yang digunakan untuk membersihkan daerah dan hasil pengelasan, cairan *penetrant* cairan penetrant berguna sebagai indikator kerusakan (cacat) dalam lasan dengan warna merah, cairan *Developer* berguna sebagai pembeda dengan berwarna putih. Pengujian penetrant tes harus dilakukan secara bertahap berdasarkan fungsi masing-masing cairan. Berikut Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Permukaan yang diperiksa dibersihkan dari kotoran yang mungkin menyumbat atau menutupi celah menggunakan sikat kawat.
2. Setelah permukaan bersih, bersihkan menggunakan cairan cleaner yg di semprotkan ke kain lap kemudian di lap sampai bersih.
3. Setelah dibersihkan, kemudian semprotkan cairan penetrant lalu tunggu 10 sampai dengan 15 menit.
4. Setelah 10-15 menit, bersihkan penetran dengan cairan cleaner yang disemprotkan ke kain lap hingga bersih.
5. Setelah bersih, semprotkan cairan developer, setelah itu dilihat bagian yang mengalami cacat pada pengelasan dan berikan tanda.

### 2.7.3 Uji Kekerasan (Hardness Test)

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  $136^{\circ}$ . 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.

$$VHN = \frac{2F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{2F \sin\left(\frac{136^{\circ}}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854F}{L^2} \quad (2.5)$$



Keterangan rumus :

F : Beban (kg)

L : Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\Theta$  : Sudut piramida 136

## 2.8 Referensi Penelitian

Dibawah ini merupakan matriks referensi penelitian. Referensi ini didapat dari jurnal-jurnal yang membahas tentang sambungan las SMAW dan GTAW.

Tahun	Nama Peneliti	Judul	Kesimpulan
2017	M. Abdus Shomad	Analisis pengaruh variasi elektroda las e6013 dan e7018 terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada bahan baja ss 400.	Nilai rata-rata kekuatan tarik, tegangan luluh dan regangan untuk spesimen variasi elektroda E6013 mempunyai nilai yang paling rendah jika dibandingkan dengan kelompok lainnya yaitu sebesar 283,80 Mpa untuk kekuatan tarik, mengalami penurunan sebesar 148,69 Mpa dari kelompok raw materials dan mengalami penurunan sebesar 138,28 Mpa dari kelompok variasi elektroda E7018. Nilai untuk tegangan luluh sebesar 284,33 Mpa, mengalami penurunan sebesar 24,20 Mpa dari kelompok raw materials dan mengalami penurunan sebesar 14,89 Mpa dari kelompok variasi elektroda E7018. Nilai untuk regangan sebesar 4,8 %, mengalami penurunan sebesar 30,8 % dari kelompok raw materials dan mengalami penurunan sebesar 15,8 % dari kelompok variasi elektroda E7018.
2016	Cahaya Sutowo	Analisa Pengaruh Pengelasan Tig Dan	1. Teknik pengelasan TIG dan MIG berpengaruh

		Mig Pada Sambungan Las Dengan Material Tipe Ss316 Dan Ss304	<p>pada masing-masing material, diantaranya pada hasil uji struktur mikro, uji kekerasan, uji tarik dan uji impak.</p> <p>2. Nilai kuat impak terbesar pada material SS316 dan SS304 terjadi pada pengelasan MIG yaitu sebesar 570.5 Joule/cm dan 696.8 Joule/cm</p> <p>3. Nilai tegangan tarik terbesar pada material SS316 terjadi pada pengelasan TIG yaitu sebesar 602.61 N/mm, sedangkan pada material SS304 terjadi pada pengelasan MIG yaitu sebesar 347.71 N/mm</p> <p>4. Pengujian tarik yang dilakukan pada material SS304 baik dengan pengelasan TIG maupun MIG mengalami patah di sambungan las. Pada material SS316 dengan pengelasan MIG spesimen mengalami patah di sambungan las, sedangkan dengan pengelasan TIG spesimen mengalami patah pada materialnya (plat)</p>
2016	Ikhsan Kholis	Kualifikasi Welding Procedure Specification(Wps) Dan Juru Las (Welder) Berdasarkan Asme Section Ix Di Industri Migas	<p>1. WPS merupakan prosedur pengelasan tertulis yang berisi parameter-parameter pengelasan untuk memberikan arahan kepada welder dalam membuat lasan produksi (production weld) harus dilakukan kualifikasi</p>

			<p>berdasarkan ASME Section IX.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Hasil pengujian terhadap WPS yang dikualifikasi dituangkan ke dalam Procedure Qualification Record (PQR).</li> <li>3. WPS yang sudah terqualifikasi sesuai ASME Section IX dapat digunakan untuk production weld dan kualifikasi welder.</li> </ol>
2016	M. Yogi Nasrul L.,	Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St 3	<p>Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi arus las SMAW pada sambungan stainless steel 304 dan ST 37 memberikan pengaruh pada kekerasannya. Semakin besar arus yang digunakan maka akan meningkatkan kekerasannya pada daerah weld metal dan nilai kekerasan terbesar dimiliki spesimen arus 80 ampere sebesar 92,5 HRB di titik 0 dan 93 HRB di titik 1.</p>
2016	Vuri Ayu Setyowati	Variasi Arus Dan Sudut Pengelasan Pada Material Austenitic Stainless Steel 304 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Makro	<p>Berdasarkan hasil pengujian, spesimen benda uji dengan sudut pengelasan 45° besar beban maksimal (<math>\sigma</math>) terjadi pada arus 85 A yaitu sebesar 518 N/mm<sup>2</sup> dan memiliki tegangan luluh paling tinggi yaitu 449 N/mm<sup>2</sup>. Kenaikan arus pengelasan menyebabkan weld pool yang lebih besar dan permukaan penampang samping terlihat jelas bentuk kampuh sampel pengelasan.</p>