

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pipa

Saluran pipa adalah suatu alat transportasi untuk memindahkan cairan atau gas seperti minyak, air, gas alam dan lainnya atau tempat mengalirnya fluida proses dari suatu unit yang satu ke unit lainnya. Secara umum karakteristiknya ditentukan berdasarkan material (bahan) penyusunnya.

2.1.1. Spesifikasi API 5L X-52

Spesifikasi untuk API 5L mematuhi organisasi internasional untuk standarisasi ISO 3183, standarisasi sistem transportasi pipa dalam bahan, peralatan dan struktur lepas pantai untuk industry gas alam dan minyak. Maka pipa yang di peruntukannya untuk penyaluran minyak, dan gas.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini berkaitan dengan jenis material menggunakan API 5L grade X52. Material ini biasa digunakan untuk *pipeline*. Kandungan utama karbon maksimum sebesar 0.28 %, sedangkan kandungan unsur *manganese* maks sebesar 1.40 %, untuk spesifikasi komposisi dapat dilihat pada Tabel 2.1. Material API 5L grade X52 sendiri ada beberapa class yang didasarkan pada tensile strength-nya. Seperti yang terlihat pada Tabel 2.2 dibawah.

Tabel 2.1 *Chemical Analysis API 5L X52 (Mill certificate)*

Kelas	Fraksi massa, berdasarkan panas dan analisis produk (%)									
	C	Si	M N	P	S	V	Nb	Ti	CE	
	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	IIW	PCM
X52 atau L360	0,28	-	1.40	0,030	0,030	-	-	-	-	-

Tabel 2.2 *Tensile test result API 5L X52 (Mill certificate)*

Kelas	Kekuatan Luluh (yield strength)	Kekuatan Tekanan (ultimate strength)
X52	MPa (psi),min	MPa (psi),min
	360 (52000)	460 (66700)

2.2. Pengelasan

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.

Proses pengelasan ialah proses penyambungan logam dengan pemanasan, yang dalam industri banyak dipakai untuk penyambungan logam pada pekerjaan konstruksi bangunan/jembatan, konstruksi perpipaan, konstruksi perkapalan, pembuatan ketel uap dan bejana tekan, pembuatan mesin peralatan industri dan lain sebagainya.

Karena sifat kegunaannya, hasil pekerjaan pengelasan dituntut bermutu memenuhi persyaratan tertentu, baik dalam pekerjaan pembuatan produk baru maupun dalam pekerjaan reparasi atau pemeliharaan. Untuk menghasilkan lasan yang memenuhi persyaratan tertentu, pelaksanaan pengelasan harus mengikuti prosedur pengelasan, yang diharapkan dapat menunjang mutu hasil pengelasan yang diinginkan.

Oleh sebab itu pengetahuan tentang pengelasan ini harus dikuasai oleh para pelaksana pengelasan, baik mengenai pengetahuan tentang bahan, proses kerjanya, variabel-variabel dan parameter-parameter pengelasan, inspeksi maupun aplikasinya. Jika dalam pelaksanaan pekerjaan disyaratkan bahwa hasilnya harus memenuhi ketentuan suatu standart, maka pelaksana pengelasan harus mampu merancang desain sambungan las yang baik (sesuai), menyusun prosedur pengelasan yang menunjang hasil yang baik, memilih bahan dan bahan lasan yang sesuai standart, melaksanakan pengawasan dalam pelaksanaan pengelasan.

2.3. Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

Pengertian Las SMAW adalah sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya lompatan ion (*katoda dan anoda*) listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan adalah selaput flux yang terdapat pada elektroda. Flux pada elektroda SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Flux ini akan menjadi slag ketika sudah padat.

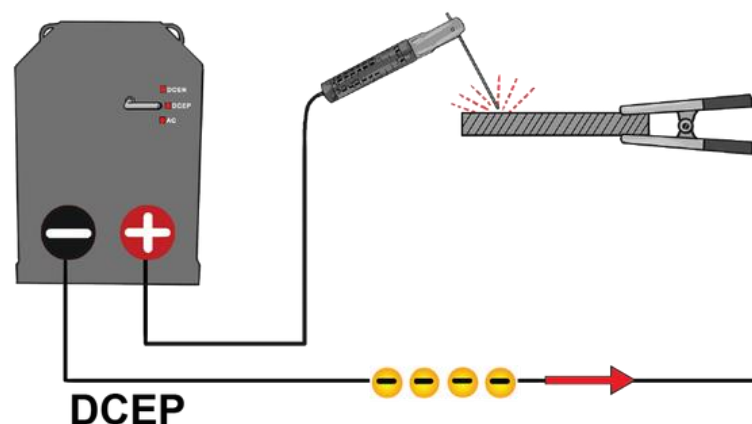
Jenis Mesin Las SMAW

- Mesin LAS AC
- DC
- AC/DC.

Pada proses las SMAW terdapat tiga tipe atau jenis mesin las yaitu Mesin LAS AC, DC dan AC/DC. Semua jenis mesin las tersebut mempunyai keunggulan dan kekurangan masing masing, jika memerlukan dua jenis mesin las, dapat membeli jenis mesin las yang AC/DC. Untuk mesin las SMAW dengan arus DC dibagi lagi menjadi dua polaritas yaitu polaritas DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*) dan DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*).

Macam Macam Polaritas Las SMAW

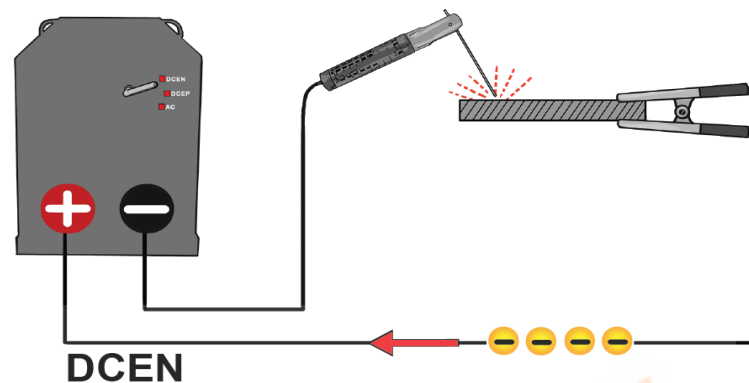
- Direct Current Elektroda Positif



Gambar 2.1 *Direct Current Elektroda Positif*

Polaritas DCEP Adalah pengelasan SMAW kutub positif dihubungkan dengan kabel yang disambungkan pada holder atau kabel elektroda. Sedangkan kutub negatif dihubungkan dengan benda kerja, Polaritas ini juga disebut dengan DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*).

- Direct Current Elektroda Negatif



Gambar 2.2 *Direct Current elektroda negatif*

Polaritas DCEN adalah pengelasan SMAW kutub negatif dihubungkan dengan kabel elektroda, sedangkan kutub positif dihubungkan dengan benda kerja, Polaritas ini juga disebut dengan DCSP (*Direct Current Straight Polarity*).

2.4. Pengelasan GTAW (*Gas tungsten arc welding*)

Gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. GTAW telah menjadi sangat diperlukan sebagai alat bagi banyak industri karena hasil las berkualitas tinggi dan biaya peralatan yang rendah. Prinsip: Panas dari busur terjadi diantara elektrode tungsten dan logam induk akan meleburkan logam pengisi ke logam induk di mana busurnya dilindungi oleh gas mulia (Ar atau He) Las listrik TIG (Tungsten Inert Gas = Tungsten Gas Mulia) menggunakan elektroda wolfram yang bukan merupakan bahan tambah. Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda wolfram dan bahan dasar merupakan sumber panas, untuk pengelasan. Titik cair elektroda wolfram sedemikian tingginya sampai 3410° C, sehingga tidak ikut mencair pada saat terjadi busur listrik. Tangkai listrik dilengkapi dengan nosel keramik untuk

penyembur gas pelindung yang melindungi daerah las dari luar pada saat pengelasan.

Sebagian bahan tambah dipakai elektroda tanpa selaput yang digerakkan dan di dekatkan ke busur yang terjadi antara elektroda wolfram dengan bahan dasar. Sebagai gas pelindung dipakai gas inert seperti argon, helium atau campuran dari kedua gas tersebut yang pemakaiannya tergantung dari jenis logam yang akan dilas.

Komponen-komponen Mesin

- a). Mesin las AC/DC merupakan mesin las pembangkit arus AC/DC yang digunakan di dalam pengelasan las gas tungsten. Pemilihan arus AC atau DC biasanya tergantung pada jenis logam yang akan dilas.
- b). Tabung gas lindung adalah tabung tempat penyimpanan gas lindung seperti argon dan helium yang digunakan di dalam mengelas gas tungsten.
- c). Regulator gas lindung adalah pengatur tekanan gas yang akan digunakan di dalam pengelasan gas tungsten. Pada regulator ini biasanya ditunjukkan tekanan kerja dan tekanan gas di dalam tabung.
- d). Flowmeter untuk gas dipakai untuk menunjukkan besarnya aliran gas lindung yang dipakai di dalam pengelasan gas tungsten.
- e). Selang gas dan perlengkapan pengikatnya berfungsi sebagai penghubung gas dari tabung menuju pembakar las. Sedangkan perangkat pengikat berfungsi mengikat selang dari tabung menuju mesin las dan dari mesin las menuju pembakar las.
- f). Kabel elektroda dan selang berfungsi menghantarkan arus dari mesin las menuju stang las, begitu juga aliran gas dari mesin las menuju stang las. Kabel masa berfungsi untuk penghantar arus ke benda kerja.
- g). Stang las (*welding torch*) berfungsi untuk menyatukan sistem las yang berupa penyalaan busur dan perlindungan gas lindung selama dilakukan proses pengelasan
- h). Elektroda tungste berfungsi sebagai pembangkit busur nyala selama dilakukan pengelasan. Elektroda ini tidak berfungsi sebagai bahan tambah
- i) Kawat las berfungsi sebagai bahan tambah. Tambahkan kawat las jika bahan dasar yang dipanasi dengan busur tungsten sudah mendekati cair.
- j) Assesories pilihan dapat berupa sistem pendinginan air untuk pekerjaan pengelasan berat, rheostat kaki, dan pengatur waktu busur.

2.5. Elektroda

Elektroda merupakan salah satu konsumable utama dalam proses pengelasan. Hal ini dikarenakan komposisi kimia yang terkandung di dalam elektrode sangat berpengaruh terhadap hasil las lasan baik itu sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, impact) atau terhadap struktur logam las (metalography). Setiap elektroda mempunyai spesifikasi yang berbeda beda, memang hal ini disengaja karena pemakaiannya juga untuk proses pengelasan yang berbeda. Berbeda merk juga biasanya mempunyai kode kawat las yang berbeda pula, seperti elektroda merk kobe yang mempunyai jenis kawat las rb dan lb. Untuk kode elektroda nikko steel mempunyai jenis kawat las rd 260, 360 dan 460. Jenis elektrode ini memang bervariasi, namun tujuannya tetap untuk mendapatkan hasil las lasan yang memenuhi standar keberterimaan dan tidak ada cacat las baik saat diuji visual maupun uji merusak dan tidak merusak.

Symbol atau kode pada elektroda juga perlu diketahui oleh perancang atau welder. Kode elektroda ini telah ditetapkan oleh AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society for Testing Materials*).

- Kode las untuk SMAW

Seperti: E X₁X₂X₃X₄, artinya:

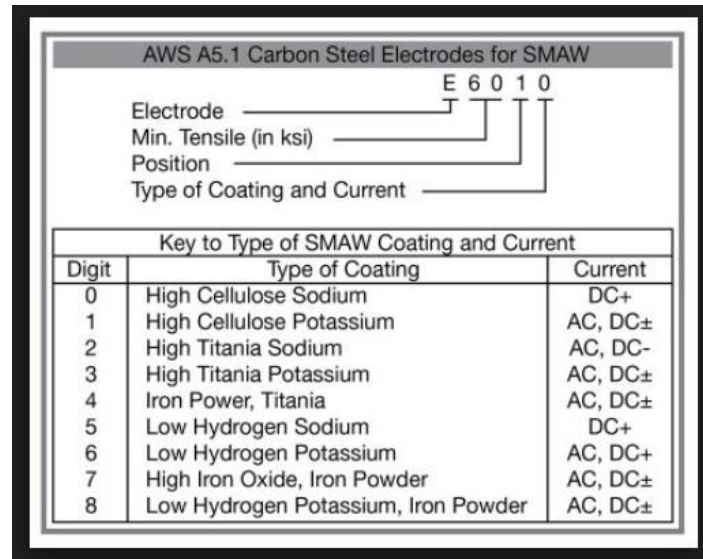
- E = Menyatakan elektroda terbungkus untuk busur listrik
- X₁X₂ = Menyatakan kekuatan tarik minimum dari logam las (psi)
- X₃ = Menyatakan posisi pengelasan
- X₄ = Jenis flux yang digunakan

Contoh E 6010

60 = Kekuatan setelah dilas adalah 60.000 psi atau 42.2 Kg/mm²

1 = Semua posisi pengelasan

0 = Dengan kandungan flux Natrium selulosa tinggi



Gambar 2.3 Carbon steel electrode for SMAW

- Kode las untuk GTAW

Dalam pemilihan tungsten elektroda GTAW juga bermacam macam, pemilihan tersebut disesuaikan dengan jenis material yang digunakan. Oleh karena itu tidak boleh sembarangan dalam memilih tungsten agar hasil lasan yang dihasilkan dapat maksimal dan sesuai dengan standar pengelasan. Pada Gambar 2.4 menunjukkan spesifikasi dalam pemilihan Tungsten Elektroda GTAW.

Type	Color	Sizes (mm)	Features
<u>Pure Tungsten</u>	Green	0.8~15	Non-radioactive; suitable for AC welding of aluminum, magnesium, and their alloy
<u>Thoriated Tungsten</u>	Yellow	0.8~15	Excellent electron emission and overall performances; high current-carrying capacity; radioactivity; suitable for DC welding of carbon steel, stainless steel, nickel alloy and titanium alloy.
	Red	0.8~15	
<u>Lanthanum Tungsten</u>	Black	0.8~15	Non-radioactive; excellent electric conductivity and welding capacity; high current-carrying capacity; minimum ratio of burnt area; substitute for thoriated tungsten electrode; mainly used in DC welding.
	Golden Yellow	0.8~15	
	Blue	0.8~15	
<u>Cerium Tungsten</u>	Pink	0.8~15	Non-radioactive; easier arc initiation under low current circumstances, and low arc-maintaining current; suitable for the welding of pipelines, small components and discontinuous welding.
	Orange	0.8~15	
	Grey	0.8~15	
<u>Yttrium Tungsten</u>	Sky Blue	0.8~15	Non-radioactive; long and slim arc beam with high compression; deeper burning groove under medium and high current circumstances.
<u>Compound Rare Earth Tungsten</u>	Cyan	0.8~15	Compound rare-earth tungsten electrode; different additives contributing to better performance of tungsten electrode

Gambar 2.4 spesifikasi dalam pemilihan Tungsten Elektroda GTAW

2.6. Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk kapal, jembatan, roda kerta api, ketel uap, tangki-tangki dan dalam permesinan.

Baja paduan rendah dibagi menurut sifatnya yaitu baja tahan suhu rendah, baja kuat dan baja tahan panas (Wiryo Sumarto, 2000).

- a. Baja tahan suhu rendah. Baja ini mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi dan suhu transisi yang rendah, karena itu dapat digunakan dalam konstruksi untuk suhu yang lebih rendah dari suhu biasa.
- b. Baja kuat. Baja ini dibagi dalam dua kelompok yaitu kekuatan tinggi dan kelompok ketangguhan tinggi. Kelompok kekuatan tinggi mempunyai sifat mampu las yang baik karena kadar karbonnya rendah. Kelompok ini sering digunakan dalam konstruksi las. Kelompok yang kedua mempunyai ketangguhan dan sifat mekanik yang sangat baik. Kekuatan tarik untuk baja kuat berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm².
- c. Baja tahan panas adalah baja paduan yang tahan terhadap panas, asam dan mulur. Baja tahan panas yang terkenal adalah baja paduan jenis Cr-Mo yang tahan pada suhu 600 °C.

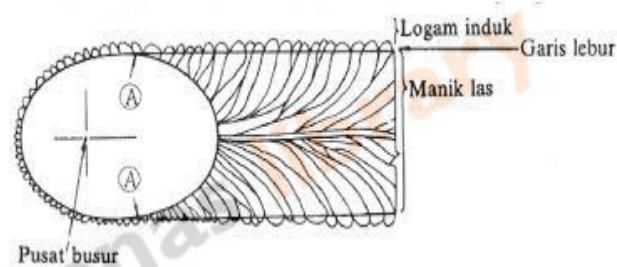
Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja paduan rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las TIG (las logam gas mulia). Perubahan struktur daerah las selama pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ.

2.7. Struktur Mikro Daerah Las-lasan

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

a. Daerah Logam Las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan, 2004).



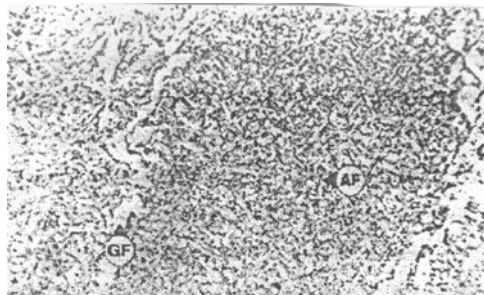
Gambar 2.5 Arah pembekuan dari logam las (Wiryosumarto, 2000)

Dari Gambar diatas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

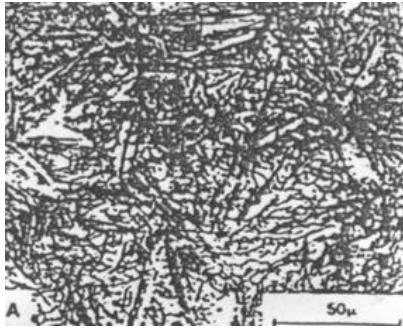
Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan

menyebabkan terbentuk ferit *Widmanstatten*. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

- Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 100-650°C.
- Ferit Widmanstatten atau ferrite with aligned second phase, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 650-750°C di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
- Ferit acicular, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit acicular ini terbentuk sekitar suhu 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.
- Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada suhu 400-500 °C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
- Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



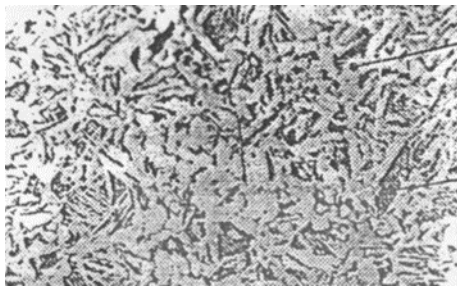
Gambar 2.6 Struktur mikro acicular ferrite (AF) dan grain boundary ferrite (GF) atau ferit batas butir (Sonawan, 2004)



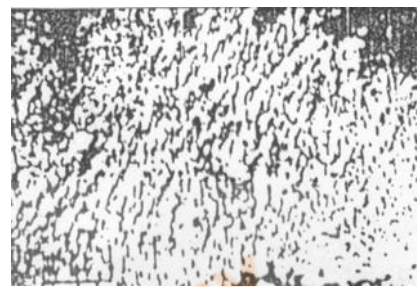
Gambar 2.9 Struktur mikro martensit (Sonawan, 2004)



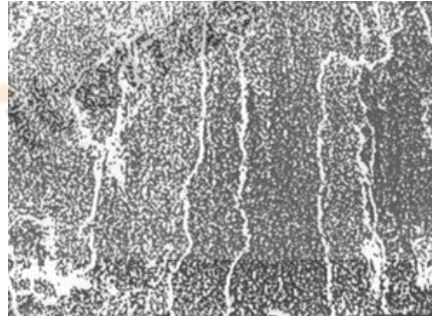
Gambar 2.10 Struktur mikro ferit Widmanstätten (ASM, 1989)



Gambar 2.7 Struktur mikro ferit dan perlit (Sonawan,2004)



Gambar 2.8 Struktur mikro bainit (ASM,1989)

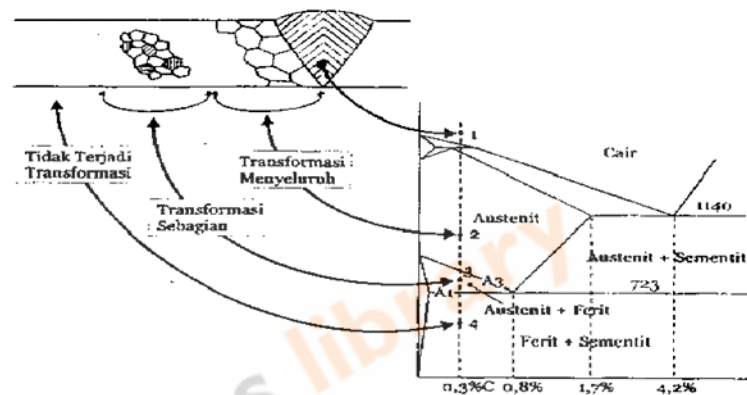


Gambar 2.11 Struktur mikro daerah columnar (ASM,1989)

b. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau heat affected zone (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar.

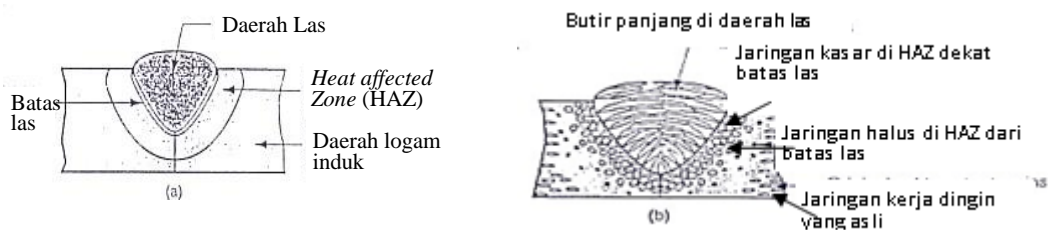
Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit dan ini yang disebut transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit + perlit berubah menjadi ferit dan austenit.



Gambar 2.12 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan. (Sonawan, 2004)

c. Logam Induk

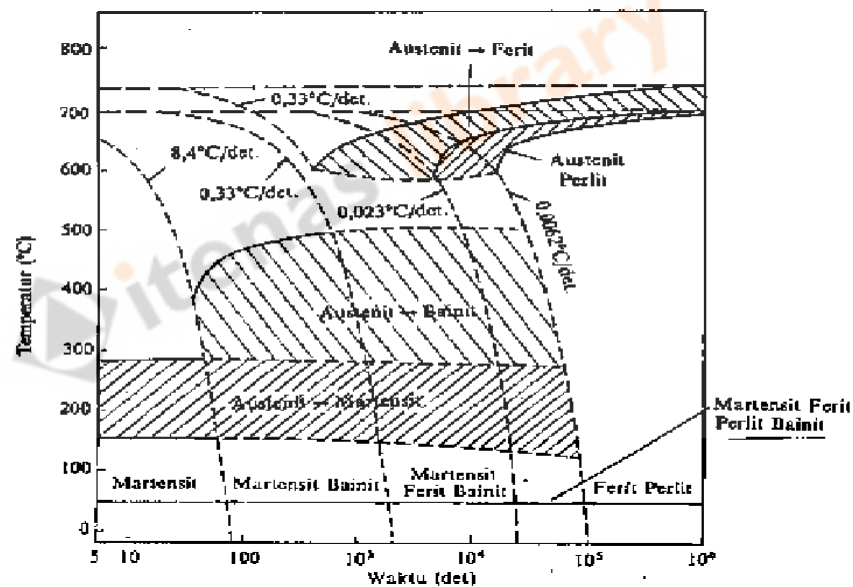
Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2.13 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair (Malau, 2003)

2.8. Diagram CCT (*continuous cooling transformation*)

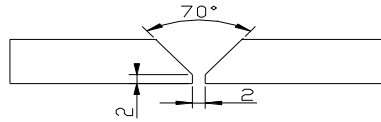
Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



Gambar 2.14 Diagram CCT untuk baja ASTM 4340 (Wiryosumarto,2000)

2.9. Kampuh V

Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara 60°- 80°, jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm. (Sonawan, 2004).



Gambar 2.15 Kampuh V (Sonawan, 2004)

2.10. Cacat Daerah Pengelasan

2.10.1. Penggetasan

Salah satu cacat pada daerah lasan adalah penggetasan. Suatu logam dikatakan getas, apabila logam tersebut mudah patah walau terkena beban yang kecil. Pada pengelasan, penggetasan terjadi pada daerah yang terpengaruh panas (*Heat Affected Zone*) karena beberapa sebab:

- a) Pada daerah tersebut terjadi perubahan struktur dari bentuk awalnya dan terbentuknya struktur baru seperti martensit atau karbida yang bersifat keras dan getas.
- b) Pada saat pengelasan berlangsung, gangguan hydrogen dari lingkungan sangat tinggi, seperti pengelasan yang dilakukan pada saat hujan (kelembaban yang tinggi) atau fluk elektroda yang lembab sehingga penyerapan hydrogen sangat tinggi. Patahan ini sering disebut dengan penggetasan hydrogen.
- c) Penembusan yang tidak dalam atau dangkal.
- d) Takikan pada lasan.
- e) Di pengaruhi oleh komposisi kimia yang dikandung oleh logam induk dan logam pengisi. Misal pengelasan baja karbon tinggi. Semakin tinggi kadar karbon maka hasil pengelasan lebih bersifat getas dibanding kadar karbon yang rendah.

Penggetasan ini dapat diturunkan dengan cara:

1. Penggunaan baja yang tidak peka terhadap penggetasan dengan cara menggunakan baja dengan kandungan karbon yang rendah
2. Pembatasan masukan panas, karena semakin tinggi masukan panas akan menyebabkan pembesaran butir.
3. Melakukan pemanasan awal (*preheating*) untuk memperlambat laju pendinginan.

2.10.2. Retak

Beberapa jenis retak las yang dapat terjadi pada hasil pengelasan antara lain:

1. Retak dingin (*Cold Cracking*)

Cold cracking adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu dibawah suhu transformasi martensit yang kira kira terjadi pada temperature 300°C. Retak dingin bukan saja terjadi pada daerah HAZ tapi juga dapat terjadi pada daerah logam cair atau (weld metal). Retak dingin sering terjadi pada kaki las dan dibawah manik las seperti pada gambar 2.5. retak ini dapat terjadi beberapa menit setelah pengelasan hingga 2 X 24 jam setelah pengelasan. Retak dingin ini disebabkan oleh:

a) Pengaruh unsur paduan

Banyaknya unsur paduan yang dapat membentuk struktur keras terutama unsur karbon dan mangan. Untuk mengatur komposisi kimia ini ada parameter yang digunakan yaitu karbon ekuivalen dari kandungan komposisi logam induk dan logam pengisi. Semakin tinggi karbon ekuivalennya maka semakin mudah terjadi retak dingin.

$$C_{eq} = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Mo/4 + V/14\% \text{ atau}$$

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

Diharapkan kandungan ekuivalennya harus lebih kecil atau sama dengan 0.45 %

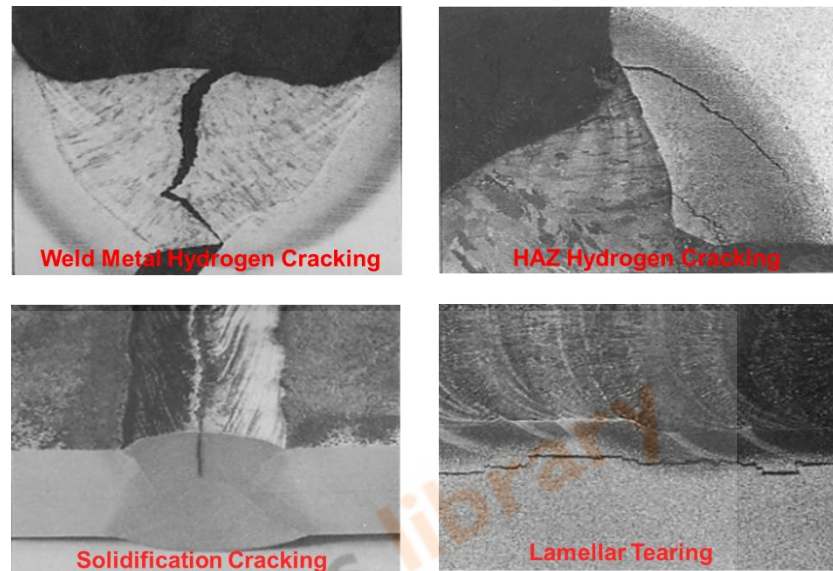
b) Difusi hydrogen kedalam daerah HAZ

Penyerapan hydrogen terjadi pada saat logam las masih cair, logam akan menyerap hydrogen dengan jumlah besar dan kemudian dilepaskan dengan cara difusi pada temperatur rendah karena pada temperatur rendah kelarutan hydrogen didalam logam menurun. Hidrogen yang dilepaskan melalui ini akan di lepaskan pada daerah HAZ. Hydrogen yang diserap bisa berasal dari air, kelembaban udara sekitar dan unsur unsur yang terkandung dalam fluk.

c) Pengaruh tegangan sisa

Tegangan sisa tergantung pada desain pengelasan dan ketebalan plat yang tinggi.

- d) Aspek pengerjaan las
Arus yang terlalu rendah, kecepatan yang tinggi, dan pengelasan tanpa pemanasan awal.
- e) Desain sambungan yang tidak baik atau bentuk kampuh yang tidak sesuai.



Gambar 2.16 Cold Cracking

2. Retak Panas (*Hot Cracking*)

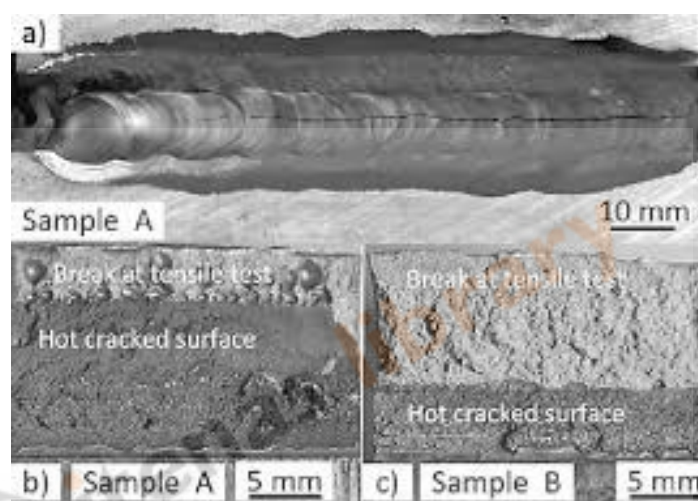
Retak yang terjadi pada temperatur diatas temperature austenite yaitu diatas 550 °C. retak panas ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu retak yang terjadi akibat tegangan yang biasanya terjadi di 600 °C hingga 700 °C, dan yang terjadi pada saat pembekuan yang dimulai pada temperature 900 °C.

Beberapa penyebab terjadinya retak panas antara lain:

- Terjadinya pembebasan tegangan didaerah HAZ pada temperatur 550 °C – 700 °C
- Pada pengelasan baja tahan panas kandungan fasa ferrite dibawah 5% atau diatas 12% setelah pengelasan.
- Baja yang memiliki karbon ekuivalen yang tinggi.
- Terdapatnya kandungan unsur sulfur yang tinggi pada baja
- Konfigurasi pasangan antara elektroda dengan logam induk tidak tepat.
- Tidak dilakukan preheating sebelum pengelasan.

Beberapa cara menanggulangi retak pada pengelasan:

- Sebaiknya menggunakan baja dengan karbon ekuivalen yang rendah untuk menghindari terbentuknya struktur keras dan komposisi sulfur yang rendah.
- Menggunakan fluk elektroda dengan kadar hydrogen rendah.
- Penggunaan pelindung CO₂ untuk menghindari gangguan hydrogen
- Pengawasan dan desain pengelasan yang benar untuk menghindari terjadinya tegangan sisa.



Gambar 2.17 Hot Cracking

2.10.3. Cacat

Cacat adalah sesuatu yang tidak sesuai dengan yang direncanakan. Cacat mungkin saja terjadi karena:

- a. Kesalahan desain sambungan
- b. Proses pengelasan yang tidak benar
- c. Penggunaan parameter pengelasan yang tidak tepat.

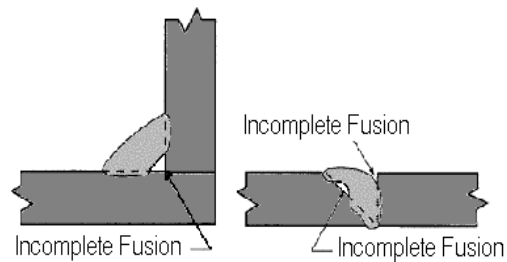
Cacat cacat itu antara lain:

- a. Penembusan yang tidak komplit

Penyebabnya sendiri yaitu:

- Perencanaan root face yang terlalu lebar.
- Perencanaan sudut kampuh yang kecil.
- Arus pengelasan yang rendah

- Laju pengelasan yang tinggi

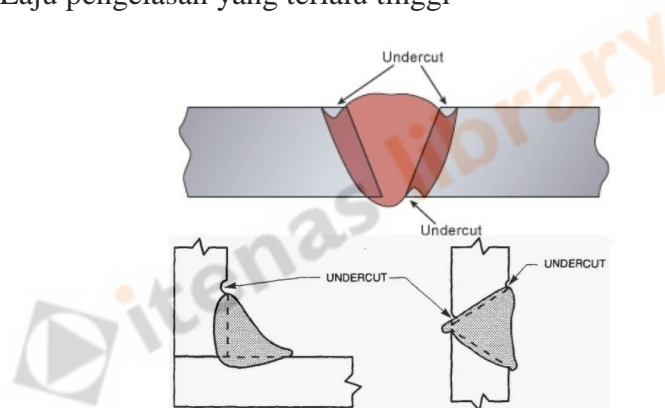


Gambar 2.18 *incomplete penetration*

b. Under cutting

Penyebabnya antara lain:

- Arus pengelasan yang terlalu besar
- Laju pengelasan yang terlalu tinggi

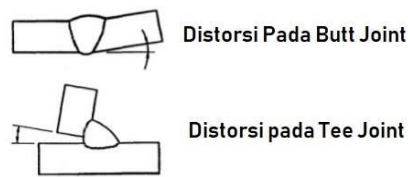


Gambar 2.19 *Under Cutting*

c. Distorsion

Penyebabnya antara lain:

- Laju pengelasan yang lambat
- Penggunaan jenis kampuh yang salah
- Pada pengelasan pelat yang tebal terlalu tipis
- Pengelasan tidak menggunakan jig

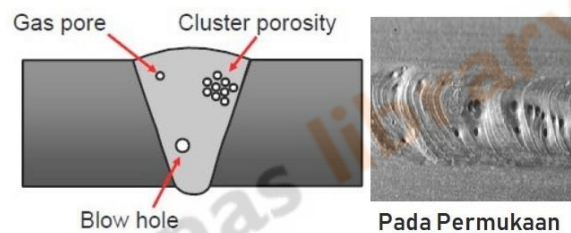


Gambar 2.20 *Distorsion*

d. Porosity

Penyebabnya antara lain:

- Coating atau fluk elektroda yang lembab
- Busur terlalu panjang
- Laju pengelasan teralalu tinggi
- Komposisi sulfur dan karbon dari logam induk terlalu tinggi



Gambar 2.21 *Porosity*

2.11. Pengujian DT dan NDT

2.11.1. Pengujian *Destructive Test*

Pengujian merusak dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari material, dimana pengujiannya dengan pemberian beban mekanik hingga spesimen mengalami perubahan bentuk atau deformasi plastis (merusak bentuk spesimen dari bentuk awal).

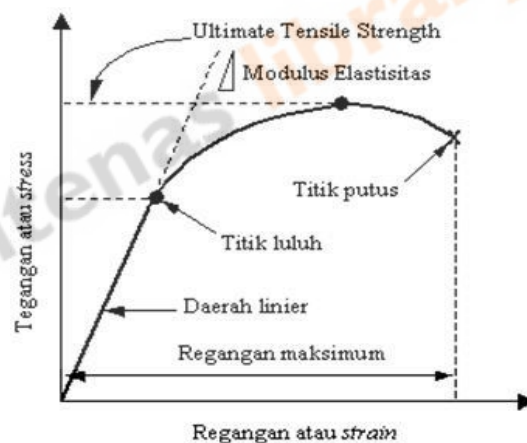
Beberapa jenis pengujian mekanik diantaranya:

1. Uji Tarik

Tujuan uji tarik sendiri yaitu untuk melihat perilaku logam/material apabila diberi beban Tarik. Untuk mengetahui kekuatan logam (kekuatan Tarik). Prinsipnya, uji tarik ini dilakukan menggunakan mesin yang dapat memberikan gaya tarik yang cukup kuat pada material dan juga memberikan cengkaman yang

kencang sehingga material tidak terlepas ketika diberikan gaya tarik. Ada banyak hal yang bisa didapatkan dari uji tarik, dengan memberikan gaya tarik pada material sampai putus maka semua susunan struktur material bisa diketahui dengan jelas sehingga dapat menentukan kualitas dari material tersebut. Bahan atau material yang sering dijadikan objek untuk uji tarik adalah rubber dan logam. Kedua bahan ini memiliki sifat yang berbeda dari setiap prosesnya. Misalkan, sifat rubber dan logam sebelum dipanaskan pasti memiliki perbedaan ketika sudah dipanaskan. Penggunaan Hukum Hooke pada Uji Tarik memiliki prinsip dasar dari hukum hooke (hooke's law) dimana regangan (strain) dan rasio tegangan (stress) adalah konstan.

- Stress (σ) = Beban (F): Luas Penampang Bahan (A)
 - Strain(ϵ) = Pertambahan Panjang (ΔL): Panjang Awal bahan (L)
- Sehingga hubungan dari strain dan stress dapat dirumuskan menjadi:
- $$E = \sigma / \epsilon \dots (2.1)$$



Gambar 2.22 Kurva Uji Tarik

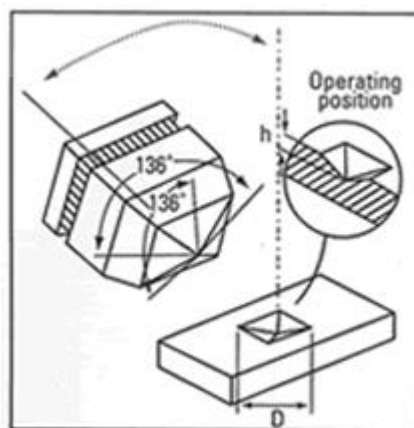
2. Uji keras

Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indentasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting. Karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat yang lain, yaitu strength (kekuatan). Material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan, yaitu:

- Metode pengujian kekerasan Brinell
- Metode pengujian kekerasan Vicker
- Metode pengujian kekerasan Rockwell
- Metode pengujian kekerasan Knoop Hardness

Metoda Vickers

Metode kekerasan Vickers hampir sama dengan Brinell hanya saja indentornya yang berbeda. Pengujian Vickers menggunakan indentor intan yang berbentuk pyramid beralas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136° seperti yang terlihat pada Gambar 2.23.



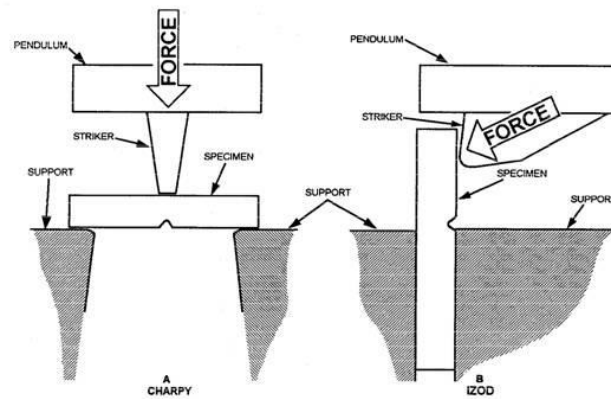
Gambar 2.23 Uji Keras Metoda vicker

Dengan memperhitungkan sudut maka kekerasan vicker dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{VHN} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad \text{dimana } d = \frac{D-d}{2}$$

3. Uji Patah Takik

Uji Patah Takik atau Uji Impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian Impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Sifat keuletan suatu bahan dapat diketahui dari pengujian tarik dan pengujian impak, tetapi dalam kondisi beban yang berbeda. Beban pada pengujian impak seperti yang telah dijelaskan diatas adalah secara tiba-tiba, sedangkan pada pengujian tarik adalah perlahan-lahan. Dari hasil pengujian tarik dapat disimpulkan perkiraan dari hasil pengujian impak. Tetapi dari pengujian impak dapat diketahui sifat ketangguhan logam dan harga impak untuk temperatur yang berbeda-beda, mulai dari temperatur yang sangat rendah (-30°C) sampai temperatur yang tinggi. Sedangkan pada percobaan tarik, temperatur kerja adalah temperatur kamar. Ada dua macam metode uji impak, yakni metode charpy dan izod, perbedaan mendasar dari metode itu adalah pada peletakan spesimen, Pengujian dengan menggunakan charpy lebih akurat karena pada izod pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya.



Gambar 2.24 Uji Impak (Metoda Charpy dan Izod)

(Sumber: Danidwik's Blog)

Pengujian impak dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- Material yang getas, patahnya akan berbentuk permukaan yang merata, hal ini menunjukkan bahwa material yang getas akan cenderung patah akibat tegangan normal.
- Material yang akan terlihat meruncing, hal ini menunjukkan bahwa material yang ulet akan patah akibat tegangan geser.
- Semakin besar posisi sudut β akan semakin getas, demikian sebaliknya, energi untuk mematahkan material cenderung semakin kecil demikian sebaliknya.

4. Uji Lentur (*Bending Test*)

Uji lentur (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji lentur digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld metal maupun HAZ pada perlakuan uji lenturan spesimen, bagian atas spesimen terjadi proses tekan dan bagian bawah terjadi proses tarik sehingga kegagalan yang terjadi akibat uji lentur yaitu mengalami patah pada bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Berikut adalah contoh alat uji lentur.



Gambar 2.25 Model Alat Uji Lentur

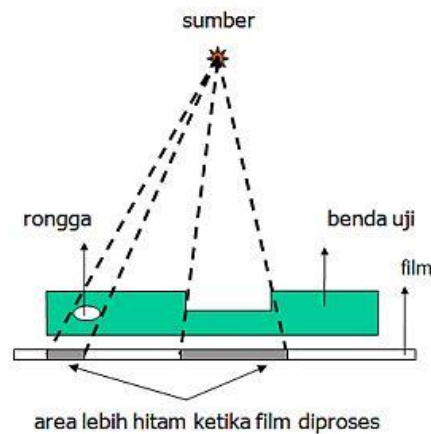
(Dokumentasi Pribadi)

2.11.2. Pengujian *Non Destructive Test*

1. Uji Radiografi

Radiografi atau X-ray sangat banyak digunakan untuk pengujian tidak merusak hasil pengelasan, khususnya pengujian cacat yang berada dibawah permukaan seperti keropos, terak atau retak.

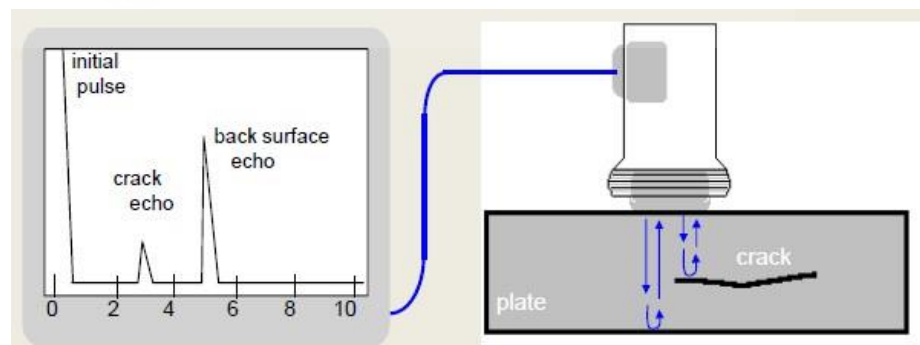
Prinsipnya dimana sinar X-ray dilewatkan pada benda kerja, dan hasilnya dapat dibaca pada film. Pada kertas film akan dapat dibaca hasil pelewatan sinar tersebut. Apabila benda kerja tidak memiliki cacat maka pada kertas film akan berwarna terang, tapi kalau benda kerja terdapat cacat maka pada film akan berwarna gelap. Seperti terlihat pada gambar 2.26.



Gambar 2.26 Prinsip Kerja Uji Radiografi

2. Uji Ultrasonic

Salah satu alat yang sering digunakan untuk mengetahui cacat-cacat dibawah lasan. Prinsip kerjanya yaitu dengan memancarkan gelombang suara frekuensi tinggi yang ditorehkan pada benda kerja melalui probe (suatu alat pendeteksi), gelombang tersebut akan merambat terus sesuai dengan sudut penggunaan probe seperti gambar dibawah ini. Gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dan pantulan tersebut terbaca pada alat ukur amplified berupa kurva yang terlihat pada layar alat ukur.

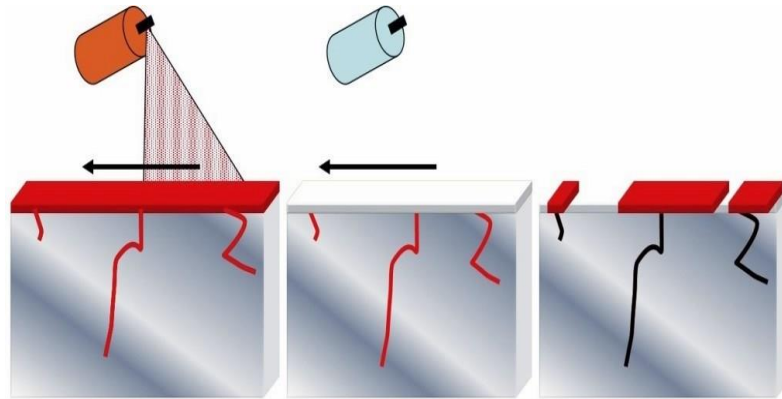


Gambar 2.27 Prinsip Kerja Uji Ultrasonic

3. Uji Penetrant

Sangat efektif untuk mengetahui cacat las diatas permukaan hasil lasan, seperti retak dan porositas. Prinsipnya sangat sederhana yaitu dengan cara memberikan dua cairan yang berwarna kontras pada permukaan hasil lasan. Cairan tersebut harus memiliki daya penetrasi yang baik dan

viskositas yang rendah agar dapat terserap pada cacat permukaan dan membasahi seluruh permukaan benda kerja. Cairan tersebut terdiri dari cairan penetrant dan cairan *developer*.



Gambar 2.28 Prinsip kerja Uji Penetrant

2.12. Pengujian Metallografi

Metallographic etching adalah teknik etsa yang digunakan dalam metalografi untuk mengetahui struktur mikro di bawah mikroskop. Spesimen yang cocok untuk dietsa harus diperlakukan secara hati-hati dari segala perubahan pada permukaan material yang telah dipoles seperti deformasi permukaan, kotoran, goresan, dan lain lain. Teknik etsa dikembangkan pada praktek metalografi dengan mengoptimalkan efek yang dihasilkan dari spesimen. Berdasarkan ukuran detail struktur yang akan ditampilkan, metallographic etching dibagi menjadi 2, yaitu makro etsa dan mikro etsa (*American Society for Metals*, 1998).

1. Makro Etsa

Makro etsa adalah metode etsa konvensional yang menggunakan bahan kimia. Makro etsa menampilkan struktur dari surface imperfection spesimen dengan perbesaran 25 kali. Perbesaran yang rendah ini memungkinkan area permukaan yang diuji mempunyai perbedaan mencolok melalui *deep etching*.

2. Mikro Etsa

Mikro etsa adalah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Sedemikian halusnya sehingga pengujiannya memerlukan kaca pembesar lensa mikroskop yang memiliki kualitas perbesaran antara 50 hingga 3000 kali. Struktur mikro

dapat terlihat dengan jelas di bawah mikroskop dengan menghilangkan lapisan tersebut dengan cara mengetsa. Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui suatu fisik logam yang nampak pada bagian luar dan untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen (Kusuma, 2012).

Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan apesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar.

