

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Joko dkk (2012) melakukan penelitian tentang Pengaruh Tebal Pelat Aluminium dan Lama Penekanan Pada Pengelasan Titik Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis. Dalam hal ini peneliti ingin mengetahui kualitas pengelasan titik yang terbaik dengan menggunakan mesin las tipe PDN 10 – 10 serta material yang digunakan adalah plat aluminium dengan tebal 0,8 mm; 1 mm, dan 1,2 mm dengan sambungan tindih (*lap joint*), dengan arus las 26 A dan *voltase output* 1,75 volt waktu penekanan selama 1 detik; 1,5 detik dan 2 detik. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin tebal pelat dan semakin lama waktu penekanan maka nilai kekerasan dan keuletanya semakin tinggi.

Haikal dkk (2013) membahas tentang Studi Literatur Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Pada Las Titik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari ketebalan plat terhadap ukuran diameter *nugget* dan kekuatan tarik hasil las. Pengelasan ini menggunakan plat baja karbon rendah dengan ketebalan plat 1,25 mm digabungkan dengan plat ketebalan 2,5 mm. Variasi kuat arus listrik dalam pengelasan antara 7 sampai 13,5 kA, sedangkan waktu pengelasan yaitu 0,2 detik dan 0,6 detik. Kesimpulan yang bisa diperoleh dari pembahasan di atas adalah Pengelasan logam sejenis dengan ketebalan yang sama menghasilkan bentuk *nugget* yang simetris. Sedangkan pengelasan logam tak sejenis dengan ketebalan berbeda menghasilkan bentuk *nugget* tidak simetris (asimetris). Parameter pengelasan seperti arus listrik, lama waktu pengelasan dan acuan standar pengujian untuk logam sejenis tidak bisa digunakan pada pengelasan logam tak sejenis. Acuan yang digunakan dalam pengelasan logam tak sejenis adalah ukuran diameter *nugget*. Semakin besar ukuran diameter *nugget* hasil las semakin meningkat kekuatan gesernya.

Yudhyadi dkk (2007) membahas tentang karakteristik hasil las titik berdasarkan pemilihan variable arus pada pengelasan plat baja karbon rendah. Kesimpulan yang didapat adalah terjadi kenaikan tegangan geser pada peningkatan kuat arus yang disebabkan peningkatan kuat arus listrik makin besar pula daya tembusnya untuk kecepatan pengelasan yang sama. Semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar pula diameter lasan yang dihasilkan. Akibat proses pengelasan, struktur butir yang terbentuk pada daerah las kecil/halus, sehingga kekerasanya tinggi.

Dari uraian di atas, penulis ingin meneliti pengaruh lama penekanan dan tebal plat terhadap kekuatan geser *stainless steel* A304, dengan memvariasikan waktu tekan 4 detik; 5 detik ; 6 detik dan 7 detik dan ketebalan plat 0,8 mm; 1 mm; 1,2 mm dan 1,5 mm.

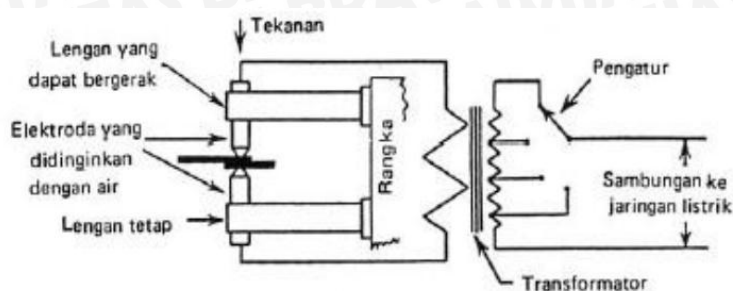
2.2 Pengelasan

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

Selama pendinginan dari logam cair sampai mencapai suhu kamar, logam las mengalami serangkaian perubahan (transformasi) fasa. Baja karbon rendah (C kurang dari 0,1%) akan mengalami perubahan fasa cair menjadi ferit δ ketika pembekuan kemudian menjadi *austenit* (γ) dan akhirnya menjadi *ferite* α dan *perlite*. Proses pendinginan pada las kondisi umum berlangsung secara gradual tanpa penurunan suhu secara mendadak (*quenching*).

2.3 Pengelasan Titik

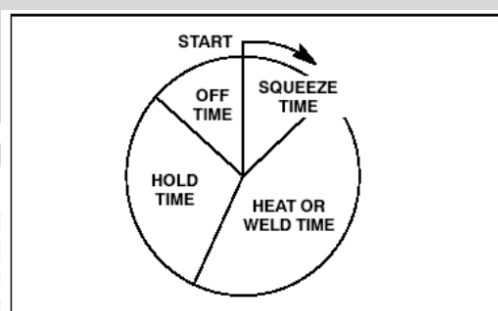
Las titik adalah salah satu jenis las resistansi listrik yang mulai dikembangkan setelah energi listrik dapat dipergunakan dengan mudah, merupakan suatu teknik penyambungan yang ekonomis dan efisien khususnya untuk pengerjaan logam plat. Pada las titik, logam (plat) yang akan di sambungkan di jepit dengan elektroda dari paduan tembaga dan kemudian di aliri arus listrik yang besar dalam waktu yang sangat singkat. Karena aliran listrik antara kedua elektroda tersebut harus melalui (logam) plat yang di jepit, maka pada tempat jepitan timbul panas yang menyebabkan logam di tempat tersebut mencair dan tersambung. Pada tempat kontak antara elektroda dan logam (plat) juga terjadi panas karena tahanan listrik, tetapi tidak sampai mencairkan logam karena ujung-ujung elektroda didinginkan.



Gambar 2.1 Skema las titik
Sumber : Daryanto,2010:130

Gambar 2.1 merupakan skema las titik. Cara kerja las titik, transformator yang terdapat dalam mesin las merubah tegangan arus bolak-balik dari 110 volt atau 220 volt menjadi 4 volt sampai 12 volt dan arusnya menjadi cukup besar sehingga dapat menimbulkan panas yang diperlukan kemudian pelat yang dilas dijepit pada tempat sambungan dengan sepasang elektroda dari paduan tembaga dan kemudian dialiri arus listrik yang cukup besar dalam waktu yang singkat, maka pada tempat jepitan timbul panas karena tahanan listrik yang menyebabkan logam di tempat tersebut mencair dan tersambung.

Panas ini juga timbul di tempat kontak antara elektroda dan pelat, tetapi tidak sampai mencairkan logam, karena ujung-ujung elektroda didinginkan dengan air. Ketika aliran listrik dihentikan, logam yang mencair tadi akan menjadi dingin dan terbentuk sambungan dibawah tekanan gaya elektroda agar tidak terjadi busur antara elektroda dan sambungan. Siklus pengelasan titik dimulai ketika elektroda menekan plat dimana arus belum dialirkan. Waktu proses ini disebut waktu tekan (*squeeze time*). Setelah itu arus dialirkan ke elektroda sehingga timbul panas pada pelat di posisi elektroda sehingga terbentuk sambungan las. Waktu proses ini disebut waktu pengelasan (*heat or weld time*)



Gambar 2.2 Siklus pengelasan titik
Sumber : Daryanto,2012:132

Setelah itu arus dihentikan namun tekanan tetap ada dan proses ini disebut waktu tenggang (*hold time*). Kemudian logam dibiarkan mendingin sampai sambungan menjadi kuat dan tekanan di hilangkan dan plat siap dipindahkan untuk selanjutnya proses pengelasan dimulai lagi untuk titik yang baru.

Peralatan mesin las titik ada tiga jenis yaitu :

- 1) mesin las titik tunggal stasioner
- 2) mesin las titik tunggal yang dapat dipindahkan
- 3) mesin las titik ganda.

Mesin las stasioner dapat dibagi lagi atas jenis lengan ayun dan jenis tekanan langsung. Jenis lengan ayun merupakan jenis yang sederhana dan mempunyai kapasitas kecil. Las titik menggunakan panas dari arus listrik dan besarnya panas dapat di hitung dengan menggunakan rumus : (Katie McMenamin,2013:141)

$$H = I^2 \times R \times t \quad (2.1)$$

Dengan:

H = panas yang dihasilkan (Joule)

I = kuat arus listrik (*Ampere*)

R = resistansi (Ohm)

t = waktu pengelasan (detik)

2.3.1 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.

Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu pertama daerah logam induk merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah daerah pengaruh panas atau disebut *heat affected zone* (HAZ) merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan mikrostruktur karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan, daerah ketiga adalah daerah las merupakan daerah terjadinya pencairan logam dan dengan cepat kemudian mengalami pembekuan.

Daerah pengaruh panas (HAZ) merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan

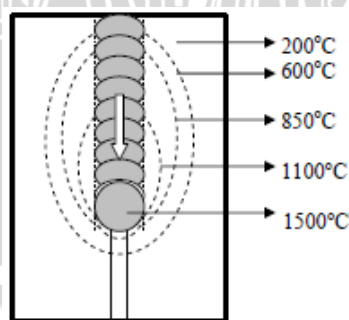
sifat. Secara umum daerah pengaruh panas efektif dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam induk sendiri. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur logam las maka susunan struktur logamnya semakin kasar.

2.3.2 Perubahan Sifat Logam Setelah Proses Las

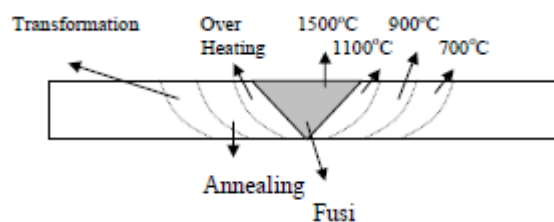
Pencairan logam saat pengelasan menyebabkan adanya perubahan fasa logam dari padat hingga mencair. Ketika logam cair mulai membeku akibat pendinginan cepat, maka akan terjadi perubahan struktur mikro dalam deposit logam las dan logam dasar yang terkena pengaruh panas (*Heat affected zone/HAZ*). Struktur mikro dalam logam lasan biasanya berbentuk *columnar*, sedangkan pada daerah HAZ terdapat perubahan yang sangat bervariasi. Sebagai contoh, pengelasan baja karbon tinggi sebelumnya berbentuk *pearlite*, maka setelah pengelasan struktur mikronya tidak hanya *pearlite*

Tetapi juga terdapat *bainite* dan *martensite*. Perubahan ini mengakibatkan perubahan pula sifat-sifat logam dari sebelumnya. Struktur mikro *pearlite* memiliki sifat liat dan tidak keras, sebaliknya *martensite* mempunyai sifat keras dan getas. Biasanya keretakan sambungan las bearsal dari struktur mikro ini.

Gambar 2.3 mendeskripsikan distribusi temperatur pada logam dasar yang sangat bervariasi telah menyebabkan berbagai macam perlakuan panas terhadap daerah HAZ logam tersebut. Logam lasan mengalami pemanasan hingga temperatur 1500°C dan daerah HAZ bervariasi mulai 200°C hingga 1100°C (lihat Gambar 2.4). Temperatur 1500°C pada logam lasan menyebabkan pencairan dan ketika membeku membentuk struktur mikro *columnar*. Temperatur 200°C hingga 1100°C menyebabkan perubahan struktur mikro pada logam dasar baik ukuran maupun bentuknya.



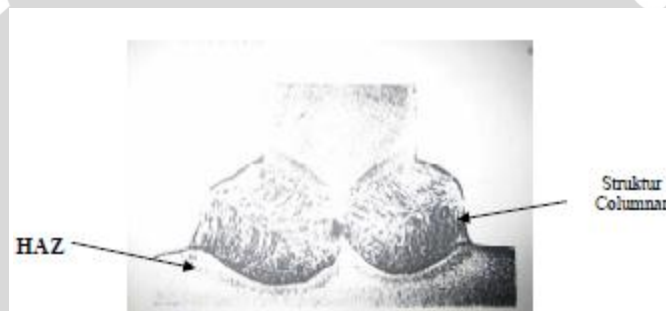
Gambar 2.3 Distribusi Temperatur Saat Pengelasan
Sumber : Weman,2003:124



Gambar 2.4 Perlakuan Panas Logam Las
Sumber : Weman, 2003:126

2.3.3 Distorsi Sambungan Las Akibat Panas

Setiap logam yang dipanaskan mengalami pemuaian dan ketika pendinginan akan mengalami penyusutan. Fenomena ini menyebabkan adanya ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas. Ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas ini menurut istilah metalurgi dinamakan distorsi.



Gambar 2.5 Struktur Makro Sambungan Las
Sumber : Daryanto, 2010:80

Distorsi dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu: 1) distorsi longitudinal, 2) distorsi transversal, dan 3) distorsi angular. Distorsi longitudinal terjadi akibat adanya ekspansi dan kontraksi deposit logam las di sepanjang jalur las yang menyebabkan tarikan dan dorongan pada logam dasar yang dilas. Distorsi transversal terjadi tegak lurus terhadap jalur las yang dapat mengakibatkan tarikan ke arah sumbu tegak jalur las. Distorsi angular menyebabkan efek gerakan sayap burung yang biasanya terjadi karena pengelasan di satu sisi logam dasar.

2.4 Sambungan Las

Mengelas adalah menyambung dua bagian logam dengan cara memanaskan sampai suhu lebur dengan memakai bahan pengisi atau tanpa bahan pengisi. Sistem sambungan las ini termasuk jenis sambungan tetap dimana pada konstruksi dan alat

permesinan, sambungan las ini sangat banyak digunakan. Untuk menyambung baja bangunan kita mengenal 2 jenis las yaitu :

a. Las Karbid

Las Karbid yaitu pengelasan yang menggunakan bahan pembakar dari gas oksigen (zat asam) dan gas *acetylene* (gas karbid). Dalam konstruksi baja las ini hanya untuk pekerjaan-pekerjaan ringan atau konstruksi sekunder, seperti ; pagar besi, teralis dan sebagainya.

b. Las Listrik

Las Listrik yaitu pengelasan yang menggunakan energi listrik. Untuk pengelasannya diperlukan pesawat las yang dilengkapi dengan dua buah kabel, satu kabel dihubungkan dengan penjepit benda kerja dan satu kabel yang lain dihubungkan dengan tang penjepit batang las / elektrode las. Jika elektrode las tersebut didekatkan pada benda kerja maka terjadi kontak yang menimbulkan panas yang dapat melelehkan baja ,dan elektrode (batang las) tersebut juga ikut melebur ujungnya yang sekaligus menjadi pengisi pada celah sambungan las. Karena elektroda / batang las ikut melebur maka lama-lama habis dan harus diganti dengan elektroda yang lain. Dalam perdagangan elektrode / batang las terdapat berbagai ukuran diameter yaitu 21/2 mm, 31/4 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, dan 7 mm. Untuk konstruksi baja yang bersifat struktural (memikul beban konstruksi) maka sambungan las tidak diijinkan menggunakan las Otogen, tetapi harus dikerjakan dengan las listrik dan harus dikerjakan oleh tenaga kerja ahli yang profesional.

- Keuntungan sambungan las :

- a. Pertemuan baja pada sambungan dapat melumer bersama elektrode las dan menyatu dengan lebih kokoh (lebih sempurna).
- b. Konstruksi sambungan memiliki bentuk lebih rapi.
- c. Konstruksi baja dengan sambungan las memiliki berat lebih ringan.
- d. Dengan las berat sambungan hanya berkisar 1–1,5% dari berat konstruksi, sedang dengan paku keling / baut berkisar 2,5–4% dari berat konstruksi.
- e. Pengerjaan konstruksi relatif lebih cepat (tak perlu membuat lubang-lubang baut, tak perlu memasang potongan baja siku / pelat penyambung, dan sebagainya).

- Kekurangan sambungan las :

- a. Kekuatan sambungan las sangat dipengaruhi oleh kualitas pengelasan. Jika pengelasannya baik maka kekuatan sambungan akan baik, tetapi jika pengelasannya jelek / tidak sempurna maka kekuatan konstruksi juga tidak baik

bahkan membahayakan dan dapat berakibat fatal. Salah satu sambungan las cacat lambat laun akan merembet rusaknya sambungan yang lain dan akhirnya bangunan dapat runtuh yang menyebabkan kerugian materi yang tidak sedikit bahkan juga korban jiwa. Oleh karena itu untuk konstruksi bangunan berat seperti jembatan jalan raya/ kereta api di Indonesia tidak diijinkan menggunakan sambungan las.

b. Konstruksi sambungan tak dapat dibongkar-pasang

2.4.1 Jenis sambungan las

Terdapat lima jenis sambungan yang biasa digunakan untuk menyatukan dua bagian benda logam, seperti dapat dilihat dalam berikut :

a. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien, sambungan ini dibagi lagi dalam dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi menjadi sambungan tanpa pelat pembantu yang masih dibagi lagi dalam pelat pembantu yang turut menjadi bagian dari konstruksi dan pelat pembantu yang hanya sebagai penolong pada waktu proses pengelasan saja.

b. Sambungan Sudut

Dalam sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel, hal ini dapat dihindari dengan membuat alur pada pelat tegak seperti yang terlihat dalam pengelasan yang tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu.

c. Sambungan Tumpang

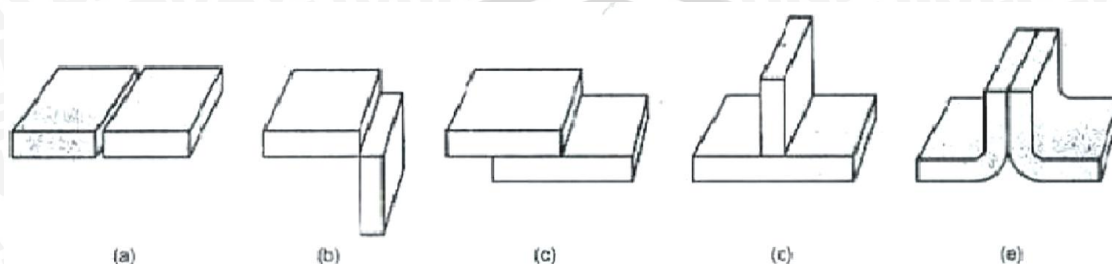
Sambungan tumpang dibagi dalam 3 jenis. Karena sambungan ini efisiensinya rendah maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut, dan las isi.

d. Sambungan T

Sambungan ini secara garis besar dibagi menjadi dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Hal – hal yang dijelaskan untuk sambungan tumpul diatas juga berlaku untuk sambungan jenis ini. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin ada bagian yang menghalangi dan hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur.

e. Sambungan Sisi

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama pada pelatnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis kedua pengelasan dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur. Jenis kedua ini biasanya hasilnya kurang memuaskan kecuali bila pengelasannya dilakukan dalam posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi.



Gambar 2.6 Jenis Sambungan Las
Sumber :Wiryosumarto,2000:101

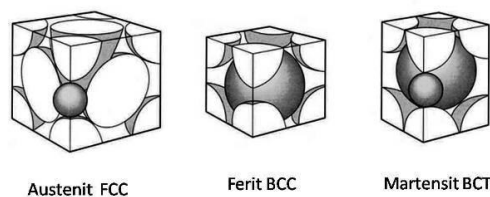
2.5 Klasifikasi Logam Paduan

Logam paduan dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur logam pembentuk , dan dari diagram fasanya (avner,1974). Untuk lebih jelasnya dapat disimak pada penjelasan di bawah ini.

- Struktur Logam

Sifat-sifat yang dimiliki logam akan berpengaruh dalam penggunaan logam, hal ini yang merupakan dasar dari pemilihan bahan. Sifat-sifat yang dimiliki setiap logam berbeda karena adanya perbedaan unsur-unsur penyusun serta paduan yang akan membentuk struktur mikronya. Unsur adalah material yang independen dan murni tanpa pengotor atau unsur-unsur lain. Unsur-unsur tersusun atas atom-atom yang mempunyai inti dan elektron. Inti atom bermuatan positif (+) yang terdiri dari *proton* dan *neutron*, sedangkan elektron bermuatan negatif (-). Karena adanya muatan ini setiap unsur akan saling tarik menarik sehingga mencapai kondisi yang stabil atau netral .

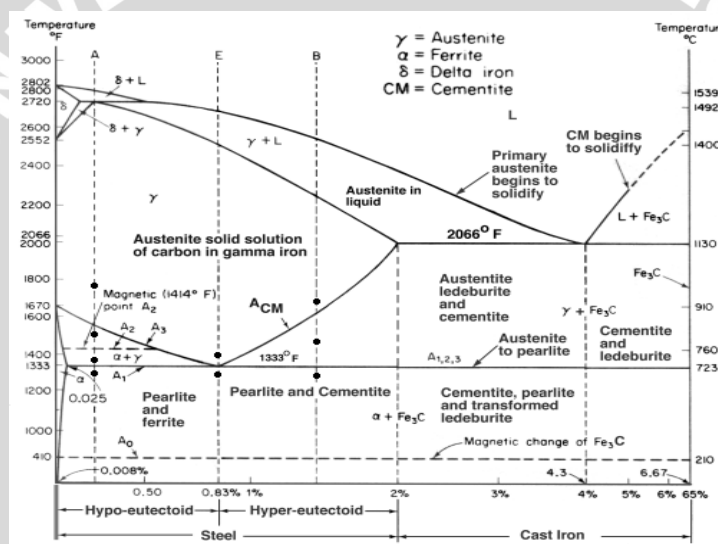
Karena adanya gaya tarik menarik antar atom, maka atom - atom logam akan membentuk persenyawaan satu dengan yang lain. Persenyawaan ini akan membentuk suatu bagan geometrik tertentu dalam keadaan padat yang disebut sebagai kristalit. Bentuk geometri pada logam besi dan baja biasanya berupa kubus, yang tersusun dari atom-atomnya. Bentuk geometri inti seperti ditunjukkan pada gambar berikut .



Gambar 2.7 Struktur Kristal
Sumber : Surdia,1999:168

- Diagram Fasa

Diagram fasa adalah diagram yang menggambarkan kandungan unsur-unsur dalam suatu logam, suhu, dan fasa yang terbentuk dalam logam tersebut. Diagram ini sangat penting karena logam dapat memiliki beberapa fasa. Tiap - tiap fasa memiliki struktur mikro sendiri dengan sifat mekanik, fisik dan kimia yang berbeda-beda.



Gambar 2.8 Diagram Fasa
Sumber : Surdia, 1999: 176

Beberapa fasa yang terdapat dalam diagram fase dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon 0,025% C pada temperatur 723°C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C. Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe₃C.

b. Perlit

Perlit adalah suatu campuran eutektoid dari ferit dan sementit pada temperatur 723°C dengan kandungan karbon 0,83%. Unsur ini terbentuk dari dekomposisi austenit melalui reaksi eutektoid pada keadaan setimbang, di mana lapisan ferit dan sementit terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi eutektoid. Perlit memiliki struktur yang lebih keras daripada ferit, yang terutama disebabkan oleh adanya fase sementit dalam bentuk lapisan.

c. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja.

d. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan keuletan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%. Pada temperatur 1184°C , struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

e. Martensit

Martensit merupakan fasa terkeras dari baja paduan karbon. Fasa ini terbentuk jika dipanaskan pada suhu austenit kemudian didinginkan dengan laju pendinginan cepat.

f. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara 250°C - 550°C dan ditahan pada suhu tersebut. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit.

Logam paduan dapat berupa homogen atau campuran. Jika paduan tersebut homogen, maka akan terdiri dari fase tunggal dan jika campuran maka akan terdiri dari beberapa fase. Keseragaman fase paduan tidak ditentukan pada skala atom, melainkan pada skala yang lebih besar. Pada keadaan solid, terdapat 3 kemungkinan fasa yang terjadi.

1. Logam Murni

Suatu logam murni akan mengalami perubahan fase pada suatu temperatur tertentu. Perubahan fase dari padat ke cair akan terjadi pada temperatur tertentu (dinamakan titik

cair) dan perubahan ini berlangsung pada temperatur tetap hingga seluruh perubahannya selesai. Demikian juga halnya dengan perubahan fase yang lain, berlangsung pada temperatur konstan.

2. Senyawa

Senyawa adalah gabungan dari beberapa unsur dengan perbandingan tetap. Senyawa memiliki sifat dan struktur yang sama sekali berbeda dengan unsur - unsur pembentuknya. Senyawa juga memiliki titik lebur ataupun titik beku tertentu yang tetap. Ada 3 macam senyawa yang umumnya dijumpai, antara lain

- *Intermetallic compound* : senyawa ini terbentuk dari logam kimia berbeda dan digabungkan dengan mengikuti aturan valensi kimia
- *Interstitial compound* : senyawa ini terbentuk dari transisi beberapa logam seperti Sc, Ti, Ta, W, Fe, dll.
- *Electron compound* : senyawa memiliki perbandingan komposisi kimia mendekati perbandingan jumlah elektron valensi dengan jumlah atom tertentu.

3. Solid solution (larutan padat)

Suatu larutan terdiri dari 2 bagian yaitu *solute* (terlarut) dan *solvent* (pelarut). *Solute* merupakan bagian yang lebih sedikit, sedang *solvent* adalah bagian yang lebih banyak. Terdapat 3 kemungkinan kondisi untuk larutan, yaitu larutan tak jenuh, jenuh dan sangat jenuh. Larutan tak jenuh yaitu larutan yang mengandung *solute* (zat terlarut) kurang dari yang diperlukan untuk membuat larutan jenuh. Larutan jenuh yaitu suatu larutan yang mengandung sejumlah *solute* yang larut dan mengadakan kesetimbangan dengan *solute* padatnya. Larutan sangat jenuh yaitu suatu larutan yang mengandung lebih banyak *solute* daripada yang diperlukan untuk larutan jenuh.

2.5.1 Klasifikasi Baja

Baja adalah logam paduan besi dengan kandungan karbon antara 0,008% sampai 2,14% . Mikrostrukturnya berupa ferit dan sementit (Callister,2009:322). Baja karbon dikelompokkan menjadi 3 berdasarkan kadar karbonnya. Unsur paduan utama baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

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 mengandung karbon antara 0,45% sampai 1,70% (Harsono,1996:90).

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18–28	32–36	40–30	95–100	pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08–0,12	20–29	36–42	40–30	80–120	batang, kawat
	Baja lunak	0,12–0,20	22–30	38–48	36–24	100–130	Konstruksi umum.
	Baja setengah lunak	0,20–0,30	24–36	44–55	32–22	112–145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30–0,40	30–40	50–60	30–17	140–170	Alat-alat mesin.
Baja Karbon tinggi	Baja keras	0,04–0,50	34–46	58–70	26–14	160–200	Perkakas
	Baja sangat keras	0,50–0,80	36–47	65–100	20–11	180–235	Rel, pegas, dan kawat piano

Sumber : Harsono,1996:90

Baja paduan adalah paduan yang memiliki karakteristik dari sifat unsur paduannya selain dari karbon. Fungsi dari paduan ini yaitu untuk meningkatkan kekerasan, meningkatkan kekuatan pada suhu ruang, meningkatkan ketahanan aus, meningkatkan ketahanan terhadap korosi , dll. Baja paduan dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% , misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% , misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% , misalnnnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999).

Tabel 2.2 Efek campuran spesifik untuk paduan baja

TABLE 9-2 Specific Effects of Alloying Elements in Steel*

ELEMENT	SOLID SOLUBILITY		INFLUENCE ON FERRITE	INFLUENCE ON AUSTENITE (HARDENABILITY)	INFLUENCE EXERTED THROUGH CARBIDE		PRINCIPAL FUNCTIONS
	IN GAMMA IRON	IN ALPHA IRON			CARBIDE-FORMING TENDENCY	ACTION DURING TEMPERING	
Aluminum	1.1% (increased by C)	36%	Hardens considerably by solid solution	Increases hardenability mildly, if dissolved in austenite	Negative (graphitizes)	---	1. Deoxidizes efficiently 2. Restricts grain growth (by forming dispersed oxides or nitrides) 3. Alloying element in nitriding steel
Chromium	12.8% (20% with 0.5% C)	Unlimited	Hardens slightly; increases corrosion resistance	Increases hardenability moderately	Greater than Mn; less than W	Mildly resists softening	1. Increases resistance to corrosion and oxidation 2. Increases hardenability 3. Adds some strength at high temperatures 4. Resists abrasion and wear (with high carbon)
Cobalt	Unlimited	75%	Hardens considerably by solid solution	Decreases hardenability as dissolved	Similar to Fe	Sustains hardness by solid solution	1. Contributes to red-hardness by hardening ferrite
Manganese	Unlimited	3%	Hardens markedly; reduces plasticity somewhat	Increases hardenability moderately	Greater than Fe; less than Cr	Very little, in usual percentages	1. Counteracts brittleness from the sulfur 2. Increases hardenability inexpensively
Molybdenum	3%+ (8% with 0.3% C)	37.5% (less with lowered temperature)	Provides age-hardening system in high Mo-Fe alloys	Increases hardenability strongly (Mo > Cr)	Strong; greater than Cr	Opposes softening, by secondary hardening	1. Raises grain-coarsening temperature of austenite 2. Deepens hardening 3. Counteracts tendency toward temper brittleness 4. Raises hot and creep strength, red-hardness 5. Enhances corrosion resistance in stainless steel 6. Forms abrasion-resisting particles
Nickel	Unlimited	10% (irrespective of carbon content)	Strengthens and toughens by solid solution	Increases hardenability mildly, but tends to retain austenite with higher carbon	Negative (graphitizes)	Very little in small percentages	1. Strengthens unquenched or annealed steels 2. Toughens pearlitic-ferritic steels (especially at low temperature) 3. Renders high-chromium iron alloys austenitic

ELEMENT	SOLID SOLUBILITY		INFLUENCE ON FERRITE	INFLUENCE ON AUSTENITE (HARDENABILITY)	INFLUENCE EXERTED THROUGH CARBIDE		PRINCIPAL FUNCTIONS
	IN GAMMA IRON	IN ALPHA IRON			CARBIDE-FORMING TENDENCY	ACTION DURING TEMPERING	
Phosphorus	0.5%	2.8% (irrespective of carbon content)	Hardens strongly by solid solution	Increases hardenability	Nil	---	1. Strengthens low-carbon steel 2. Increases resistance to corrosion 3. Improves machinability in free-cutting steels
Silicon	2%+ (9% with 0.35% C)	18.5% (not much changed by carbon)	Hardens with loss in plasticity (Mn < Si < P)	Increases hardenability moderately	Negative (graphitizes)	Sustains hardness by solid solution	1. Used as general-purpose deoxidizer 2. Alloying element for electrical and magnetic sheet 3. Improve oxidation resistance 4. Increases hardenability of steels carrying nongraphitizing elements 5. Strengthens low-alloy steels
Titanium	0.75% (1% with 0.20% C)	6%+ (less with lowered temperature)	Provides age-hardening system in high Ti-Fe alloys	Probably increases hardenability very strongly as dissolved. The carbide effects reduce hardenability	Greatest known (2% Ti renders 0.50% carbon steel unhardenable)	Persistent carbides probably unaffected. Some secondary hardening	1. Fixes carbon in inert particles a. Reduces martensitic hardness and hardenability in medium-chromium steels b. Prevents formation of austenite in high-chromium steels c. Prevents localized depletion of chromium in stainless steel during long heating
Tungsten	6% (11% with 0.25% C)	33% (less with lowered temperature)	Provides age-hardening system in high W-Fe alloys	Increases hardenability strongly in small amounts	Strong	Opposes softening by secondary hardening	1. Forms hard, abrasion-resistant particles in tool steels 2. Promotes hardness and strength at elevated temperature
Vanadium	1% (4% with 0.20% C)	Unlimited	Hardens moderately by solid solution	Increases hardenability very strongly, as dissolved	Very strong (V < Ti or Cb)	Maximum for secondary hardening	1. Elevates coarsening temperature of austenite (promotes fine grain) 2. Increases hardenability (when dissolved) 3. Resists tempering and causes marked secondary hardening

Sumber : Avner,1974:357

2.6 Stainless Steel

2.6.1 Kandungan Atom/Unsur dan Ikatan

Baja *stainless* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja *stainless* mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Daya tahan *Stainless Steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif Kromium(III) Oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *Passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada aluminium dan titanium. Pada dasarnya untuk membuat besi yang tahan terhadap karat, krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting. Untuk mendapatkan besi yang lebih baik lagi, diantaranya dilakukan penambahan beberapa zat-zat berikut. Penambahan *Molibdenum* (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting dan korosi celah Unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida (*titanium* atau *niobium*) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi. Penambahan kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu bentuk logam. Penambahan nikel meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Unsur aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.

2.6.2 Sifat-Sifat Teknis Bahan

2.6.2.1 Sifat Fisik *Stainless Steel*

Sifat – sifat fisik dari *stainless steel* dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.3 Sifat Fisik *stainless steel*

Physical Properties	Metric	English
Density	8.03 g/cc	0.29 lb/in ³
Electrical Resistivity	0.000116 ohm-cm	0.000116 ohm-cm
Thermal Conductivity	21.4 W/m-K	149 BTU-in/hr-ft ² -°F
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi

Sumber : Elgin Fastener Group

2.6.2.2 Sifat Mekanik *Stainless Steel*

Sifat – sifat mekanik *stainless steel* dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.4 Sifat Mekanik *Stainless Steel*

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Rockwell B	80	80
Tensile Strength, Ultimate	586 MPa	85000 psi
Tensile Strength, Yield	241 MPa	35000 psi
Elongation at Break	0.55	0.55

Sumber: Elgin Fastener Group

- Spesifikasi Sifat dari Jenis – Jenis *Stainless Steel*

1. *Ferritic Stainless Steel*

Bersifat magnetic, tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas tapi dapat dikeraskan dengan *cold work*, dapat di *cold work* maupun di *hot work*, pada kondisi *annealed* keuletan dan ketahanan korosi tertinggi, kekuatan mencapai 50% lebih tinggi dari pada baja *plain carbon*, ketahanan korosi dan *machinability* lebih baik dari pada *stainless steel Martensitic*.

2. *Martensitic Stainless Steel*

Bersifat magnetic, dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, dapat di *cold work* maupun di *hot work*, *machinability*nya bagus, ketangguhan baik, ketahanan korosinya cukup bagus terhadap cuaca tetapi tidak sebaik *stainless steel ferritic* maupun *austenitic*

3. *Austenitic Stainless Steel*

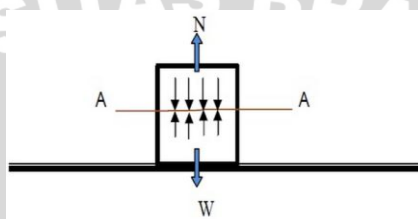
Bersifat *non magnetic*, pada kondisi *annealed*, tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, dapat di *hot work* dan di *cold work*, memiliki *shock resistant* yang tinggi, sulit dimachining kecuali dengan penambahan S atau Se, sifat tahan korosinya paling baik diantara jenis lainnya, kekuatan pada *temperature* tinggi dan ketahanan *scaling* sangat baik

4. *Precipitation-Hardening Stainless Steel*

Baja tahan karat yang mengalami pengerasan presipitasi, mudah dipabrikasi, kekuatan tinggi, keuletan relatif baik, ketahanan korosinya baik

2.7 Definisi dan Macam-macam Tegangan

Hukum Newton pertama tentang aksi dan reaksi, bila sebuah balok terletak di atas lantai, balok akan memberikan aksi pada lantai, demikian pula sebaliknya lantai akan memberikan reaksi yang sama, sehingga benda dalam keadaan setimbang. Gaya aksi sepusat (F) dan gaya reaksi (F'') dari bawah akan bekerja pada setiap penampang balok tersebut. Jika kita ambil penampang A-A dari balok, gaya sepusat (F) yang arahnya ke bawah, dan di bawah penampang bekerja gaya reaksinya (F'') yang arahnya ke atas. Pada bidang penampang tersebut, molekul-molekul di atas dan di bawah bidang penampang A-A saling tekan menekan, maka setiap satuan luas penampang menerima beban sebesar: F/A



Gambar 2.9 Tegangan yang timbul pada penampang A-A

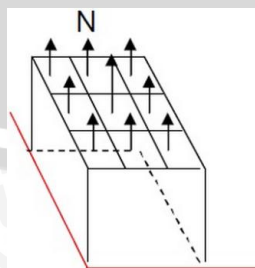
Sumber : Morley, 2009:46

Macam-macam Tegangan :

Tegangan timbul akibat adanya tekanan, tarikan, bengkokan, dan reaksi. Pada pembebanan tarik terjadi tegangan tarik, pada pembebanan tekan terjadi tegangan tekan, begitu pula pada pembebanan yang lain:

a. Tegangan Normal

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Jika gaya dalam diukur dalam N, sedangkan luas penampang dalam m^2 , maka satuan tegangan adalah N/m^2 .

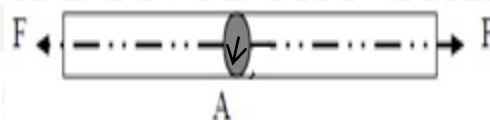


Gambar 2.10 Tegangan Normal

Sumber : Morley, 2009:46

b. Tegangan Tarik

Tegangan tarik pada umumnya terjadi pada rantai, tali, paku keling, dan lain-lain. Rantai yang diberi beban W akan mengalami tegangan tarik yang besarnya tergantung pada beratnya.



Gambar 2.11 Tegangan tarik pada batang penampang luas A
Sumber : Morley, 2009:47

Persamaan tegangan tarik dapat dituliskan : (Asyari, 2000:135)

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{F_a}{A} \quad (2.2)$$

Dimana : F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

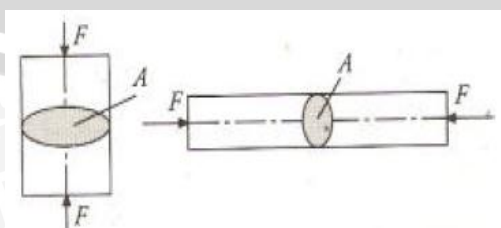
c. Tegangan Tekan

Tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Misalnya, terjadi pada tiang bangunan yang belum mengalami tekukan, porok sepeda, dan batang torak. Tegangan tekan dapat ditulis : (Callister,2009:154)

$$\sigma_D = \frac{F_a}{A} = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Dimana : F = Gaya tarik (N)

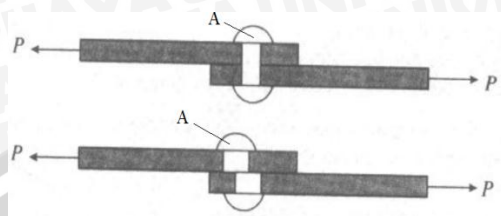
A = Luas penampang (mm²)



Gambar 2.12 Tegangan Tekan
Sumber : Morley, 2009:47

d. Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Misalnya: sambungan keling, gunting, dan sambungan baut.



Gambar 2.13 Tegangan Geser

Sumber : Morley, 2009:48

Pada gambar diatas, dua gaya F sama besar berlawanan arah. Gaya F bekerja merata pada penampang A. Pada material akan timbul tegangan gesernya sebesar :

$$\tau_g = \frac{F}{A} (N / m^2) \quad (2.4)$$

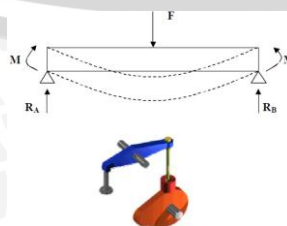
Tegangan geser terjadi karena adanya gaya radial F yang bekerja pada penampang normal dengan jarak yang relatif kecil, maka pelengkungan benda diabaikan. Untuk hal ini tegangan yang terjadi adalah apabila pada konstruksi mempunyai n buah paku keling, maka sesuai dengan persamaan dibawah ini tegangan gesernya adalah

$$\tau_g = \frac{F}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad (2.5)$$

Dimana : D = Diameter (mm)

e. Tegangan Lengkung

Misalnya, pada poros-poros mesin dan poros roda yang dalam keadaan ditumpu. Jadi, merupakan tegangan tangensial.



Gambar 2.14 Tegangan lengkung pada batang rocker arm.

Sumber : Morley, 2009:49

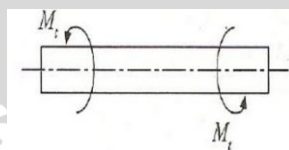
$$F = R_A + R_B \quad \text{dan} \quad \tau_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (2.6)$$

Dimana : M_b = Momen Lengkung

W_b = Momen Tahanan Lengkung

f. Tegangan Puntir

Tegangan puntir merupakan tegangan yang diakibatkan oleh gaya putar. Tegangan puntir sering terjadi pada poros roda gigi dan batang torsi pada mobil, juga saat melakukan pengeboran.



Gambar 2.15 Tegangan Puntir

Sumber : Morley, 2009:49

Benda yang mengalami beban puntir akan menimbulkan tegangan puntir sebesar : (Asyari, 2000:137)

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} \quad (2.7)$$

dimana : M_t = momen puntir (torsi)

W_p = momen tahanan polar (pada puntir)

2.8 Karakteristik Las

Tujuan karakterisasi las adalah untuk mengetahui kemampuan las dalam aplikasinya. Las dapat dikarakterisasi berdasarkan proses pengelasan, sifat mekanik, komposisi kimia dan metalurgi. Beberapa karakteristik las adalah sebagai berikut:

2.8.1. Kekuatan Tarik Geser

Kekuatan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan gaya yang bekerja pada material tersebut. Kekuatan material dapat diketahui dengan uji tarik. Dari uji tarik akan diperoleh sifat-sifat material sebagai berikut : (Callister, 2009:154)

$$\sigma = F/A \quad (2.8)$$

Dimana :

σ = Kekuatan tarik material (N/ mm²)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm^2)

2.8.2 Metalografi

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur dan makrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material, atau biasa juga dikatakan suatu proses untuk mengukur suatu material baik secara kualitatif maupun kuantitatif berdasarkan informasi-informasi yang didapatkan dari material yang diamati.

Metalografi bertujuan untuk mendapatkan struktur makro dan mikro suatu logam sehingga dapat dianalisa sifat mekanik dari logam tersebut. Pengamatan metalografi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu penyelidikan struktur logam dengan pembesaran 1 - 100 kali.
2. Metalografi mikro, yaitu penyelidikan struktur logam dengan pembesaran 1000 kali.

a. Pemeriksaan Makro (*Macroscopic Examination*)

Yang dimaksud dengan pemeriksaan makro adalah pemeriksaan bahan dengan mata kita langsung atau memakai kaca pembesar dengan pembesaran rendah. Kegunaannya untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa logam menurut bentuk dan strukturnya antara satu dengan yang lain menurut kebutuhannya. Angka pembesaran pemeriksaan makro antara 0,5 kali sampai 50 kali.

Pemeriksaan secara makro biasanya untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar, seperti misal logam hasil coran atau tuangan, serta bahan-bahan yang termasuk non metal.

b. Pemeriksaan Mikro (*Microscopic Examination*)

Yang dimaksud dengan pemeriksaan mikro ialah pemeriksaan bahan logam di mana bentuk kristal logam tergolong halus sehingga diperlukan angka pembesaran lensa mikroskop antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih dengan menggunakan mikroskop industri.

Metalografi meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

1. *Cutting*, yaitu mengetahui prosedur proses pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif.
2. *Mounting*, yaitu menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.
3. *Grinding*, yaitu meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasif atau ampelas.
4. *Polishing*, yaitu mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin.
5. *Etsa*, yaitu mengamati dan mengidentifikasi detil struktur logam dengan bantuan mikroskop optik setelah terlebih dahulu dilakukan proses etsa pada sampel, mengetahui perbedaan antara etsa kimia dengan elektro etsa serat aplikasinya.

2.9 Hipotesa

Apabila waktu pengelasan semakin lama dengan ketebalan pelat yang tetap maka nilai kekuatan gesernya akan meningkat, dan jika waktu pengelasannya tetap dengan semakin besar ketebalan pelat maka kekuatan gesernya juga akan meningkat.