

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Peneliti Terdahulu

Penelitian tentang sambungan las telah banyak dilakukan, namun penelitian tentang sambungan las dengan variasi arus, elektroda dan posisi pengelasan dengan pengujian kekuatan tarik masih perlu dikembangkan agar mendapatkan kualitas pengelasan yang baik. Ada beberapa penelitian terdahulu yang bisa dijadikan referensi untuk penelitian tentang sambungan las ini.

Pertama, Agustina dan Imran (2018) melakukan penelitian tentang “Analisa Besar Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Plat Baja Karbon *ST 40* dengan Menggunakan Pengelasan SMAW” dalam penelitian ini pengelasan yang digunakan adalah metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kuat tarik tertinggi dengan arus 80A sebesar 340,87 N/mm<sup>2</sup> dan kuat tarik terendah pada arus 120A sebesar 330,48 N/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada 100A saat ini dengan nilai rata-rata masing-masing wilayah; lasannya 49,7 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 51 kg/mm<sup>2</sup>, dan logam dasar 49 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan terendah pada arus 120A dengan nilai rata-rata masing-masing daerah; las 48,8 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ 49,7 kg/mm<sup>2</sup>, dan logam dasar 49,5 kg/mm<sup>2</sup>.

Kedua, Rizki Wahyudi, dkk (2019) (Analisa Pengaruh Jenis Elektroda pada Pengelasan SMAW Penyambungan Baja Karbon Rendah dengan Baja Karbon Sedang terhadap *Tensile Strength*) dari penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda terhadap kekuatan tarik pengelasan material ASTM A36 dengan AISI 1050 menggunakan proses pengelasan SMAW yang diberi perlakuan pengelasan dengan variasi jenis elektroda yaitu E7016, E7018 dan E7016 + E7018. Dari hasil penelitian maka dapat dijelaskan bahwa jenis elektroda berpengaruh terhadap kekuatan tarik material dimana nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada jenis elektroda E7016 + E7018 yaitu sebesar 55.06 kgf/mm<sup>2</sup> selanjutnya diikuti oleh elektroda E7016 yaitu sebesar 54.29 kgf/mm<sup>2</sup> dan terakhir dengan nilai terendah menggunakan elektroda E7018 yaitu sebesar 51.81 kgf/mm<sup>2</sup>.

Ketiga, Suryono, dkk (2020) telah melakukan penelitian tentang (Analisa Uji Tarik Las SMAW Terhadap Sambungan *Square Butt Joint* Dengan Variasi Ketebalan Plat ST 37). Hasil pengujian uji tarik yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa spesimen 3 mm yang di las menggunakan sambungan las *square butt joint*, patahan terjadi di daerah *gage length* karena hasil pengelasan tertutup penuh dan tegangan minimum yang diperoleh 396,82 N/mm<sup>2</sup>. Pada spesimen 5 mm yang di las menggunakan sambungan las *square butt joint*, tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 594,40 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada spesimen 7 mm tegangan mengalami penurunan sebesar 6,48 % dan dari hasil uji tarik oleh spesimen 5 mm dan 7 mm, patahan terjadi pada sambungan las. Pada sambungan las spesimen 7 mm terlihat dari hasil pengelasan ada rongga atau celah. Hal ini menunjukkan bahwa lasan tidak penuh.

Keempat, dalam penelitian Rio Rinaldi, dkk (2019) tentang “Studi Eksperimental Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Pipa ASTM A 106 Grade B dengan pengelasan SMAW” Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las pipa ASTM A 106 Grade B menggunakan proses pengelasan SMAW menggunakan arus 80 A . Elektroda yang digunakan adalah E 6010 dan E 7018, kampuh yang digunakan adalah kampuh v dengan sudut 35 derajat. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan Kekerasan.. Dari hasil penelitian maka di dapat nilai rata rata Kekuatan tegangan tarik senilai 41,83 kgf/mm<sup>2</sup> dan untuk nilai rata rata kekuatan regangan tarik (kgf/mm<sup>2</sup>) senilai 8,25%. Hasil rata rata dari setiap titik pengujian kekerasan, Nilai rata-rata base metal I senilai 61,12 HRC, HAZ I senilai 54,37 HRC, Weld senilai 61,62 HRC, HAZ II senilai 54,12 HRC dan base metal II senilai 59,35 HRC.

Kelima, Naharuddin, dkk (2015) dengan judul “Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja SM 490 Dengan Metode Pengelasan Smaw Dan Saw” Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan bending. Kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada metode pengelasan SMAW dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 666,05 MPa dibandingkan dengan metode pengelasan SAW sebesar 621,78 Mpa dan raw material sebesar 608,28 MPa. Kekuatan bending pada sambungan las metode pengelasan SMAW sebesar

109,46 MPa lebih besar dibandingkan dengan nilai kekuatan bending pada metode SAW sebesar 76,68 MPa, dan raw material atau tanpa pengelasan sebesar 68,28 MPa.

Keenam, penelitian yang dilakukan oleh Anwar (2017) dengan judul “Analisis Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Posisi Bawah Tangan Dengan Perbedaan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Baja ST 42”. Pengujian tarik sambungan las dari masing-masing kelompok sampel terdiri dari 3 spesimen, hasil perhitungan kekuatan tarik diperoleh X rata-rata untuk pengelasan kampuh I tunggal pada arus 70 ampere sebesar 65,5 kN, 80 ampere sebesar 67,65 kN, 90 ampere sebesar 68,53, 100 ampere sebesar 72,11 kN, dan 110 ampere sebesar 72,15 kN. Sehingga dapat disimpulkan elektroda E 6012 memiliki kekuatan tarik maksimum pada kuat arus 100 sampai 110 ampere.

Ketujuh, dalam penelitian Putri (2010) yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Jarak Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik, Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda 6013”. Dari hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan dengan menggunakan arus 70 A – 110 A dengan jarak kampuh 1 mm dan 2 mm, diperoleh arus 110 A dengan jarak kampuh 1 mm yang memiliki kekuatan tarik maksimum yaitu 507,33 N/mm<sup>2</sup>. Makin besar arus dan makin besar jarak pengelasan maka makin lebar *weldment* yang terjadi.

Kedelapan, Amin (2017) dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las Titik Logam *Dissimilar Stainless Steel* Dan Baja Karbon Rendah”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Peningkatan arus listrik dari 60 A ke 70 A berdampak pada kenaikan kekuatan tarik. Sedangkan peningkatan arus listrik dari 70 A ke 80 A memperlihatkan penurunan kekuatan tarik. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kondisi terbaik terjadi pada arus listrik 70 A yang memberikan kekuatan tarik sebesar 190,920 kN/mm<sup>2</sup>. Pengamatan struktur mikro pada sambungan las titik logam *dissimilar* antara *stainless steel* dan baja karbon rendah memiliki *fusion zone* yang tidak simetris. Terjadi karena adanya perbedaan konduktivitas thermal bahan logam yang digunakan. Las titik dengan variasi arus listrik 70 A menghasilkan daerah HAZ yang didominasi oleh struktur perlit dengan butiran yang lebih halus dan homogen dibandingkan spesimen lainnya.

Adapun kesamaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti yang diatas adalah terletak pada metode pengelasan yaitu metode SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*), dan pengujian mekanik yang dilakukan adalah uji tarik. Sedangkan perbedaannya adalah penelitian ini menggunakan material plat baja ST 37 dan ASTM A36 dengan parameter pengelasan arus 70 A, 90 A, 110 A dan elektroda E6013, E7016, E7018 serta posisi pengelasan 1G, 2G, 3G dengan jenis kampuh V sudut kemiringan 60°.

## 2.2 Pengertian Las

Menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) pengelasan 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 energi panas. Menurut Alip (1989) 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. Las adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (Widharto, 2001). Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

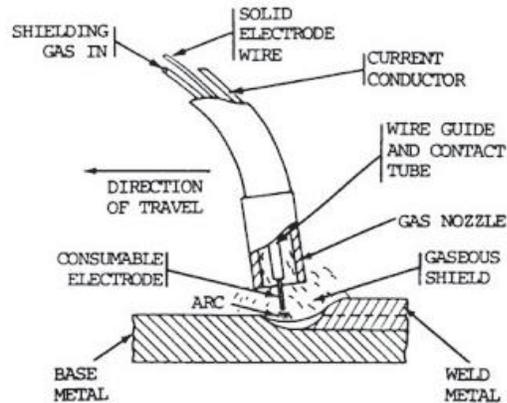
Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam kontruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran dan sebagainya. Standar yang sering digunakan dalam pengelasan konstruksi adalah AWS (*American Welding Society*).

## 2.3 Metode Pengelasan

Pengelasan dibagi beberapa metode pengelasan yaitu *metal inert gas (MIG)*, *Tungsten Inert Gas (TIG)*, *Plasma Arc Welding (PAW)*, *Submerged Arc Welding (SAW)*, dan Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).

### 2.3.1 Metal Inert Gas (MIG)

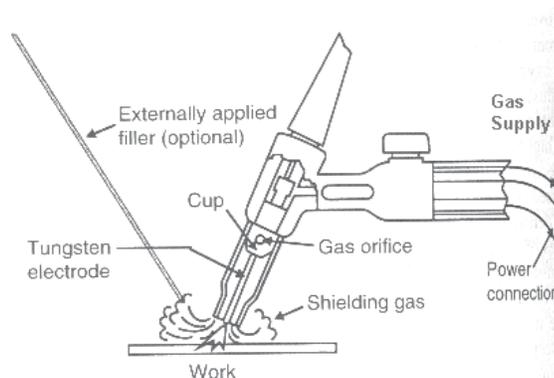
Pengelasan metode ini menggunakan elektroda logam dan menggunakan gas *inert* (Argon, Helium) untuk menghindari inklusi atau pengotor oksida. Gas *inert* sangat dibutuhkan untuk logam yang reaktif terhadap atmosfer udara seperti: Al, Mg, Ti. Jenis pengelasan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Metode pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)  
(Sumber: Groover, 2010)

### 2.3.2 Tungsten Inert Gas (TIG)

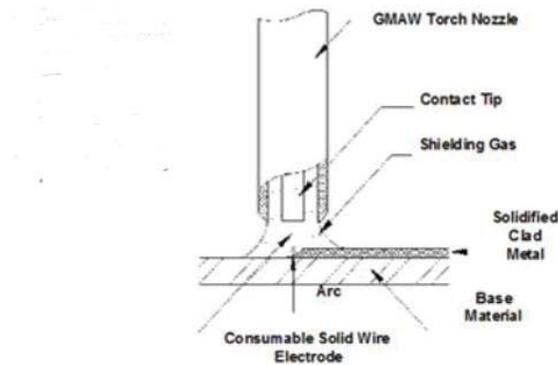
Pengelasan metode ini elektrodanya khusus menggunakan *Wolfram*. Titik cair elektroda *wolfram* yang sampai  $3410^{\circ}\text{C}$  membuat ia tidak ikut mencair pada saat terjadi pengelasan busur listrik menggunakan gas *inert* argon dan helium. Gas *inert* untuk logam yang reaktif terhadap atmosfer udara seperti: Al, Mg, Ti. Jenis pengelasan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Metode *Tungsten Inert Gas* (TIG)  
(Sumber: Groover, 2010)

### 2.3.3 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

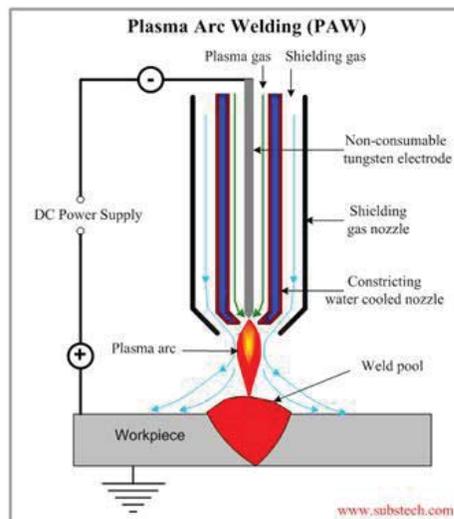
Pengelasan metode ini Menggunakan elektroda logam, dengan gas pelindung tidak harus *inert*, misalnya  $\text{CO}_2$  (hanya untuk pengelasan *carbon steel* dan *low alloy steel*). Jenis pengelasan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)  
(Sumber: Groover, 2010)

#### 2.3.4 *Plasma Arc Welding* (PAW)

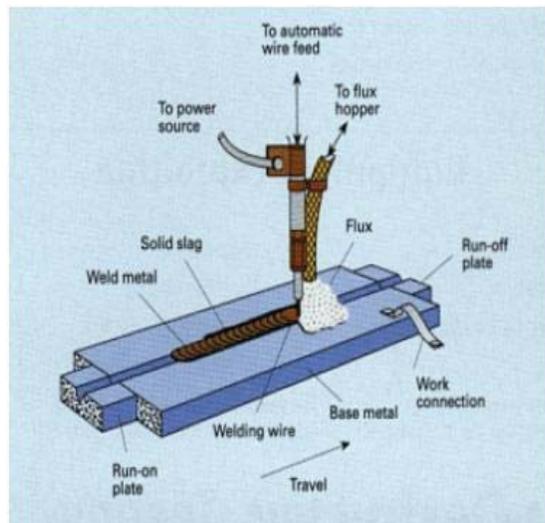
Pengelasan metode ini sama dengan TIG menggunakan elektroda *wolfram* (tidak meleleh), *filler* diumpan secara manual. Perbedaannya pada PAW terdapat gas plasma yang mengandung ion positif dan negatif, sehingga hasil penetrasi dari PAW lebih dalam karena konsentrasi energi lebih besar, dan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) relatif lebih kecil karena ada plasma gas, stabilitas busur lebih baik dari TIG. jenis pengelasan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Metode *Plasma Arc Welding* (PAW)  
(Sumber: Groover, 2010)

### 2.3.5 *Submerged Arc Welding (SAW)*

Pengelasan metode ini menggunakan elektroda dalam bentuk kawat diumpungkan ke kampuh las benda kerja secara kontinu dan ditutup dengan *flux* dalam bentuk serbuk halus. Busur listrik tercipta diantara elektroda dan benda kerja namun tidak terlihat karena elektroda tertutup oleh *flux*. jenis pengelasan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.5.

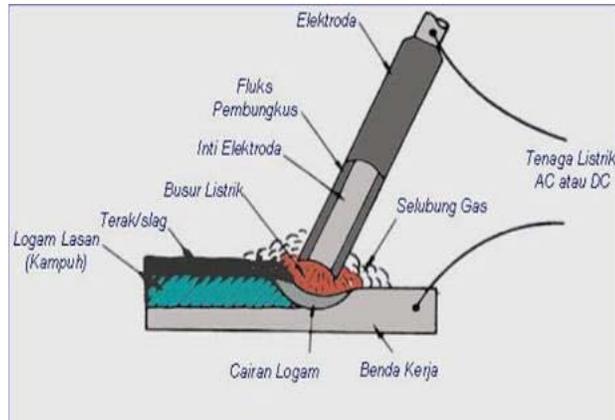


**Gambar 2.5** Metode *Submerged Arc Welding (SAW)*  
(Sumber: Groover, 2010)

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

Pengelasan metode ini Menggunakan elektroda logam. Selaput elektroda yang turut terbakar akan mencair dan menghasilkan gas yang melindungi ujung elektroda, kawah las, busur listrik dan daerah las di sekitar busur listrik terhadap pengaruh udara luar. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja, busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Elektroda selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las (Perdianto, 2015). Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. 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. Jenis pengelasan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Pengelasan SMAW  
(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

Faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah prosedur pengelasan yaitu cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Proses produksi pengelasan yang dimaksud adalah proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) (Wiryosumarto, 1996). Berikut kelebihan dan kekurangan pengelasan SMAW dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kelebihan dan kekurangan las SMAW

No	Kelebihan	Kekurangan
1.	Dapat dipakai dimana saja didalam air maupun di luar air,	Pengelasan terbatas hanya sampai sepanjang elektroda dan harus melakukan penyambungan
2.	Pengelasan dengan segala posisi,	Setiap akan melakukan pengelasan berikutnya slag harus dibersihkan.
3.	Elektroda tersedia dengan mudah dalam banyak ukuran dan diameter,	Tidak dapat digunakan untuk pengelasan bahan baja non - ferrous.
4.	Peralatan yang digunakan sederhana, murah dan mudah dibawa kemanamana,	Efisiensi endapan rendah.
5.	Tingkat kebisingan rendah ( <i>rectifier</i> ),	Diameter elektroda tergantung dari tebal pelat dan posisi pengelasan.

No	Kelebihan	Kekurangan
6.	Tidak terlalu sensitif terhadap korosi, oli dan gemuk	
7.	Dapat di kerjakan pada ketebalan berapapun	

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan (Wiryo Sumarto, 1996).

## 2.5 Mesin Las

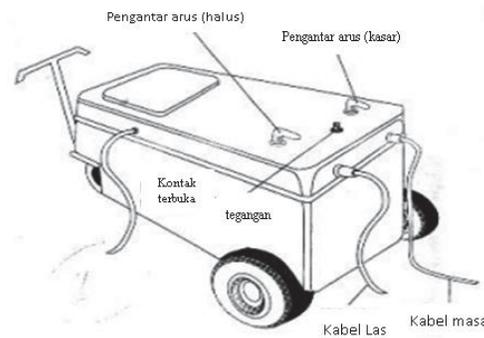
Menurut Bintoro (2000) mesin las pada unit peralatan las berdasarkan arus yang dikeluarkan pada ujung-ujung elektroda dibedakan menjadi 2, yaitu:

### 2.5.1 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 2.7 mesin las arus AC.

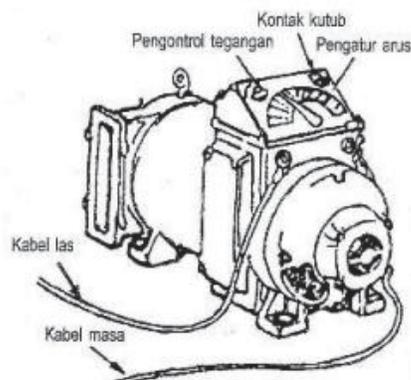


**Gambar 2.7** Mesin las arus AC

(Sumber: Bintoro, 2000)

### 2.5.2 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 2.8 Mesin las arus DC.



**Gambar 2.8** Mesin las arus DC

(Sumber: Bintoro, 2000)

## 2.6 Sambungan Las

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang *kontinu* (Sonawan, 2006). Penyambungan dengan cara mengelas merupakan salah satu metode penyambungan yang luas penggunaannya pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Metode penyambungan lain yang digunakan pada sambungan logam adalah baut dan keling. Teknologi pengelasan, selain dapat dipakai untuk menyambung dan memotong logam, juga dapat dipakai untuk mengisi lubang-lubang pada coran, membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam-macam reparasi lainnya. Ada beberapa macam jenis pengelasan yang dilakukan untuk menyambung logam, yaitu:

### 2.6.1 Sambungan Tumpang (*Lap Joint*)

Potongan yang akan disambung tidak memerlukan ketepatan dalam pembuatannya bila dibanding dengan jenis sambungan lain. Potongan tersebut dapat digeser untuk mengakomodasi kesalahan kecil dalam pembuatan atau untuk penyesuaian panjang dan mudah digunakan untuk menyambung plat yang tebalnya berlainan seperti yang terlihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Sambungan tumpang (*lap joint*)  
(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

### 2.6.2 Sambungan Tekuk (*Edge Joint*)

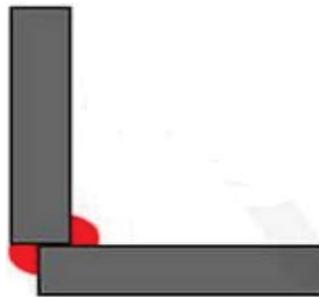
Sambungan tekuk (*edge joint*) sisi-sisi yang ditekuk dari ke dua bagian yang akan disambung sejajar, dan sambungan dibuat pada kedua ujung bagian tekukan yang sejajar tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 2.10 di bawah ini.



**Gambar 2.10** Sambungan tekuk (*edge joint*)  
(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

### 2.6.3 Sambungan Sudut (*Corner Joint*)

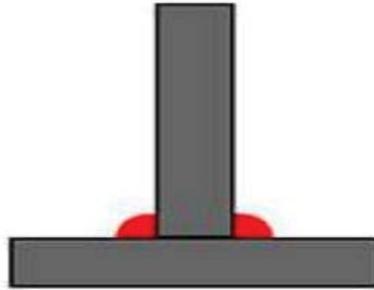
Sambungan Sudut (*Corner Joint*) mempunyai desain sambungan yang hampir sama dengan *T Joint*, namun yang membedakannya adalah letak dari materialnya. Pada sambungan ini materialnya yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung. Ada dua jenis *corner joint*, yaitu *close* dan *open* dapat dilihat seperti pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Sambungan sudut (*corner joint*)  
(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

### 2.6.4 Sambungan T (*T Joint*)

Jenis sambungan ini dipakai untuk membuat penampang bentukan (*built-up*) seperti profil T, profil I, gelagar plat (*plat girder*), pengaku tumpuan atau penguat samping (*bearing stiffener*), penggantung, konsol (*bracket*). Umumnya potongan yang disambung membentuk sudut tegak lurus. Jenis sambungan ini terutama bermanfaat dalam pembuatan penampang yang dibentuk dari plat datar yang disambung dengan las sudut maupun las tumpul seperti yang terlihat pada gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Sambungan T (*T joint*)  
(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

### 2.6.5 Sambungan Tumpu (*Butt Joint*)

Sambungan tumpu dipakai terutama untuk menyambung ujung-ujung plat datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama. Keuntungan utama jenis sambungan ini ialah menghilangkan eksentrisitas yang timbul pada sambungan lewatan tunggal. Bila digunakan bersama dengan las tumpul penetrasi sempurna (*full penetration groove weld*), sambungan tumpu menghasilkan ukuran sambungan minimum dan biasanya lebih estetik dari pada sambungan bersusun. Kerugian utamanya ialah ujung yang akan disambung biasanya harus disiapkan secara khusus (diratakan atau dimiringkan) dan dipertemukan secara hati-hati sebelum dilas. Hanya sedikit penyesuaian dapat dilakukan, dan potongan yang akan disambung harus diperinci dan dibuat secara teliti. Akibatnya, kebanyakan sambungan sebidang dibuat di bengkel yang dapat mengontrol proses pengelasan dengan akurat seperti yang terlihat pada gambar 2.13.



**Gambar 2.13** Sambungan tumpu (*butt joint*)  
(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

## 2.7 Jenis Kampuh Las

Jenis kampuh yang dipilih berkaitan dengan metode pengelasan dan ketebalan plat. Ideal sendi menyediakan kekuatan struktural yang diperlukan dan kualitas tanpa perlu besar volume bersama. Biaya las meningkat dengan ukuran sendi, dan masukan panas yang lebih tinggi akan menimbulkan masalah dengan kekuatan pengelasan. Kampuh las ini berguna untuk menampung bahan pengisi agar lebih banyak yang merekat ke benda kerja. Dengan demikian kekuatan las akan lebih terjamin, sedangkan jenis kampuh las yang dipakai pada tiap

pengelasan tergantung pada ketebalan benda kerja, jenis benda kerja, kekuatan yang diinginkan, dan posisi pengelasan.

Sebelum melakukan pengelasan, selain harus diketahui jenis sambungan, harus pula ditentukan desain kampuh yang akan dibuat. Desain tersebut selain untuk menghasilkan lasan yang baik, juga mempertimbangkan efisiensi dan efektifitas dari desain lasan. Desain yang sesuai dengan spesifikasi material yang disambung akan dapat mengurangi waktu dan biaya yang diperlukan untuk menghasilkan sambungan tanpa mengesampingkan kualitas sambungan itu sendiri, berikut ini pemaparan tentang jenis-jenis kampuh las.

### 2.7.1 Kampuh Persegi (*Square Groove*)

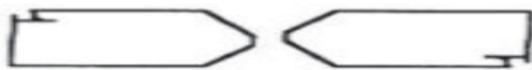
Kampuh persegi dapat dibuat dengan posisi kampuh tertutup ataupun terbuka. Umumnya desain ini digunakan pada logam tipis seperti yang terlihat pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Kampuh persegi (*square groove*)  
(Sumber: Sonawan, 2003)

### 2.7.2 Kampuh V Ganda (*Double Vee Groove*)

Penggunaan kampuh V ganda dapat mengurangi banyaknya tingkat endapan dan distorsi yang mungkin terjadi pada material sehingga dapat digunakan pada material dengan ketebalan yang lebih tebal dibandingkan dengan jenis kampuh lainnya. Pada umumnya pada kampuh V ganda, pengelasan dilakukan bergantian antar sisinya untuk menghindari distorsi seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Kampuh V ganda (*double vee groove*)  
(Sumber: Sonawan, 2003)

### 2.7.3 Kampuh U (*U Groove*)

Desain kampuh U umumnya digunakan pada material yang lebih tebal. Desain ini dapat mengurangi tingkat endapan las yang diperlukan dibandingkan dengan kampuh V karena kampuh U menggunakan sudut kampuh yang lebih kecil dan tetap menjaga fungsi yang memadai seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.16.



**Gambar 2.16** Kampuh U (*U groove*)  
(Sumber: Sonawan, 2003)

### 2.7.4 Kampuh Tirus (*Bevel Groove*)

Kampuh tirus memerlukan persiapan yang tidak sebanyak kampuh V. Penirusan dilakukan hanya pada satu bagian saja sedangkan pada bagian lain yang akan dilas dibiarkan dalam bentuknya. Desain ini memerlukan tingkat endapan las yang lebih sedikit dibandingkan kampuh V dengan kekuatan las yang baik seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.17.

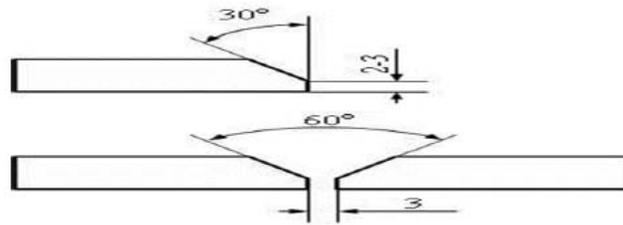


**Gambar 2.17** Kampuh tirus (*bevel groove*)  
(Sumber: Sonawan, 2003)

### 2.7.5 Kampuh V (*V Groove*)

Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang akan diisi oleh logam las. Kampuh las awalnya adalah berupa kubungan las yang kemudian diisi dengan logam las. Kampuh V banyak digunakan pada sistem sambungan pada pelat-pelat tebal. Untuk pengelasan dengan kampuh V dilakukan pengelasan pada satu sisi (*single side*) dengan urutan pengelasan mulai dari akar (*root*), pengisian (*Filler*), dan penutup (*capping*). Hasil penyambungan logam melalui pengelasan hendaknya menghasilkan sambungan yang berkualitas dari segi kekuatan dan lapisan las dari bahan atau logam yang dilas, di mana untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas hendaknya kedua ujung/bidang atau bagian logam yang akan dilas perlu diberikan suatu bentuk kampuh las tertentu.

Penggunaan kampuh V ini menjadi salah satu desain yang paling banyak dipakai, banyaknya lapisan untuk mengelas kampuh V ditentukan oleh tebalnya pelat. Sudut kemiringannya  $60^{\circ}$  Pengelasan lapisan akar sebaiknya menggunakan alas (landasan), supaya penembusan akarnya bebas, sehingga dengan demikian dapat menghasilkan pengelasan lapisan akar yang baik. Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 5-15 mm. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.18.



**Gambar 2.18** Kampuh V (*V groove*)  
(Sumber: Sonawan, 2003)

## 2.8 Baja ST 37

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mempunyai karbon kurang dari 0,30% sehingga memiliki sifat lunak dan juga memiliki kekuatan yang lemah dibandingkan dengan baja karbon menengah dan baja karbon tinggi akan tetapi baja karbon rendah memiliki sifat ulet dan tangguh yang sangat baik. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon yaitu kurang dari 0,30% perlu perlakuan tambahan jika ingin melakukan modifikasi material atau ingin dilakukan pengerasan material. Pada umumnya baja dengan kandungan karbon diatas 0,30% bisa langsung dikeraskan, namun untuk kandungan sebuah karbon dibawah 0,30% melalui proses penambahan karbon terlebih dahulu.

Dengan sifat-sifat yang dimiliki baja karbon rendah, maka baja karbon rendah dapat dipergunakan sebagai baja-baja plat atau sirip, untuk bahan body kendaraan, untuk konstruksi bangunan jembatan, untuk dibuat sebagai baut, untuk bahan pipa. Jenis baja ST 37 merupakan standard penamaan DIN yang berarti baja dengan kekuatan tarik  $37 \text{ kg/mm}^2$ , memiliki komposisi 0,17% C, 0,30% Si, 0,2- 0,5% Mn, 0,05% P, 0,05% S.

ST 37 memiliki kekuatan tarik sampai dengan 123.82 HV termasuk kedalam golongan baja *hypoeutectic* yang memiliki kandungan struktur mikro *ferrite* dan

*pearlite*. Baja ST 37 termasuk kedalam golongan baja karbon rendah dikarenakan kandungan karbonnya yang hanya 0,17 %.

## 2.9 Baja ASTM A36

Baja plate ASTM A36 ini termasuk material baja karbon rendah (*Low Carbon*) namun memiliki karakteristik kekerasan yang cukup kuat. Tipikal dari material baja karbon khas, mudah diberi perlakuan pengelasan (*welding*) dan *machining*, harganya relatif murah, dan sangat baik sebagai bahan dasar untuk proses *galvanized* dengan komposisi kimia 0,2 % Cu, 0,8-1,2 % Mn, 0,15-0,4 % Si, 0,29%C, 0,05%P, 0,05%S dan %Fe bal.

Plat ASTM A36 ini seringkali digunakan untuk konstruksi dasar, plat dasar, cabin, pipa, tabung, dan perumahan. Plat ini sering juga dikenal *Plate Mild Steel* A36 atau JIS 3101 SS400 adalah salah satu baja canai panas struktural yang umum digunakan. Plat ini tersedia dalam berbagai macam ukuran tebal.

## 2.10 Parameter Dalam Pengelasan

Penelitian ini menggunakan beberapa parameter antara lain arus, elektroda, dan posisi pengelasan pengertiannya sebagai berikut:

### 2.10.1 Arus Pengelasan SMAW

Jenis arus listrik yang digunakan ada 2 yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Pengelasan dengan arus searah pemasangan kabel pada mesin las ada 2 macam yaitu polaritas lurus (DC-) dan polaritas terbalik (DC+). Pada polaritas terbalik (DC+) panas yang diberikan mesin las  $\frac{1}{3}$  untuk memanaskan benda dan  $\frac{2}{3}$  untuk memanaskan elektroda. Pengelasan dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik besarnya arus bermacam-macam sesuai dengan jenis elektroda. Penyetelan arus pengelasan akan berpengaruh pada panas yang ditimbulkan dalam pencairan logam dan penetrasi logam cair tersebut. Arus yang tinggi akan mengakibatkan panas yang tinggi, penembusan atau penetrasi yang dalam dan kecepatan pencairan logam yang tinggi. Arus yang kecil menghasilkan panas yang rendah dan tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan logam. Penembusan panas dan kecepatan pencairan logam akan berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan. Besarnya arus listrik untuk pengelasan bergantung pada ukuran diameter dan macam-macam elektroda las.

Tabel 2.2 berikut adalah besar ampere pengelasan untuk bermacam-macam ukuran diameter elektroda dan beberapa tipe elektroda.

**Tabel 2.2** Arus listrik baja lunak

Diameter Elektroda		Arus (Amper) Tipe Elektroda					
Inci (1)	Mm (2)	E6010 (3)	E6014 (4)	E7018 (5)	E7024 (6)	E7027 (7)	E7028 (8)
3/32	2,6		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
1/4	6,3		330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
5/16	8		390-500	375-470			

(Sumber: Yogaswara, dkk. 2008)

### 2.10.2 Kawat Las (Elektroda)

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 ABCD yang berarti:

1. Huruf E adalah singkatan dari kawat las atau elektroda.
2. AB sebagai kekuatan tarik dari kawat las, satuannya adalah *kilo pound square inch*. Biasanya juga menggunakan satuan  $lb/in^2$ .
3. Huruf C menandakan posisi pengelasan. Jika 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.
4. Huruf D 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.

#### 1. 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. Penggunaan jenis elektroda yang berbeda dan jenis *standard* pengujian tarik yang berbeda menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda (Tarkono dkk, 2012). Perbedaan arus pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil lasan (Santoso, 2006). Kekuatan tarik hasil pengelasan dengan elektroda E7016 lebih besar daripada hasil pengelasan E6013 (Setyo dan Rendy, 2013).

#### 2. Elektroda Baja Lunak

Bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama, berikut macam-macam elektroda baja lunak:

##### a. Elektroda E6010 dan E6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam, pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan.

##### b. Elektroda E6012 dan E6013

Kedua elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk

pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah.

c. Elektroda E6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan.

d. Elektroda Hydrogen Rendah Selaput

Elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Jenis-jenis elektroda hydrogen rendah misalnya E7015, E7016 dan E7018.

e. Elektroda dengan Selaput Serbuk Besi

Elektroda jenis E6027, E7014, E7018, E7024 dan E7028 mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi.

Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42.2 kg/mm <sup>2</sup>						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Natrium	F, V, OH,	AC atau	47,1	38,7	17

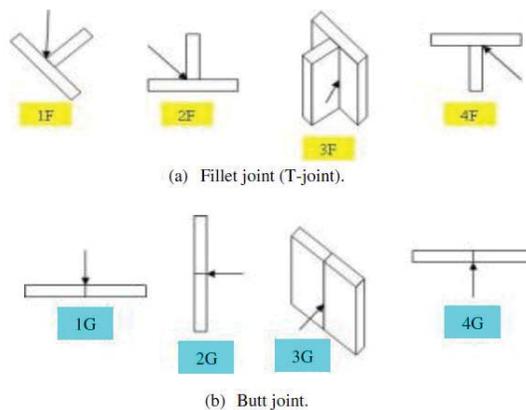
Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
	titania tinggi	H	DC polaritas ganda			
E6020	Kalium titania tinggi	H.S, F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027	Oksida besi tinggi	H.S, F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium Hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7024	Serbuk besi, titania	H.S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H.S, F	AC atau DC polaritas balik			22

(Sumber: Wiryo Sumarto, 2000)

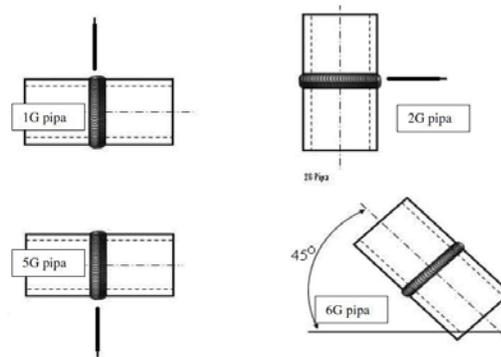
### 2.10.3 Posisi Pengelasan

Sebagian besar pekerjaan las dilakukan dengan proses LSW (*Liquid state welding*) atau proses las dalam kondisi cair. Proses las yang dilakukan dengan kondisi cair ini, posisi saat pengelasan berlangsung sangat berpengaruh terhadap bentuk deposit logam las yang terbentuk. Tidak semua juru las mahir di semua posisi, posisi di bawah tangan (*down hand*) merupakan posisi yang paling mudah untuk dilakukan, namun ketika mengelas pipa logam dengan posisi miring akan sangat sulit dilakukan. Juru las yang dapat melakukan pengelasan ini adalah juru las kelas satu yang dilengkapi dengan sertifikat standar internasional. Dalam dunia industri posisi las diberi kode tertentu agar pada saat pengelasan dilakukan tidak terjadi kekeliruan menentukan juru las dan prosedur pengelasan.

Ada dua sistem pengkodean yang banyak dikenal, yaitu sistem yang ditetapkan oleh *American Welding Society* (AWS) dan sistem *International Standard Organisation* (ISO). Berdasarkan kode yang ditetapkan oleh AWS, posisi las dikaitkan pada jenis teknik sambungan las, jika sambungan berkampuh (*groove*) maka kode posisinya dengan huruf G, untuk posisi *down-hand* 1G, horisontal 2G, vertikal 3G, *over-head* 4G, pipa dengan sumbu horisontal 5G, dan pipa miring 45° 6G. Jika sambungan las tidak berkampuh/tumpul (*fillet*) maka kodenya adalah F, untuk posisi *down-hand* 1F, horisontal 2F, vertikal 3F, dan *over-head* 4F. Penempatan benda kerja disesuaikan dengan permintaan, dalam hal ini adalah menyesuaikan posisi pengelasan. Contoh posisi-posisi pengelasan seperti gambar 2.19 dan gambar 2.20.



**Gambar 2.19** Posisi-posisi pengelasan  
(Sumber: Tarkono, 2010)



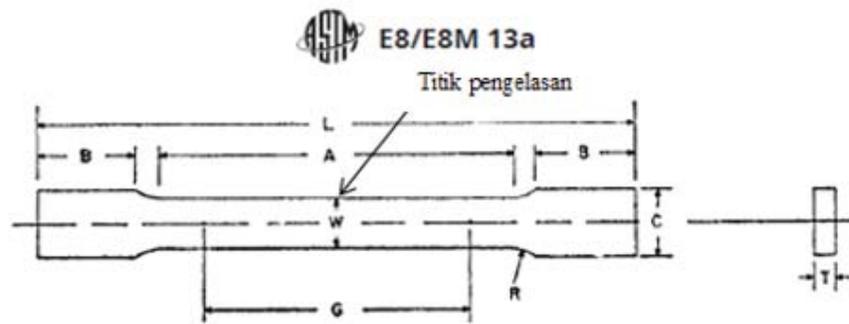
**Gambar 2.20** Posisi-posisi pengelasan untuk pipa  
(Sumber: Tarkono, 2010)

Pada penerapan kali ini posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi *down-hand* 1G, horisontal 2G, dan vertikal 3G.

### 2.11 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara *kontinyu*, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955).

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu logam terhadap tarikan dari bahan yang akan di uji. Pengujian tarik dapat diketahui beberapa sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa yaitu kekuatan (tegangan), keuletan (elongasi) dan modulus elastisitas. Dalam pengujian kekuatan tarik ini menggunakan standart ASTM E8 dan untuk ukuran spesimen menggunakan ASTM E8/E8M - 13a seperti pada gambar 2.21.



L (mm)	C (mm)	W (mm)	G (mm)	A (mm)	R (mm)	T (mm)
200	20	12,5	50	82	12,5	5

**Gambar 2.21** Spesimen uji tarik  
(Sumber: Wurdhani, 2021)

Menurut surdia (1995) apabila laju tegangan kecil, maka perpanjangan bertambah dan mengakibatkan kurva tegangan- regangan menjadi landai, modulus elastistasnya rendah. Sedangkan jika laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat, tetapi regangan mengecil. Berikut ini rumus untuk mengetahui tegangan tarik nya sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan tarik ( $N/mm^2$ )

P = Beban (N)

$A_0$  = Luas penampang patahan ( $mm^2$ )

## 2.12 Metode Taguchi

Teknik Taguchi telah digunakan secara luas dalam desain teknik. Metode Taguchi berisi desain sistem, desain parameter, dan prosedur desain toleransi untuk mencapai proses yang kuat dan hasil untuk kualitas produk terbaik. Kepercayaan utama dari teknik Taguchi adalah penggunaan desain parameter (Ealey Lance A.1988), yang merupakan metode teknik untuk desain produk atau proses yang berfokus pada penentuan parameter (faktor) pengaturan yang menghasilkan tingkat karakteristik kualitas (kinerja ukur) dengan variasi

minimum. Desain Taguchi menyediakan metode yang kuat dan efisien untuk merancang proses yang beroperasi secara konsisten dan optimal dalam berbagai kondisi.

Metode Taguchi adalah metode statistik yang dikembangkan oleh Profesor Genichi Taguchi dari *Nippon Telephones and Telegraph Company Japan* untuk produksi produk yang kuat. Menurut Taguchi, kerugian total yang ditimbulkan oleh suatu produk kepada masyarakat setelah dikirim adalah kualitas produk yang diproduksi. Menurut Taguchi, dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat dikontrol dengan mudah dan pengaturannya, proses dan desain produk dapat ditingkatkan. Saat ini, metode Taguchi diterapkan di banyak sektor seperti teknik, bioteknologi, pemasaran dan periklanan. Taguchi mengembangkan metode berdasarkan eksperimen *orthogonal arrays*, yang mengurangi "varians" untuk eksperimen dengan "setelan optimal" parameter kontrol.

Oleh karena itu, hasil yang optimal dapat dicapai dengan menerapkan kombinasi *Design of Experiments (DOE)* dengan optimalisasi parameter kontrol. *Rasio signal to noise (S/N)* dan *orthogonal arrays* adalah dua alat utama yang digunakan dalam desain yang kokoh. Rasio sinyal terhadap kebisingan, yang merupakan fungsi *log* dari kualitas ukuran keluaran yang diinginkan dengan penekanan pada variasi dan *orthogonal arrays*, menyediakan satu set eksperimen yang seimbang untuk mengakomodasi banyak faktor desain pada saat yang sama (Jhumar, 2016).

### **2.12.1 Rasio Signal-to-Noise (S/N)**

Taguchi telah menggunakan *rasio Signal-Noise (S/N)* sebagai karakteristik kualitas pilihan. S/N Rasio digunakan sebagai nilai terukur dari deviasi standar karena faktanya bahwa saat *mean* menurun deviasi standar juga menurun dan sebaliknya. Dalam desain *Dynamic S/N Ratio*, ukuran ketahanan digunakan untuk mengidentifikasi faktor kontrol yang mengurangi variabilitas dalam suatu produk atau proses dengan meminimalkan efek faktor yang tidak dapat dikontrol. Faktor kontrol adalah parameter desain dan proses yang dapat dikontrol. Faktor kebisingan tidak dapat dikontrol selama produksi atau penggunaan produk, tetapi dapat dikontrol selama percobaan.

Dalam eksperimen yang dirancang *Dynamic S/N Ratio*, memanipulasi faktor kebisingan untuk memaksa terjadinya variabilitas dan dari hasil, mengidentifikasi pengaturan faktor kontrol optimal yang membuat proses atau produk kuat, atau tahan terhadap variasi dari faktor kebisingan. Nilai *rasio signal-to-noise* (S/N) yang lebih tinggi mengidentifikasi pengaturan faktor kontrol yang meminimalkan efek faktor kebisingan. *Rasio signal-to-noise* mengukur bagaimana respon bervariasi relatif terhadap nilai nominal atau target di bawah kondisi *noise* yang berbeda. Anda dapat memilih dari *rasio signal-to-noise* yang berbeda, bergantung pada tujuan percobaan. Untuk desain statis, ada empat *rasio signal-to-noise*: *Large is better*, *Nominal is best*, *Nominal is best (default)*, *Smaller is better*. (Teruo, 2011).

**Tabel 2.4** *Signal-to-noise ratios*

<b>Signal-to-Rasio</b>	<b>Tujuan percobaan</b>	<b>Karakteristik</b>	<b>Rasio signal-to-noise</b>
<i>Large is Better</i>	Maksimalkan <i>respons</i>	Positif	$S/N = -10 \times \log(+ \sum(1/Y^2)/n)$
<i>Nominal is Better</i>	Targetkan <i>respons</i> dan untuk <i>rasio signal-to-noise</i> hanya pada deviasi standar	Positif, nol, negatif	$S/N = -10 \times \log(\sigma^2)$
<i>Nominal is Better (default)</i>	Targetkan <i>respons</i> dan untuk <i>rasio signal-to-noise</i> pada sarana dan deviasi standar	Non-negatif dengan nol" dimana deviasi standar adalah nol jika <i>mean</i> nya adalah nol	$S/N = 10 \times \log((Y^2) \div \sigma^2)$ Rumus yang disesuaikan adalah: $S/N = 10 \times \log((Y^2 - s^2 \div n) \div s^2)$

Signal-to-Rasio	Tujuan percobaan	Karakteristik	Rasio signal-to-noise
<i>Smaller is Better</i>	Minimalkan respons	Non-negatif dengan nilai target nol	$S/N = -10 \times \log(\sum(Y^2)/n)$

(Sumber: Teruo, 2011)

Desain parameter dengan metode taguchi :

1. Pemilihan Karakteristik Kualitas

Ada tiga jenis karakteristik kualitas dalam metodologi Taguchi, seperti *Large is Better*, *Smaller is Better*, dan *Nominal is Better*.

2. Pemilihan Faktor Kebisingan dan Faktor Kontrol.

Pada tahap ini faktor-faktor yang dapat dikontrol adalah arus (A), elektroda (B) dan posisi (C) yang dipilih karena merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik pada material baja ST37 dan ASTM A36.

3. Pemilihan *Orthogonal Array*

Ada 9 tipe dasar *Orthogonal Arrays (OA)* standar dalam desain parameter Taguchi. Pemilihan bergantung pada derajat kebebasan parameter yang dipilih. Derajat kebebasan dari ketiga parameter adalah 6.  $L_9$  *Orthogonal Array* dipilih untuk pekerjaan ini. Tata letak  $L_9$  ini, seperti yang disebutkan pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Layout dari  $L_9$

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	2
9	3	3	1

(Sumber: Soejanto, 2009)

#### 4. Melakukan Eksperimen

Tabel 2.5 mengilustrasikan pengaturan eksperimental dalam penelitian ini untuk mengetahui kekuatan tarik pada sambungan las. Parameter yang digunakan dalam percobaan ini adalah arus, elektroda, dan posisi.

#### 5. Memprediksi Performa Optimal

Dengan menggunakan data tersebut, seseorang dapat memprediksi kombinasi arus, elektroda, dan posisi yang optimal untuk sambungan las yang baik. Konfirmasi dari desain eksperimental diperlukan untuk memverifikasi kombinasi variabel yang optimal.

### 2.13 Uji ANOVA

*Analysis of variance* atau ANOVA merupakan salah satu uji parametrik yang berfungsi untuk membedakan nilai rata-rata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya (Ghozali, 2009). Prinsip uji ANOVA adalah melakukan analisis variabilitas data menjadi dua sumber variasi yaitu variasi di dalam kelompok (*within*) dan variasi antar kelompok (*between*). Bila variasi *within* dan *between* sama (nilai perbandingan kedua varian mendekati angka satu), berarti nilai *mean* yang dibandingkan tidak ada perbedaan. Sebaliknya bila variasi antar kelompok lebih besar dari variasi didalam kelompok, nilai *mean* yang dibandingkan menunjukkan adanya perbedaan. Uji ANOVA dapat dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan jumlah variabel yang diamati, yaitu *One Way ANOVA* dan *Two Way ANOVA*.

*One Way ANOVA* digunakan bila ada satu variabel yang ingin diamati, sedangkan *Two Way ANOVA* digunakan apabila terdapat dua variabel yang ingin diamati. Untuk memudahkan perhitungan ANOVA, maka dapat digunakan tabel ANOVA yang ditunjukkan oleh Tabel 2.6 dan Gambar Tabel 2.7 berikut.

**Tabel 2.6** *One Way ANOVA*

<i>Source of Variation</i>	<i>d.f.</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F<sub>0</sub></i>
<i>Factor A (between groups)</i>	a-1	$SSA = \sum_{i=1}^a n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$\frac{MSA}{= \frac{SSA}{(a-1)}}$	$\frac{MSA}{MSE}$
<i>Error (within groups)</i>	N-a	$SSE = SST - SSA$	$\frac{MSE}{= \frac{SSE}{(N-a)}}$	
Total	N-1	$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2$		

(Sumber: Ghozali, 2009)

**Tabel 2.7 Two Way ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>d.f.</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F<sub>0</sub></i>
<i>Factor A (between groups)</i>	a-1	$SSA = \sum_{i=1}^a n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$\frac{MSA}{= \frac{SSA}{(a-1)}}$	$\frac{MSA}{MSE}$
<i>Factor B (between groups)</i>	b-1	$SSA = \sum_{j=1}^b n_j (\bar{y}_j - \bar{y})^2$	$\frac{MSB}{= \frac{SSB}{(b-1)}}$	$\frac{MSB}{MSE}$
<i>Error (within groups)</i>	(a-1)(b-1)	$SSE = SST - SSA - SSB$	$\frac{MSE}{= \frac{SSE}{(N-a)}}$	
Total	N-1	$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y})^2$		

(Sumber: Ghozali, 2009)

Uji ANOVA dapat digunakan untuk menyelidiki apakah ada pengaruh faktor terhadap respon penelitian. Uji-uji yang dapat digunakan antara lain uji masing-masing faktor dan uji interaksi antar faktor.

#### 2.14 Hipotesis

Menurut Sugiyono (2017) hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Adapun dugaan sementara untuk penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

$H_0$  : Tidak mendapatkan setting parameter yang optimum untuk pengelasan jenis SMAW dengan metode taguchi untuk material ST37 dan ASTM A36.

$H_1$  : Mendapatkan setting parameter yang optimum untuk pengelasan jenis SMAW dengan metode taguchi untuk material ST37 dan ASTM A36.

$H_0$  : Tidak terdapat pengaruh parameter kuat arus pada proses pengelasan menggunakan metode SMAW terhadap nilai uji tarik.

$H_1$  : Terdapat pengaruh parameter kuat arus pada proses pengelasan menggunakan metode SMAW terhadap nilai uji tarik.