

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Proses pengelasan adalah salah satu proses terpenting dalam industri manufaktur. Pengelasan (welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Salah satu proses pengelasan yang paling umum dan sering kali digunakan yaitu pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). GTAW adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau yang biasa disebut TIG (*Tungsten Inert Gas*). Tipe ini menggunakan elektroda tungsten dalam proses pengelasannya. Tidak seperti pengelasan SMAW, pada pengelasan ini membutuhkan gas pelindung tambahan dan biasanya menggunakan gas argon sebagai pelindung gas. Karena sifat tungsten yang dapat bertahan dalam suhu yang sangat tinggi, sehingga tungsten tidak akan meleleh dan habis selama proses pengelasan. Yang sering menjadi permasalahan ialah ketika kekuatan dari hasil lasan tidak sesuai dengan yang ditargetkan. Teknologi pengelasan merupakan salah satu bagian yang tidak bisa dipisahkan dalam teknologi manufaktur. Ruang lingkup penggunaan teknologi pengelasan ini cakupannya meliputi rangka baja, perkapalan, jembatan, kereta api, pipa saluran dan lain sebagainya.

Mutu dari pengelasan di samping tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan, karena pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Pada penelitian ini pengelasan yang digunakan adalah las GTAW. Hal ini sangat erat hubungannya dengan arus listrik, ketangguhan, cacat las, serta retak yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dari konstruksi yang dilas.

Dipengelasan ini yang diuji adalah *Tensile Strenght* dan Uji Mikro. *Tensile Test* merupakan pengujian pada material dengan cara menarik suatu material sampai putus. Proses pengujian tarik berujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *Raw Materials*.

Sedangkan Uji struktur Mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Untuk dapat mengetahui hasil pengelasan GTAW digunakan pada pengujian Baja Carbon dan Galvanis dari pengelasan maka perlu dilakukan pengujian terhadap benda uji hasil dari pengelasan, sehingga penulis mengambil judul :

**“ANALISA HASIL *TENSILE STRENGTH* DAN STRUKTUR MIKRO PADA
SAMBUNGAN LAS GTAW MATERIAL BAJA CARBON DENGAN GALVANIS
DI PT. PERMATA HIJAU PALM OLEO
BELAWAN”**

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan gambaran yang telah diuraikan diatas, maka penulis merumuskan suatu pokok permasalahan yang terkait dengan permasalahan yang ditentukan di lapangan. Adapun rumusan pokok permasalahan adalah :

1. Bagaimana hasil dari pengujian *Tensile Strenght* pada Material baja Carbon dan galvanis pada pengelasan GTAW dengan perbedaan kuat arus?
2. Bagaimana hasil dari pengujian Struktur Mikro pada Material Baja Carbon dan Galvanis pada pengelasan GTAW dengan perbedaan kuat arus?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui hasil dari pengujian *Tensile Strenght* pada Material baja Carbon dan galvanis pada pengelasan GTAW dengan perbedaan kuat arus.
2. Untuk mengetahui hasil dari pengujian Struktur Mikro pada Material Baja Carbon Galvanis pada pengelasan GTAW dengan perbedaan kuat arus.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian di dapat beberapa manfaat:

1. Dapat Untuk mengetahui hasil dari pengujian *Tensile Strenght* dan pada Material baja Carbon dan galvanis pada pengelasan GTAW dengan perbedaan kuat arus.
2. Dapat mengetahui hasil dari pengujian Struktur Mikro pada Material Baja Carbon dan Galvanis pada pengelasan GTAW dengan perbedaan kuat arus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Pengelasan

Berdasarkan penemuan benda-benda sejarah dapat diketahui bahwa teknik penyambungan logam telah diketahui sejak zaman prasejarah, misalnya pematrian timbal-timah menurut keterangan yang didapat telah diketahui dan dipraktikkan dalam rentang waktu antara 3000 sampai 4000 SM. Sumber energi panas yang dipergunakan pada waktu itu diduga dihasilkan dari pembakaran kayu atau arang. Berhubung suhu yang diperoleh dengan pembakaran kayu dan arang sangat rendah maka teknik penyambungan ini pada waktu itu tidak dikembangkan lebih lanjut (Wiryosumarto,2004).

Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (filler metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya (Alip, 1989).

Dengan mendekatkan elektroda kelogam induk atau logam yang akan dilas sejarak kira-kira 2 mm, maka terjadi busur listrik yang merupakan sumber panas dalam proses pengelasan. Karena panas yang timbul, maka logam pengisi yang terbuat dari logam yang sama dengan logam induk mencair dan mengisi tempat sambungan. Dalam tahun 1889, Zerner mengembangkan cara pengelasan busur yang baru dengan menggunakan busur listrik yang dihasilkan oleh dua batang karbon. Dengan cara ini busur yang dihasilkan ditarik ke logam dasar oleh gaya elektromagnet sehingga terjadi semburan busur yang kuat (Widharto,2006) .

Slavianoff dalam tahun 1892 adalah orang pertama yang menggunakan kawat logam elektroda yang turut mencair karena panas yang ditimbulkan oleh busur listrik yang terjadi. Dengan penemuan ini maka elektroda di samping berfungsi sebagai penghantar dan pembangkit busur listrik juga berfungsi sebagai logam pengisi. Kemudian Kjellberg menemukan bahwa kualitas sambungan las menjadi lebih baik bila kawat elektroda logam yang digunakan dibungkus dengan terak. Penemuan ini adalah permulaan dari penggunaan las busur dengan

elektroda terbungkus yang sangat luas penggunaannya pada waktu ini.

Setelah energi listrik dapat dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesat sehingga menjadi suatu teknik penyambungan yang mutakhir. Cara-cara dan teknik pengelasan yang banyak digunakan pada waktu ini seperti las busur las resistansi listrik, las termit dan las gas, pada umumnya diciptakan pada akhir abad ke-19. Alat-alat busur dipakai secara luas setelah alat tersebut digunakan dalam praktek oleh Benardes dalam tahun 1885. Dalam penggunaan yang pertama ini Benardes memakai elektroda yang dibuat dari batang karbon atau grafit. Jumlah penemuan pada tahun-tahun tertentu dan jenis pengelasan yang ditemukan dipergunakan dalam praktek pada waktu ini, sebagian masih memerlukan perbaikan yang mungkin dalam waktu yang dekat akan menjadi lebih bermanfaat dan dapat merupakan sumbangan yang berharga kepada kemajuan teknologi las.

Definisi pengelasan menurut *DIN* (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

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

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan.

2.2 Klasifikasi Pengelasan

Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut pada waktu ini dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lainnya, sedangkan klasifikasi yang kedua

membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya.

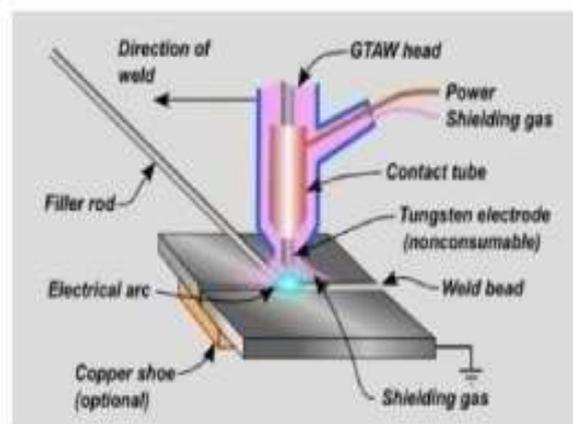
Jenis-jenis pengelasan yang umumnya dilakukan adalah:

2.2.1 Pengelasan GTAW

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau sering juga disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) yang menggunakan inert gas sebagai pelindung dengan tungsten atau wolfram sebagai elektroda (Syahrani, Mustafa and Oktavianus 2010).

1. Prinsip Kerja Las GTAW

Prinsip kerja pengelasan GTAW adalah meleburkan dan menggabungkan logam dengan cara memanaskan benda kerja dengan busur listrik yang berasal dari tungsten yang digunakan pada stang las.



Gambar 2.1 Prinsip kerja las GTAW
(Syahrani, Mustafa and Oktavianus 2010)

2. Kelebihan dan Kekurangan Las GTAW

Setiap komponen atau peralatan industri pasti memiliki kelebihan dan kekurangan dalam sistem kerjanya. melihat dari sistem kerjanya, kelebihan dan kekurangan dari las GTAW dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 kelebihan dan kekurangan las GTAW

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Tidak perlu membersihkan <i>slag</i>	Cacat las porositas atau lubang-lubang kecil sering terjadi karena gas pelindung tidak dapat melindungi secara maksimal.
2	Aliran gas menjadikan daerah disekitar cairan logam tidak mengandung udara sehingga mencegah pengotoran oleh nitrogen dan oksigen yang dapat menyebabkan oksidasi .	Laju pengisian lebih lambat dibandingkan las SMAW.
3	Hasil lasan lebih kuat karena dapat penetrasi yang dalam dan ketahanan korosi lebih tinggi.	Agar terhindar dari porositas dan cacat lain las GTAW butuh kebersihan sambungan yang lebih baik dari las SMAW
4	Hasil pengelasan sangat bersih	
5	Hasil las lebih bersih karena tidak menghasilkan percikan	

3. Peralatan Kerja Las GTAW

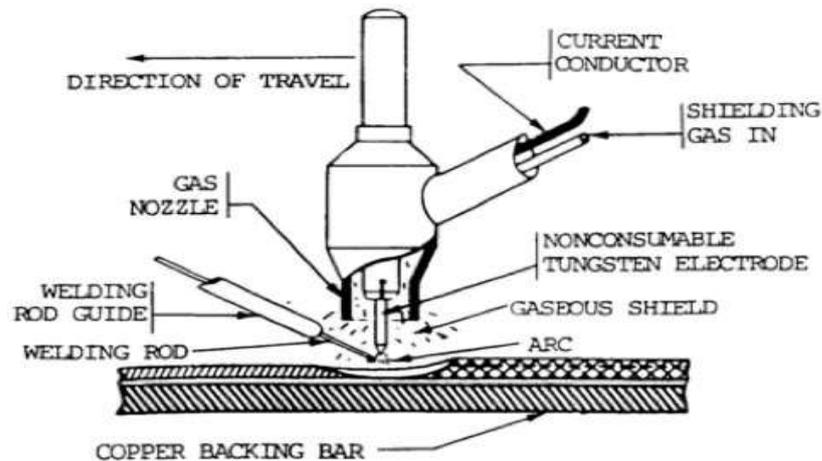
1. Mesin las AC/DC

Merupakan mesin las pembangkit yang digunakan di dalam pengelasan las gas tungsten. Pemilihan arus AC atau DC biasanya tergantung pada jenis logam yang akan dilas.

2. Stang Las (*Torch Las Gtaw / Tig*) / *Welding Torch*

Stang las (*torch* las GTAW/tig) adalah alat yang digunakan dalam melakukan pengelasan berfungsi sebagai tempat keluarnya gas lindung dan menyatukan sistem las yang berupa penyalaan busur. *Welding Torch*

adalah alat yang digunakan sebagai pegangan saat proses pengelasan, dalam welding torch terdapat beberapa komponen seperti ceramic cup yang berfungsi sebagai tempat keluarnya gas pelindung. Kemudian tempat tungsten, penghantar arus listrik, slang gas pelindung. Untuk detail gambarnya silahkan lihat gambar 2.2 sebagai berikut ini



Gas tungsten arc (TIG) welding (GTAW).

Gambar 2.2 *Welding Torch*

3. Tabung Gas Argon

Tempat yang digunakan sebagai penyimpanan gas lindung berupa argon dan helium. Dalam penelitian ini tabung gas yang digunakan adalah tabung gas untuk argon.

4. Kawat Las GTAW (*Welding Rod*)

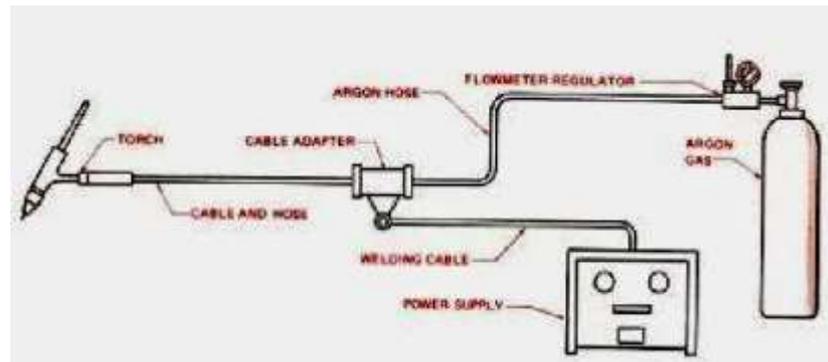
Kawat las yang ada pada las GTAW bermacam-macam, ada tipe ER 70 S, ER 308 L-16, ER 309 Mo L, ER 309 Mo L-16/17, ER 316 L-16, ER 312-16. Semua jenis tersebut dapat diaplikasikan pada pengelasan baja atau jenis material yang tahan korosi.

5. Regulator Dan Flowmeter

Pengatur tekanan gas yang akan digunakan di dalam pengelasan gas tungsten. Pada regulator ini biasanya ditunjukkan tekanan kerja dan tekanan gas di dalam tabung. Sedangkan Flowmeter dipakai untuk menunjukkan besarnya aliran gas.

6. Kabel Elektroda (kabel las)

Kabel elektroda / kabel las berfungsi menghantarkan arus dari mesin las menuju stang las, Kabel masa berfungsi untuk penghantar arus ke benda kerja. Penempatan kabel masa berada pada kutub positif (+) atau negatif (-) tergantung jenis material yang dilas. Berikut adalah gambar skema pada peralatan las GTAW pada gambar 2.3 sebagai berikut ini



Gambar 2.3 Peralatan pada las GTAW

7. Polaritas Las GTAW

Polaritas adalah pemasangan kabel elektroda dan kabel massa ke kutub positif/ negatif pada mesin las. Polaritas las GTAW untuk penetrasi dalam terdapat pada polaritas DCEN, dan untuk yang dangkal terdapat pada DCEP. Hal ini disebabkan panas pada DCEN 70% benda kerja, dan 30% elektroda, sedangkan DCEP 70% panas di elektroda, 30% benda kerja. Adapun polaritas pengelasan GTAW dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini

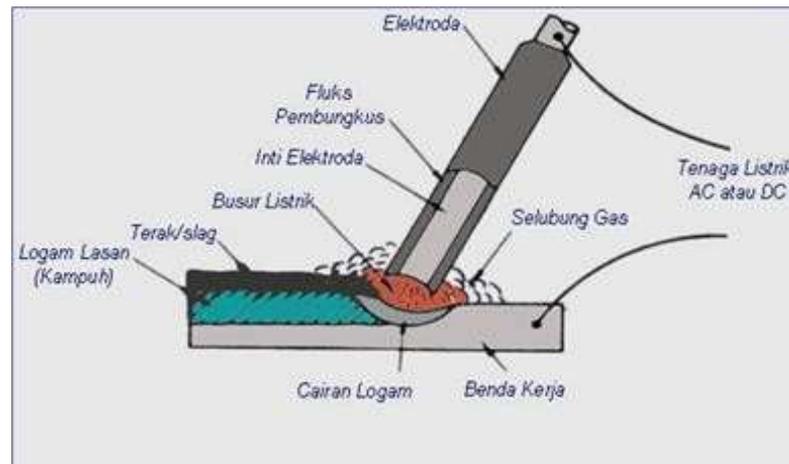
CURRENT TYPE	DCEN	DCEP	AC (BALANCED)
ELECTRODE POLARITY	NEGATIVE	POSITIVE	
ELECTRON AND ION FLOW			
PENETRATION CHARACTERISTICS	DEEP, NARROW	SHALLOW, WIDE	MEDIUM
OXIDE CLEANING ACTION	NO	YES	YES ONCE EVERY HALF CYCLE
HEAT BALANCE IN THE ARC (APPROX.)	70% AT WORK END 30% AT ELECTRODE END	30% AT WORK END 70% AT ELECTRODE END	50% AT WORK END 50% AT ELECTRODE END
ELECTRODE CAPACITY	EXCELLENT e.g., 1/8 in. (3.2 mm) 400 A.	POOR e.g., 1/4 in. (6.4 mm) 120 A.	GOOD e.g., 1/8 in. (3.2 mm) 225 A.

Gambar 2.4 Polaritas GTAW

2.2.2 Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW adalah mencairkan elektroda dan benda kerja menggunakan energi panas yang dihasilkan pada ujung elektroda. Las SMAW

banyak dipakai oleh masyarakat dibandingkan dengan las yang lain karena beberapa keunggulan yang ada namun juga banyak kelemahannya juga. Salah satu keunggulannya adalah dapat melakukan pengelasan dimana saja dan kapan saja serta dapat dilakukan didalam air, sedangkan salah satu kekurangannya adalah pengelasan yang terbatas sampai sepanjang elektroda dan harus melakukan penyambungan. Proses pengelasan elektroda terbungkus terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pengelasan (SMAW)
(Wiryosumarto&Okumura 2004)

Karakteristik pengelasan SMAW adalah sebagai berikut:

1. Mesin Las SMAW

Mesin las SMAW adalah mesin las yang menggunakan arus DC, AC, atau DC/AC. Sedangkan, yang digunakan pada saat pengelasan di Bengkel Fabrikasi Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung (Polmanbabel) adalah mesin las SMAW berarus DC. Banyaknya las SMAW yang digunakan dipolman babel tidak terlepas karena harga mesin yang lebih murah dibandingkan dengan mesin las GTAW.

2. Kelebihan dan Kekurangan Las SMAW

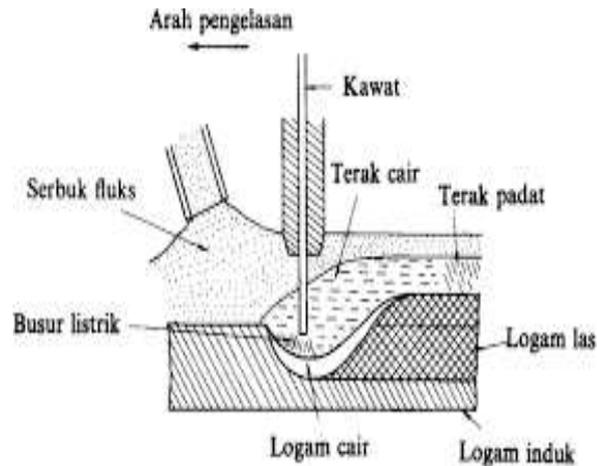
Kelebihan dan kekurangan las SMAW dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 kelebihan dan kekurangan las SMAW

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Dapat digunakan dimana saja termasuk didalam air	Pengelasan terbatas sampai sepanjang elektoda dan harus melakukan penyambungan
2	Dapat ngelas berbagai macam material	Setiap melakukan pengelasan berikutnya harus membersihkan terak las sebelumnya
3	Mudah diatur dan mudah dirakit	Sering dan mudah terjadi oksidasi karena pelindung logam cair hanyalah busur las
4	Dapat dipakai mengelas semuaposisi.	Tebal plat dan posisi pengelasan mempengaruhi diameter elektroda
5	Elektroda mudah didapat dalam banyak ukuran dan diameter.	

2.2.3 Pengelasan busur terendam (SAW)

Pengelasan dimana logam cair ditutup dengan fluks yang diatur melalui suatu penampang fluks dan elektroda yang merupakan kawat pejal diumpankan secara terus menerus, dalam pengelasan ini busur listrik nya terendam dalam fluks. Prinsip las busur terendam ini material yang dilas adalah baja karbon rendah, dengan kadar karbon tidak lebih dari 0,05%. Proses pengelasan elektroda terbungkus terlihat pada gambar 2.6 Di bawah ini:

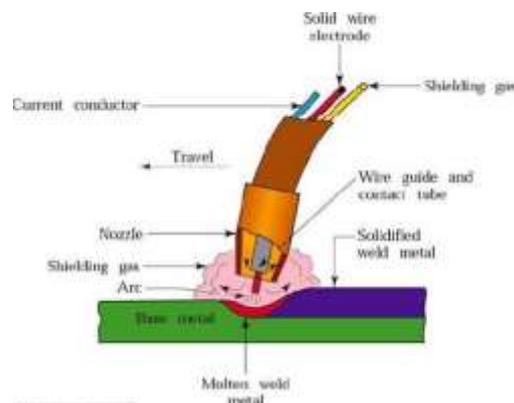


Gambar 2.6 Proses Pengelasan Busur Terendam (SAW)

Sumber:(Harsono 2000)

2.2.4 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pada proses *GMAW* elektrodanya adalah kawat menerus dari gulungan yang disalurkan melalui pemegang elektroda (alat yang berbentuk pistol). Perlindungan dihasilkan seluruhnya dari gas atau campuran gas yang diberikan dari luar. Jenis pengelasan ini menggunakan busur api listrik sebagai sumber panas untuk peleburan logam, perlindungan terhadap logam cair menggunakan gas mulia (inert gas) atau CO₂ merupakan elektroda terumpun yang diperlihatkan pada gambar 2.3. Proses *GMAW* dimodifikasikan juga dengan proses menggunakan fluks yaitu dengan penambahan fluks yang magnetik (magnetized fluks) atau fluks yang diberikan sebagai inti (fluks cored wire). Proses Pengelasan Busur Logam Gas (*GMAW*) terlihat pada gambar 2.7

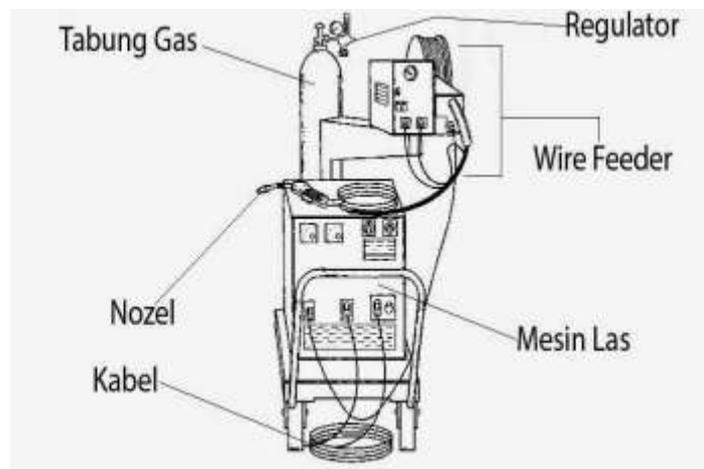


Gambar 2.7 . Proses Pengelasan Busur Logam Gas (*GMAW*)

Sumber: (Yudi Prasetyo, 2016)

2.2.5 Flux Cored Arc Welding (FCAW)

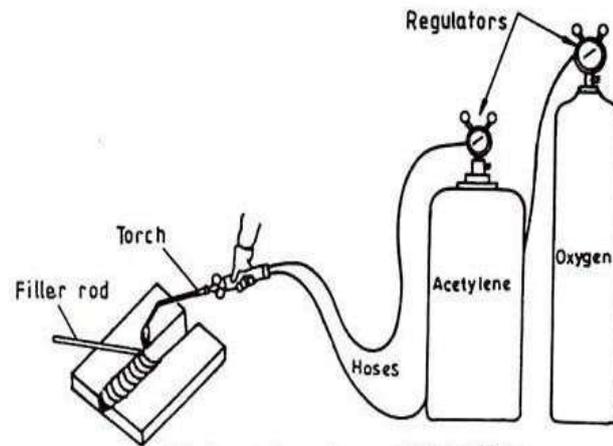
FCAW merupakan proses pengelasan busur listrik elektroda terumpun. Proses FCAW sama seperti GMAW tetapi elektroda logam pengisi yang menerus berbentuk tubular (seperti pipa) dan mengandung bahan fluks dalam intinya. Bahan inti ini proses peleburan logam terjadi diantara logam induk dengan elektroda berbentuk turbolens yang sekaligus menjadi bahan pengisi, fluks merupakan inti dari elektroda ,terbakar menjadi gas, akan melindungi proses dari udara luar, gas pelindung dihasilkan oleh inti fluks tetapi biasanya diberi gas pelindung tambahan dengan gas CO₂ seperti gambar 2.8



Gambar 2.8 Proses Pengelasan Berinti Fluks

2.2.6 Las Oksi Asetilen (Oxyacetylene Welding)

Pada las *Oxyacetylene*, panas dihasilkan dari reaksi pembakaran antar gas acetylene dan oksigen. Nyala yang dihasilkan terdiri dari dua daerah/zona, yaitu : daerah pembakaran primer (primary combustion) dan daerah pembakaran sekunder. Pada daerah pembakaran primer, menghasilkan panas sekitar 1/3 dari total panas pembakaran sempurna. Sedangkan pada daerah pembakaran sekunder, terjadi setelah pembakaran primer berlangsung. Proses pengelasan Las Oksi Asetilen (Oxyacetylene Welding) dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Proses pengelasan Las Oksi Asetilen (Oxyacetyline Welding)

2.3 Penyalaan Busur

Ada dua metode dasar yang digunakan untuk memulai penyalaan busur yaitu dengan metode menggores (*striking*) dan metode memukul (*tapping*). Penyalaan busur dimulai dengan adanya hubungan pendek antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja.

Pada metode *striking* elektroda disentuhkan kepermukaan benda kerja dengan menggoreskan gerakannya mirip dengan penyalaan korek api, begitu elektroda menyentuh permukaan benda kerja menghasilkan busur yang tidak stabil, oleh karena itu harus dijaga jarak antara ujung elektroda dan permukaan benda kerjasama dengan diameter elektroda yang dipakai.

Pada metode mengetuk elektroda di posisi *vertical* tegak lurus dengan permukaan benda kerja. Penyalaan busur dimulai dengan mengetuk atau melambungkan nya diatas permukaan benda kerja, begitu elektroda menyentuh permukaan kerja menghasilkan busur yang tidak stabil, oleh karena itu harus dijaga jarak antara ujung elektroda dengan benda kerja sama dengan diameter elektroda yang digunakan. Jika penarikan elektroda untuk membuat jarak antara elektroda dan benda kerja terlambat maka cairan logam akan dengan cepat membeku sehingga elektroda lengket pada beban kerja. Apabila elektroda sulit dilepas dari benda kerja maka segera matikan mesin dan lepaskan elektroda dari benda kerja. Jangan pernah melepaskan helm atau topeng las selama ada kemungkinan elektroda bias menghasilkan busur.

2.4 Kuat Arus (Ampere)

Penggunaan Ampere selama proses pengelasan sangat bergantung pada besar kecilnya diameter elektroda yang dipakai. Informasi besarnya ampere yang dipakai biasanya ditemukan pada bungkus elektroda, misalnya ampere yang dianjurkan untuk elektroda tertentu adalah 90-100 ampere, pada pelaksanaan latihan biasanya akan menetapkan besarnya *ampere* dipertengahan diantara kedua kedua batas tersebut, yaitu di 95 ampere, sesudah mulai mengelas pengaturan *ampere* kembali dilakukan sampai hasilnya optimal, berikut ini Tabel 2.3 arus yang digunakan untuk mengelas.

Tabel 2.3 Diameter Kawat Las Dan Besar Arus

No	Diameter Kawat Las (mm)	Besar Arus (Amp)
1	2,0	50-75
2	2,5	70-95
3	3,25	95-130
4	4,0	135-180
5	5,0	155-240
6	6,0	190-315

1. Ampere yang terlalu besar dapat mengakibatkan:
 - a. Elektroda terlalu panas dapat merusak kestabilan fluks
 - b. Lebar cairan terlalu lebar
 - c. Perlindungan cairan las tidak maksimal dapat mengakibatkan logam lasan berpori
 - d. Besar kemungkinannya terjadi *undercut*
 - e. Terak sukar dibersihkan

2. Ampere yang terlalu kecil dapat mengakibatkan.
 - a. Penyalaan busur sulit dan lengket lengket.
 - b. Peleburan terputus-putus akibat dari busur yang tidak stabil.

- a. Standart Penentuan Kuat Arus listrik

Rumus standart untuk penentuan kuat arus listrik adalah :

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

I = Kuat Arus Listrik (Ampere/A)

Q = Muatan Listrik (Coulumb/C)

t = Waktu (Second/s)

Selain rumus di atas, terdapat rumus menghubungkan kuat arus listrik dengan beda potensial untuk menghitung hambatan arus listrik yaitu:

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

I = Kuat Arus Listrik (Ampere/A)

Q = Hambatan Listrik (Ohm)

R = Beda Potensial Listrik (Volt)

2.5 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan adalah laju dari elektroda pada waktu proses pengelasan. Kecepatan maksimum pengelasan sangat bergantung pada keterampilan juru las (welder) posisi jenis elektroda dan bentuk sambungan. Kecepatan pengelasan berbanding lurus dengan besar arus. Biasanya, jika kecepatan pengelasan terlalu cepat, logam lasan menjadi terlalu cepat dingin, menyebabkan bentuk deposit las menjadi kecil dengan puncak yang runcing. Sebaliknya, jika kecepatan perjalanan pengelasan terlalu lambat, deposit las

bertumpuk tumpuk menjadi terlalu tinggi dan lebar, kecepatan yang sesuai adalah bila menghasilkan deposit las baik, dengan tinggi maksimal sama dengan diameter elektroda dan lebar tiga kali diameter elektroda proses pengelasan melibatkan pemanasan dan pendinginan pada umumnya struktur mikro dari logam tergantung dari kecepatan pendinginannya dari temperature terbentuknya fase awal sampai ke temperature kamar, karena perubahan struktur ini dengan sendirinya sifat sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Pada dasarnya daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu:

1. Logam Pengelasan

Merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.

2. *HAZ* (Heat Affected Zone)

Merupakan daerah logam dasar yang terkena pengaruh panas yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan yang cepat.

3. Logam induk yang tidak terpengaruh panas

Merupakan bagian logam dasar dimana panas dan temperature pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan perubahan struktural dan sifat.

2.6 Jenis-jenis Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik dari satu media ke yang lain, biasanya dari sumber listrik ke perangkat atau bahan. Elektroda dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda, termasuk kawat, piring, atau tongkat, dan yang paling sering terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik nonlogam, seperti grafit. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis. Dimana pada arus listrik memasuki atau meninggalkan larutan atau media lainnya pada perangkat listrik seperti baterai, sel ic Elektrolit, atau tabung elektron. Pada beberapa perangkat elektroda juga disebut kutub atau pelat. Elektroda baterai dipisahkan oleh larutan yang mengandung ion- ion (atom atau kelompok atom bermuatan listrik). Salah satu elektroda (elektroda negatif) mengalami reaksi kimia yang memberikan kelebihan elektron. Elektroda lainnya (elektroda positif) mengalami reaksi kimia

yang menghilangkan elektron. Ketika dua elektroda dihubungkan oleh sebuah sirkuit listrik eksternal, kelebihan elektron akan mengalir dari elektroda negatif ke positif. Sel elektrolit dan tabung elektron yang terhubung ke sumber eksternal daya listrik, seperti baterai atau dinamo. Sumber listrik menggerakkan elektron ke salah satu elektroda (menjadikannya elektroda negatif), menarik elektron dari yang lain (sehingga elektroda positif), dan menyebabkan arus mengalir melalui media antara mereka. Elektroda di mana muatan negatif memasuki perangkat listrik disebut katoda, elektroda di mana muatan negatif meninggalkan disebut anoda. Elektroda negatif pada baterai adalah anoda, sedangkan elektroda negatif dari sel elektrolit adalah katoda.

Dalam melakukan pengelasan terdapat elektroda yang digunakan dalam melakukan pengelasan, elektroda tersebut terbagi atas 2 jenis yaitu:

1. Elektroda polos

Yaitu elektroda yang tidak terdapat pelindung atau selaput pada bagian batang elektroda itu sendiri.

2. Elektroda Berselaput

Elektroda (Kawat Las) adalah bagian ujung yang berhubungan dengan benda kerja rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas. Pengelasan yang menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las yang terbuat dan terdapat zat pelindung berupa selaput yaitu *fluks* untuk melindungi agar pengelasan yang dilakukan lebih rapi, pada elektroda terdapat penomoran yang digunakan untuk menentukan jenis jenis elektroda atau pun mengenai cara pengelasan nya. Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (American Welding Society) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

a) E menyatakan elektroda busur listrik

XX (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan Ib/in².

b) X (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan angka 1 untuk pengelasan segala posisi. angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan.

c) X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang

cocok dipakai untuk pengelasan. Contoh : E 6013 Artinya sebagai berikut: Kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000 Ib/in² atau 42 kg/mm². Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC.

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destruksi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO₃), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda.

Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO₂ yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O₂ dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

2.7 Fluksi

Fluksi merupakan pembungkus elektroda yang sangat diperlukan untuk meningkatkan mutu sambungan karena fluksi bersifat melindungi metal cair dari udara bebas serta menstabilkan busur. Terdapat 2 macam Fluksi sesuai dengan pembuatannya:

a. *Fused Fluksi*

Fused Fluksi terbuat dari campuran butir-butir material seperti mangan, kapur, boxit, kwarsa dan fluorpar didalam suatu tungku pemanas. Cairan terak yang terbentuk akan diubah ke dalam bentuk fluksi dengan jalan. Dituang di suatu cetakan dalam bentuk beberapa lapis atau susun yang tebal kemudian dipecah serta disaring sesuai dengan ukuran butiran yang diinginkan. Dari kondisi

panas dituang ke dalam air, sehingga timbul percikan-percikan yang kemudian disaring sesuai ukurannya. Metode ini lebih efisien, tetapi kualitas fluksi yang dihasilkan mengandung hidrogen yang cukup tinggi yang memerlukan prose lebih lanjut untuk mengurangi kadar hidrogen tersebut.

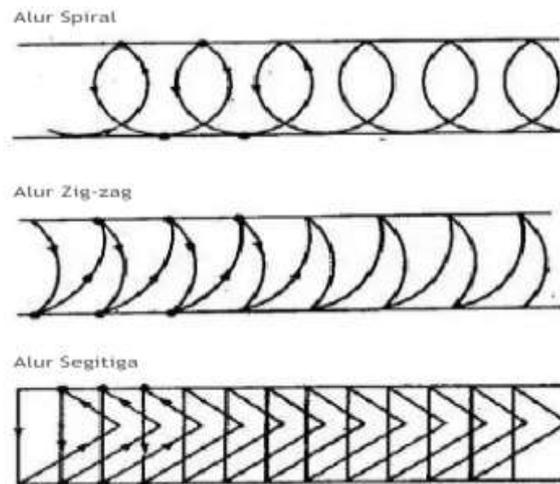
b. *Bonded Fluksi*

Bonded Fluksi ini dibuat di pabrik dengan jalan mencampur butiran-butiran material yang ukurannya jauh lebih halus seperti mineral, *ferroalloy*, *water glass* sebagai pengikat dalam suatu pengaduk (mixer) yang khusus. Campuran tersebut kemudian akan dikeringkan dalam suatu pengering yang berputar pada temperature 6000–8000°C.

2.8 Teknik Ayunan Dalam Pengelasan

- a. Gerakan arah turun sepanjang sumbu elektroda. Gerakan ini dilakukan untuk mengatur jarak busurlistrik agar tetap.
- b. Gerakan ayunan elektroda. Gerakan ini diperlukan untuk mengatur lebar jalur las yang dikehendaki.
 - Ayunan keatas menghasilkan alur las yang kecil,
 - Ayunan kebawah menghasilkan jalur las yang lebar. Penembusan las pada ayunan keatas lebih dangkal daripada ayunan kebawah.
 - Ayunan segitiga dipakai pada jenis elektroda Hydrogen rendah untuk mendapatkan penembusan las yangbaik diantara dua celah pelat.

Beberapa bentuk-bentuk ayunan diperlihatkan pada gambar dibawah ini. Titik-titik pada ujung ayunanmenyatakan agar gerakan las berhenti sejenak pada tempat tersebut untuk memberi kesempatan padacairan las untuk mengisi celah sambungan.Tembusan las yang dihasilkan dengan gerakan ayun tidak sebaik dengan gerakan lurus elektroda. Waktuyang diperlukan untuk gerakan ayun lebih lama, sehingga dapat menimbulkan pemuaiian atau perubahanbentuk dari bahan dasar. Dengan alasan ini maka penggunaan gerakan ayun harus memperhatikan tebal bahan dasar.



Gambar 2.10 Ayunan Pada Pengelasan

2.9 Cacat Las

Cacat las adalah suatu cacat atau kerusakan sambungan las yang dapat terjadi dari berbagai faktor yakni, arus terlalu tinggi, kecepatan tarikan atau ayunan terlalu lambat, dan lain sebagainya. Adapun beberapa jenis-jenis cacat las adalah sebagai berikut:

1. Cacat Las Slag Inclusion (si)

Cacat las ini terjadi karena terperangkapnya slag atau terak dalam jalur pengelasan.

2. Cacat Las Tungsten Inclusion (ti)

Cacat Las ini terjadi karena terperangkapnya serpihan tungsten pada penelasan GTAW.

3. Cacat Las Porosity (p)

Cacat Las ini terjadi karena terdapat lubang-lubang kecil pada jalur pengelasan akibat elektrodanya lembab.

4. Cacat Las Crack/retak (c).

Cacat Las ini disebabkan karena pendinginan yang terlalu cepat.

5. Cacat Las Underfill (uf)

Hal ini terjadi karena pengisian yang tidak sempurna.

6. Cacat Las Undercut (uc)

Undercut terjadi karena penetrasi yang terlalu tinggi, travel speed yang lambat dan amper yang terlalu tinggi.

7. Cacat Las Burn Through (bt)

Cacat las yang dapat terjadi karena amper yang terlalu tinggi.

8. Cacat Las Overlap (ol)

Cacat las ini terjadi karena pada saat proses pengelasan filler peleburan elektrod tidak melebur dengan sempurna.

9. Cacat Las excessive reinforcement (excess)

Cacat las ini terjadi karena permukaan jalur hasil pengelasan terlalu timbul atau terlalu tinggi.

10. Cacat Las Misalignment

Cacat las ini terjadi karena material yang dilas terlalu panas menyebabkan terjadi pembengkokan pada benda kerja.

11. Cacat Las *Poor stop/start*

Cacat las ini terjadi karena proses refill elektroda untuk menghasilkan jalur yang panjang.

12. Cacat Las *Spatter*

Cacat las ini dapat terjadi karena percikan elektroda yang mengenai benda kerja karena amper yang terlalu tinggi dan elektrodanya dalam kondisi lembab.

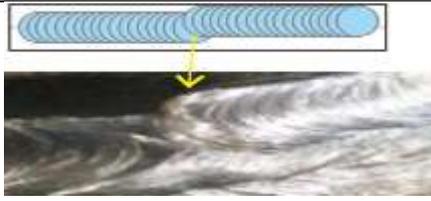
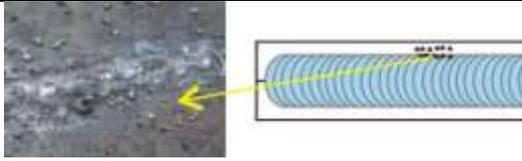
13. Cacat Las *Arc Strike* (as)

Cacat las ini terjadi karena ketika seorang juru las tanpa sengaja menyentuh stang elektroda ke base metal sehingga terjadi goresan lasan.

Tabel 2.4 Cacat Las

No	Jenis Cacat Las	Gambar
1	Cacat Las Slag Inclusion (si)	
2	Cacat Las Tungsten Inclusion (ti)	

3	Cacat Las Porosity (p)	
4	Cacat Las Crack/retak (c)	
5	Cacat Las Underfill (uf)	
6	Cacat Las Undercut (uc)	
7	Cacat Las Burn Through (bt)	
8	Cacat Las Overlap (ol)	
9	Cacat Las excessive reinforcement (excess)	
10	Cacat Las Misalignment	

11	Cacat Las <i>Poor stop/start</i>	
12	Cacat Las <i>Spatter</i>	
13	Cacat Las Arc Strike (as)	

2.10 Pengujian Hasil Pengelasan

Pengelasan pada umumnya sangat bergantung dengan keterampilan juru las. Pengelasan hasil las yang baik harus melalui tahapan dideteksinya dengan metode pengujian sederhana pada bagian yang sulit dideteksi. Selain itu karena struktur yang dilas merupakan bagian integral dari seluruh badan material las maka retakan yang timbul akan menyebar luas dengan cepat bahkan mungkin bisa menyebabkan kecelakaan yang serius. Untuk meminimalisir atau mencegah kecelakaan tersebut pengujian dan pemeriksaan pada daerah las sangat penting. Maksud dari pengujian adalah untuk menentukan kualitas produk tersebut.

2.10.1 Pengujian Dengan Cara Merusak (Destructive Test)

Destructive Test atau pengujian dengan cara merusak merupakan alat uji pada material yang diuji cobakan dengan cara merusaknya. Tujuan dari *Destructive Test* adalah untuk memahami ketahanan suatu material dengan cara merusak agar dapat mengetahui apakah material kuat jika di tekan, tarik, dan lengkungkan sehingga menciptakan material yang berkualitas nantinya.

1. Pengujian Tarik (Tensile Test)

Tensile Test merupakan pengujian pada material dengan cara menarik suatu material sampai putus. Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las

dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *Raw Materials*. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (*ductile*).



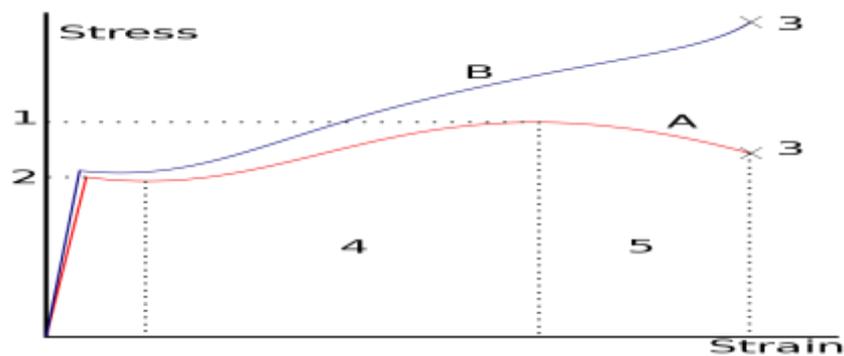
Gambar 2.11 Alat Uji Tarik

Sumber: Muchammadlutfihakim.com/2014

Kekuatan tarik umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan disebut dengan adanya suatu dari kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi seperti keberadaan zat pengotor dalam bahan, temperatur dan kelembaban lingkungan pengujian, dan penyiapan spesimen.

Dimensi dari kekuatan tarik adalah gaya per satuan luas. Dalam satuan SI, digunakan pascal (Pa) dan kelipatannya (seperti MPa, megapascal). Pascal ekuivalen dengan Newton per meter persegi (N/m^2). Satuan imperial diantaranya pound-gaya per inci persegi (lbf/in^2 atau psi), atau kilo-pound per inci persegi (ksi, kpsi). Kekuatan tarik umumnya digunakan dalam mendesain bagian dari suatu struktur yang bersifat *ductile* dan *brittle* yang bersifat tidak statis, dalam arti selalu menerima gaya dalam jumlah besar, meski benda

tersebut tidak bergerak. Kekuatan tarik juga digunakan dalam mengetahui jenis- jenis bahan yang belum bisa dipakai dan untuk digunakan pada suatu sistem yang terjadi pada kekuatan tarik sehingga dapat kita ketahui, misal dalam forensik dan paleontologi. Kekerasan bahan memiliki hubungan dengan kekuatan tarik. Pengujian kekerasan bahan salah satunya adalah metode Rockwell yang bersifat non-destruktif, yang dapat digunakan ketika uji kekuatan tarik tidak dapat dilakukan karena bersifat destruktif. Berikut contoh kurva pengujian *Tensile Strength* pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Kurva *Tensile Strength*

Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan (Wiryosumarto, 2000):
Tegangan:

$$\alpha = \frac{F}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

F= Beban (N)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

Regangan

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

$$\tau_{\beta} = \frac{F_{Max}}{A_o} \dots\dots\dots(5)$$

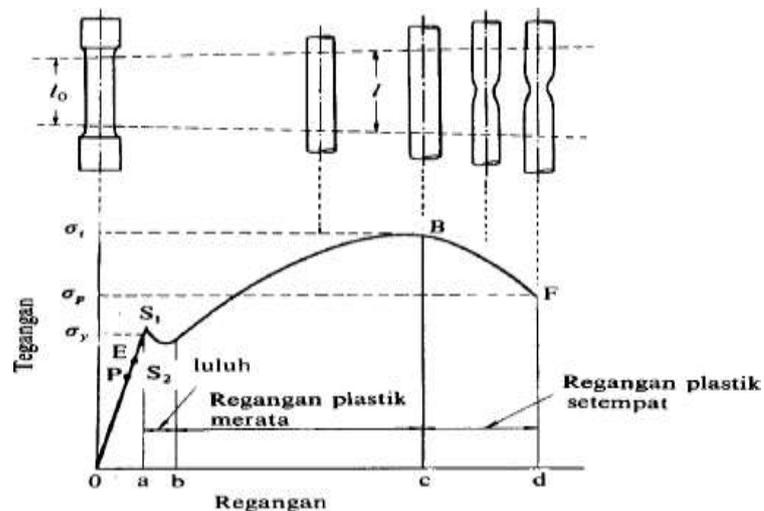
Dimana:

τ_{β} = Tegangan tarik (N/mm^2)

F_{max} = Tekanan Maksimum (N)

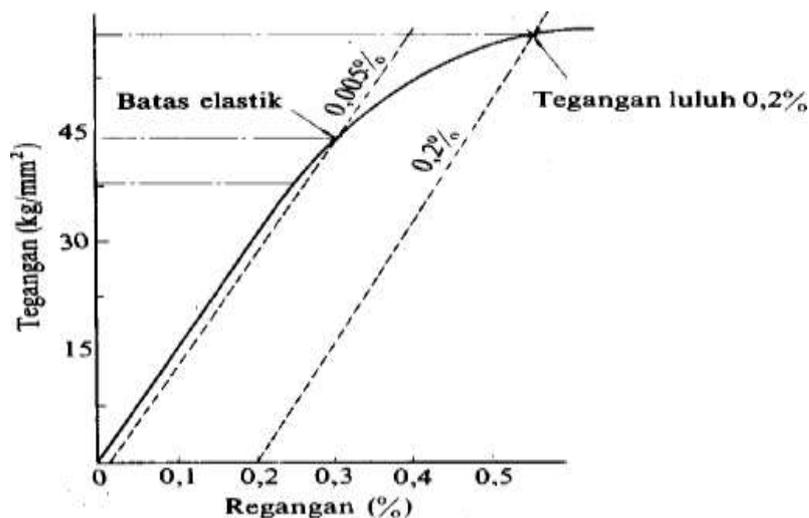
A_o = Luas Penampang (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2.12. Titik P menunjukkan batas dimana hukum *hooke* masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji, pada kondisi ini disebut batas elastis.



Gambar 2.13 Kurva Tegangan – Regangan Teknik
(Wiryosumarto, 2000).

Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam, batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan – regangan. Dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dan regangan sebesar 0,2%. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2.14 Batas Elastis Dan Tegangan Luluh

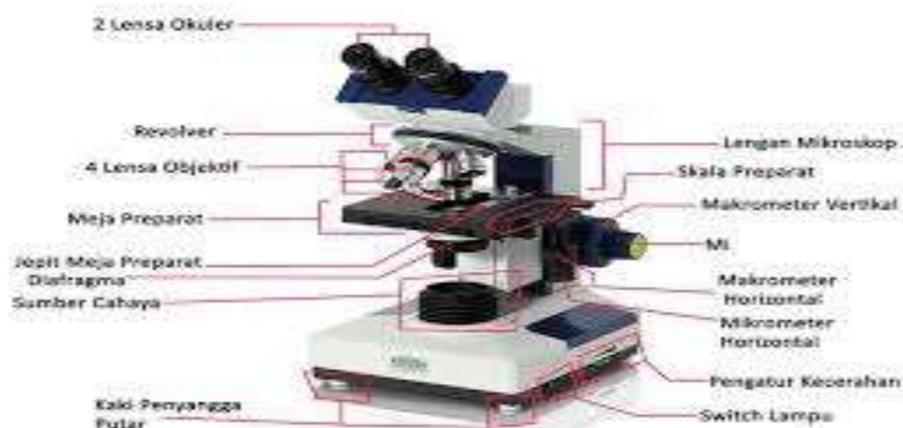
(Wiryosumarto, 2000)

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 28. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikkan secara bertahap sampai spesimen mengalami putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan data berupa tegangan luluh (σ_{ys}), tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas beban (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik (Dowling, 1999).

2. Pengujian Struktur Mikro

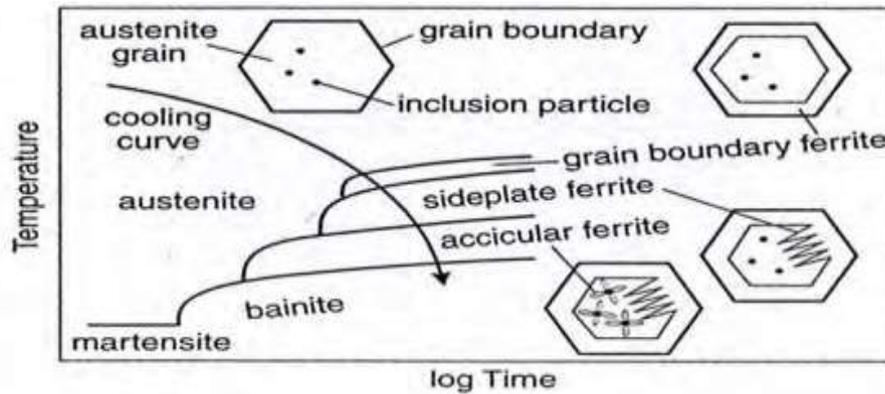
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui isi unsur kandungan yang terdapat didalam spesimen baja karbon rendah yang akan diuji. Dengan menggunakan spesimen uji yang telah dihaluskan agar dapat

terlihat kandungan didalam benda uji tersebut. Mikrostruktur atau struktur mikro merupakan fasa-fasa yang terdistribusi pada logam yang dapat diamati melalui mikro test atau metalografi. Dari struktur mikro, dapat juga dilihat bentuk dan ukuran butir pada baja. Struktur mikro ini meliputi fasa yang setimbang dan tidak setimbang. Fasa yang setimbang merupakan fasa yang terbentuk dengan pendinginan yang sangat lambat, sedangkan fasa tidak setimbang adalah fasa yang terbentuk dengan pendinginan yang cepat.



Gambar 2.15 Pengujian Struktur Mikro

Fasa setimbang dapat dianalisa dengan menggunakan diagram fasa FeC. Mikrostruktur atau struktur mikro merupakan fasa-fasa yang terdistribusi pada logam yang dapat diamati melalui mikro test atau metalografi. Fasa yang setimbang merupakan fasa yang terbentuk dengan pendinginan yang sangat lambat, sedangkan fasa tidak setimbang adalah fasa yang terbentuk dengan pendinginan yang cepat. Fasa setimbang dapat dianalisa dengan menggunakan diagram fasa FeC. Fasa yang tidak setimbang adalah fasa yang terbentuk akibat pendinginan yang beragam, Fasa ini dapat dianalisis dengan menggunakan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram CCT pada pengelasan baja karbon yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.16 Diagram CCT pada pengelasan baja karbon

1. Grain Boundary Ferrite

Merupakan struktur mikro yang menempati batas-batas butir dari weld metal.

2. Sideplate Ferrite

Merupakan struktur mikro yang bentuk strukturnya berorientasi dengan arah yang sama.

3. Accicular Ferrite

Merupakan struktur mikro yang bentuk strukturnya berorientasi secara acak dan berukuran kecil.

4. Bainite

Merupakan ferrite yang tumbuh dari batas butir austenite dan memiliki kekerasan yang lebih rendah dari Martensite.

5. Martensite

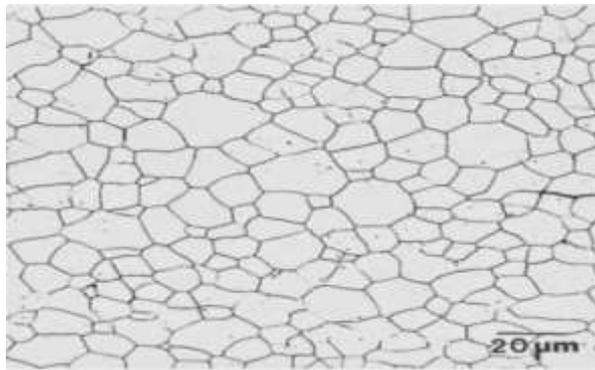
Merupakan struktur mikro yang terbentuk apabila proses pendinginan pada pengelasan dilakukan dengan sangat cepat. Struktur mikro ini mempunyai sifat yang sangat keras, sehingga ketangguhannya rendah.

Fasa-fasa yang terdapat pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut (Suratman, 1994):

a) *Ferrite* (disimbolkan dengan α)

Ferrite adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* ini akan terbentuk pada proses pendinginan lambat

dari *austenite* baja *hipoeutectoid* (baja dengan kandungan karbon < 0,8%) yang bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100)BHN dan konduktivitas *thermalnya* tinggi.



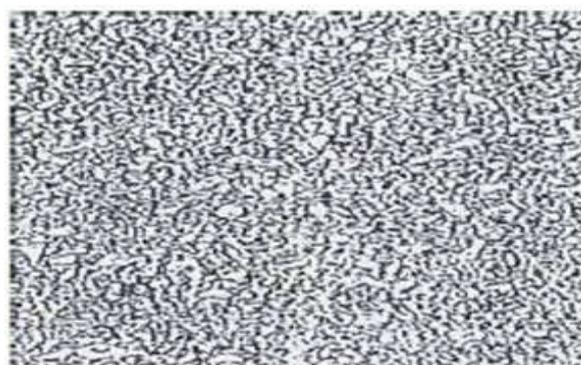
Gambar 2.17 Struktur mikro ferrite

b) *Austenite* (disimbolkan dengan γ)

Fase *Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fasa *austenite* ditemukan pada temperatur tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fasa *austenite* (kristal FCC) dan fasa *Ferrite* (kristal BCC).

c) *Cementite* (disimbolkan dengan Fe_3C)

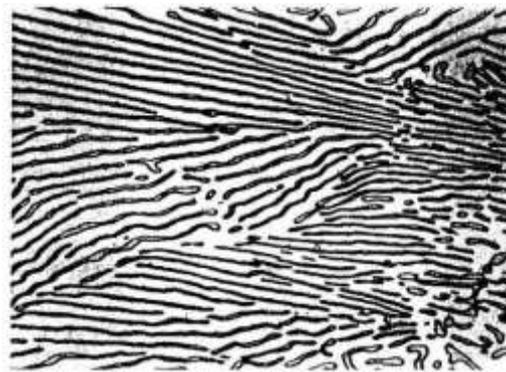
Adalah senyawa besi dengan karbon yang pada umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe_3C dengan bentuk sel satuan *ortorombik* dan bersifat keras (65-68) HRC.



Gambar 2.18 . Struktur mikro *cementite*

d). *Perlit* (disimbolkan dengan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

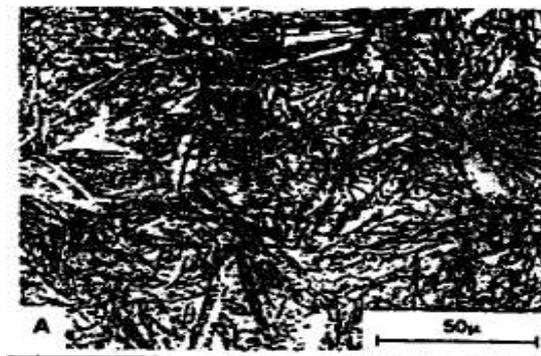
Perlit adalah campuran ferite dan cementit berlapis dalam suatu struktur butir, dengan nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur perlit yang kasar, sedangkan struktur mikro perlit halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro perlit kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro perlit halus.



Gambar 2.19 Struktur Mikro Perlit
(Sonawan, 2006)

e) *Martensit*

Terbentuk dari pendinginan cepat fasa austenit sehingga mengabaikan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro martensit berbentuk seperti jarum-jarum halus, namun bersifat kasar (20-67) HRC dan getas.



Gambar 2.20. Struktur Mikro Martensit (Sonawan, 2006)

3. Pengujian Tekan

Pada uji tekan umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tarik, suatu material akan ditekan dan saat pengujian ini material akan rusak, prosesnya material akan ditaruh diatas landasan dan ditekan dari atas. Uji tekan akan memberikan hasil pengukuran yang diuji terhadap bahan yang akan diuji sehingga standarisasi yang diinginkan akan tercapai sempurna.



Gambar 2.21 Alat Uji Tekan

4. Pengujian Bengkok

Pengujian bengkok adalah salah satu cara pengujian yang dipakai sejak lama bagi bahan yang cocok, karena dapat dilakukan terhadap batang uji berbentuk sederhana dan tidak perlu menggunakan mesin uji biasa. Tapi pengujian ini menyebabkan material rusak karena akan menyebabkan adanya patahan.

Pengujian ini merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang diletakkan terhadap spesimen dan bahan, baik bahan yang akan digunakan pada kontraksi atau komponen yang akan menerima pembebanan terhadap suatu bahan pada satu titik tengah dari bahan ditahan diatas dua tumpuan. Uji bengkok (Bending Test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu juga bending digunakan untuk mengukur kekuatan material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan sifat elastis dari sambungan pengelasan di *weld metal*.



Gambar 2.22 pengujian Bending

5. Uji Impact

Uji impact dilakukan untuk menentukan kekuatan material dalam sebuah metode uji impact dalam dunia industri khususnya uji impact izod. Dasar pengujian ini adalah penyerapan energi potensial dari beban yang mengayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk material uji sehingga terjadi deformasi.



Gambar 2.23 Pengujian impact

6. Uji Kekerasan (Hardness Test)

Pengujian kekerasan yaitu digunakan untuk mengetahui seberapa keras material tersebut biasanya yang diuji cobakan yaitu material yang terbuat dari

logam. Hardness tester atau alat penguji kekerasan adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur nilai kekerasan. Nilai kekerasan tersebut didapat dengan menekan indenter ke permukaan benda uji. Metode uji kekerasan dalam rentang makro meliputi Brinell, Vickers dan Rockwell. Pengujian kekerasan dalam kisaran beban rendah berlaku ketika beban uji berada di antara interval 0,2 kgf dan 5 kgf (beban uji $\geq 0,2$ kgf dan < 5 kgf). Metode beban rendah yang paling umum digunakan adalah Vickers.



Gambar 2.24 Pengujian Kekerasan

2.10.2 Pengujian Tanpa Merusak (Non Destructive Test)

Non Destructive Test adalah sebuah teknik pengujian dan analisis yang digunakan yang digunakan oleh industri untuk mengevaluasi sifat dari material, komponen, struktur atau sistem untuk mendeteksi perbedaan karakteristik atau cacat pada material tanpa menyebabkan kerusakan pada bagian aslinya. Adapun beberapa metode pengujian yaitu sebagai berikut:

1. Metode *Ultrasonic*

Pengujian *Ultrasonic* memerlukan transmisi suara frekuensi tinggi kedalam material untuk berinteraksi dengan fitur didalam material yang memantulkan atau melemahkannya. Prinsip kerja *ultrasonic* adalah memanfaatkan hasil pantulan dari gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal transmisi atau dipantulkan memiliki frekuensi 0,5-20 MHz. Meskipun ada beberapa teknologi menggunakan metode lain penjelasan sederhana dari apa yang terjadi dalam metode ini adalah bahwa energi suara diperkenalkan melalui transducer dan merambat melalui materi dalam gelombang.

Gelombang suara yang terpengaruh jika ada void, retak atau delaminasi pada material. Gelombang *ultrasonic* ini dibangkitkan oleh transducer oleh bahan piezoelektrik yang dapat merubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik dan kemudian menjadi energi listrik lagi. Metode *Ultrasonic* dapat dilihat pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Metode *Ultrasonic*

Sumber: (Wardana,2013)

2. Holiday Test

Holiday Test merupakan sistem pengujian yang digunakan untuk mendeteksi pori pori kecil pada suatu material. Holiday Test merupakan alat pengujian untuk pengukuran atau inspeksi lubang kecil atau yang disebut crack, alat ini juga digunakan untuk mendeteksi porositas. Metode Holiday Test dapat dilihat pada gambar 2.26



Gambar 2.26 Holiday Detector

Sumber: (Indra Suharyadi,2019)

3. Metode Penetran

Uji cairan penetran adalah salah satu metode uji tanpa merusak yang mampu mendeteksi cacat terbuka pada permukaan suatu bahan atau komponen, misalnya cacat retakan terbuka. Uji cairan penetran dapat dilakukan pada semua jenis bahan asalkan permukaannya tidak menyerap cairan penetran tersebut. Metode penetran dapat dilihat pada gambar 2.27



Gambar 2.27 Metode Penetran

Sumber: (Mekanika Bahan Teknik,2019)

4. Metode Radiografi

Metode Pengujian Radiografi yaitu suatu metode berdasarkan pengamatan perbedaan tingkat penyerapan dari suatu penyinaran radiasi pada suatu bahan atau objek atau dengan kata lain bayangan fotografik dihasilkan oleh lewatnya sinar gamma atau sinar x melalui benda uji ke bagian film perubahan yang dihasilkan. Metode Radiografi dapat dilihat pada gambar 2.28.



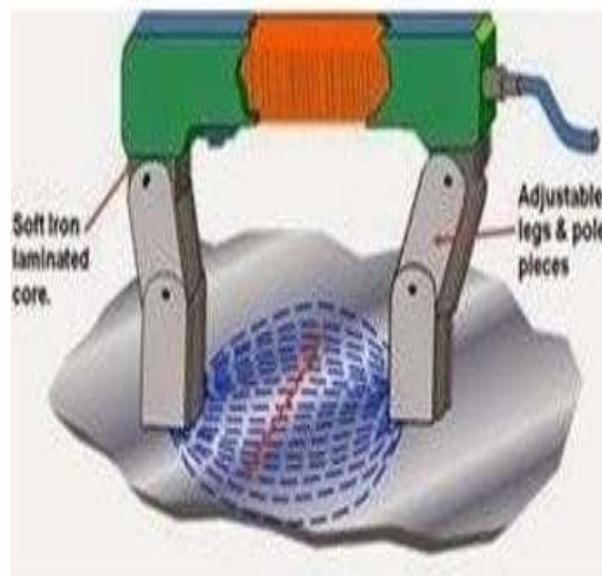
Gambar 2.28 Metode *Radiografi*

Sumber: (Ivan Rusdianto,2013)

5. Metode Magnetografi

Metode Magnetografi digunakan untuk memeriksa cacat atau retak halus pada permukaan logam yang magnetis seperti baja tuang. Dengan menggunakan metode ini, cacat permukaan permukaan (surface) dan bawah permukaan (subsurface) suatu komponen dari bahan ferro magnetik dapat diketahui. Prinsipnya kerja magnetografi adalah logam yang akan diperiksa diberi aliran listrik dengan ampere yang tinggi sehingga menghasilkan medan magnet. Arah garis-garis gaya magnet adalah tegak lurus pada arah aliran listriknya. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran medan magnet adalah dengan menaburkan partikel magnetik dipermukaan. Partikel- partikel tersebut akan berkumpul pada daerah

kebocoran medan magnet, kelemahannya metode ini hanya bisa diterapkan untuk material ferromagnetik. Metode magnetografi dapat dilihat pada gambar 2.29.



Gambar 2.29 Metode Magnetografi

2.11 Pipa

2.11.1 Pengertian pipa

Pipa adalah sebuah selongsongan bundar (silinder berongga) yang digunakan untuk mengalirkan fluida cairan atau gas. Pipa biasanya disamakan dengan istilah *tube*, pipa tersebut biasanya terbuat dari bermacam-macam bahan sesuai dengan kebutuhannya, seperti: besi, tembaga, kuningan, plastic, pvc, alumunium, stainless. (Mukti Wibowo. 1974).

Pipa adalah suatu batang silinder berongga yang dapat mengalirkan zat cair, uap, gas ataupun zat padat yang dapat dialirkan berjenis tepung/ serbuk. Untuk pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut.

Pipa adalah benda berbentuk lubang silinder dengan lubang di tengahnya yang terbuat dari logam maupun bahan-bahan lain sebagai sarana pengaliran atau

transportasi fluida berbentuk cair, gas maupun padat yang berjenis serbuk. Fluida yang mengalir ini memiliki temperature dan tekanan yang berbeda-beda. Pipa biasanya ditentukan berdasarkan nominalnya, sedangkan *tube* adalah salah satu jenis pipa yang ditetapkan berdasarkan diameter luarnya.

2.11.2 Jenis jenis Pipa

Jenis –jenis pipa adalah sebagai berikut :

1. Pipa Galvanis (Galvanized Pipe)

Pipa galvanis adalah pipa baja yang dilapisi dengan lapisan seng untuk melindunginya dari korosi. Pipa ini sering digunakan dalam sistem pengaliran air, gas, dan cairan kimia. Sifat anti korosinya membuatnya cocok untuk digunakan di lingkungan yang rentan terhadap korosi, seperti area dengan tingkat kelembaban tinggi atau tanah yang bersifat asam. Namun, pipa galvanis dapat menjadi lebih mahal daripada pipa baja biasa.



Gambar 2.30 Pipa Galvanis

2. Pipa Carbon

Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C), dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, atau penemperan. Karbon (C) merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dibidang teknik dalam bentuk pelat, pipa, batang, profil dan sebagainya. Secara garis besar baja dapat

dikelompokkan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon terbagi menjadi tiga macam yaitu: Baja karbon rendah ($<0,25\%C$), Baja karbon sedang ($0,25- 0,55\%$), Baja karbon tinggi ($>0,55\%$). Sedangkan baja paduan terdiri dari baja rendah dan baja paduan tinggi . Penggunaan baja berbeda-beda berdasarkan kandungan unsur paduan karbon.

1. Klasifikasi Baja Karbon

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon $0,25\% - 1,7\%$. Selain itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti Sulfur (S), Fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn), dan Vanadium. Baja dibagi menjadi 3 (tiga) kategori yaitu :

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari $0,25\% C$, Baja karbon rendah memiliki ketangguhan aus yang rendah. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar $0,25\% C - 0,55\% C$. Baja karbon sedang memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja yang memiliki kandungan karbon sebesar $0,55\% C - 1,7\% C$. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas.

2. unsur-unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut:

a. Unsur Karbon (C)

Karbon merupakan unsur yang paling banyak selain besi (Fe) yang terdapat pada sebuah baja, unsur ini berfungsi meningkatkan sifat mekanik baja seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi meskipun demikian karbon juga dapat menurunkan keuletan, ketangguhan, serta berpengaruh juga terhadap pengolahan baja selanjutnya seperti pada proses perlakuan panas, proses pengubahan bentuk dan lainnya. Kandungan karbon didalam baja berkisar antara 0,1%-1,7%.

b. Unsur Mangan (Mn)

Mangan sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan lebih dari 0,3%. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan memiliki sifat kuat dan ulet .

c. Unsur Silikon (Si)

Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur silikon merupakan pembentuk karbida. Silikon cenderung membentuk partikel oksida sehingga memperbanyak pengintian Kristal dan mngurangi pertumbuhan akibatnya struktur butir semakin halus .

d. Unsur Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas. Pada baja terdapat unsur nikel sekitar 0.4% maka baja tahan terhadap terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja .

e. Unsur Chrom (Cr)

Chrom merupakan unsur paduan setelah karbon. *Chrom* dapat membentuk karbida. *Chrom* digunakan untuk meningkatkan kekerasan baja, kekuatan tarik, ketangguhan, ketahanan abrasi, korosi dan tahan terhadap suhu tinggi. Penambahan chrom pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik.

f. Unsur Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan pipa dengan tekanan dan temperatur tinggi

Pipa carbon steel merupakan material logam baja karbon yang terbentuk dari unsur utamanya Fe dan unsur keduanya yang berpengaruh pada sifat-sifatnya, yaitu karbon. Pipa carbon merupakan salah satu material pipa yang paling banyak digunakan pada industri karena memiliki ketahanan yang baik.



Gambar 2.31 Pipa Carbon

3. Pipa stainless steel

Pipa stainless steel adalah jenis pipa yang populer dipakai di berbagai industri. Hal ini dikarenakan jenis pipa ini menggunakan bahan yang efektif dan kokoh. Stainless steel adalah jenis baja campuran yang mengandung besi sebagai bahan utama dan mencampurkan kromium sekitar 10%.



Gambar 2.32 Pipa Stainless Steel

4. Pipa PVC (Polyvinyl Chloride)

Pipa PVC adalah salah satu jenis pipa plastik yang paling umum digunakan. PVC adalah bahan yang tahan terhadap korosi, ringan, dan mudah dipasang, menjadikannya pilihan yang populer untuk berbagai aplikasi, termasuk saluran air bersih, saluran pembuangan, dan sistem irigasi. Pipa PVC juga tersedia dalam berbagai ukuran dan ketebalan dinding, membuatnya cocok untuk proyek-proyek skala kecil hingga besar.



Gambar 2.33 Pipa PVC

5. Pipa Tembaga (Copper Pipe)

Pipa tembaga adalah pipa yang terbuat dari tembaga murni atau paduan tembaga. Pipa ini sangat tahan terhadap korosi dan memiliki konduktivitas panas yang baik, menjadikannya pilihan yang ideal untuk sistem saluran air panas dan dingin, serta sistem pipa untuk gas rumah tangga. Pipa tembaga relatif mudah dipasang dan dapat dibentuk dengan mudah sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu.



Gambar 2.34 Pipa Tembaga