

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja ASTM A36

Baja merupakan bagian dari logam *ferrous* yang sudah dijelaskan pada paragraf sebelumnya. Baja sendiri adalah paduan antara unsur besi dengan karbon untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap fraktur. Dalam aplikasinya, baja ditambahkan beberapa unsur padu lainnya untuk mencapai sifat yang diinginkan, contohnya paduan *stainless steel* yang memadukan 11% kromium untuk mencapai sifat ketahanan korosi. Dengan sifat umumnya yaitu *tensile strength* yang tinggi, maka baja menjadi bahan dasar untuk aplikasi konstruksi, persenjataan dan pertahanan, serta otomotif (Llewellyn, 1992). Gambar 2.1 menunjukkan struktur baja konstruksi pada umumnya.



Gambar 2.1 Baja Konstruksi (Investopedia, 2019)

Sifat mekanik dari baja bervariasi berdasarkan elemen padamunya, namun untuk rata-rata yang biasa didapat adalah 7,750 hingga 8,050 kg/m³ untuk densitas, dan nilai *ultimate tensile strength* adalah 420 MPa. Akan tetapi, hal ini kembali bergantung pada unsur padamunya, khususnya adalah fraksi berat karbon yang

terlibat dalam produk baja. Oleh karena itu, terdapat beberapa jenis baja yang biasa ditemukan pada dunia perindustrian, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

Pada setiap jenis baja karbon memiliki kadar kandungan unsurnya masing-masing. Pada setiap unsur tersebut memiliki fungsinya masing-masing diantaranya yaitu (Azwinur & Muhazir, 2019):

- a. *Manganese* (Mn): Mangan berfungsi sebagai pengikat karbon yang akan membentuk karbida mangan (Mn_3C) sehingga mangan ini dapat menambahkan kekuatan, ketangguhan baja dan kekerasan. Oleh karena itu, penambahan mangan dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi pada tingkat yang lebih rendah dari karbon.
- b. *Phosphorus* (P): Penambahan fosfor dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi mengakibatkan elastisitasnya dapat berkurang sehingga berdampak pada ketangguhannya terutama pada baja karbon tinggi yang di *quenching* dan *tempering*.
- c. *Sulphur* (S): Sulfur tidak meningkatkan sesuatu pada material melainkan dapat menurunkan sifat mampu las. Sehingga unsur ini sangat merugikan bagi material yang dilas maupun elektroda, tetapi unsur ini dapat meningkatkan *hot shortness*.
- d. *Silicon* (Si): Penambahan *silicon* dapat meningkatkan kekerasan tetapi tidak sebesar mangan untuk peningkatannya. Tetapi semakin meningkatnya *silicon* maka material ini dapat mudah retak dan memperburuk keretakannya. Oleh karena itu, kandungan unsur ideal

untuk material yaitu sebesar 0,10%.

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama Fe dan unsur lainnya seperti karbon, mangan, *silicon*, nikel, *molybdenum*, niobium, vanadium dll. Baja karbon memiliki sifat yang baik hal ini dikarenakan jenis baja ini dapat disesuaikan komposisi dari unsumnya sehingga dapat menyesuaikan untuk pengaplikasian yang akan digunakan. Jenis baja menurut kandungan karbonnya yaitu *low carbon steel* memiliki kandungan karbon 0,05-0,15%. *medium carbon steel* memiliki kandungan karbon 0,3-0,5%. *High carbon steel* memiliki kandungan karbon antara 0,6-1% dan *ultra high carbon steel* memiliki kandungan karbon 1,25-2%. Sedangkan jika kandungan karbon di atas 2% disebut dengan *cast iron* (Gandy, 2007). Aplikasi baja karbon dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti boiler, *vessels*, *heat exchanger*, pipa dan sistem aplikasi menggunakan tekanan tinggi (Gandy, 2007).

2.1.1 ASTM A36

ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3% dan juga dikenal sebagai *mild steel*. Harga produk dari *mild steel* ini jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan baja lainnya. Dengan harganya yang lebih murah, maka baja ini juga tidak sekuat baja lainnya dan diaplikasikan untuk hal yang tidak terlalu mementingkan kekuatan yang begitu tinggi untuk material dasarnya. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia dari baja ASTM A36.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A36 (ASTM, 2005)

Unsur (%)	Komposisi
C	0,17
Si	0,04
S	0,05
P	0,04
Cu	0,2

Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari baja karbon ASTM A36. Jenis baja karbon ASTM A36 sering digunakan dalam aplikasi konstruksi. Baja ASTM A36 memiliki komposisi karbon maksimum sebesar 0,29%. Jenis baja ini dikenal memiliki sifat yang kuat, ulet, mudah dibentuk, tangguh dan dapat dilas. Aplikasi baja ASTM A36 sangat luas pada bidang konstruksi sampai dengan peralatan rumah tangga selain itu jenis baja ini juga dapat dibentuk dalam bentuk pelat, batangan, balok dan bentuk struktural bangunan (ASTM, 2005).

2.2 Pengelasan

Las merupakan suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair atau leleh. Dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Ikatan metalurgi yaitu ikatan antar atom-atom atau molekul – molekul dari logam yang disambungkan (Wiryosumarto, 2000).

Penyambungan logam adalah suatu proses yang dilakukan untuk menyambung dua atau lebih bagian logam. Penyambungan bagian-bagian logam ini dapat dilakukan dengan berbagai macam metoda sesuai dengan kondisi dan bahan yang digunakan. Setiap metoda atau teknik penyambungan logam yang digunakan mempunyai keuntungan tersendiri dari metoda lainnya, sebab metode penyambungan yang digunakan pada suatu konstruksi sambungan harus disesuaikan dengan kondisi yang ada, hal ini mengingat efisiensi, kompatibilitas, dan kekuatan sambungan (Kou, 2003). Untuk berhasilnya penyambungan, diperlukan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yang antara lain adalah (ASTM International, 2003).

- a. Benda padat tersebut dapat cair atau lebur oleh panas.
- b. Antara benda-benda padat yang akan disambung harus memiliki kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan atau menggagalkan sambungan tersebut.
- c. Cara-cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan penyambungannya.

Seiring dengan adanya kemajuan teknologi, baik proses pengelasan yang menggunakan bahan tambahan atau *filler* maupun yang tanpa menggunakan bahan tambahan. Teknologi pengelasan yang terbaru adalah proses pengelasan yang menggunakan energi putaran yang nantinya akan terjadi gesekan dan menimbulkan panas yang tinggi dan dapat digunakan untuk proses pengelasan yang biasanya disebut dengan proses las *friction welding*. Pengelasan diklasifikasikan dalam tiga jenis berdasarkan cara kerjanya, yaitu pengelasan tekan, pengelasan cair dan pematrian (Hashimi, 2014).

2.2.1 Klasifikasi Pengelasan (Jenis)

Dalam aplikasinya, proses pengelasan atau penyambungan beberapa logam dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, yaitu :

- a. Pengelasan Tekan: Pengelasan tekan adalah Sebuah proses pengelasan yang dilakukan dengan cara material dipanaskan kemudian ditekan hingga kedua material tersambung menjadi satu. Contohnya adalah las ledak, las gesek, las tempa.
- b. Pengelasan Cair: Pengelasan Cair adalah sebuah proses pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan bagian yang akan disambung hingga mencair dengan sumber panas dari energi listrik atau api dari pembakaran gas baik menggunakan bahan tambah atau tanpa menggunakan bahan tambah (*filler*/elektroda). Contohnya adalah las busur listrik dan las gas.
- c. Pematrian adalah sebuah cara menyambung dua logam dengan sumber panas dengan menggunakan bahan tambah yang mempunyai titik cair lebih rendah, pada proses pematrian ini logam induk tidak ikut mencair.
- d. Pematrian: Perbedaan antara pengelasan dan pematrian adalah jika pada pengelasan logam induk dan elektroda (logam pengisi) keduanya ikut mencair atau *melting*, sedangkan pada pematrian yang mencair hanya bahan tambah atau *filler* metalnya sedangkan logam induk tidak karena mempunyai temperatur leleh yang lebih tinggi. Contohnya adalah *brazing* dan *soldering*.

2.2.2 Klasifikasi Pengelasan (Sumber Energi)

Pengelasan dapat dikelompokkan lagi berdasarkan daripada sumber energi yang digunakan. Energi disini sendiri mencakup sebagai penggerak dari las itu sendiri. Untuk klasifikasi pengelasan berdasarkan kepada sumber energi dapat dilihat pada poin-poin di bawah ini:

- a. Energi Listrik : Merupakan energi yang memanfaatkan arus listrik dan pertukaran elektron. Biasanya ditemukan pada pengelasan busur seperti SMAW, GTAW, SAW.
- b. Energi Kimia : Merupakan pengelasan yang panasnya bersumber dari reaksi kimia yang bersifat eksotermik (menghasilkan panas). Contohnya antara lain adalah las termit dan las eksplosif (EXW)
- c. Energi Mekanik : Merupakan pengelasan yang memanfaatkan energi mekanik dan menghasilkan panas dari adanya resistensi gesek (*friction resistance*). Contohnya adalah pengelasan putar (*friction stir welding*)

2.3 Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW melebur dan menyatukan material melalui pemanasan menggunakan suatu busur listrik yang tercipta di antara komponen logam dengan elektroda berbentuk seperti *x*, pembungkus elektroda sendiri memiliki banyak fungsi, antara lain (Restu, 2016):

- a. Sebagai penstabil busur listrik.
- b. Sebagai penghasil gas yang melindungi lasan dari kontaminasi udara.

- c. Sebagai penambah unsur paduan pada lasan.
- d. Sebagai penghasil *slag* yang melindungi logam lasan yang masih panas dari kontaminasi dan oksidasi.
- e. Memfasilitasi pengelasan dengan posisi *overhead*.
- f. Memurnikan deposit lasan secara metalurgi.
- g. Mengurangi *spatter* (percikan) logam pengisi selama pengelasan
- h. Meningkatkan efisiensi deposisi.
- i. Mempengaruhi bentuk dan penetrasi lasan.
- j. Mengurangi laju pendinginan lasan.
- k. Meningkatkan laju deposisi melalui penambahan serbuk logam dalam lapisan pembungkus.

Dalam prosesnya, SMAW menggunakan sebuah fluks atau pasir pelindung. Fluks terdiri dari komposisi bahan-bahan tertentu. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan ke dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Proses pemindahan logam sangat dipengaruhi dari sifat-sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus, sedangkan proses pemindahan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan juga oleh komposisi bahan pembungkus elektroda fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan terjadi, fluks yang digunakan sebagai bahan pembungkus elektroda mencair dan terapung pada cairan kawah las lalu membeku menutupi deposit las menjadi terak las atau yang disebut

slag. *Slag* inilah yang akan melindungi hasil lasan yang baru membeku agar tidak terpengaruh oleh udara luar (oksidasi). Pada saat itu juga bahan fluks yang terbakar berubah menjadi gas yang berfungsi sebagai bahan pelindung dari udara luar terhadap oksidasi dan juga sebagai pemantap busur (Restu, 2016).

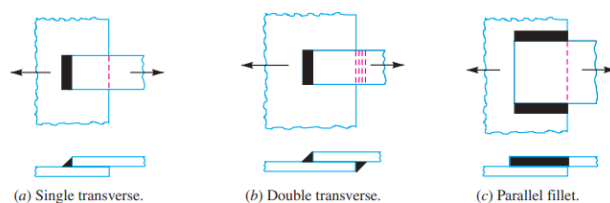
2.3.1 Jenis Sambungan (*Welded Joint*)

Dalam mengimplementasikan pengelasan, dibutuhkan sebuah sambungan yang mengandung *filler metal* ataupun *base metal* yang sudah dilelehkan. Terdapat beberapa jenis sambungan yang biasa digunakan pada pengelasan berdasarkan kebutuhan dan aplikasinya. Jenis-jenis sambungan tersebut antara lain adalah sebagai berikut (Khurmi, 2005):

a. *Lap Joint*

Lap joint atau disebut *fillet joint* didapatkan dengan cara menumpuk antara dua pelat dan dilanjutkan dengan mengelas bagian sampingnya. Bentuk *cross-section* dari sambungan ini dapat diperkirakan berbentuk triangular dengan kemungkinan berbentuk *single transverse*, *double transverse*, dan *parallel*.

Gambar 2.2 menunjukkan bentuk sambungan *lap joint*.

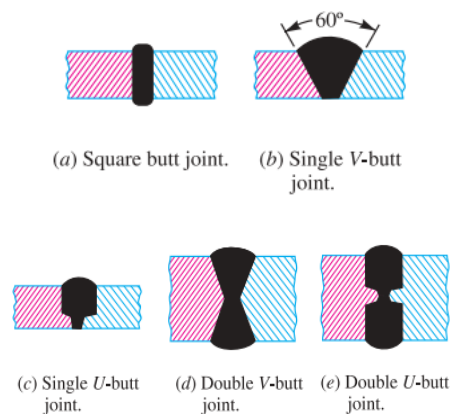


Gambar 2.2 Bentuk Sambungan *Lap Joint*

b. *Butt Joint*

Sambungan *butt* didapatkan dengan meletakkan dua sudut pelat sehingga bertemu satu sama lain. Pada sambungan ini,

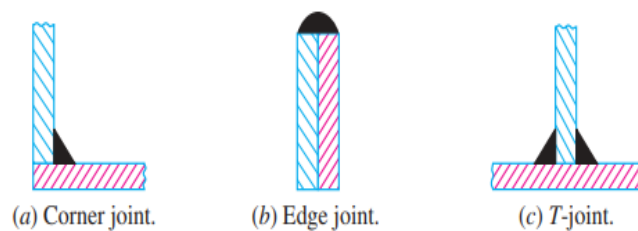
sambungan sudut pelat tidak dibutuhkan untuk *beveling* jika ketebalan dari pelat kurang dari 5 mm. Selain itu, ketebalan pelat dalam 5 mm hingga 37,5 mm dibutuhkan *beveling* menjadi U atau *V-groove* pada keduanya. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk sambungan *lap joint*.



Gambar 2.3 Bentuk Sambungan *Butt Joint*

c. Sambungan Jenis Lain

Terdapat beberapa jenis sambungan yang memanfaatkan sudut dari material untuk disambungkan. Hal ini dikenal sebagai *corner joint*. Terdapat beberapa jenis *corner joint* yang digunakan dalam dunia pengelasan, antara lain adalah *Corner Joint*, *Edge Joint*, dan *T-Joint*. Gambar 2.4 menunjukkan bentuk sambungan sudut pengelasan.



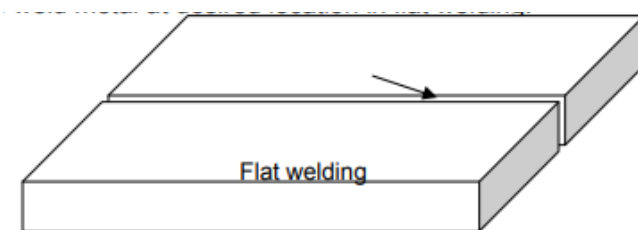
Gambar 2.4 Bentuk Sambungan Sudut Pengelasan

2.4 Posisi Pengelasan

Dalam melakukan pengelasan, didapatkan beberapa posisi yang biasa *welder* gunakan. Posisi ini ditinjau berdasarkan kondisi dari *base metal* yang akan disambungkan. Beberapa posisi pengelasan ini adalah sebagai berikut:

a. Flat Welding

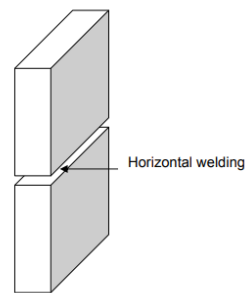
Pada posisi ini, pelat yang akan disambungkan diletakkan pada bidang datar dan deposisi pengelasan pun terjadi pada bidang yang datar. Pengelasan jenis ini merupakan pengelasan yang paling banyak digunakan dikarenakan nyaman dan paling efisien. Pemilihan parameter pengelasan juga tidak terlalu krusial untuk menempatkan *weld metal* pada lokasi yang diinginkan. Gambar 2.5 menunjukkan posisi pengelasan *flat welding*.



Gambar 2.5 Posisi *Flat Welding*

b. Horizontal Welding

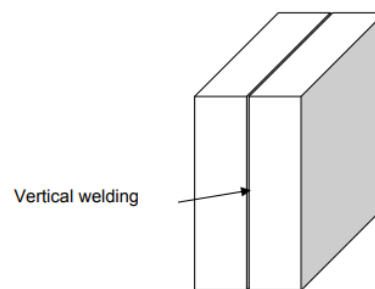
Pada pengelasan horizontal. Pelat yang akan dilas diletakkan pada bidang tegak, dan pengelasan dilakukan secara datar *horizontal*. Teknik ini dianggap lebih sulit daripada *flat welding* dikarenakan *welding parameter* dalam posisi ini sangat krusial dan harus diperhatikan secara seksama. Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan posisi pengelasan *horizontal welding*.



Gambar 2.6 Posisi *Horizontal Welding*

c. *Vertical Welding*

Pada pengelasan vertikal, pelat yang akan dilas diletakkan pada bidang tegak lurus dan pengelasan dilakukan secara vertikal (dari atas ke bawah atau sebaliknya). Viskositas dan tegangan permukaan dari *molten metal* yang ditentukan berdasarkan komposisi dari *weld metal* dan temperatur peleburan sangat dominan dalam menjadi kunci turunnya *molten metal* akibat intervensi dari gravitasi. Gambar 2.7 menunjukkan posisi pengelasan *vertical welding*.

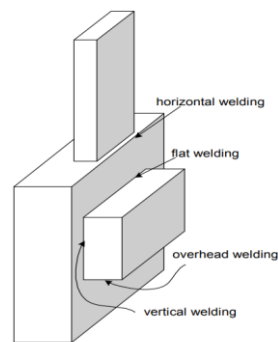


Gambar 2.7 Posisi *Vertical Welding*

d. *Overhead Welding*

Pada pengelasan *overhead*, *weld metal* didepositkan dari posisi rendah ke posisi tinggi. Lelehan logam dipindahkan dari elektroda menuju ke *base metal* dengan ketelitian yang tinggi dan kesulitan yang tinggi pula.

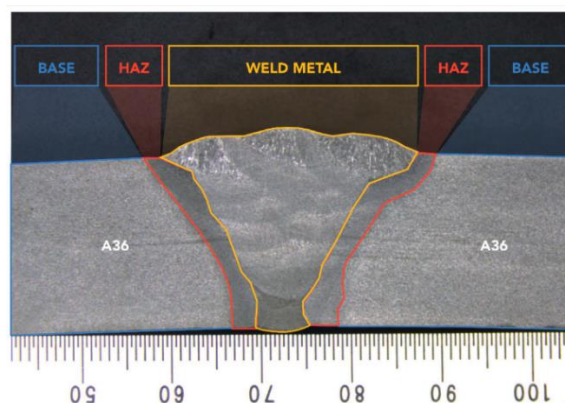
Masalah yang dihadapi dalam posisi ini sama dengan posisi *vertical welding*, namun dengan intensitas yang lebih tinggi. Gambar 2.8 menunjukkan skematik pengelasan dengan berbagai posisi pengelasan.



Gambar 2.8 Skema Pengelasan

2.5 Pengelasan Baja ASTM A36

Pelat ASTM A36 dikenal mempunyai *weldability* yang tinggi dengan metode pengelasan SMAW dan diketahui salah satu variabel penting pengelasannya adalah kuat arus. Untuk mengurangi kemungkinan adanya cacat induksi yang terjebak pada saat proses pengelasan dan *cracking* maka dilakukan *pre-heat* terlebih dahulu (Preedawiphat et al., 2020). Gambar 2.9 menunjukkan tiga zona utama yang dapat diamati pada penampang las pelat A36. Tiga zona tersebut adalah *zona base*, zona HAZ dan *zona weld metal*.



Gambar 2.9 Daerah Pengelasan Baja ASTM A36 (Preedawiphat et al., 2020)

Metode yang digunakan untuk menguji mampu las adalah metode *Controlled Thermal Severity (CTS) Test*. Mampu las diketahui dengan mengamati adanya retak setelah proses pengelasan, besarnya kecembungan (*convexity*), jumlah dan besarnya retak yang terjadi serta nilai kekerasan yang dihasilkan pada logam las dan HAZ (Rusnaldy & Maulana, 2017). WPS (*Welding Procedure Specifications*) dipersiapkan sebagai panduan tertulis yang berisi prosedur pengelasan yang akan dilakukan sehingga dihasilkan hasil lasan yang sesuai dengan yang diinginkan. Pembuatan WPS mengacu pada Standard AWS D1.1. tentang prosedur pengelasan baja (Azdkar et al., 2019).

2.6 Elektroda SMAW

Elektroda atau disebut sebagai kawat las merupakan sebuah benda yang digunakan dalam pengelasan untuk menjadi sumber dari nyala listrik. Nyala listrik ini nantinya akan dikonversi menjadi energi panas yang dapat melelehkan logam. Busur nyala ini akan timbul apabila elektroda bersentuhan dengan logam induk. Pada pengelasan SMAW, elektroda yang digunakan adalah elektroda berselaput. Elektroda berselaput sendiri merupakan bahan kawat yang dilapisi fluks dari bahan kimia tertentu yang disesuaikan dengan jenis pengelasan. Elektroda ini termasuk ke dalam *consumable electrode* dikarenakan akan tereduksi seiring dengan penggunaannya (Weman, 2012).

Dalam aplikasinya, elektroda berselaput terdiri dalam dua bagian yang masing-masing memiliki tujuan tersendiri. Bagian inti elektroda berfungsi sebagai penghantar listrik dan sebagai bahan tambah (*filler metal*). Bahan elektroda ini terbuat dari logam *ferro* dan *non-ferro*, seperti aluminium, baja karbon, baja

paduan, kuningan, dan lain-lain. Sementara untuk bagian salutan berfungsi untuk memberikan gas pelindung pada logam yang dilas. Pelindung ini merupakan reaksi pembakaran dari fluks sehingga melindungi logam dari kontaminasi udara pada waktu logam dalam keadaan cair. Setelah pengelasan selesai dilakukan, akan terbentuk lapisan terak (*slag*) yang berfungsi untuk melindungi logam pada saat pendinginan dari oksidasi udara, mencegah pendinginan agar tidak terlalu cepat, dan memudahkan stabilitas busur (Wiryo Sumarto, 2000).

Pada elektroda jenis *stick* pada jenis pengelasan SMAW mengandung beberapa unsur fluks dengan kandungan TiO dan MnO. Titanium dioksida merupakan suatu oksida logam yang jika digunakan sebagai fluks tambahan pada permukaan elektroda dapat berfungsi sebagai penghasil slag yang baik. *Slag* yang dihasilkan oleh fluks ini sangat baik dalam melindungi lasan dari kontaminasi udara luar dan mencegah udara masuk ke dalam lasan. Selain itu fluks yang mengandung TiO₂ juga berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan (Affi & Gunawarman, 2007). Selain itu, peningkatan kandungan TiO₂ dalam fluks pengelasan dapat meningkatkan persentase *ferrite acicular*, yang memainkan peran penting dalam pengelasan SMAW. Penambahan unsur TiO₂ dapat mengurangi reaksi oksidasi atau penguapan pada pengelasan sehingga distribusi massa *slag* paduan utama seperti Fe, Cr, Ni dan Mn terdeposisi secara sempurna (Rajeswari et al., 2020). Fungsi utama dari fluks MnO adalah penghasil *slag* yang baik, lapisan slag dari fluks MnO melindungi logam lasan dari kontak dengan udara luar sehingga dapat mencegah masuknya hidrogen maupun oksigen ke dalam logam lasan. *Weld bead* dari fluks MnO juga halus sehingga

kekuatan dari logam lasan meningkat. Fluks MnO juga berperan sebagai deoksidator yang baik. Selain itu fluks MnO memiliki karakteristik sebagai elemen penambah paduan logam lasan (Affi & Gunawarman, 2007). Berdasarkan perhitungan *Basicity Index* (BI) kandungan 1% atom Mn untuk setiap persen atom TiO (MnOTiO_2) dapat mendeposisi atom lainnya dengan cara perhitungan setiap berat atom oksida dikalikan dengan 100% (Allen, 1995).

2.6.1 Fluks Elektroda E-7016

Masing-masing negara industri kawat las listrik maju menyusun simbol-simbol standar mereka masing-masing, dalam hal ini untuk keuntungan mereka sendiri, sehingga jumlah dan jenis simbol tersebut menjadi sangat banyak. Namun demikian dengan persetujuan diantara mereka, terdapat kesamaan-kesamaan ataupun kemiripan dalam sifat mekanis maupun susunan kimianya, sehingga dapat disusun suatu daftar konversi guna alternatif pemakaian seandainya suatu pihak /pemilik menghendaki jenis elektroda buatan suatu negara tertentu. Modul ini disusun berdasarkan cara-cara dan metode yang berorientasi kepada AWS (*American Welding Society*), sehingga simbol-simbol yang dipakai disini berdasarkan standar AWS tersebut. Adapun daftar konversi AWS dengan Standar Indonesia dan standar-standar lainnya akan disusun dalam terbitan tersendiri. Biasanya standar pengelasan seperti AWS tidak merinci komposisi detail dari fluks dan proses detail untuk pembuatan logam isian (*filler metal*). Elektroda hanya disyaratkan untuk memenuhi sifat mekanik minimum dan parameter pengelasan yang bisa digunakan. Seharusnya jika

elektroda diproduksi sesuai dengan standard akan memiliki kualitas produk yang sama walaupun dibuat dengan berbagai merk (Affi & Gunawarman, 2007).

Salah satu contoh elektroda adalah E-7016 yang merupakan bahan las jenis hidrogen rendah. Elektroda ini mengandung sejumlah gas hidrogen beberapa saat setelah dilakukan pengelasan dan bahan utama dari elektroda ini adalah kapur dan fluorat. Oleh karena itu, elektroda ini biasa disebut juga elektroda *low hydrogen* atau jenis kapur sehingga jenis ini perlu adanya preheat sebelum dilakukan pengelasan. Elektroda E-7016 sendiri memiliki makna (E) sebagai *electrode*, (70) menunjukkan kekuatannya tarik dalam Ksi, (1) menunjukkan posisi pengelasan 1 (dapat digunakan semua posisi), dan (5) menunjukkan jenis fluks yang digunakan yaitu *low hydrogen potassium*. Untuk komposisi dari elektroda ini sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.2 Komposisi Elektroda E-7016 (AWS A5.1, 2012)

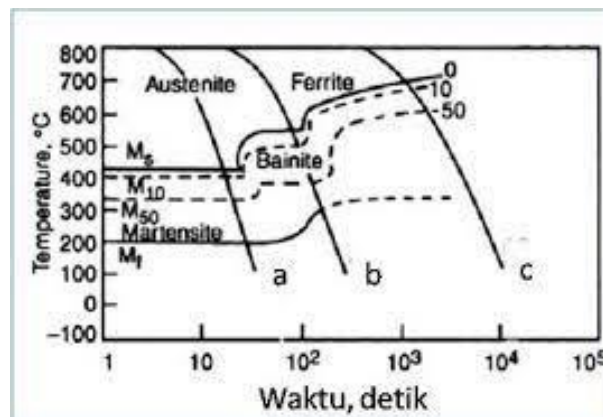
<i>Composition</i>	<i>Fraction (%)</i>
C	0,15
Mn	1,60
Si	0,75
S	0,035
P	0,035
Cr	0,2
Ni	0,3
Mo	0,3
V	0,08

2.6.2 Fluks Elektroda E480-16

Elektroda E480-16 adalah jenis elektroda lokal dengan bahan dasar stainless steel yang memiliki panjang kawat las 2,5 mm. Jenis elektroda ini dikenal memiliki karakteristik tahan korosi dikarenakan berasal dari bahan stainless steel. Jenis elektroda ini dapat digunakan pada suhu las dtandar pada proses pengelasan. Elektroda ini memiliki komposisi C sebesar 0,08%, Mn sebesar 0,37%. Si sebesar 0,14%, S sebesar 0,18%, P sebesar 0,022%, Ni sebesar 0,035%, Mo sebesar 0,005% dan V sebesar 0,004%. Jenis elektroda ini dikenal baik digunakan pada struktur baja karbon rendah pada aplikasinya.

2.7 Struktur Mikro

Pada setiap pengelasan pasti menghasilkan pemanasan oleh karena itu struktur mikro pada *base metal* sebelum pengelasan dan sesudah dilakukannya pengelasan pasti berubah. Pembentukan fasa terhadap laju pendinginan dianalisis oleh diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Gambar 2.10 menunjukkan diagram CCT Laju Pendinginan Temperatur terhadap Waktu



Gambar 2.10 Diagram CTT (Rusjdi, et al., 2016)

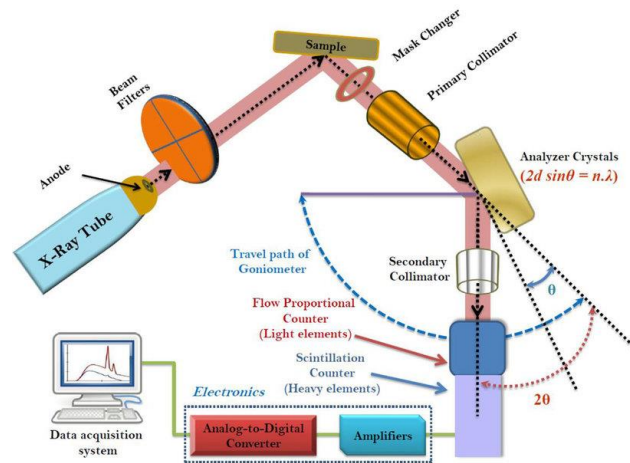
Laju pendinginan yang dilakukan setelah pengelasan memiliki waktu yang

cukup lama. Itu dikarenakan pertumbuhan butir yang dihasilkan dalam laju yang lama dapat mencegah adanya keretakan pada *weld* metal. Perubahan struktur mikro ini berada empat titik yaitu base metal, HAZ (*Heat Affected Zone*), *fusion line* dan *weld* metal. Hal ini diakibatkan oleh adanya laju pendinginan setelah dilakukan pengelasan sehingga akan mempengaruhi terbentuknya fasa. Oleh karena itu, setiap arus yang digunakan pada saat pengelasan dapat mempengaruhi transformasi perubahan fasa, itu dikarenakan semakin tinggi arus yang digunakan maka suhu yang dihasilkan akan semakin besar juga sehingga fasa yang terbentuk akan berbeda. Transformasi fasa yang dihasilkan pada arus yang besar adalah *bainite* dan fasa yang dihasilkan pada arus yang kecil adalah *ferrite* dan *perlite* (Santoso, et al., 2015).

2.8 Pengujian X-Ray Fluorescence

Pengujian *x-ray fluorescence* (XRF) adalah teknik pengujian yang dilakukan untuk mengetahui informasi mengenai analisis unsur kimia persentasenya dalam suatu material. Penggunaan metode *X-Ray Fluorescence* dalam penelitian berdasarkan pertimbangan bahwa teknik ini mempunyai batas deteksi hingga satuan ppm (*part per million*). Metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya relatif murah, multielemental (dapat mendeteksi berbagai macam material), analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif. Disisi lain, penggunaan metode XRF juga memiliki kekurangan yakni tidak dapat mendeteksi unsur karbon dalam logam (Mapossa, 2018). Analisa XRF dilakukan untuk mempelajari komposisi unsur bahan segala material termasuk bahan biomaterial, analisa ini memiliki akurasi, presisi, sensitivitas dan rentang linear yang dinamis.

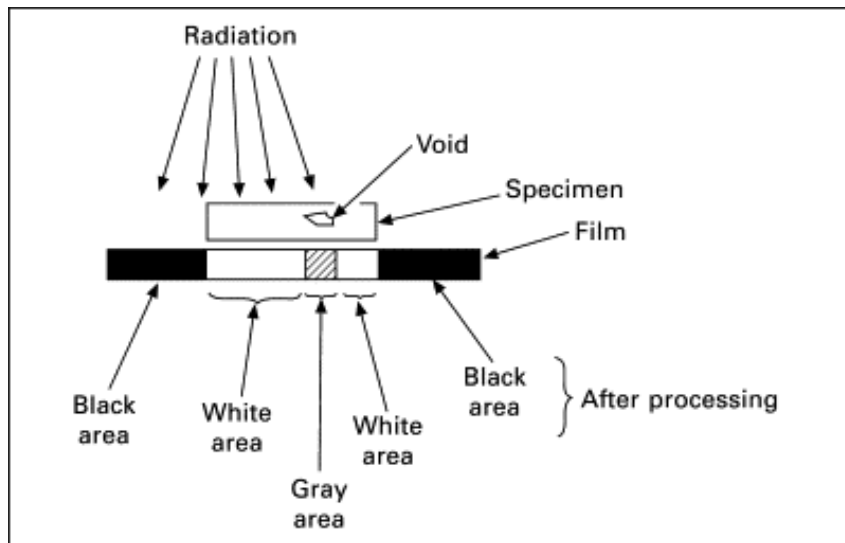
Pengujian XRF mampu mendeteksi persebaran elemen dengan penyebaran yang luas dimana fraksinya dapat diukur dari fraksi berat *composite* sama dengan murni (Singh et al., 2020). Gambar 2.11 menunjukkan skematik XRF pada sampel (Singh et al., 2020).



Gambar 2.11 Skematik Pengujian XRF (Singh et al., 2020)

2.9 Pengujian Radiografi (RT)

Pengujian radiografi, juga dikenal sebagai *Radiographic Testing* (RT) dalam metode *Non-Destructive Testing* (NDT), adalah sebuah teknik yang menggunakan sinar-X atau sinar gamma untuk memeriksa struktur internal dari material atau objek. Pengujian radiografi atau dikenal sebagai *radiographic testing* (RT) merupakan salah satu jenis pengujian tidak merusak yang digunakan untuk mendeteksi cacat pada material. Pada dasarnya, pengujian RT digunakan sebagai inspeksi dari cacat tak kasat mata pada material dengan menggunakan kemampuan dari gelombang radiasi elektromagnetik (*high energy photon*) untuk menembus beberapa jenis material. Intensitas dari radiasi yang menembus material akan ditangkap oleh *radiation sensitive film* (*film radiography*). Gambar 2.12 menunjukkan skematik pengujian radiografi.

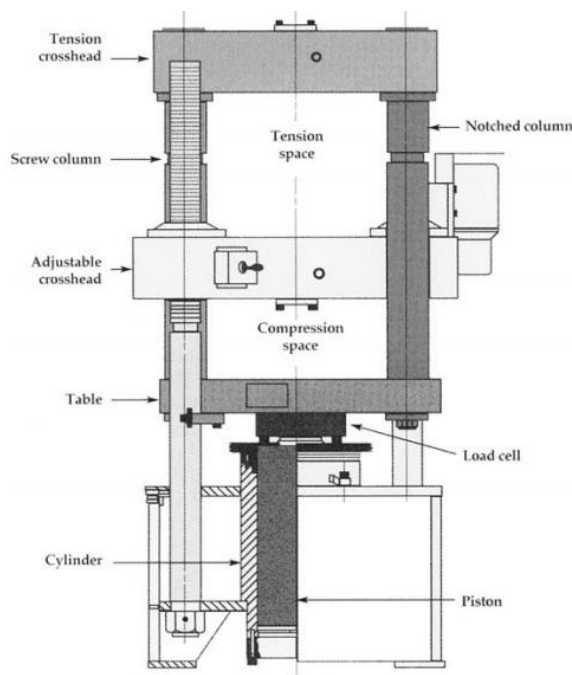


Gambar 2.12 Skema Pengujian Radiografi

Gambar 2.12 menunjukkan pengujian radiografi dimana bagian yang akan diinspeksi diletakkan diantara sumber radiasi dan *radiation sensitive film*. Berdasarkan Gambar 2.12 proses pengujian radiografi dalam pengelasan meliputi, pertama proses pembentukan isotop radioaktif sehingga menghasilkan sinar gamma atau sinar-X. Kedua, sinar radiasi diteruskan melalui *void* pada hasil las ke film fotografi. Ketiga, film yang diproses kemudian akan mendeteksi dan mengidentifikasi adanya diskontinuitas pada hasil las.

2.10 Pengujian Tarik (UT)

Pengujian tarik atau *tensile test* merupakan sebuah pengujian mekanik yang bersifat merusak (*destructive testing*) yang dilakukan untuk mengetahui tegangan dan regangan dari suatu spesimen atau sampel material. Dari tegangan dan regangan yang didapat, maka akan dikaitkan dengan kekuatan material (*material strength*) sehingga bentuk komparasi kepada material baru dapat dilakukan. Gambar 2.13 menunjukkan skematik bagian-bagian dari pengujian tarik yang dilakukan.



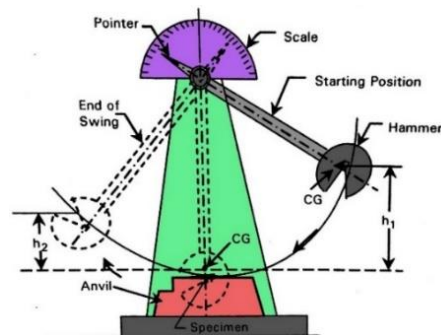
Gambar 2.13 Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine*)

Gambar 2.13 menunjukkan bagian-bagian dari mesin uji tarik. Dalam melakukan pengujian tarik, dibutuhkan spesimen dengan ukuran tertentu yang menjadi standar dalam pengujian, Ukuran spesimen ini dapat ditinjau kepada SNI 07-0049-1987 yang mengatur perihal dimensi dari spesimen. Dalam mekanismenya, pengujian tarik dilakukan dengan memberikan gaya aksial kepada material melalui satu atau dua ujung material. Pada beberapa mesin, satu capitan atau *clamp* bersifat statis sebagai *support*, dan satunya lagi merupakan *clamp* dinamis yang bergerak searah sumbu Y. Sementara itu, pada mesin lainnya, kedua *clamp* bersifat dinamis dan memberikan gaya aksial ke arah sumbu Y dan -Y (Moalli, 2001).

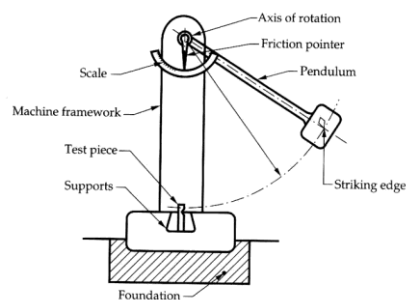
2.10 Pengujian Impak (UI)

Dalam menguji sifat mekanik dari sebuah material, selain digunakan pengujian tarik untuk mengukur kekuatan material, maka digunakan pula pengujian

impak untuk menentukan sifat mekanik lainnya. Pengujian impact atau dikenal sebagai uji impact merupakan sebuah metode pengujian merusak yang digunakan untuk mengetahui ketangguhan (*toughness*) dari sebuah material. Pengujian ini menggunakan prinsip *rapid loading* dengan menggunakan prinsip momentum dan impuls kepada material. Ketangguhan sendiri merupakan salah satu sifat mekanik dari material yang merepresentasikan berapa gaya yang dapat diserap oleh material hingga material mengalami kegagalan. Atau dapat dikatakan tujuan dari uji impact sendiri adalah untuk mengetahui seberapa tangguh material dalam menahan gaya yang datang secara tiba-tiba (laju kecepatan pembebanan yang tinggi) (Caballero, 2022). Dari bentuk patahan yang terjadi, dapat ditentukan perihal sifat material yang getas ataupun ulet, serta nilai ketangguhannya. Mesin uji ini nantinya akan memberikan informasi tentang berapa energi yang diserap hingga spesimen patah. Gambar 2.14 dan 2.15 merupakan pengujian impact dengan metode yang berbeda.



Gambar 2.14 Uji Impact Charpy



Gambar 2.15 Uji Impact Izod

Uji impak sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu Uji Impak *Charpy* dan Uji Impak *Izod*. Masing-masing pengujian memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode pengujian *charpy* sendiri berasal dari Amerika Serikat dan metode pengujian *Izod* berasal dari Inggris. Metode Uji Impak *Charpy* dan Uji Impak *Izod* dibedakan berdasarkan penempatan sampel uji pada saat pengujian dan arah pembebanan pada pendulumnya. Untuk sampel uji dengan ukuran kecil biasanya digunakan metode *charpy* dan dengan ukuran besar dapat menggunakan metode *izod*. Untuk komparasi perbandingan dari keduanya, dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini (Wardani, 2019):

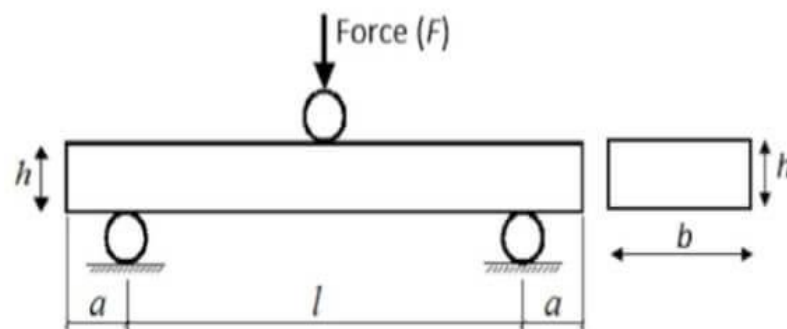
Tabel 2.4 Komparasi Uji Impak Charpy vs Izod

Material Sampel	Charpy	Izod
	Logam	Polimer & Logam
Tipe <i>Notch</i>	U-notch & V-notch	V-notch
Posisi Spesimen	Horizontal	Vertikal
Posisi Impak	Ditengah Sampel	<i>Upper Tip</i> dari Sampel
Standar dan Spesifikasi	SNI 07-0049-1987	SNI 07-0049-1987
Dimensi Spesimen	55 x 10 x 2.5 mm	12.7 x 3.2 mm

2.11 Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Pengujian tekuk atau dikenal sebagai *bending test* merupakan salah satu dari pengujian merusak (*destructive test*) yang digunakan untuk mengetahui *yield stress* dan *tensile strength* dari suatu material. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan alat *universal testing machine* yang digunakan untuk beberapa pengujian, salah

satunya adalah uji tarik. Kekuatan *bending* sendiri didefinisikan sebagai kemampuan material untuk mempertahankan deformasi di bawah tekanan yang merepresentasikan tekanan tertinggi yang dialami oleh material pada saat *moment of rupture* dari material tersebut. Ketika material mengalami penekukan, material mengalami rentang tekanan sepanjang kedalamannya. Pada sudut dari *concave face*, tekanan akan menjadi nilai kompresi maksimum. Sementara pada *convex face*, tekanan akan menjadi nilai tensil maksimum. Kekuatan flekstural (kekuatan *bending*) akan sama dengan kekuatan tensil jika material merupakan material yang homogen (Mahieux, 2006). Gambar 2.16 menunjukkan skematik dari pengujian tekuk (*bending*).



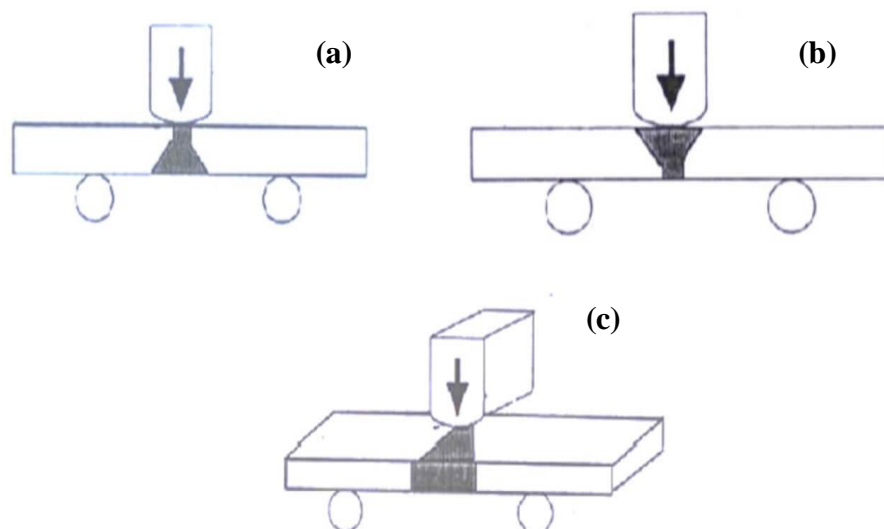
Gambar 2.16 Skema Pengujian Tekuk

Dalam mekanismenya, proses pembebanan dilakukan dengan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan sesuai standar untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. Setelah itu, bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan (DeTech, 2020). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan retak geser yang terjadi pada weld metal, dengan mempersiapkan sampel

seusai standard SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Hasil dari pengujian ini berupa keretakan pada daerah yang diuji yang dimana menandakan adanya pengaruh komposisi ataupun cacat yang terdapat pada daerah *weld metal*. Maka pada pengujian *bending* akan didapatkan data berupa sampel tersebut akan terjadi retak atau tidak. Jika sampel tidak terjadi retak maka sampel tersebut masuk ke dalam *accepted criteria*. Jika terjadi retak maka masuk ke dalam *no accepted criteria*.

2.11.1 Pengujian Tekuk Melintang

Pengujian tekuk melintang atau dikenal dengan *transversal bending* merupakan pengujian tekuk yang dilakukan dengan posisi spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Mengacu kepada arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian dibagi menjadi tiga yaitu *face bend* (a), *root bend* (b), dan *side bend* (c). Gambar 2.17 menunjukkan skematik dari pengujian tekuk jenis *transversal*.

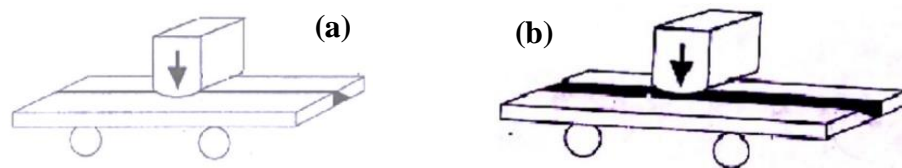


Gambar 2.17 Jenis *Transversal Bending*

Gambar 2.17 menunjukkan skematik pengujian *bending transversal*. Pengujian dengan metode *transversal* mengacu pada pembengkokan suatu material dalam arah tegak lurus terhadap butiran atau sumbu panjang material. Tegangan geser transversal gaya yang dihasilkan sering disebut sebagai pergeseran transversal, dan merupakan faktor penting dalam desain dan analisis sampel uji dengan bentuk balok. Dalam konteks pengelasan, tekuk melintang juga relevan dalam pengujian tekukan, dimana uji tekuk samping melintang digunakan untuk mengetahui kurangnya fusi dan cacat lainnya pada sambungan las.

2.11.2 Pengujian Tekuk Memanjang

Pengujian tekuk memanjang atau dikenal sebagai *longitudinal bending* adalah pengujian tekuk dimana spesimen yang akan diamati diletakan lurus dan pembebanan diambil searah dengan arah pengelasan. Terdapat dua jenis pengujian dari *longitudinal bending*, yaitu *face bend* (a), dan *root bend* (b). Gambar 2.18 menunjukkan skematik dari pengujian tekuk jenis *longitudinal*.



Gambar 2.18 Jenis *Longitudinal Bending*

Pengujian pada metode *longitudinal* mengacu pada deformasi suatu material atau struktur akibat gaya yang diterapkan sepanjang material atau struktur tersebut. Hal ini dapat mengakibatkan tegangan memanjang, yang

dapat menyebabkan pemanjangan atau pemendekan material atau struktur. Metode *bending longitudinal* dapat menimbulkan tegangan elastis, yang timbul dari momen elastis dan menghasilkan gradien tegangan tekan.