

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan teknologi dibidang kontruksi, pengelasan merupakan bagian yang tak terpisakandari pertumbuhan dan perkembangan industri, karena mempunyai peran penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Hampir setiap pembangunan melibatkan pengelasan (Parekke, Leonard, & Muchsin, 2014).

Pengelasan yang banyak digunakan adalah pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) atau yang biao disebut las busur listrik, Proses pengelasan smaw dilakukan dengan menggunakan energi panas listrik dengan dua polaritas AC dan DC, energi listrik diubah menjadi energi panas dengan membangkitkan busur listrik melalui elektroda (Syahrani, Naharuddin, & Nur, 2018). Energi panas yang dihasilkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material yang akan dilas (Achmadi, 2019).

Untuk meminimalisir terjadi cacat las tersebut dapat dilakukan dengan pemilihan arus las (*ampere*) pengelasan yang digunakan berdasarkan ukuran diameter elektroda (Pandapotan, 2019).

Ada beberapa penelitian yang membahas pengaruh variasi ampere telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh pada hasil pengelasan. Penelitian tentang hasil pengelasan pada material baja lunak. Dampak cacat yang ditimbulkan dari variasi ampere yang digunakan menunjukkan bahwa hasil pengelasan yang tidak terjadi cacat las yaitu pada ampere 95 sedangkan pada kaki las ampere 115 menunjukkan hasil kaki las yang baik (Saputra, 2021). Berdasarkan hasil tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan pengelasan dengan menggunkan variasi *ampere* las yang direkomendasikan dari elektroda yang digunakan. Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah AWS A5.1 E6013 dengan diameter 2,6 mm, dengan variasi ampere 90, 100 dan 110. Bahan material yang digunakan baja karbon rendah ST 37 spesifikasi setara dengan ASTM A36, terhadap sifat mekanis uji tarik, uji impak dan metalografi. Atas dasar inilah

penulis tertarik untuk membahas dan mengevaluasi pengaruh kuat arus pengelasan dan mengambil judul karya akhir sebagai berikut:

“PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW) MENGGUNAKAN ELEKTRODA E6013 PADA BAJA ST37 TERHADAP SIFAT MEKANIS UJI TARIK, UJI IMPAK DAN UJI METALOGRAFI”

1.2 Rumusan Masalah

1. Menentukan besarnya daya tahan berupa kekuatan tarik (tensile strength) pengelasan baja st37 dengan menggunakan *Tensile Test*.
2. Menentukan besarnya daya tahan berupa kekuatan kejut (impact strength) pengelasan baja st37 terhadap beban mendadak dengan menggunakan *Impact Test* metode *Charpy*.
3. Mengidentifikasi cacat seperti retakan, inklusi, atau perubahan mikrostruktural akibat perlakuan mekanis.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui berapa besar kekuatan tarik (tensile strength) pengelasan baja st37 dengan menggunakan *Tensile Test*.
2. Mengetahui berapa besar kekuatan kejut (*impact strength*) pengelasan baja st37 terhadap beban mendadak dengan menggunakan *Impact Test* metode *Charpy*.
3. Memahami karakteristik internal dari hasil pengelasan baja st37 dengan fokus pada struktur mikroskopis.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui hasil perubahan fisik yang terjadi akibat adanya *Tensile Test* dan *Impact Test* metode *Chapy*.
2. Mengetahui mode kegagalan atau cacat pada hasil pengelasan baja st37 dengan menggunakan Uji Metalografi.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Baja *Mild Steel*

Baja *mild steel* tergolong ke dalam baja karbon rendah (*low carbon steel*) merupakan material yang banyak keuntungan sehingga kerap digunakan untuk konstruksi umum maupun kendaraan ringan. Hal tersebut bisa terjadi karena baja karbon rendah mempunyai keuletan yang tinggi, tetapi kekerasannya rendah dan tidak tahan aus. Baja karbon rendah merupakan logam yang mudah terserang oleh korosi (Agastama, 2010). Plat baja ASTM A36 merupakan baja karbon rendah yang memiliki kekuatan yang baik dan juga ditambah dengan sifat baja yang bisa dirubah bentuk menggunakan mesin dan juga dilakukan pengelasan. Plat baja ASTM A36 dapat dilakukan pelapisan *galvanish* maupun *coating* untuk memberikan ketahanan terhadap korosi. Plat baja ASTM A36 dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, tergantung pada ketebalan plat dan juga tingkat ketahanan korosinya. Beberapa produk yang menggunakan plat baja jenis ini seperti konstruksi bangunan, tanki, maupun kendaraan ringan (Hasan, 2016).

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun (Suharno, 2008). Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30% sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,70% (Wiryosumarto, 2000).

2.1.1 Sifat Mekanik Baja

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan padanya. Beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi (Murtiono dan Arief, 2012). Sifat-sifat mekanik yang terpenting antara lain :

1) Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kemampuan tarik, geser, tekan, puntir, dan bengkok.

2) Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (*abrasi*), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*) dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

3) Kekenyalan (*Elasticity*)

Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali terbentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.

4) Kekakuan (*Stiffness*)

Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi.

5) Plastisitas (*Plasticity*)

Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan/kekenyalan (*ductility*).

6) Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk

mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu.

7) Kelelahan (*Fatigue*)

Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Kerenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

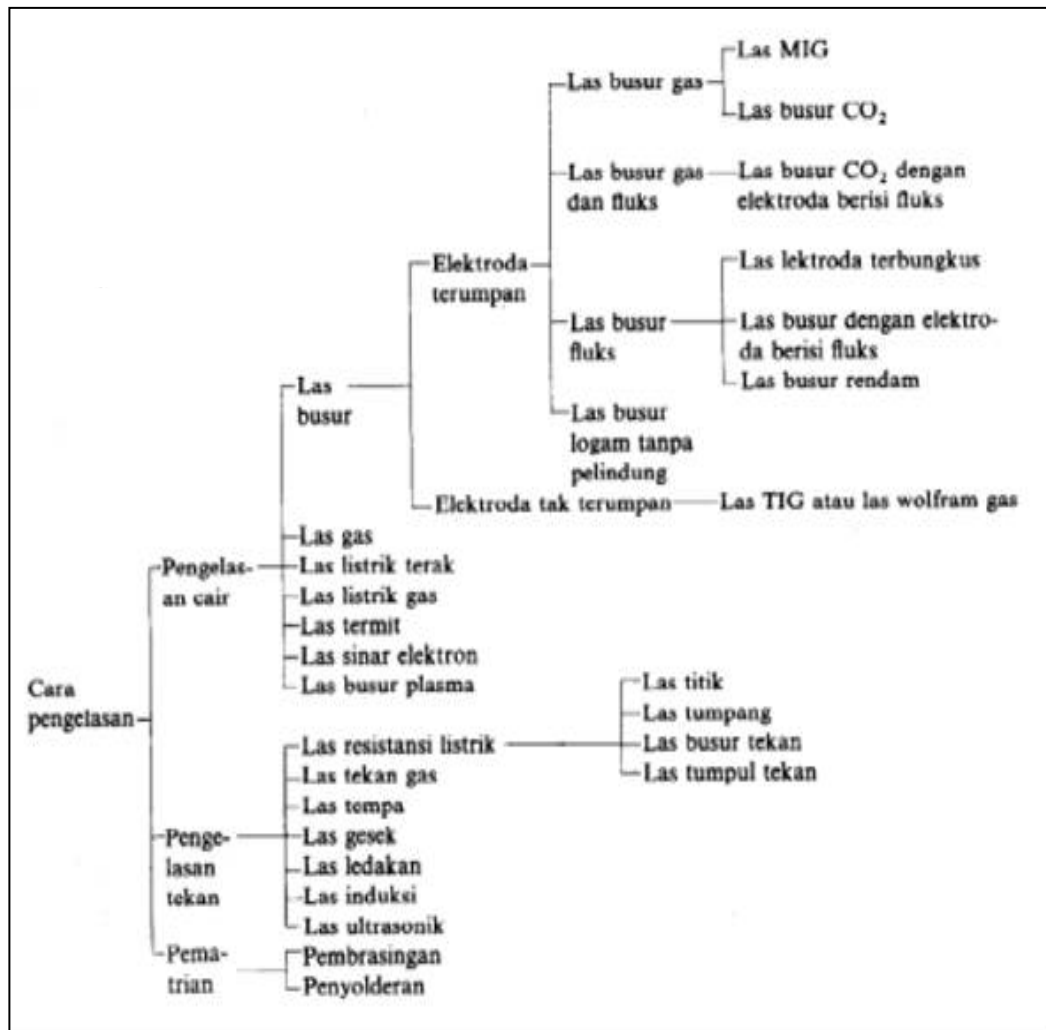
8) Keretakan (*Creep*)

Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap.

2.2 Penyambungan atau *Joining*

Dalam proses produksi terdapat berbagai cara dalam penyambungan logam salah satunya adalah pengelasan. Pengelasan adalah proses penyambungan dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Logam disekitar lasan mengalami siklus thermal yang menyebabkan perubahan metalurgi, deformasi, dan tegangan thermal. Hal ini berkaitan erat dengan ketangguhan, cacat las, retak, keamanan konstruksi yang dilas. Menurut (Shofianto, 2009), berdasarkan cara kerja, pengelasan dibagi menjadi 3 metode yaitu :

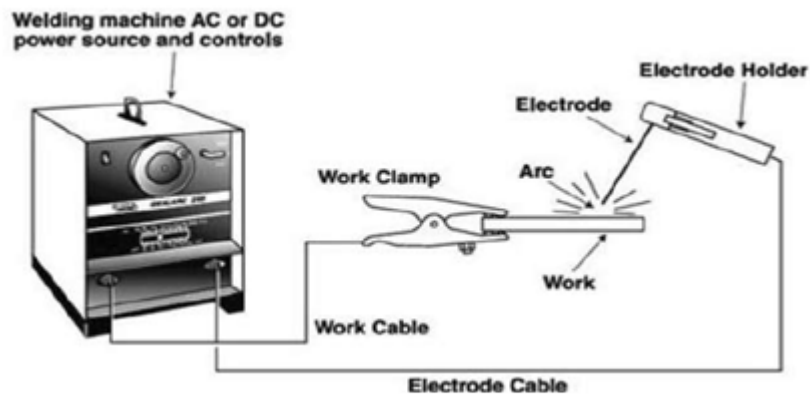
- 1) Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- 2) Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, dengan cara ini logam induk tidak ikut cair.
- 3) Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Klasifikasi metode pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi metode pengelasan

2.2.1 Las *Shielded Metal Arc Welded* (SMAW)

Shielded Metal Arc Welded (SMAW) merupakan suatu teknik pengelasan dengan menggunakan arus listrik yang membentuk busur arus dan elektroda berselaput. Pengelasan SMAW ini terjadi gas pelindung ketika elektroda terselaput itu mencair, sehingga dalam proses ini tidak diperlukan tekanan (*pressure*) gas inert untuk menghilangkan pengaruh oksigen atau udara yang dapat menyebabkan korosi atau gelembung-gelembung di dalam hasil pengelasan. Proses pengelasan terjadi karena adanya hambatan arus listrik yang mengalir diantara elektroda dan bahan las yang menimbulkan panas mencapai 3000⁰C, sehingga membuat elektroda dan bahan yang akan di las mencair (Sukani, et al., 2013). Alat las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Alat las *shielded metal arc welding* (SMAW)

Pada saat proses pengelasan berlangsung elektroda berhubungan langsung dengan panas berlebih maka pada elektroda diberikan sistem pendingin menggunakan air yang mengalir pada saat proses pengelasan, dengan adanya sistem pendingin ini menghindari panas berlebih pada elektroda yang menyebabkan terkikisnya ujung elektroda bahkan melelehkan elektroda. Bahan yang digunakan pada elektroda harus memiliki sifat konduktor listrik yang baik sehingga memiliki tahanan dalam yang rendah serta kuat dalam suhu tinggi, seperti tembaga dan paduannya. Pada pengelasan resistensi listrik terdapat tiga faktor yang mempengaruhi besarnya atau kalor untuk mencaikan logam. Ketiga faktor tersebut dapat ditinjau dari rumus total *heat input* yang dihasilkan (Ruukki, 2009) yaitu:

$$H = I^2 \cdot R \cdot t \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : H = Total *Heat Input* (joule)

I = Arus Listrik (Ampere)

t = Waktu Pengelasan (detik)

R = Hambatan Listrik (Ohm)

a. Arus listrik pengelasan (*current welding*)

Pada pengelasan resistensi listrik pengaturan besar arus haruslah tepat, karena akan mempengaruhi pada hasil pengelasan. Dalam proses pengelasan resistensi listrik terdapat kontrol atau *step down*, dimana besarnya arus dapat diatur peringkat sesuai dengan kebutuhan logam yang akan dilas. Besarnya arus

ini diatur oleh gulungan *coil* primer dan sekunder dengan mengubah besarnya tegangan keluaran. Dalam menentukan kuat arus harus memperhatikan diameter elektroda yang akan digunakan, posisi pengelasan, dan polaritas (sifat) pengatuban.

Menurut Suharto (1991) arus adalah aliran pembawa muatan listrik, simbol yang digunakan adalah huruf besar I dalam satuan Ampere. Pengelasan adalah penyambungan dua logam dan atau logam paduan dengan cara memberikan panas baik di atas atau di bawah titik cair logam tersebut baik dengan atau tanpa tekanan serta ditambah atau tanpa logam pengisi. Yang dimaksud arus pengelasan disini adalah aliran pembawa muatan listrik dari mesin las yang digunakan untuk menyambung dua logam dengan mengalirkan panas ke logam pengisi atau elektroda.

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam pengelasan. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan (Awali, et al., 2014). Adapun hubungan diameter elektroda dengan arus listrik ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Hubungan diameter elektroda dengan arus listrik

Diameter Elektroda (mm)	Arus (Ampere)
2,5	60-90
2,6	60-90
3,2	80-130
4,0	150-190
5,0	180-250

(Sumber : Hendi Saputra, 2014)

b. Tahanan listrik (*resistence*)

Tahanan listrik dari material benda kerja ditentukan berdasarkan dari jenis materialnya. Pada sirkuit sistem pengelasan *resistence welding* tahanan listrik diartikan dalam jumlah keseluruhan dari:

- 1) Resistensi material dari elektroda.
- 2) *Resistence interface* (elektroda-*sheet metal*).
- 3) *Resistence interface* (*sheet metal-sheet metal*).

4) Resistensi benda kerja.

c. Waktu pengelasan

Welding time merupakan pengaturan waktu arus listrik mengalir pada proses pengelasan guna mendapatkan energi panas yang masuk (*heat input*). *Weld time* dapat diatur secara manual sesuai dengan jenis dan tebal plat yang digunakan. Waktu pengelasan dalam satuan *cycle* dimana untuk listrik dengan frekuensi 50 Hz, 1 detik = 50 *cycle* maka untuk 1 *cycle* = 0,02 detik. Waktu pengelasan dalam pengelasan resistensi listrik terdiri dari 3 waktu yaitu :

- 1) *Set-up time (squeeze time)*.
- 2) *Welding time (current time)*.
- 3) *Holding time*

Set-up time (squeeze time) adalah waktu dimana elektroda mulai bersentuhan dengan benda kerja untuk memberikan penekanan awal sebelum arus listrik dialirkan dan menyatel tahanan *interface (setting-up reproducible resistance)*. *Set-up time* tidak memberikan efek terhadap propertis teknik dari pengelasan, meski demikian harus diberikan tegangan waktu yang cukup lama agar elektroda memberikan gaya penekanan yang cukup sebelum arus listrik dialirkan.

Welding time (current time) adalah waktu dimana arus listrik dialirkan setelah *set-up time* sudah selesai. Pada proses pengelasan *welding time* sangatlah singkat dan pengaturan waktu pengelasan berdasarkan tebal plat serta besarnya arus yang digunakan. Pada mesin las sudah tersedia panel pengaturan *welding time* yang diinginkan, besarnya dipengaruhi oleh tebal plat yang dilas dan berhubungan dengan kuat arus, artinya sangat memungkinkan jika kuat arus yang diberikan kecil maka *welding time* bisa lebih lama.

Holding time adalah waktu dimana aliran arus ditiadakan atau waktu pengelasan telah usai tetapi gaya penekanan dari sepasang elektroda masih tetap diberikan. Selama penahanan berlangsung daerah logam yang kondisinya masih mencair akhirnya membeku hingga mengeras dan membentuk *weld nugget*. *Holding time* diberikan cukup lama saat proses pendinginan (logam acir mengeras kembali) agar mencapai kekuatan yang cukup pada daerah yang dilas maka semakin lama *hold time* yang diberikan.

2.2.2 Resistense Spot Welding

Spot welding merupakan salah satu dari proses pengelasan resistensi listrik. Pada proses ini peleburan pada bidang kontak lembaran logam dengan bentuk sambungan tumpang (*lap joint*) dengan menggunakan elektroda yang saling berhadapan. Pada proses pengelasan arus listrik yang tinggi akan dialiri pada kedua lembaran logam yang saling berhimpit melalui sepasang elektroda yang saling menekan diantara *interface* lembaran logam. Arus listrik yang digunakan pada pengelasan *spot welding* yaitu berkisar 4-20 Ka. Besarnya arus listrik yang diberikan tergantung dari tebal lembaran logam yang akan dilas. Lembaran logam yang akan dilas memiliki ketebalan 3 mm atau kurang dari 3 mm. Semakin tebal plat yang akan dilas maka akan semakin besar kuat arus yang akan digunakan maka semakin besar pula arus yang digunakan (Sigit, 2015).

2.2.3 Elektroda

Bagian terpenting dalam las busur listrik adalah elektroda las. Jenis elektroda yang dipergunakan menentukan hasil pengelasan sehingga sangat penting untuk mengetahui sifat dan jenis dari masing-masing elektroda sebagai dasar pemilihan elektroda yang tepat. Jenis elektroda yang dipergunakan menentukan hasil pengelasan sehingga sangat penting untuk mengetahui sifat dan jenis dari masing-masing elektroda sebagai dasar pemilihan elektroda yang tepat (Fenny, 2015). Elektroda jenis E6013 dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Elektroda E6013

Elektroda E6013 termasuk ke dalam jenis hydrogen rendah, yaitu selaput hydrogen yang rendah kurang dari 0,5 %, sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Elektroda ini di pakai untuk pengelasan yang memerlukan mutu tinggi, bebas porositas, misalnya untuk pengelasan pipa dan bejana yang akan mengalami tekanan. Arti dari simbol penamaan arah satu jenis elektroda tipe misalnya E6013 adalah:

- E : Elektroda untuk las busur listrik.
- 60 : Nilai tegangan tarik minimum 60.000 psi.
- 1 : Posisi pengelasan (untuk pengelasan semua posisi).
- 3 : Jenis selaput (*fluks*), menggunakan selaput bahan titanium.

2.2.4 Pengelasan Baja Karbon Rendah

a. Klasifikasi Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah yang juga disebut baja lunak banyak sekali digunakan untuk kontruksi umum, penggolongan baja kontruksi di standarsasi menurut kekuatan tarik. Baja karbon rendah ini dibagi lagi dalam baja kil, semi kil dan rim, dimana penamannya didasarkan persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distorsi rongga. Klasifikasi baja menurut tingkat deoksidasi dapat dilihat dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2. Penggolongan baja kontruksi dan sifatnya

Sebutan	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Regangan	Kadar C(%)	Sifat
St 00	Sampai 50	30 – 20	0,12	Mutu perdagangan tidak dijamin, dapat dilas
St 34	34 – 42	30- 36	0,12	Dapat disepuh keras, dapat dilas
St 37	37 – 45	26 – 23	0,16	Sama dengan St 34
St 50	50 – 60	22 – 28	0,35	Dapat dikeraskan, dapat ditempa
St 60	60 – 70	17 – 13	0,45	Dapat sangat dikeraskan
St 70	70 – 85	12 – 8	0,55	Dapat ditempa

(Sumber: Van Vlak, 1985)

b. Sifat Mampu Las dari Baja Karbon Rendah

Faktor – faktor yang sangat mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan tarik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon

dan menaikkan kadar mangan (Mn). Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya, tetapi retak las pada baja ini bisa terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila pada baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.

c. Cara Pengelasan Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah umumnya dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektoda hidrogen rendah.

2.2.5. Bentuk Kampuh Las

Ada banyak faktor yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan sebuah sambungan las, diantaranya kekuatan sambungan dan kemampuan juru las untuk mengerjakan sambungan tersebut. Desain sambungan harus mampu mengakomodasi persyaratan-persyaratan dengan cara yang paling ekonomis. Beberapa faktor yang harus direncanakan dalam pemilihan sambungan adalah sebagai berikut (Sonawan, 2003):

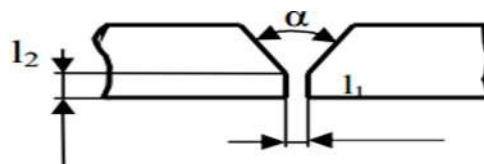
- a. Sambungan las harus dirancang sedemikian rupa, sehingga luas penampang sambungan seminimum mungkin. Luas penampang sambungan las merupakan sebuah ukuran dari jumlah logam las yang dibutuhkan untuk membuat sambungan las.
- b. Dalam persiapan pembuatan kampuh, rancangan sambungan dan ketebalan pelat akan menentukan jenis perkakas dan peralatan yang dibutuhkan.
- c. Rancangan sambungan harus terkait dengan proses pengelasan yang akan dipakai dan posisi pengelasan juga harus ikut dipertimbangkan.
- d. Luas penampang logam las merupakan luas dari kampuh yang terisi oleh logam las. Luas logam las yang kecil, berarti bagian kampuh yang terisi logam las hanya memerlukan sedikit logam tambahan. Demikian juga dengan luas penampang logam las yang besar berarti bagian kampuh yang terisi logam las lebih banyak.

Penyambungan dalam pengelasan diperlukan untuk meneruskan beban atau tegangan diantara bagian – bagian yang disambung. Oleh karena itu, sambungan las paling tidak juga memiliki kekuatan yang sama dengan bagian yang disambung. Untuk menyambung dua komponen logam diperlukan berbagai jenis kampuh sambungan. Pada kampuh ini selanjutnya logam tambahan diberikan sehingga terdapat kesatuan antara komponen – komponen yang disambung. Sambungan las pada konstruksi baja pada dasarnya dibagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut dan sambungan tumpang (Wiryo Sumarto, 2000).

Sambungan tumpul adalah sambungan yang paling efisien. Bentuk alur sambungan ini sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan pengerjaan. Karena pemilihan alur sangat penting, dimana bentuk alur dan sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS (*American Welding Society*), DIN (*Deutsches Institut für Normung*), JSSC (*Japan Society Of Steel Construction*) dan lain – lain. Sambungan tumpul digunakan untuk menyambung ujung – ujung plat yang datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama, biasanya divariasikan pada alur atau kampuh. Jenis kampuh sambungan tumpul (*butt joint*) antara lain:

a. Kampuh V Tunggal (V)

Kampuh ini terdiri dari kampuh V tunggal terbuka dan V tunggal tertutup. Kampuh ini dapat dipakai untuk menerima gaya tekan yang besar, serta lebih tahan terhadap kondisi beban statis. Pada pelat dengan tebal 5 – 20 mm perembesan (penetrasi) dapat dapat dicapai 100 persen (Handra dan Yudi, 2011). Skema kampuh V tunggal (V) ditunjukkan pada gambar 2.4.

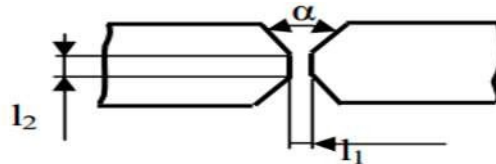


Gambar 2.4 Kampuh V tunggal (V) (Sumber: Handra dan Yudi, 2011)

b. Kampuh V Ganda (X)

Kampuh ini terdiri dari V ganda terbuka dan V ganda tertutup. Kampuh ini banyak digunakan pada dinding kapal, tangki ketel dan sebagainya. Kampuh V

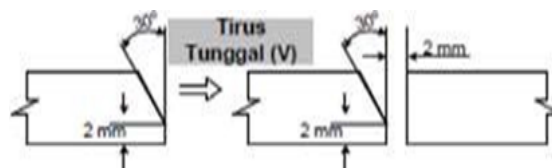
ganda (X) sangat baik untuk kondisi beban statis maupun dinamis, serta dapat menjaga perubahan bentuk kelengkungan sekecil mungkin. Kampuh ini dipakai pada ketebalan pelat 12 – 20 mm (Handra dan Yudi, 2011). Skema kampuh V ganda (X) ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kampuh V ganda (X) (Sumber: Handra dan Yudi, 2011)

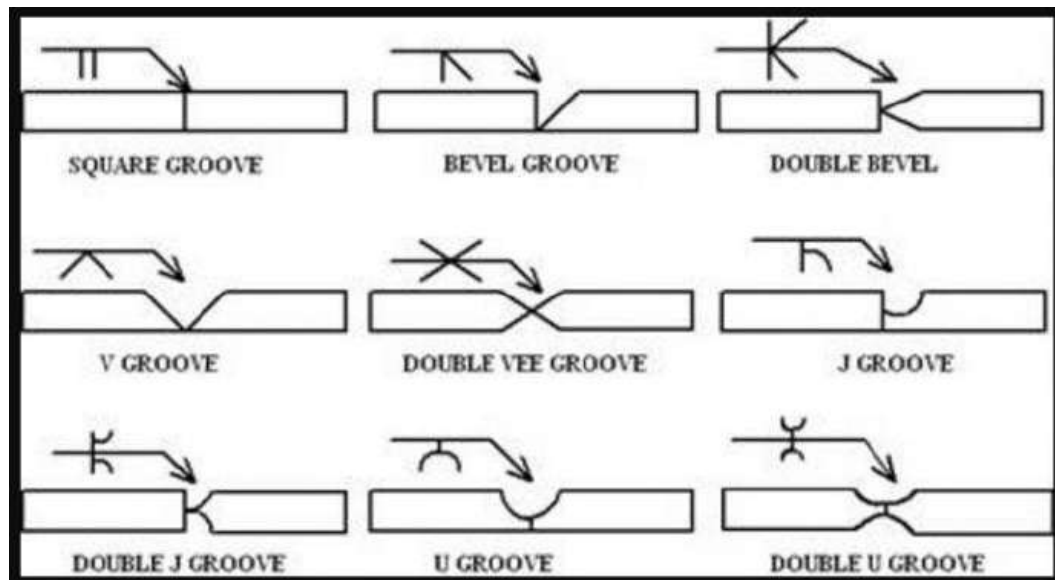
c. Kampuh Tirus Tunggal ($\frac{1}{2}$ V)

Kampuh ini dipergunakan untuk beban tekan yang besar. Kampuh $\frac{1}{2}$ V dibuat apabila salah satu bagian yang akan disambung tidak dapat dibentuk. Letaknya disarankan terbuka dan dipakai pada ketebalan pelat 6- 20mm (Nukman, 2009). Skema kampuh tirus tunggal ($\frac{1}{2}$ V) ditunjukkan pada gambar 2.6.



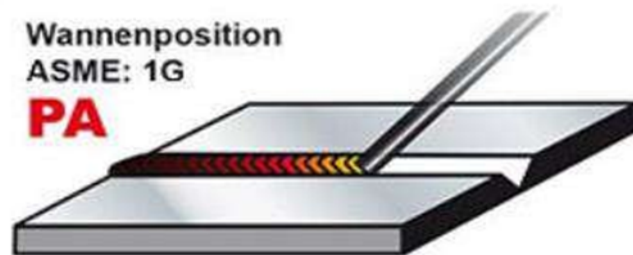
Gambar 2.6 Kampuh tirus tunggal (V) (Sumber: Nukman, 2009)

Sambungan *butt joint* merupakan jenis sambungan tumpul/sambungan buntu. Jenis sambungan ini dalam pengepliksiannya memiliki banyak jenis kampuh yang dapat di gunakan misal kampuh *Square Groove* (Kampuh I), *V Groove* (Kampuh V), *Double V Groove* (Kampuh V Ganda), *Single Bavel*, *Double Bavel*, *J Groove*, *Double J Groove*, *U Groove*, *Double U Groove*, dan dalam penelitian ini akan di pilih kampuh I, kampuh V, dan kampuh X (*Double V*) sebagai variabel penelitian (Sutrisno, 2020). Klasifikasi bentuk kampuh *butt joint* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Macam-macam bentuk kampuh *butt joint*

Posisi pengelasan datar bawah tangan (*down hand position*) PA/1G ini adalah posisi yang paling umum digunakan. Posisi ini sering kali dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan agak miring, yaitu letak elektroda berada di atas benda kerja. *Butt joint* tipe PA (1G) *Flat or Downhand* ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Butt joint* tipe PA (1G) *flat or downhand*.

2.3 Uji Tarik

Pengujian tarik adalah proses untuk mengetahui nilai kekuatan tarik suatu material. Daya tahan dari kekuatan spesimen ketika ditarik merupakan kemampuan material untuk menahan beban tarikan terhadap deformasi (perubahan bentuk) yang terjadi. Pada proses pengujian tarik terdapat sebuah siklus yang terjadi pada material yaitu yang pertama adalah proses elastisitas dimana material masih dapat kembali pada posisinya saat mengalami perubahan, yang kedua material berubah

menjadi plastis yang mana pada proses ini jika material mengalami perubahan maka tidak akan kembali pada posisi semula, yang ketiga merupakan nilai kekuatan tarik tertinggi (batas maksimal) pada material yang biasanya menyebabkan *necking* pada baja lunak, yang terakhir adalah material putus. Sebelum melakukan uji tarik kita harus mempersiapkan spesimen bahan sesuai dengan standar pengujian yang akan digunakan yaitu standar JIS Z 2241 : 2011. Alat uji tarik universal dapat dilihat pada gambar 2.9.

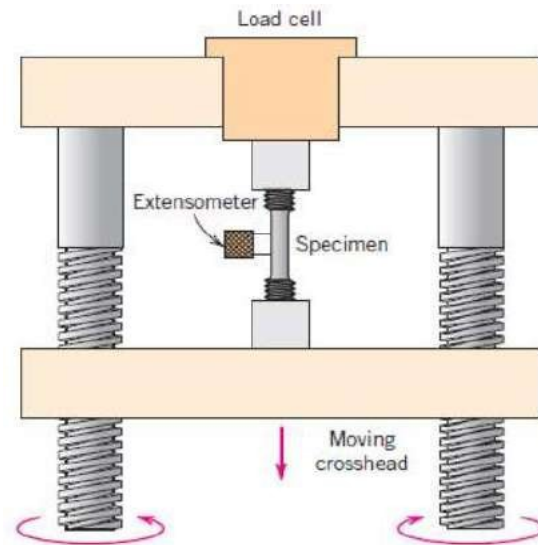


Gambar 2.9. Alat uji tarik

2.3.1 Skema Uji tarik

Pada uji tarik, spesimen dipasang pada mesin uji tarik dan dihubungkan ke *extensometer* melalui *strain gauge*. *Extensometer* adalah alat yang mengukur perubahan panjang yang dialami spesimen dengan *strain gauge* sebagai sensor. *Crosshead* bergerak sehingga membuat *load cell* bergerak. *Load cell* akan memberikan gaya dan menimbulkan tegangan tarik pada spesimen. Data perubahan panjang dan perubahan gaya diterima oleh spesimen yang telah dibentuk menyesuaikan standar kemudian hasil diperoleh dan perubahan gaya diterima oleh spesimen dari uji tarik, spesimen dipasang pada mesin uji tarik dan dihubungkan ke *extensometer* melalui *strain gauge*. *Extensometer* adalah alat yang mengukur perubahan panjang yang dialami spesimen dengan *strain gauge* sebagai sensor. *Crosshead* bergerak sehingga membuat *load cell* bergerak. *Load cell* akan memberikan gaya dan menimbulkan tegangan tarik pada spesimen. Spesimen yang menerima tegangan tarik akan mengalami perubahan panjang. Perubahan panjang yang terjadi pada spesimen akan terdeteksi oleh *strain gauge* yang terpasang pada spesimen dan terukur oleh *extensometer* yang terhubung pada *strain gauge*. Data

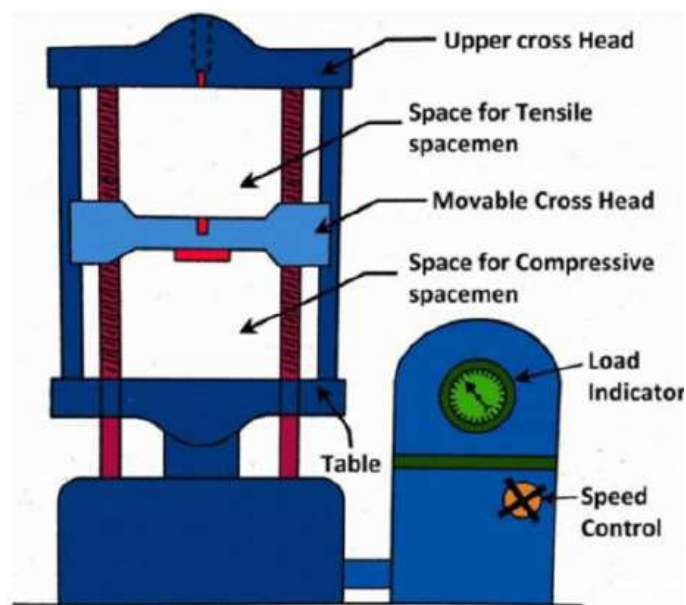
perubahan panjang dan perubahan gaya yang diterima oleh spesimen pun diperoleh dan dapat diolah lebih lanjut (Hutomo, 2016). Skema uji tarik ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Skema Uji Tarik

2.3.2. Komponen-komponen Uji Tarik

Komponen-komponen pada alat uji tarik ini terbagi menjadi beberapa bagian serta memiliki kegunaan masing-masing. Komponen-komponen mesin uji tarik ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Komponen-komponen mesin uji tarik

a. *Upper Cross Head*

Upper cross hand merupakan bagian atas dari mesin UTM, pada bagian ini terdapat pencekam atau grip untuk menahan material ketika ditarik bagian ini juga dapat bergerak naik dan turun menyesuaikan dari kebutuhan.

b. Jarak Untuk Spesimen Uji Tarik

Jarak ini berfungsi sebagai tempat spesimen uji tarik, panjang jarak ini menyesuaikan dari panjang material uji tarik. Meskipun sudah ditentukan olah *standart* atau kode minimal panjang spesimen uji tarik namun panjang dari spesimen yang akan diuji dari pihak pelanggan terkadang berbeda-beda.

c. *Movable cross head*

Movable cross head adalah bagian yang dapat berpindah pindah, bisa digerakan ke atas atau ke bawah sesuai dengan panjang spesimen. Untuk bagian atas sebagai pencekam spesimen, sedangkan jika digunakan untuk mencekam dril saat uji bending digunakan yang bagian bawah.

d. Meja

Meja ini digunakan sebagai peletakan mataras uji banding jadi harus dipastikan meja ini sangat kuat dan mampu menahan tekanan saat uji bending berlangsung.

e. Indikator Beban

Kita dapat mengetahui besar beban yang kita berikan dari *load* indikator, untuk jenis indikator beban ini bervariasi ada yang sudah digital dan juga ada yang masih analog tergantung dari mesinya.

f. *Speed Control*

Speed control berfungsi untuk mengatur kecepatan penurunan dan kecepatan saat mengangkat pencekam.

g. Komputer

Mesin UTM terbaru biasanya sudah dilengkapi dengan 1 set komputer lengkap dengan printer untuk mencetak hasil pengujian. Jadi dalam komputer tersebut terdapat *software* yang sudah terinstal dan *connect* dengan mesin UTM.

h. *Extensometer*

Extensometer digunakan untuk mengukur perubahan panjang material saat dilakukan uji tarik.

i. Jangka Sorong

Jangka sorong sebagai alat penunjang dalam pengukuran material anda dapat menggunakan jangka sorong (Hutomo, 2016).

2.3.3. Teori Elastisitas

Berdasarkan sifat mekanik material sebagai ukuran untuk menahan gaya atau regangan. Kondisi *raw* material pada saat mendapat gaya struktur molekul berada dalam kondisi keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan, tekanan, pemotongan, penempaan, dan pembongkaran akan mengakibatkan material mengalami tegangan (Bhaduri, 2018).

2.3.4. Tegangan

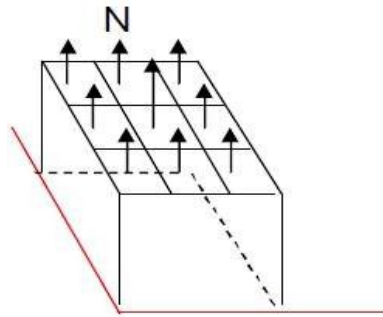
Tegangan didefinisikan sebagai beban atau gaya yang diterapkan per satuan luas. Seringkali, tegangan ini cenderung pada beberapa sudut yang berubah-ubah ke daerah dimana spesimen bertindak. Dalam kasus seperti itu, untuk menggambarkan *stress* dengan mudah, masing-masing stress tersebut diselesaikan menjadi dua komponen, tegangan normal yaitu tegangan tegak lurus terhadap luas aksi, dan tegangan geser atau tegangan yang terletak pada pesawat aksi (Bhaduri, 2018). Konsep tegangan ditunjukkan pada gambar 2.12.

$$\sigma = \frac{F_n}{A_o} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : σ = Tegangan (Mega Pascal (MPa))

F_n = Gaya normal (N)

A_o = Luas Penampang (mm²).



Gambar 2.12. Tegangan normal

2.3.5. Regangan

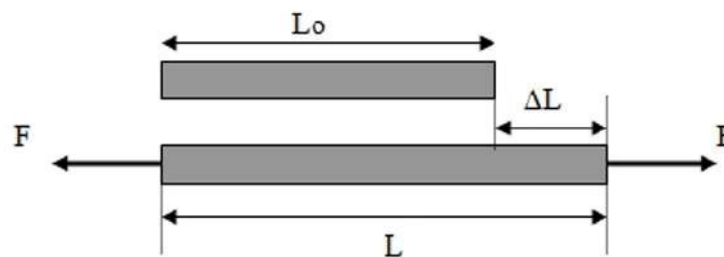
Regangan adalah perubahan dimensi tubuh diamati pada semua bahan benda padat ketika benda mengalami deformasi dengan diterapkan secara eksternal. Perbandingan perubahan panjang dengan aslinya, panjang itulah yang disebut regangan linier atau normal atau sederhananya regangan dari rasio ini diartikan kuantitas tak berdimensi. Regangan diukur selama deformasi mengalami elastisitas yang dapat dipulihkan selama deformasi plastis (Bhaduri, 2018). Konsep regangan ditunjukkan pada gambar 2.13.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : e = Regangan (%).

ΔL = Perubahan panjang (mm).

L_0 = Panjang awal (mm).



Gambar 2.13. Regangan

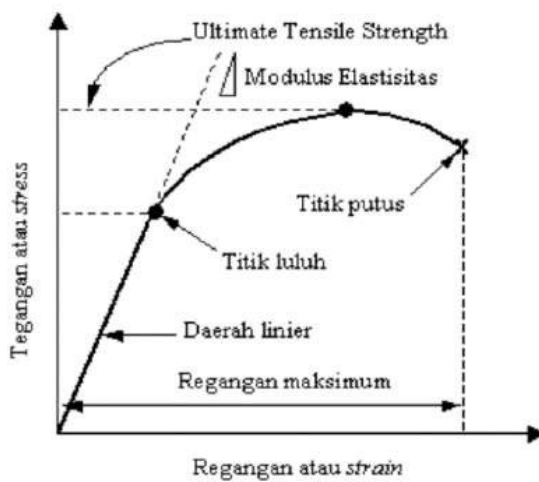
Pada tahap pertama pembebanan plat mengalami fase elastis sampai pada titik luluh kemudian akan masuk pada fase plastis. Daerah elastis dan plastis dapat diamati pada diagram tegangan-regangan yang dikenal sebagai hukum *Hooke* (Bhaduri, 2018). Kurva tegangan dan regangan ditunjukkan pada gambar 2.14.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : E = Modulus Elastisitas (MPa).

σ = Tegangan (N/mm²).

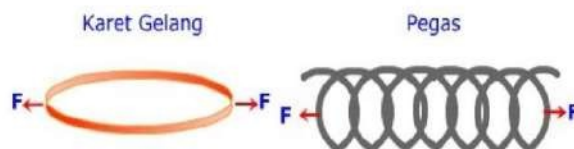
ϵ = Regangan (mm).



Gambar 2.14. Kurva tegangan-regangan

2.3.6. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas sering disebut sebagai modulus young yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis, sehingga modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk dan kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban (SNI 2826-2008). Regangan elastisitas ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Regangan elastisitas (a) karet gelang (b) pegas

Dapat disimpulkan bahwa regangan (E) yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan tegangannya (σ) dan berbanding terbalik terhadap ke elastisitasnya (Bhaduri, 2018). Hal Ini dapat dinyatakan dengan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana : E = Modulus Elastisitas (MPa).

σ = Tegangan (N/mm²).

ε = Regangan (mm)

2.4 Uji impak (*Impact test*)

Uji *impact* dilakukan untuk menentukan kekuatan material dalam sebuah metode uji *impact* dalam dunia industri khususnya uji *impact charpi* dan 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.

Berikut beberapa pengujian pukul takik:

a. Uji Takik

Benda uji diletakkan secara mendatar dan ditahan pada sisi kiri dan kanan.

Kemudian benda dipukul pada bagian belakang takikan.

b. Uji Tekan

Benda uji dijepit pada satu ujungnya pada posisi tegak, lalu benda uji ini dipukul dari sisi depan pada sisi ujung yang lain.

Beberapa perangkat pada otomotif dan transmisi, akan mengalami suatu beban kejut atau beban secara mendadak (tiba-tiba) dalam pengoperasiannya. Oleh karena itu ketahanan suatu material terhadap beban mendadak, serta faktor-faktor yang mempengaruhi sifat material tersebut perlu diketahui dan diperhatikan.

Salah satu sifat material yang menyebabkan kecenderungan suatu logam mengalami patah getas diantaranya; tegangan triaxial, temperatur rendah dan laju regangan/pembebanan yang tinggi. Tegangan triaxial dapat terjadi apabila pada permukaan terdapat takik/notch.

2.4.1. Teknik Uji Impak (*Impact Test*)

Ada dua teknik uji impak yang standar yaitu *charpy* dan *izod*. Pengujian ini bertujuan untuk menguji kecenderungan logam untuk patah getas dan untuk mengukur energi impak atau istilah lainnya disebut *notch toughness* (mengukur ketangguhan logam terhadap adanya takik) Teknik *charpy V-notch* (CVN) adalah teknik yang paling banyak digunakan.

2.4.2. Jenis-jenis Metode Uji Impak

Secara umum metode pengujian impak terdiri dari dua jenis yaitu:

a. Metode *Charpy*

Merupakan pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal / mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

Beberapa kelebihan dari metode Charpy, antara lain :

- Hasil pengujian lebih akurat.
- Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
- Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang.
- Waktu pengujian lebih singkat.

Sementara kekurangan dari metode *Charpy*, yaitu :

- Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.
- Spesimen dapat bergeser dari tumpuan karena tidak dicekam.
- Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil.

b. Metode Izod

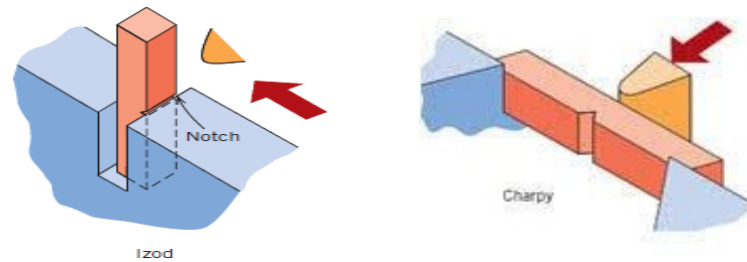
Merupakan pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan. Pada umumnya metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika sedangkan metode Izod digunakan di Eropa.

Kelebihan metode *Izod* :

- Tumbukan tepat pada takikan dan spesimen tidak mudah bergeser karena salah satu ujungnya dicekam.
- Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.

Kerugian penggunaan metode *Izod* :

- Biaya pengujian lebih mahal.
- Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
- Hasil perpatahan kurang baik.
- Waktu yang digunakan untuk pengujian cukup panjang karena prosedur pengujian yang banyak.



Gambar 2.16 Dua Teknik Uji Impak (*Impact test*) (Firmansyah, 2021)

Pada umumnya metode pengujian impak dengan menggunakan metode Charpy ini banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode Izod digunakan di Eropa (*Inggris*). Benda uji Charpy mempunyai luas penampang lintang bujur sangkar (10x10 mm) dan mengandung takik V-45°, dengan jari – jari dasar 0,25 mm dan kedalam 2 mm. Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang tidak bertakik diberi beban impak dengan ayunan bandul (kecepatan impak sekitar 16ft/detik). Benda diuji akan melengkung dan patah pada laju rengangan yang tinggi kira – kira 10^3 detik⁻¹

Sementara untuk benda uji *Izod*, yang saat ini sangat jarang digunakan, benda uji mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran yang bertakik V didekat ujung yang dijepit. Perbedaan cara pembebanan antar uji Izod dan Charpy ditunjukkan pada gambar 2.16.

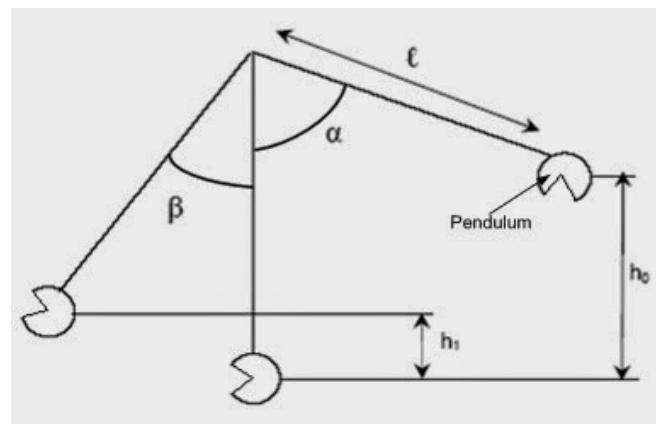
2.4.3. Pembahasan Metode *Charpy*

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode *charpy*. Pada metode *charpy*, spesimen uji diletakkan mendatar dengan ditahan di bagian ujung – ujungnya oleh penahan, kemudian pendulum ditarik ke atas sesuai posisi yang diinginkan. Setelah itu pendulum dilepaskan dan mengenai tepat pada bagian

belakang takikan atau sejajar dengan takikan. Pada saat pendulum dinaikkan sampai pada ketinggian h_1 , kemudian dari posisi ini pendulum dilepaskan dan berayun bebas memukul spesimen hingga patah dan pendulum masih terus berayun sampai ketinggian h_2 , maka energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen dapat dihitung dengan rumus:

$$E = P (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(2.6)$$

Tinggi pendulum sebelum dan sesudah dijatuhkan ($h_1 - h_2$) dapat dinyatakan dengan sudut, maka energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen dapat



Gambar 2.17 Skema Perhitungan Energi Impak.

dihitung :

$$E = P \times D (\cos\beta - \cos\alpha) - L \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

E = Energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen (kg.m).

P = Berat pendulum 25,530 kg.

D = Jarak antara sumbu pendulum dengan pusat gaya berat pendulum
0.6495 m.

α = Sudut pendulum sebelum dijatuhkan (90^0 , 120^0 , 144^0)

β = Sudut pendulum setelah mematahkan spesimen.

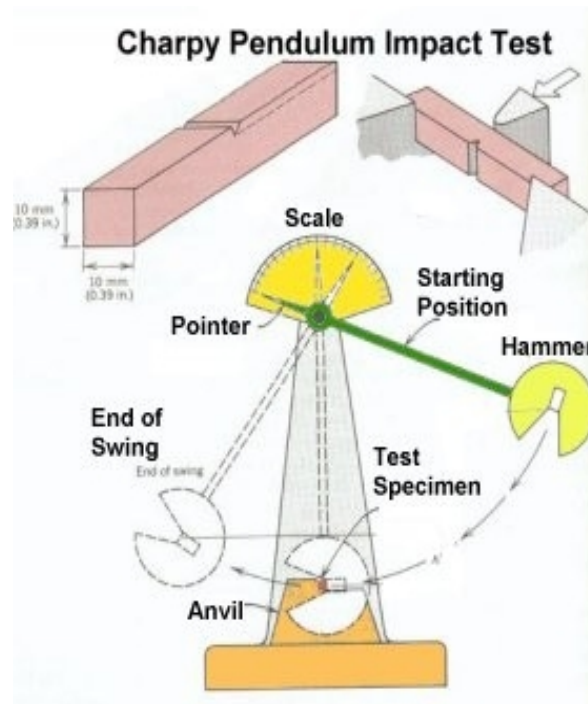
L = Energi yang hilang

h = ketinggian spesimen pada bantalan anvil

Energi yang hilang (*lose energy* = L) adalah disebabkan oleh gesekan

pendulum dengan udara dan juga adanya gesekan batang pendulum dengan bantalan (*bearing*). Energi yang hilang dapat dihitung dengan cara mengangkat pendulum sampai tinggi maksimum dan dilepaskan (tanpa ada spesimen), maka energi yang hilang adalah:

$$E = P \times D (\cos\beta - \cos\alpha) \text{ kg-m} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.18. Skematik penggunaan alat uji impak *charpy*

Apabila luas permukaan patahan spesimen adalah $A \text{ cm}^2$, maka kekuatan impak (*Impact strength*) atau disebut juga angka charpy dapat dicari dengan rumus:

$$a_k = \frac{E}{A} \text{ kg.m/cm}^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana :

a_k = Kekuatan impak (kgm.cm^{-2}).

A = Luas permukaan patahan spesimen (cm^2).

2.4.4. Perpatahan Impak

Pengukuran lain dari uji *Charpy* yang biasanya dilakukan adalah

penelaahan terhadap permukaan patahan untuk menentukan jenis patahan yang terjadi. Secara umum, sebagaimana analisis perpatahan pada benda hasil uji tarik, maka perpatahan impak digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu :

- a. Perpatahan berserat / patahan geser (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang – bidang kristal di dalam bahan logam yang ulet (*ductile*) dan ditandai dengan permukaan patahan yang berserat yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.
- b. Perpatahan granular / kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan pada butir – butir dari bahan logam yang rapuh (*brittle*) serta ditandai dengan permukaan patahan yang datar dan mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi sehingga kelihatan mengkilap.
- c. Perpatahan campuran (berserat dan granular) merupakan kombinasi dari dua jenis perpatahan di atas.

Bentuk patahan yang berbeda – beda ini dapat ditentukan dengan mudah, walaupun pengamatan permukaan patahan tidak menggunakan pembesaran. Permukaan patahan datar memperlihatkan daya pemantul cahaya yang tinggi serta penampilan yang berkilat.

Sementara permukaan patahan ulet berserat dan berbentuk dimpel menyerap cahaya serta penampilan yang buram. Biasanya dibuat suatu perkiraan berapa persen patahan permukaan yang terjadi berupa patahan bela (serat). Gambar 2.16 menunjukkan proses patahan benda pada uji Charpy.

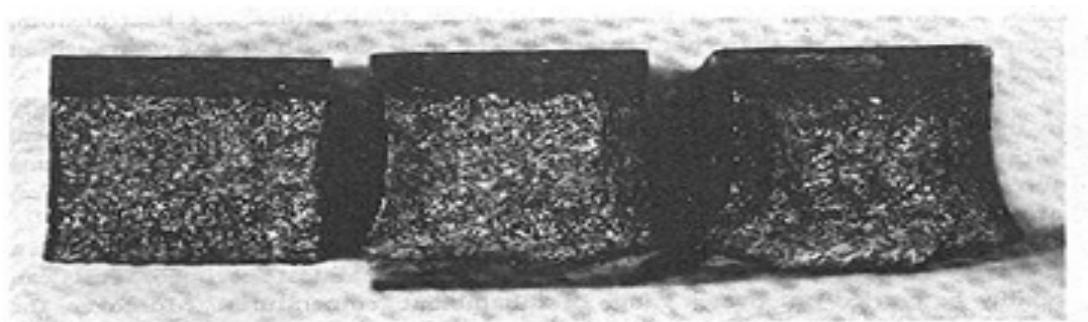


Fig. 14-2 Fracture surfaces of Charpy specimens tested at different temperatures. Left, 40°F center, 100°F; right, 212°F. Note gradual decrease in the granular region and increase in lateral contraction at the notch with increasing temperature.

Gambar 2.19 Permukaan patahan (fractografi) benda uji impak Charpy.

Gambar di atas memperlihatkan perubahan penampilan permukaan patahan, mulai dari 100% belahan datar (kiri) menjadi 100% patah berserat tampak disekitar permukaan luar benda yang diuji (tepi geseran) dimana kendala trisumbu (triaksial) berakhir. Minimal pengukuran jenis ketiga yaitu pengukuran keuletan dalam bentuk persen pengkerutan benda uji pada takik, terkadang pada uji Charpy.

Uji impact batang bertakik sangat bermanfaat apabila dilakukan pada berbagai suhu sedemikian hingga besarnya suhu peralihan ulet – getas dapat ditentukan. Pada beberapa jenis bahan, penurunan nilai tersebut. Berikut mengenai perpatahan getas dan ulet.

- c. Patah Getas. Merupakan fenomena patah pada material yang diawali terjadinya retakan secara cepat dibandingkan patah ulet tanpa deformasi plastis terlebih dahulu dan dalam waktu yang singkat. Dalam kehidupan nyata, peristiwa patah getas dinilai lebih berbahaya dari pada patah ulet, karena terjadi tanpa disadari begitu saja. Biasanya patah getas terjadi pada material berstruktur martensit, atau material yang memiliki komposisi karbon yang sangat tinggi sehingga sangat kuat namun rapuh.

Ciri-cirinya terjadinya patahan getas:

- Permukaannya terlihat berbentuk granular, berkilat dan memantulkan cahaya.
- Terjadi secara tiba-tiba tanpa ada deformasi plastis terlebih dahulu sehingga tidak tampak gejala-gejala material tersebut akan patah.
- Tempo terjadinya patah lebih cepat.
- Bidang patahan relatif tegak lurus terhadap tegangan tarik.

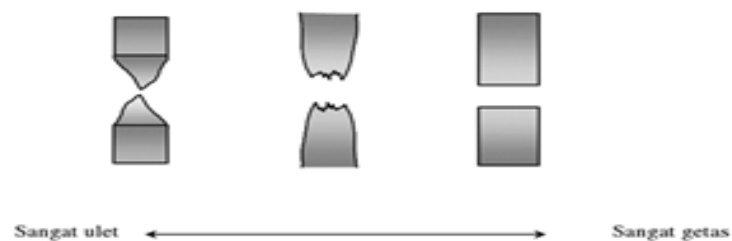
Tidak ada reduksi luas penampang patahan, akibat adanya tegangan multiaksial.

- b. Patah ulet. Merupakan patah yang diakibatkan oleh beban statis yang diberikan pada material, jika beban dihilangkan maka penjarangan retakan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu. Selain itu

komposisi material juga mempengaruhi jenis patahan yang dihasilkan, jadi bukan karena pengaruh beban saja. Biasanya patah ulet terjadi pada material berstruktur bainit yang merupakan baja dengan kandungan karbon rendah.

Ciri-cirinya dari patahan ulet, yaitu :

- Ada reduksi luas penampang patahan, akibat tegangan uniaksial.
- Tempo terjadinya patah lebih lama.
- Pertumbuhan retak lambat, tergantung pada beban.
- Permukaan patahannya terdapat garis-garis benang serabut (*fibrosa*), berserat, menyerap cahaya, dan penampilannya buram.



Gambar 2.20 Patahan ulet dan patahan getas

Adapun gambar hasil dari pengujian bahan, tampak patahan spesimen benda uji di bawah ini tampak jelas menyerupai bahkan mirip hasil yg tercantum pada gambar di atas, dari yang mengalami patah getas maupun patah ulet.



Gambar 2.21 Hasil Patahan dari spesimen bahan yang di uji

2.5. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi adalah suatu teknik atau ilmu untuk melihat struktur mikro material. Pengujian metalografi pada dasarnya terdiri dari pengujian makro dan pengujian mikro. Pengujian mikro bertujuan untuk mengetahui kondisi

struktur mikro penyusun logam akibat proses pengelasan, pemanasan dan pendinginan. Struktur mikro berupa butir butiran yang dipisahkan oleh batas butir (*grain boundary*). Tahapan dalam melakukan pengujian mikro adalah

a. Pematangan

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, dan EDM (*Electric Discharge Machining*). Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi dua, yaitu :

1. Teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda
2. Teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *low speed diamond saw*.

b. *Labeling*

Pemberian identitas (*labelling*) sampel supaya dapat dibedakan dengan yang lainnya. *Labelling* dapat dilakukan dengan cara penggoresan,

pengetokan atau dengan cara lainnya. Pastikan bahwa identitas tidak akan hilang selama preparasi.

c. *Mounting*

Pelapisan sampel logam dengan zat organik seperti bakelit, epoxy resin dengan maksud mempermudah penanganan selama persiapan metalografi. Teknik mounting dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *clamp mounting*, *compression mounting*, *cold mounting* dan *conductive mounting*. Perbedaan yang pokok dari keempat cara tersebut tergantung bahan dan teknik pelapisan yang dilakukan.

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dll. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (*media mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki *bahan mounting* adalah :

1. Bersifat *inert* (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
2. Sifat eksoterimis rendah
3. Viskositas rendah
4. Penyusutan linier rendah
5. Sifat adhesi baik
6. Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel
7. Flowabilitas baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakteraturan yang terdapat pada sampel
8. Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan mounting harus konduktif

Media mounting yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis reagen etsa yang akan digunakan. Pada umumnya mounting menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat berupa resin (*castable resin*) yang dicampur dengan hardener, atau bakelit. Penggunaan castable resin lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan bakelit, karena tidak diperlukan aplikasi panas dan tekanan. Namun bahan castable resin ini tidak

memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras. Teknik mounting yang paling baik adalah menggunakan thermosetting resin dengan menggunakan material bakelit. Material ini berupa bubuk yang tersedia dengan warna yang beragam. Thermosetting mounting membutuhkan alat khusus, karena dibutuhkan aplikasi tekanan (4200 lb/in^2) dan panas (149°C) pada mold saat mounting.

d. *Grinding* (penggerindaan)

Sampel yang baru saja dipotong, atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas *Silicon Karbit* (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan *mesh*, yaitu kombinasi dari 220, 330, 500, 600, 800, dan 1000. Ukuran grit pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan. Seperti perubahan struktur akibat panas yang timbul pada saat proses pemotongan dan perubahan bentuk sample akibat beban alat potong.

Hal yang harus diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemidam geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah 45° atau 90° terhadap arah sebelumnya.

e. *Polishing* (pemolesan)

Setelah diampelas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidakrataan sampel hingga orde $0.01 \mu\text{m}$. Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.

Tahap pemolesan dimulai dengan pemolesan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus. Ada 3 metode pemolesan antara lain yaitu sebagai berikut :

1. Pemolesan Elektrolit Kimia

Hubungan rapat arus & tegangan bervariasi untuk larutan elektrolit dan material yang berbeda dimana untuk tegangan, terbentuk lapisan tipis pada permukaan, dan hampir tidak ada arus yang lewat, maka terjadi proses etsa. Sedangkan pada tegangan tinggi terjadi proses pemolesan.

2. Pemolesan Kimia Mekanis

Merupakan kombinasi antara etsa kimia dan pemolesan mekanis yang dilakukan serentak di atas piringan halus. Partikel pemoles abrasif dicampur dengan larutan pengetsan yang umum digunakan.

3. Pemolesan Elektro Mekanis (Metode *Reinacher*)

Merupakan kombinasi antara pemolesan elektrolit dan mekanis pada piring pemoles. Metode ini sangat baik untuk logam mulia, tembaga, kuningan, dan perunggu.

f. *Etching* (pengetsan)

Reagen kimia yang disebut dengan etchant pada permukaan hasil polishing untuk menimbulkan penampakan khusus seperti fasa, batas butir, dislokasi dan struktur mikro tertentu dibawah mikroskop.

Teknik pengetsan dapat dilakukan dengan cara kimia, elektrolit, katodik vakum. Setiap logam memiliki *regent etchant* tertentu, seperti baja dan besi cor dapat digunakan *reagent* nital atau picral yang keduanya menampakan *fas pearlite*.

Untuk material logam dan keramik *grain size* adalah yang paling sering dianalisis saat melakukan metalografi karena secara langsung berhubungan dengan sifat mekanik logam. Pengukuran *grain size* dapat dinyatakan dengan jumlah *grain* per unit area/volume dan *average* diameter atau *grain size* number. Penentuan *grain size* number dapat dihitung atau dibandingkan dengan *standardized grain size chart*.

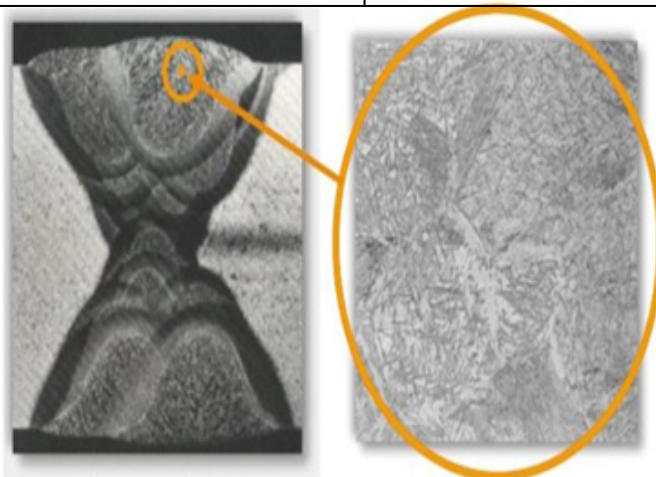
Standard ISO 17639 ada 2 istilah pengujian, yaitu *macroscopic examination* dan *microscopic examination*. *Macroscopic examination*

didefinisikan sebagai pengujian dengan mata telanjang atau dengan pembesaran rendah biasanya kurang dari x 50 dengan atau tanpa proses etsa.

Microscopic examination didefinisikan sebagai pengujian menggunakan mikroskop dengan pembesaran x 50 sampai dengan x 500 dengan atau tanpa proses etsa. Perbedaan antara uji macro dan micro secara detail dapat dilihat pada Tabel dan Gambar di bawah ini,

Tabel 2.3. perbedaan pengujian makro dan mikro

MACRO EXAMINATION	MICRO EXAMINATION
Uji visual terhadap cacat	Uji visual terhadap cacat dan grain structure
Evaluasi visual di bawah pembesaran x 5	Evaluasi visual di bawah pembesaran x 100 hingga x 1000
Poles kertas gosok hingga grit 400	Poles kertas gosok hingga grit 1200 + 1 μ m serbuk alumina
Dietsa menggunakan larutan asam nitrat 510%	Dietsa menggunakan larutan asam nitrat 15%



Macro examination

Micro examination

Gambar 2.22. Perbedaan uji makro dan mikro

Etching tujuan dari etsa ini adalah untuk meningkatkan visibilitas optik dari struktur mikro material logam sehingga mudah untuk menentukan *grain size* dan identifikasi fasa. Larutan etsa dipilih berdasarkan komposisi, stress, atau struktur kristal.

Teknik etsa yang banyak digunakan adalah chemical etching, teknik lain yang juga dapat digunakan seperti *molten salt*, *electrolytic*, serta *thermal*, plasma dan *magnetic etching* juga telah digunakan untuk aplikasi khusus. *Chemical etching*, yaitu menggunakan larutan kimia yang bersifat asam atau basa dengan *oxidizing* atau *reducing agents*. Dapat dilakukan dengan cara *immersion* atau *swabbing*

Etching melayani tujuan penting di berbagai sektor dengan menciptakan peluang untuk memodifikasi permukaan material untuk memenuhi persyaratan tertentu. Berikut adalah beberapa tujuan utama:

- **Mendefinisikan Pola dan Gambar:** Dalam bidang seni dan perhiasan, etsa menciptakan desain yang rumit dan motif dekoratif pada bahan, mendorong produksi karya yang menawan secara visual. Kemampuan etsa ini membuka jalan bagi imajinasi seorang seniman untuk terwujud menjadi karya seni yang nyata atau desain perhiasan yang unik.
- **Persiapan Permukaan:** Etsa adalah langkah penting dalam proses rekayasa dan pembuatan di mana permukaan perlu disiapkan untuk tindakan lebih lanjut seperti pengecatan, pengelasan, atau pengikatan. Dengan meningkatkan luas permukaan dan memberikan tekstur yang lebih kasar, etsa memfasilitasi daya rekat yang lebih baik pada cat, bahan pengikat, atau perawatan permukaan lainnya.
- **Penciptaan Komponen:** Industri elektronik sangat bergantung pada etsa untuk produksi komponen terperinci seperti papan sirkuit dan microchip. Ketepatan yang ditawarkan oleh proses etsa memungkinkan pengembangan jalur elektronik yang kompleks, landasan perangkat digital modern.