

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon. Sifat-sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,3 %, baja karbon sedang mengandung 0,3 – 0,45 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,45 – 1,7 % karbon (Jordi, 2017). Dapat dilihat pada Tabel 2.1 klasifikasi baja karbon.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon (BSN. 2016)

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (Kg.mm ²)	Kekuatan Tarik (Kg.mm ²)	Kekuatan Brinel	Penggunaan
Baja Karbon Rendah					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-115	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-alat Mesin
Baja Karbon Tinggi					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah mengandung karbon antara 0,10% sampai dengan 0,30% C. Baja karbon ini dalam penjualan kepada konsumen dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung karbon antara 0,30% sampai dengan 0,60% C. Baja karbon sedang ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin jugsan dapat digunakan untuk industri kendaraan, roda gigi, pegas, dan sebagainya.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara 0,60% sampai dengan 1,7% C. Baja ini mempunyai kekuatan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk *material tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu, gergaji atau pahat potong.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Plat ASTM A36 (ASTM, 2019)

Kandungan Unsur	Nilai (%)
C	$\leq 0,29$
Mn	0,6-0,9
P	$\leq 0,04$
S	$\leq 0,05$
Si	$\leq 0,4$

Dapat dilihat pada Tabel 2.2 merupakan komposisi pada plat ASTM A36 yang di gunakan pada penelitian kali ini dengan kandungan unsur C, Mn, P, S, dan Si. Jenis plat ASTM A36 ini termasuk ke dalam jenis baja karbon rendah.

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Plat ASTM A36 (ASTM, 2019)

<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Elongation</i> (%)
400-550	>250	>23

Dapat dilihat pada Tabel 2.3 merupakan komposisi sifat mekanik plat ASTM A36 dengan memiliki kekuatan tarik sebesar 400-550 Mpa, Yield Strength sebesar 250 Mpa dan Persen elongasi sebesar 23%.

2.2 Sifat Mekanik Baja

Material memiliki sifat diantaranya sifat mekanik yaitu sifat yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material tersebut. Sifat mekanik adalah sifat yang menunjukkan kelakuan material apabila material tersebut diberikan beban mekanik (statik atau dinamik). Sifat mekanik diantaranya adalah: (Hidayat, 2019)

1. Kekuatan (*Strength*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

2. Kekakuan (*Stiffness*)

Adalah kemampuan suatu material untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

3. Elastisitas (*Elasticity*)

Didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan, atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami deformasi (perubahan bentuk).

4. Plastisitas (*Plasticity*)

Adalah kemampuan material untuk mengalami deformasi plastik (perubahan bentuk secara permanen) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

5. Keuletan (*Ductility*)

Adalah suatu sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material ductile ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll.

6. Ketangguhan (*Toughness*)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa

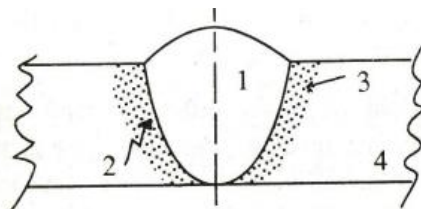
mengakibatkan terjadinya kerusakan.

7. Kegetasan (*Brittleness*)

Adalah suatu sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kerapuhan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanent. Material yang rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi regangan yang terlalu besar.

2.3 Pengelasan

Lasan ditentukan oleh *American Welding Society* (AWS) sebagai koalesensi lokal (fusi atau tumbuh bersama dari struktur butir bahan yang dilas) dari logam atau non logam yang diproduksi baik dengan memanaskan bahan ke suhu pengelasan yang diperlukan dengan penerapan tekanan atau tanpa bahan pengisi. Pengelasan didefinisikan sebagai proses penggabungan yang menghasilkan koalesensi bahan dengan memanaskannya ke suhu pengelasan dengan menggunakan logam pengisi (D1.1, 2020). Dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan (Putri, 2010).



Gambar 2.1 Daerah Lasan (Putri, 2010)

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 daerah lasan umumnya dibagi menjadi tiga daerah yaitu daerah *base metal* (BM), daerah HAZ, dan *weld metal* (WM) adalah

sebagai berikut (Putri, 2010).

1. Daerah logam las (*Weld Metal*) adalah daerah dimana logam mencair pada saat proses pengelasan dan suhunya di atas titik cair (pada logam murni) atau di atas garis cair (*liquidus line*)
2. Daerah Fusi (*Fusion Line*) merupakan garis batas antara logam yang mencair dan daerah terpengaruh panas (HAZ).
3. Daerah terpengaruh panas (HAZ) merupakan daerah logam induk yang dipengaruhi oleh panas, tetapi panas yang terjadi tidak sampai mencairkan logam induk. Daerah HAZ mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga menghasilkan daerah butir halus (*fine grain*) dan butir kasar (*coarse grain*).
4. Daerah logam induk (*Base Metal*) memiliki sifat-sifat sama sebelum maupun sesudah proses pengelasan. Didaerah ini, panas yang terjadi cukup rendah sehingga tidak menyebabkan perubahan pada struktur mikro. Sifat mampu las baja ditentukan oleh komposisi logam induk.

2.3.1 Arus Pengelasan

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang digunakan dalam pengelasan (Putri, 2010). Dapat dilihat pada Tabel 2.4. spesifikasi besar arus berdasarkan tipe elektroda yang digunakan pada proses pengelasan.

Tabel 2.4 Spesifikasi besar arus menurut tipe elektroda (AWS, 2020)

Diameter elektroda (mm)	Tipe elektroda dan besarnya arus (Ampere)					
	E6010	E6013	E6014	E7018	E7024	E7028
2,0	-	30-80	80-110	70-100	-	-
2,6	-	70-110	110-160	110-160	-	-
3,2	80-120	80-140	140-180	120-170	140-190	140-190
4	120-160	120-190	140-210	150-220	180-250	180-250
5,0	150-200	200-275	200-275	200-275	230-305	230-305
6,3	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	-	-	390-500	375-475	-	335-430

Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan (Putri, F. 2010)

2.3.2 Polaritas

a. Mesin las arus bolak balik (*Alternating Current*)

Arus listik 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 (110volt sampai 240volt), padahal kebutuhan tegangan yang dikeluarkan oleh mesin las untuk pengelasan hanya 55volt sampai 85 volt (Wandri, 2016).

Arus AC adalah arus yang sifatnya mempunyai dua arah atau biasa disebut dengan arus bolak-balik yang tidak memiliki sisi negatif. Proses pengelasan menggunakan arus AC dimulai dari digoreskannya elektroda ke material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut welder menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas (Wandri, 2016)

b. Mesin las arus searah (*Dirrect Current*)

Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin las yang berupa dinamo 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) (Wandri, 2016).

Arus DC (*Direct Current*) adalah merupakan arus searah dimana arus ini harus benar-benar searah dan memiliki kutub positif dan negatif atau lebih dikenal lagi plus minusnya dengan simbol + dan simbol (-), Arus DC disini benar-benar sudah disearahkan dengan menggunakan rangkaian penyearah seperti adaptor, fungsi penyearah disini dipakai untuk komponen-komponen elektronika seperti: IC, *Resistor*, *Capasitor*,

Transistor dan lainnya yang semuanya itu menggunakan arus searah (Wandri, 2016).

Perlu adanya pengaturan kecepatan pengumpanan kawat las yang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan panjang busur yang diperlukan. Bila menggunakan sumber listrik DC dengan tegangan tetap, kecepatan pengumpanan dapat dibuat tetap dan biasanya menggunakan polaritas balik (DCRP). Mesin las dengan listrik DC memiliki percikan api yang lebih kecil bila di bandingkan dengan mesin las listrik AC. Sehingga las listrik DC sangat cocok untuk pengelasan konstiksi bangunan, karena memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi (Wandri, 2016).

2.3.3 Sudut Kampuh V

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 atau bagian logam yang akan dilas perlu di berikan suatu bentuk kampuh las tertentu.

Tujuan utama dari pengelasan adalah untuk mendukung beban, sebagian beban mekanis dan sebagian untuk mencapai hasil pengelasan dengan kekuatan yang bisa di jamin, maka perlu di kembangkan sebagai bentuk *groove* (Lawrance, 1991) Untuk memperoleh kekuatan hasil pengelasan yang dapat di jamin kualitasnya, pengelasan sebaiknya menggunakan berbagai bentuk kampuh yang sudah dikembangkan.

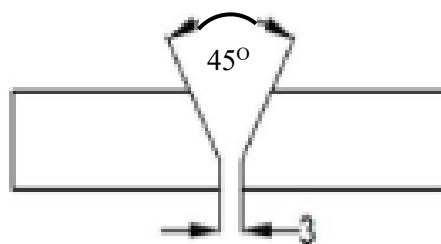
Pengerjaan kampuh las terdiri dari empat jenis yaitu sambungan

kampuh sisi, sambungan berimpit, sambungan sudut dan sambungan T. Sambungan atau kampuh menumpu adalah sambungan las yang dilakukan dengan jalan mengelas bagian tepi atau ujung dari logam yang akan dilas. Adapun sambungan atau kampuh menumpu terdiri dari sambungan I, V, X, dan $\frac{1}{2}$ V, $\frac{1}{2}$ X, U (Baghel, 2022)

Menurut Arifin Syamsul, kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 3,5-10 mm, dengan sudut kampuh 60^o -80^o dan jarak/celah kampuh sekitar 1- 3 mm. Pada waktu mengelas kampuh V diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk sebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila di perlukan (Syamsul, 1977)

2.3.4 Sambungan V *Butt Joint*

Pembuatan struktur las terdiri dari beberapa proses pemotongan material sesuai dengan ukuran, lengkungannya, dan menyambungkan satu sama lain. Tiap-tiap daerah yang disambung disebut dengan sambungan. Beberapa variasi sambungan las sebagai pilihan berdasarkan ketebalan, kualitas material, metode pengelasan, bentuk struktur dan sebagainya. (Hidayat, 2020)



Gambar 2.2 Tipe Sambungan Las *Single V-Butt Joint* (Hidayat, 2020)

Dapat dilihat pada Gambar 2.2 merupakan jenis sambungan *single V-Butt Joint*. Penelitian ini menggunakan tipe sambungan *single V* dengan sudut kampuh 45° . ada beberapa jenis tipe sambungan *Butt Joint* yaitu *square butt joint, single V-butt joint, single U-butt joint, double V-butt joint dan double U-butt joint* (Hidayat, 2020).

2.3.5 Posisi Pengelasan

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*) posisi pengelasan tegak (*vertical position*), dan posisi pengelasan di atas kepala (*overhead position*) (Bintoro, A.G. 2000)



Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G (Bintoro, 2000).

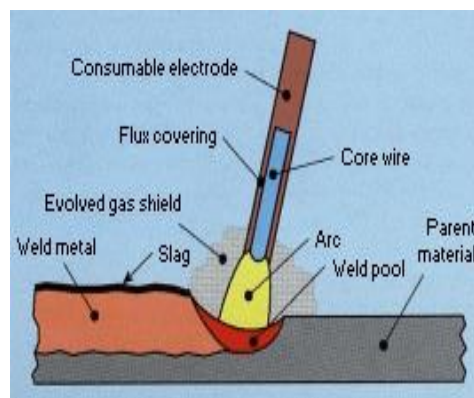
Dapat dilihat pada gambar 2.3 merupakan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*) atau pengelasan di bawah tangan. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan agak miring, yaitu letak elektroda berada diatas benda kerja. Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand*) memungkinkan penetrasi dan cairan logam tidak

keluar dari kampuh las serta kecepatan pengelasan yang lebih besar dibanding lainnya (Bintoro, 2000).

2.4 *Shielded Arc Metal Welding (SMAW)*

Salah satu proses paling umum adalah pengelasan dengan busur logam terlindung. Ini sering disebut dengan pengelasan pada lokasi tertentu karena kekuatan, efisiensi dan peralatannya yang lebih sedikit dengan menggunakan elektroda pelapis yang membentuk terak dan mencegah hasil lasan dari oksidasi dan menghilangkan kotoran (Groover, 2007).

Lapisan *flux* memiliki peran penting pada pengelasan SMAW, karena menghilangkan kontaminasi atmosfer dan menstabilkan busur. Pengelasan logam pelindung yang menggunakan peralatan seperti sumber listrik, elektroda telah digambarkan pada Gambar 2.4. Variabel proses pada pengelasan SMAW adalah posisi elektroda, panjang, kecepatan pengelasan, temperatur dan ampere yang digunakan (Agarwal, 1992).



Gambar 2.4 Proses Pengelasan SMAW (Groover. 2007).

Variabel ini mempengaruhi sifat material, memilih bahan elektroda yang tepat menggambarkan sifat-sifat suatu bahan. Lapisan elektroda memainkan peran

penting sebagai tambahan logam paduan pada daerah las dan memainkan peran penting dalam pengelasan fusi tidak hanya pada logam yang serupa namun dapat pada logam yang berbeda (Baghel, 2022). Dapat dilihat pada Tabel 2.5 spesifikasi proses pengelasan pada penelitian ini.

Tabel 2.5 Spesifikasi Proses Pengelasan

Nama	Keterangan
Material	ASTM A36
Tebal Material	10 mm
Standar	Standar AWS A5.1
Arus	120 A, 155 A, dan 190 A
Posisi	1G (<i>Down Hand</i>)

2.4.1 Parameter Proses SMAW

a. Arus

Selama proses pengelasan, ketika terjadi pada periode pengelasan, arus yang digunakan untuk menghasilkan busur untuk pemanasan dan peleburan disebut arus pengelasan. Arus memiliki fungsi dalam mengendalikan masukan panas. Semakin tinggi arus, semakin tinggi masukan panas. Tingkat arus yang optimal membuat masukan panas optimal yang menghasilkan struktur yang lebih homogen. Dengan meningkatnya arus, produk yang dihasilkan dapat digunakan untuk melelehkan logam yang berbeda, namun logam tertentu perlu dibersihkan dulu untuk menghilangkan lapisan oksidanya, lalu logam tersebut dapat dilebur (Baghel, 2022).

b. Tegangan

Tegangan busur mempengaruhi panjang busur. Panjang busur bertambah, pemanasan dan peleburan berkurang seiring dengan tercapainya temperatur yang lebih rendah, karena busur berada dalam kontak yang lebih lama dengan atmosfer sehingga menyebabkan menurunnya temperatur, pemanasan dan peleburan. Tegangan busur meningkat sehingga panjang busur bertambah namun arus pengelasan tetap sama sehingga penetrasi las tidak terpengaruh (kedalam) (Baghel, 2022).

c. Diameter Elektroda

Diameter elektroda harus sesuai dengan celah (*root gap*) antara dua material yang akan disambung (Baghel, 2022).

d. Polaritas

Elektroda searah dengan arus positif (DCEP) dan elektroda bolak balik dengan arus negatif (DCEN) adalah dua polaritas pada mesin pengelasan (Baghel, 2022).

e. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan memiliki peranan penting untuk mengendalikan kualitas geometri manik. Semakin tinggi kecepatan pengelasan, semakin rendah masukan panas yang dapat menyebabkan kurangnya penetrasi. Semakin kecil kecepatan pengelasan, semakin tinggi masukan panas. Semakin banyak waktu bagi butiran untuk menyerap panas sehingga terbentuk struktur

logam yang tidak seragam. Oleh karena itu, kecepatan pengelasan yang optimum agar strukturnya lebih halus dan homogen (Baghel, 2022).

f. Sudut *bevel*

Semakin tinggi sudut *bevel*, maka jumlah *layer* pada las yang terbentuk akan semakin banyak, sehingga homogenisasinya akan semakin tinggi, laju pendinginan akan semakin optimal sehingga dapat meningkatkan kekuatan sambungan (Baghel, 2022).

g. Sudut Elektroda

Sudut elektroda memiliki peran penting. Semakin tinggi sudut elektroda, semakin banyak akumulasi panas yang terjadi sehingga menghasilkan pencampuran yang homogen karena semakin banyak panas yang tersedia untuk melelehkan bahan sehingga membentuk campuran bahan dasar yang seragam (Baghel, 2022).

2.4.2 Keuntungan Menggunakan Proses Pengelasan SMAW

Keuntungan menggunakan proses pengelasan SMAW:(Baghel, 2022).

1. Biaya pemeliharaan dan peralatan yang rendah dibandingkan dengan proses GTAW, FCAW, dan GMAW karena hanya elektroda dan mesin las dengan catu daya yang digunakan
2. Perubahan elektroda yang cepat dari satu bahan ke bahan lainnya.
3. Prosesnya mengarah pada pengelasan ditempat terbatas dengan

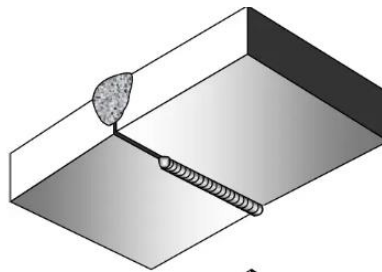
posisi yang bervariasi dan sedikit masalah yang ditimbulkan.

4. Tingkat deposisi lebih cepat dibandingkan dengan proses GTAW.
5. Memiliki portabilitas yang baik dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya.

2.4.3 Cacat Pengelasan SMAW

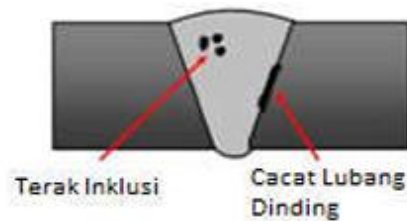
Cacat pengelasan pada proses pengelasan SMAW antara lain:
(Baghel, 2022)

- a. *Lack of fusion*, sering kali terjadi disebabkan oleh posisi elektroda yang tidak seragam dan sering menjadi masalah pada proses manual. Lasan yang tidak menembus dan tidak mencukupi disebut dengan pengelasan penetrasi sambungan. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.5



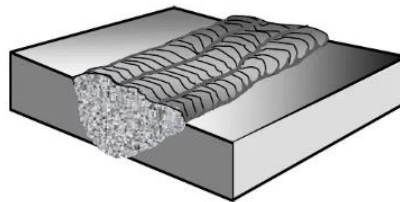
Gambar 2.5 *Lack of fusion* (Tarkono. 2010).

- b. *Slag Inclusion*, merupakan masalah umum yang terjadi dalam proses pengelasan SMAW. Jika tidak dibersihkan akan menimbulkan cacat pada hasil lasan yang dapat diperiksa dengan uji radiografi, uji tarik dan uji *bending*. Hal ini dapat dihindari dengan memberikan posisi kerja elektroda positif (DCEP) seperti pada *lack of fusion*. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 *Slag Inculison* (Sahlan. 2015).

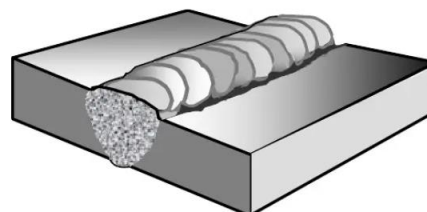
- c. *Overlap*, jika sudut kerja melebihi titik penyetelan, kemungkinan terjadi *overlap* pada permukaan hasil lasan. *Overlap* adalah cacat yang tidak dapat diterima pada hasil lasan. Hal ini karena membuat area melingkar yang terkena tegangan berubah menjadi akumulasi tegangan pada lokasi tertentu dan menyebabkan lokasi inisiasi retak ketika beban diterapkan pada lokasi tersebut. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Overlap* (Tarkono. 2010).

- d. *Undercut*

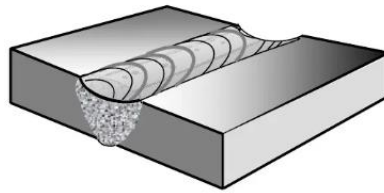
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa terdapat cacat disisi area pengelasan yang melebihi batas toleransi. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *Undercut* (Tarkono. 2010).

e. *Underfill*

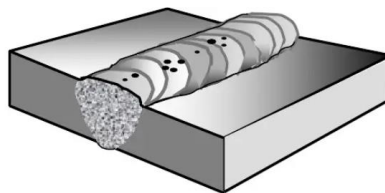
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa tinggi pengelasan atau biasa disebut dengan reinforcement lebih rendah bahkan tidak muncul sama sekali yang melebihi batas toleransi. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 *Underfill* (Tarkono. 2010).

f. *Porosity*

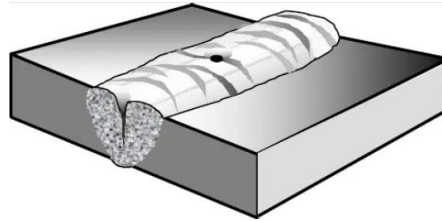
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa terdapat sekumpulan rongga-rongga diarea lasan yang disebabkan oleh udara yang terperangkap pada saat proses pengelasan berlangsung. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 *Porosity* (Tarkono. 2010).

g. *Pin Hole*

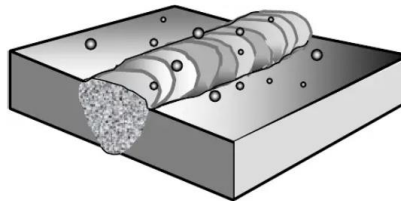
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa lubang kecil yang terjadi akibat udara yang terperangkap pada area lasan. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 *Pin hole* (Tarkono, 2010).

h. *Spatter*

Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa partikel logam yang terpercik saat proses pengelasan berlangsung berupa butiran-butiran logam kecil yang menempel pada material. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.12



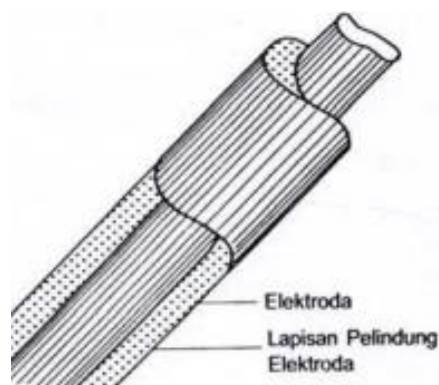
Gambar 2.12 *Spatter* (Tarkono, 2010).

2.5 Elektroda E6013

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (Arus AC dan DC) Pemilihan elektroda harus didasarkan pada jenis dan sifat logam induk serta kegunaan sambungannya (Harsono, 1986). Elektroda berfungsi sebagai logam pengisi pada bahan logam yang akan di las, untuk itu pemilihan jenis elektroda harus disesuaikan dengan bahan logam yang akan dilas. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapiasi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, elektroda berfungsi sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Pada dasarnya bila di tinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam *non ferro*. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam (Putri, 2010). Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material.



Gambar 2.13 Elektroda Las (Putri, 2010)

Dapat dilihat pada Gambar 2.13 penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar system AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*). Elektroda jenis E6013 dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan dengan arus las AC maupun DC. Rigi-rigi yang dihasilkan akan sangat halus maka terak yang ada akan mudah untuk di bersihkan dan busurnya dapat di kendalikan dengan mudah. Elektroda dengan kode E6013 untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing- masing yaitu: (AWS, A. 2008)

- E = Elektroda untuk las busur listrik
- 60 = Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan 60.000 psi.
- 1 = Menyatakan posisi pengelasan dapat digunakan untuk semua posisi.
- 3 = Elektroda dengan penembusan dangkal bahan dari selaput serbuk rutil kalium dengan arus AC atau DC.

Tabel 2.6 Klasifikasi Elektroda Las (BSN, 1987)

Seri E-420, Kuat Tarik Minimum Deposit Bahan Las 420 MPa (42,8 Kgf/mm ²)			
Kelas	Jenis Pembungkus	Posisi Las	Arus Listrik
1	2	3	4
E 420-10	Natrium selulosa tinggi	F, H, V, OH	DC+
E 420-11	Kalium selulosa tinggi	F, H, V, OH	AC atau DC ±
E 420-12	Natrium titan tinggi	F, H, V, OH	AC atau DC-
E 420-13	Kalium titania tinggi	F, H, V, OH	AC atau DC ±
E 420-20	Oksida besi tinggi	F, H-las sudut	AC atau DC-
E 420-22	Oksida besi tinggi	F, H-las sudut	AC atau DC ±
E 420-27	Serbuk besi, Oksida tinggi	H-las sudut	AC atau DC-

Dapat dilihat pada Tabel 2.6 Angka pertama dibelakang 420 menunjukkan posisi las. Umpamanya 1 pada elektroda E420-13 menandakan elektroda dapat digunakan pada semua posisi las (F, V, H, OH). Posisi las F, menandakan menggunakan posisi pengelasan dibawah tangan/datar. V, menandakan posisi pengelasan vertikal. H, menandakan posisi pengelasan horizontal. H-las sudut, menandakan posisi pengelasan horizontal las sudut dan OH, menandakan posisi pengelasan di atas kepala (SNI, 1987).

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan *fluxi* pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot ataupun celup. Ukuran standar diameter kawat

inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 mm sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput *fluxi* pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida, mangan, Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan *flux* pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot ataupun celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 mm sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput *fluxi* pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3)₂ titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida, mangan.

2.5.1 Karakteristik *Flux*

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau *Stick welding* adalah proses penyambungan logam dengan elektroda berbentuk *stick* yang terbungkus *fluks*. Bagian luar (*coating fluks*) elektroda akan terbakar pada saat proses pengelasan berlangsung dan sebagian menghasilkan gas yang melindungi proses pengelasan terhadap kontaminasi udara luar. Sebagian dari fluks kemudian membentuk slag dan berfungsi untuk menghambat laju pendinginan, sehingga kualitas sambungan lasan menjadi baik. Inti elektroda berfungsi sebagai *filler metal* (logam isian). Jika elektroda digerakkan pada benda kerja dengan kecepatan yang tepat dan goyangan yang sesuai akan diperoleh deposit lasan seragam disebut dengan *weld bead* (manik las). Busur terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda yang menghasilkan panas sehingga logam induk dan ujung elektroda mencair kemudian membeku bersamaan. Bagian *fluks* yang mencair

berfungsi sebagai penambah unsur paduan pada logam las dan sebagian besar menjadi terak di permukaan untuk melindungi logam yang masih panas dari kontaminasi atmosfer dan menghambat laju pendinginan. Secara detail fungsi *fluks* berfungsi sebagai: (Affi, 2007)

1. Pemantap busur

Pembakaran oksida mempengaruhi intensitas loncatan elektron dari elektroda ke logam induk dan ion dari logam induk ke elektroda. Loncatan ion dan elektroda terjadi pada busur yang disebut plasma. Semakin tinggi intensitas semakin banyak energi yang dibawa dan semakin tinggi kemampuan mencairkan logam akan semakin baik terhadap kedalaman penetrasi atau lebar manik las. Masing-masing komponen *fluks* mempunyai efek yang berbeda.

2. Penghasil gas pelindung

Fluks akan terbakar menghasilkan gas yang berfungsi sebagai pelindung busur dan logam cair dari kontaminasi udara luar. Dua jenis gas yang berbahaya bila menyusup adalah oksigen dan hidrogen. Kelarutan gas oksigen dan hidrogen dalam keadaan padat lebih rendah dibanding dalam keadaan cair. Dengan pendinginan yang cepat dikhawatirkan pelepasan gas akibat penurunan batas kelarutan lebih lambat dibanding laju pendinginan yang menyebabkan gas-gas terperangkap. Oksigen terperangkap membentuk keropos dan hidrogen terperangkap menghasilkan penggetasan

3. Elemen paduan tambahan

Fluks yang digunakan pada pengelasan sebagian akan masuk ke dalam logam lasan, hal ini akan mempengaruhi sifat mekanik dari logam lasan sesuai dengan karakteristik dari bahan yang terkandung pada *fluks* yang digunakan.

4. Sebagai penghasil *slag*

Slag terbentuk dari pembakaran *fluks* dan membentuk *slag* cair. Temperatur cair *slag* lebih tinggi dari logam sehingga pada pendinginan akan membeku lebih dulu. Berat jenis *slag* jauh lebih rendah dari logam cair dan mudah mengapung di permukaan. *Slag* padat akan melindungi logam yang masih panas dari kontaminasi udara luar sekaligus menghambat laju perpindahan panas logam untuk tujuan memperlambat laju pendinginan. Laju pendinginan lambat lebih diutamakan untuk logam-logam yang mudah membentuk fasa keras dan rapuh seperti martensit dan karbida lainnya.

5. Mempengaruhi efek penetrasi

Kedalaman penetrasi pengelasan dipengaruhi oleh *fluks*, hal ini juga berhubungan dengan fungsi *fluks* sebagai pemantap busur, dimana jika busur yang dihasilkan baik maka penetrasinya akan semakin baik.

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 dari elektroda terjadi pada saat ujung

elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik. Jika arus listrik yang digunakan besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya arus listrik yang kecil menyebabkan butiran logam cair yang terbawa menjadi kasar. Pola pemindahan logam cair mempengaruhi bentuk manik las dan kedalaman penetrasi.

2.5.2 Karakteristik Oksida Logam

Pada elektroda yang diproduksi dari pabrik memiliki komposisi fluks yang tidak diketahui secara pasti. Elektroda tersebut dapat dilapisi oleh fluks tunggal yang biasanya berupa oksida logam yang memiliki karakteristik yang disukai agar bisa menghasilkan perubahan sifat mekanik yang diinginkan. Ada beberapa karakteristik oksida logam antara lain: (Affi, 2007)

1. TiO_2 (*Titanium Dioksida*)

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 TiO_2 juga berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan. Manik las yang dihasilkan oleh fluks ini sangat halus sehingga kekuatannya meningkat. Karakteristik dari fluks ini dapat meningkatkan kualitas sambungan las yang diindikasikan dengan meningkatnya sifat mekanik logam lasan

2. MnO (*Manganese Okside*)

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.

3. Al₂O₃ (*Aluminium Dioksida*)

Oksida logam Al₂O₃ merupakan suatu oksida logam yang selain berfungsi sebagai penghasil slag yang baik juga berfungsi sebagai deoksidator pada proses pengelasan. Dimana oksida logam Al₂O₃ dapat mengikat hidrogen dengan baik sehingga produk lasan memiliki cacat yang sedikit. Akan tetapi fluks Al₂O₃ tidak begitu berperan sebagai penstabil busur sehingga penetrasi yang didapatkan tidak begitu meningkat dibandingkan tanpa menggunakan fluks tambahan. Oleh karena itu penggunaan dari fluks ini baik pada proses pengelasan plat baja tipis.

4. K₂O (Kalium Oksida)

Kalium oksida berfungsi sebagai penstabil elektroda dalam proses pengelasan selain berfungsi sebagai penstabil laju elektroda, elektroda ini berfungsi sebagai mencegah banyak percikan saat proses pengelasan. Oleh sebab itu, senyawa ini memiliki fungsi yang sangat penting pada komposisi *flux* elektroda.

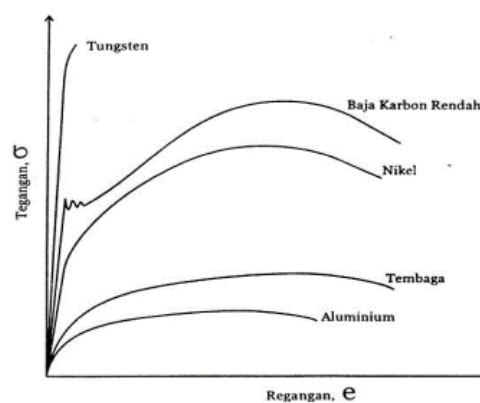
Selain bahan – bahan penyusun fluks, elektroda juga mengandung senyawa – senyawa kimia yang menyusun logam las yang menjadi bahan utama untuk menyambung pada proses pengelasan. Bahan – bahan tersebut antara lain: (Azwinur, 2019)

1. *Manganese (Mn)*: Mangan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi pada tingkat lebih rendah dari karbon. Untuk tujuan pengelasan, rasio mangan untuk sulfur minimal 10 berbanding. Fungsi dari unsur Mn adalah untuk dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan baja dan kekerasan.
2. *Phosphorus (P)*: Fosfor meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi dengan mengurangi elastisitas dan dampaknya terhadap ketangguhan, terutama pada baja karbon tinggi yang di-*quenching* dan *tempering*.
3. *Sulphur (S)*: Untuk pengelasan, mampu las menurun seiring peningkatan kandungan sulfur. Sulfur merugikan kualitas permukaan karbon rendah dan baja mangan rendah dan meningkatkan *hot shortness* di las dengan peningkatan sulfur.
4. *Silicon (Si)*: *Silicon* meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi pada tingkat lebih rendah daripada mangan. Dalam pengelasan, silikon merugikan kualitas permukaan, terutama di karbon rendah. Hal ini dapat memperburuk kecenderungan retak ketika kandungan karbon cukup tinggi. Untuk kondisi pengelasan terbaik, isi silikon tidak boleh melebihi 0,10%

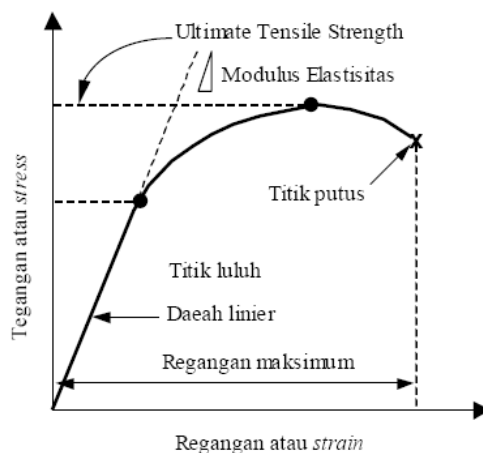
2.6 Pengujian Tarik

Salah satu yang bisa menyebabkan kegagalan pada elemen sebuah konstruksi mesin adalah beban yang bekerja pada elemen mesin besarnya melebihi kekuatan material. Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan pada material dibagi menjadi dua bagian yaitu kekuatan tarik dan kekuatan mulur. Kekuatan material bias diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik (Haris. B, 2016).

Dari Gambar 2.14 dapat dilihat beberapa komponen utama yang terdapat pada mesin uji tarik. Komponen utama tersebut terdiri dari alat pencatat gaya (*load cell*), alat pencatat pertammaterial panjang spesimen (*extensometer*), batang penarik (*moving crosshead*), dan spesimen. *Load cell* digunakan untuk mencatat besarnya pembebanan (F) yang dialami oleh spesimen, sedangkan *extensometer* digunakan untuk mencatat besarnya pertammaterial panjang (ΔL) yang terjadi pada spesimen. Hubungan antara gaya (F) terhadap pertammaterial panjang (ΔL) inilah yang nantinya akan dikonversikan ke dalam kurva tegangan (σ) terhadap regangan teknik (e). Setiap logam yang diuji tarik akan memperlihatkan perilaku yang berbeda dalam arti mempunyai empat besaran/parameter yang berbeda.



Gambar 2.14 Kurva Parameter Uji Tarik (Haris, 2016).

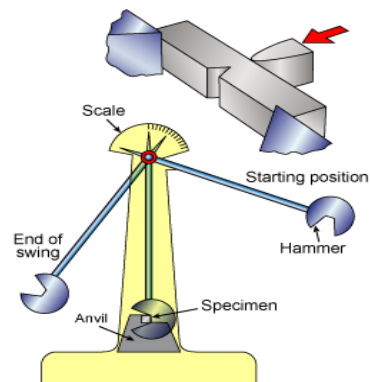


Gambar 2.15 Contoh Hasil Kurva Uji Tarik (Haris, 2016).

Dapat dilihat pada Gambar 2.15 Kurva uji tarik dapat diperoleh beberapa sifat mekanik material. Beberapa sifat mekanik material yang dimaksud yaitu Dari kekuatan tarik, keuletan, dan elastisitas. Contoh kurva hasil uji tarik dapat dilihat pada gambar 2.16 menjelaskan kekuatan material dan perpanjangan regangan yang terjadi pada material yang diuji dan mengetahui material tersebut termasuk kedalam material yang ulet atau getas.

2.7 Pengujian Impak

Pengujian bahan adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui spesimen menyerap energi yang diberikan. Pengujian impak merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan. Sifat keuletan atau *toughness* dari suatu bahan yang tidak dapat terdeteksi oleh pengujian lain jika dua buah bahan akan memiliki sifat yang mirip. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap pembebanan kejut (Fakri, 2019).



Gambar 2.16 Skema Uji Impak (Fakri, 2019)

Dapat dilihat pada Gambar 2.16 pengujian standar *charpy*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi impact yang dikenal dengan ketangguhan takik. Spesimen *charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses pemesinan pembebanan dalam proses pengujian impact diberikan oleh ayunan pendulum dengan berat (G) dan jarak terhadap sumbu putar (R) yang bergerak dari ketinggian (h_1) pada sudut awal (α) (Fakri, 2019).

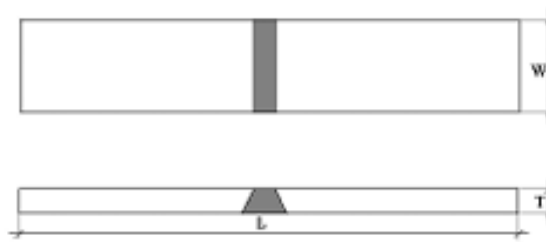
Pada uji impact, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji harus diukur. Setelah bandul dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan berayun kembali, semakin besar energi yang terserap maka semakin rendah ayunan kembali dari bandul. Energi yang terserap biasanya dapat dibaca langsung pada skala penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin pengujian.

2.8 Pengujian *Bending*

Pengujian tekuk (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kelenturan sambungan las baik di *weld metal* maupun pada daerah HAZ. Dalam pemberian

beban dan penentuan dimensi mandrel ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu kekuatan tarik, komposisi kimia, struktur mikro dan tegangan luluh (Naufal A, 2016).

Dapat dilihat pada Gambar 2.17 metode yang digunakan pada pengujian bending menggunakan *face transversal bending*. Dikatakan *face bend* karena *bending* dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis pembatasan WM dan HAZ) (Saduk, 2017).



Gambar 2.17 Skema Uji *Bending* (Saduk, 2017).