

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Husodo (2013). Pengelasan baja st 41 pada produk *back spring pin* dengan menggunakan metode *Direct-Drive friction welding* dengan kecepatan putaran yang digunakan 4215 rpm, variasi waktu gesek 35, 45, 55, dan 65 detik, tekanan tempa $127,27 \text{ kg/mm}^2$ dapat disimpulkan bahwa perubahan waktu gesekan mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan pada sambungan las dan kekerasan terbaik pada waktu gesekan 45 detik.

Sedangkan pada penelitian lain Efendi (2011). Adanya perubahan proses operasional las gesek berupa tekanan tempa mengakibatkan perubahan sifat mekanik sambungan. Semakin tinggi tekanan tempa semakin tinggi kekuatan sambungan, semakin tinggi pula kekuatan puntir sambungan, perubahan ini selaras perubahan nilai kekerasan pada logam las dan perubahan struktur mikro. Nilai kekuatan tertinggi terjadi pada proses operasioal tekanan tempa 1300 kg/cm^2 , waktu gesek 45 detik dan tekanan gesek 173 kg/cm^2 . Mesin las gesek langsung mampu menghasilkan kekuatan puntir hingga 150 N.m sedangkan produk industri kecil Pasuruan hanya 20 N.m sehingga sangat baik bila digunakan sebagai alternatif pembuatan produk as roda sepeda motor.

Begitu pula dijelaskan oleh Iswar dan Syam (2012). Kecepatan putaran (550rpm, 1020rpm, 1800rpm) pada tekanan penempaan maksimum sekitar 60 MPa pada proses pengelasan gesek baja karbon rendah berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las karena adanya tanda terjadinya peningkatan kekuatan tarik dan tegangan geser seiring dengan meningkatnya putaran yang diberikan. Kekuatan tarik dan tegangan geser tertinggi terjadi pada putaran 1800 rpm dengan nilai masing-masing sekitar 403.80 N/mm² dan 365,89 N/mm².

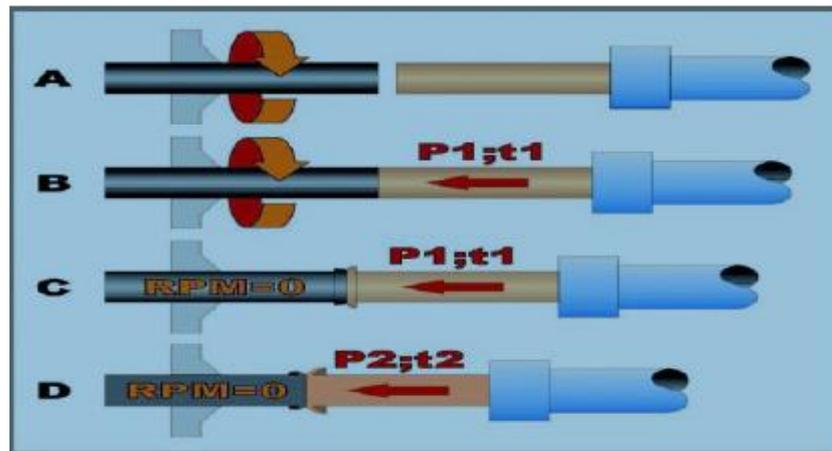
Dalam perbandingan antara pengelasan MIG dan FSW (*Friction Stir Welding*) menurut Permana dkk (2016), nilai rata-rata kekuatan tarik sambungan las aluminium tipe 5083 dengan pengelasan FSW memiliki nilai sebesar 27,25 MPa.

1.2. Dasar Teori

Menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) las adalah proses terjadinya ikatan metalurgi pada material sambungan logam paduan yang terjadi pada temperatur titik didih dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan adalah salah satu proses penyambungan dua buah material logam sampai titik rekristalisasi menggunakan tambahanbahan maupun tidak (Wiryosutomo dan Okumura 2008). Selain untuk menyambung, proses pengelasan dapat juga digunakan untuk mereparasi bagian-bagian yang rusak. Misalnya untuk mengisi atau menambal lubang-lubang pada bagian-bagian coran yang sudah aus.

Teknologi las gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode proses pengelasan jenis *solid state welding* yang memanfaatkan energi panas. Timbulnya panas akibat terjadi benturan antara dua logam material. Tersambungannya dua buah logam karena ada kombinasi antara panas dan tekanan tempa. Mengingat teknologi las gesek (*friction welding*) ini memiliki banyak keuntungan dan kemudahan maka pada saat ini teknologi las gesek mulai banyak diperhatikan karena hasil penyambungan baik, tidak memerlukan logam pengisi, proses operasinya cepat, tidak memerlukan bentuk *grooving*. Mudah dioperasikan karena mesin las gesek menyerupai mesin bubut. Proses operasional cepat karena hanya memerlukan waktu gesek yang relative cepat. Daerah pengaruh panas pada logam yang disambung relatif sempit karena panas yang terjadi tidak sampai mencapai temperatur cair logam dan adanya tekanan tempa memungkinkan efek negatif panas logam akan tereliminasi. Namun teknologi ini belum banyak diterapkan pada industri menengah dan kecil.

Rotary friction welding adalah pengelasan yang terjadi karena panas yang dihasilkan dari gesekan kedua ujung permukaan benda kerja. Gesekan yang terjadi disebabkan karena adanya panas yang timbul dari kedua ujung permukaan benda kerja dan pemberian beban antara material yang berputar dan material yang diam atau keduanya berputar berlawanan arah.



Gambar 2.1 Proses pengelasan.

Sumber: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 7, July 2012).

Pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) terdapat tiga fase dalam pengelasan diantaranya sebagai berikut :

1. Fase Gesekan (*Friction Phase*)

Pada fase ini peningkatan temperatur terjadi karena adanya gesekan antara dua material logam dan membutuhkan waktu yang paling lama di bandingkan fase yang lain.

2. Fase Penempaan/*Upset (Forging Phase)*

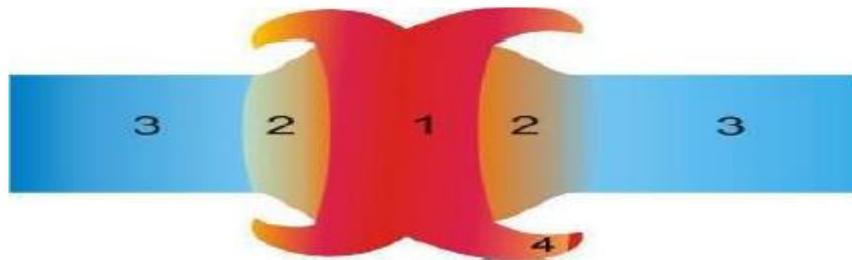
Fase ini dilakukan ketika temperatur material siap tempa karena apabila dilakukan tidak tepat pada temperaturnya maka akan mempengaruhi hasil las dan semakin besar tempaan yang diberikan maka semakin banyak dimensi deformasi plastis (*upset*) pada sambungan material.

3. Fase Berhenti (*Breaking Phase*)

Proses pemberhentian menjadi faktor utama terjadinya HAZ (*Heat Affected Zone*). Semakin lama proses *breaking* maka semakin luas adanya HAZ.

1.3. Daerah Pengelasan

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas pada saat pengelasan, pengaruh panas tersebut menyebabkan perubahan struktur mikro, sifat mekanik dan ada yang tidak merubah struktur mikro dan sifat mekanik. Daerah pengelasan dibagi menjadi 4.



Gambar 2.2 Daerah pengelasan (Purnomo 2016).

1. Daerah inti atau yang berwarna merah adalah daerah utama pengelasan yang mengalami pembekuan. Struktur mikro pada logam las memiliki ciri dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*).
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami perubahan struktur mikro dan sifat-sifat mekanismenya akibat pengaruh dari panas yang dihasilkan pada daerah inti. Daerah HAZ dapat diartikan sebagai daerah paling kritis dari sambungan las, dikarenakan selain adanya perubahan pada strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah pengelasan.

3. Logam Induk adalah daerah yang mana adanya panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.
4. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan.

1.4. Alat

Terdapat komponen-komponen utama dalam perancangan alat las (*Fiction welding*) kapasitas 5.5 Kgf/cm² sebagai berikut :

2.4.1 Motor Listrik

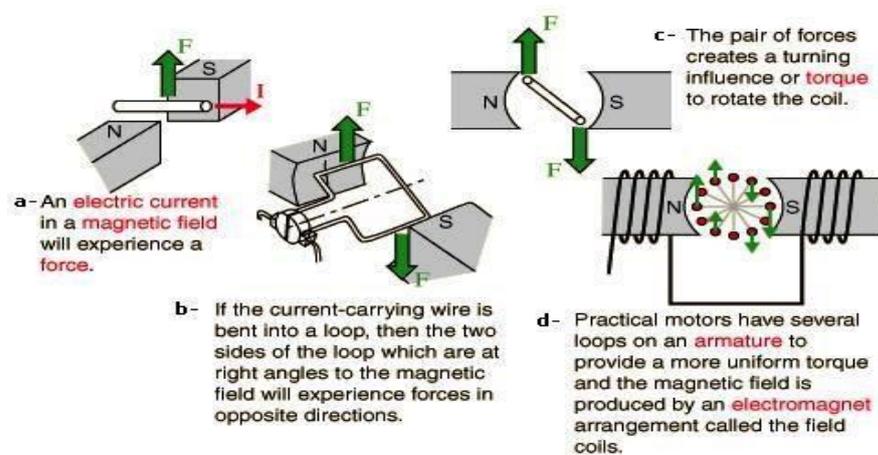
Motor listrik merupakan alat untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik karena adanya gaya elektromagnetis. Motor listrik biasanya banyak digunakan di industri sebagai penggerak mesin dalam proses produksi seperti untuk menggerakkan *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, mengangkat bahan, menggerakkan kompresor dll.



Gambar 2.3 Motor Listrik (Wikipedia, 2006).

Pada dasarnya prinsip kerja dari motor listrik sendiri semua sama yaitu merubah energi listrik menjadi energi mekanik yang

perubahannya disebabkan oleh adanya aliran listrik pada kutub magnet yang mana kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama akan tarik-menarik maka akan terjadi gerakan dan apabila magnet terletak pada poros maka akan terjadi gerak berputar.



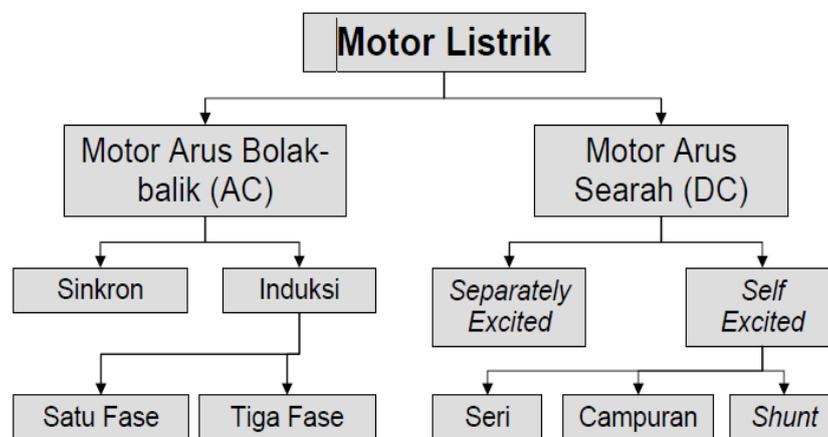
Gambar 2.4 Prinsip Dasar dari Kerja Motor Listrik
(<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/motor-listrik.html>).

Sesuai dengan gambar diatas dapat dijelaskan prinsip dasar dari kerja motor listrik sebagai berikut :

1. Arus listrik dalam medan magnet akan menghasilkan gaya.
2. Apabila kawat kumparan yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop* yang berada pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
3. Pasangan gaya yang didapat akan menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan.

4. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada motor listriknya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnet yang dihasilkan oleh susunan elektromagnetik disebut kumparan medan.

Menurut jenisnya Motor listrik diklasifikasikan menjadi dua jenis utama yaitu motor listrik arus satu arah (DC) dan motor listrik arus dua arah



Gambar 2.5 Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik.
(<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/motor-listrik.html>)

1. Motor Listrik DC

Jenis motor listrik yang menggunakan tegangan DC yaitu arus listrik satu arah dan menggunakan arus secara langsung dan tidak langsung/*direct-unidirectional*.



Gambar 2.6 Motor Listrik DC
(<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/motor-listrik.html>).

Terdapat 3 komponen utama pada motor listrik DC diantaranya sebagai berikut :

1. Kutub medan magnet

Motor DC memiliki kutub medan yang *stasioner* dan kumparan motor DC yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan yaitu kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan.

2. Kumparan Motor DC

Apabila arus masuk menuju kumparan motor DC, maka arus tersebut akan menjadi elektromagnet. Kumparan motor DC yang berbentuk silinder ketika dihubungkan ke as penggerak maka akan dapat menggerakkan beban.

3. *Commutator* Motor DC

Komponen ini banyak ditemukan dalam motor DC. *Commutator* bekerja untuk mengubah arah arus listrik dalam kumparan motor DC. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara kumparan motor DC dan sumber daya.

Motor listrik DC memiliki karakteristik keuntungan akan pengendalian kecepatan yang tidak terpengaruh dengan pasokan daya sehingga motor dapat dikendalikan dengan mengatur

tegangan kumparan dan arus medan motor untuk meningkatkan kecepatan putaran.

2. Motor Listrik AC

Jenis motor listrik yang digerakkan oleh *alternating current* atau arus bolak-balik (AC). Prinsip kerja motor listrik SC sendiri hampir sama seperti motor listrik DC, kumparan dilalui oleh arus yang akan menghasilkan torsi pada kumparan dan pada saat itu motor akan berjalan. Pada motor listrik AC terdapat dua komponen utama di dalamnya diantaranya :

1. Stator

Merupakan komponen yang statis atau bagian yang diam dan terletak pada bagian luar motor listrik AC. Pada stator terdapat coil yang berfungsi sebagai jalan aliran listrik bolak-balik yang akan menghasilkan medan magnet sehingga dapat berputar.

2. Rotor

Merupakan komponen motor listrik AC yang bergerak atau berputar dan terletak pada bagian dalam stator. Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros, dimana torsi tersebut dihasilkan oleh adanya medan magnet yang berputar. Berdasarkan sumber daya motor listrik AC dapat di klasifikasikan menjadi dua jenis motor yaitu :

1. Motor Sinkron

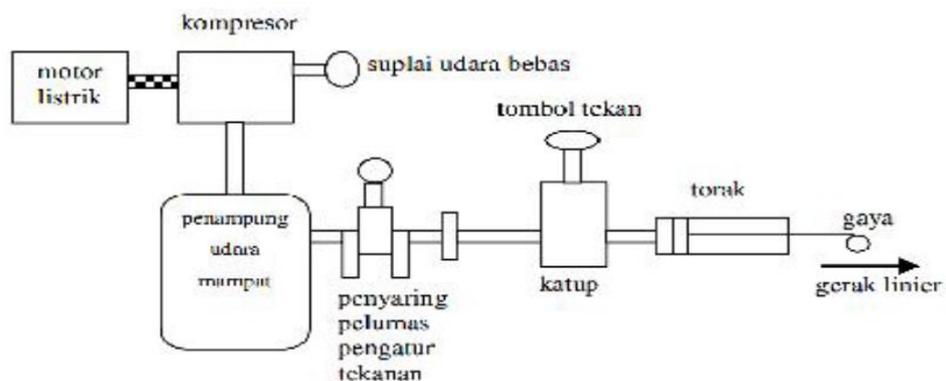
Motor yang bergerak ketika pada kecepatan tetap dan frekuensi tertentu. Motor sinkron memiliki torsi awal yang rendah oleh karena itu biasa digunakan untuk penggunaan awal dengan beban rendah.

2. Motor Induksi

Motor yang bergerak karena adanya medan magnet yang terinduksi pada rotor.

2.4.2 Penekan Pneumatik

Pneumatik adalah ilmu yang mempelajari tentang pemanfaatan udara seperti gerakan atau perpindahan dan gejala atau fenomena udara. Dengan kata lain pneumatik berarti mempelajari tentang gerakan angin (udara) yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga dan kecepatan (Akhmad 2009). Sistem pneumatik merupakan sitem yang menggunakan tenaga yang disimpan dalam bentuk udara yang dimampatkan untuk menghasilkan suatu kerja.



Gambar 2.7 Sistem Penggerak Pneumatik Sederhana.
(akhmad 2009).

Sistem pneumatik terdiri dari beberapa Komponen utama yaitu:

1. Kompresor

Kompresor berfungsi sebagai sumber udara dari sistem pneumatik. kompresor menghisap udara dari atmosfer dan menyimpannya kedalam tangka atau tabung penampung atau receiver sedangkan kondisi udara dalam atmosfer dipengaruhi oleh suhu dan tekanan.

2. *Oil and water trap*

Sebagai pemisah oli dan air dari udara yang bersumber dari kompresor. Air memiliki persentase sangat kecil dalam udara yang masuk kedalam sistem pneumatik, tetapi dapat menjadi salah satu penyebab serius dari tidak berfungsinya sistem.

3. *Dehydrator*

Alat pemisah kimia untuk memisahkan sisa uap lembab yang kemungkinan besar tertinggal ketika udara melewati unit *Oil and Water Trap*.

4. *The air filter*

Untuk memisahkan udara dari kemungkinan adanya air, debu dan kotoran yang mungkin terdapat dalam udara.

5. *Pressure regulator*

Sistem pengatur tekanan udara yang siap masuk pada tekanan tinggi sehingga dapat menambah tekanan pada bilik dan mendesak beban pada piston.

6. *Restrictor*

Tipe dari pengontrol klep yang digunakan dalam sistem pneumatik, *Restrictor* yang biasa digunakan ada dua 2 tipe yaitu tipe *Orifice* dan *Variable Restrictor*.

Penggunaan sistem pneumatik sendiri banyak di gunakan dalam empat hal diantaranya :

1. Pencekaman benda kerja
2. Penggeseran benda kerja
3. Pengaturan posisi benda kerja
4. Pengaturan arah benda kerja

Pemakaian sistem pneumatik banyak digunakan di bidang produksi (*manufacturing*) karena pneumatik sendiri memiliki efektifitas yang tinggi atau memiliki banyak keunggulan diantaranya mudah diperoleh, bersih dari kotoran dan zat kimia yang merusak, mudah didistribusikan melalui saluran yang kecil, tidak peka terhadap perubahan suhu, dan aman dari bahaya ledakan maupun hubungan singkat.

1.5. Bahan

Aluminium merupakan logam ringan mempunyaiketahanan korosi yang baik. Berat jenis aluminium adalah 2,643 kg/m³ cukup ringan dibandingkan logam lain. Kekuatan aluminium yang berkisar 83-310 MPa dapat melalui pengerjaan dingin atau pengerjaan panas. Dipasaran

Aluminium ditemukan dalam bentuk kawat foil, lembaran, pelat dan profil. Semua paduan aluminium ini dapat mampu dibentuk, dimesin, dilas atau dipatri.

Karakteristik dan sifat-sifat dari aluminium yaitu ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Berat jenisnya hanya 2,7 sehingga walaupun kekuatannya rendah tetapi perbandingan kekuatan terhadap beratnya masih lebih tinggi dari pada baja, sehingga banyak digunakan pada konstruksi yang menuntut sifat ringan seperti alat-alat transport terutama pesawat terbang. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium.

Lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksida ini disatu sisi menyebabkan tahan korosi tetapi dilain sisi menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disolder. Aluminium komersial selalu mengandung beberapa pengotor atau impurity (0,8%), biasanya berupa besi, silikon, tembaga dan lain-lain. Adanya kotoran atau impurity ini bisa menurunkan sifat hantar listrik dan sifat tahan korosi (walaupun tidak begitu besar) tetapi juga akan menaikkan kekuatannya hampir dua kali lipat dari aluminium murni.

1.6. Pengujian Tarik

Pengujian tarik ialah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang

sesumbu (Askeland, 1985) yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan perubahannya dari suatu logam terhadap gaya tarik yang diberikan. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan, dan perpanjangan. Pada pengujian tarik gaya tarik yang diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Kemudian dapat dihasilkan kurva tegangan dan regangan.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya/beban (N)

A = Luas awal penampang (mm²)

Regangan yang digambarkan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur matererial atau benda setelah patah dengan panjang awal. Persamaannya yaitu :

$$E = \frac{Lf - Lo}{Lo} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

E = Regangan (%)

Lf = Panjang Awal (mm)

Lo = Panjang Akhir (mm)

Pada pengujian tarik, gaya tarik yang diberikan secara perlahan-lahan dan konstan dimulai dari nol dan berhenti pada saat tegangan maksimum (*Maximum Stress*) dari logam didapatkan. Tegangan maksimum (*Maximum Stress*) merupakan batas kemampuan maksimum material ketika mengalami gaya tarik dari luar hingga mengalami patah (*fracture*), sedangkan *Yield Stress* merupakan batas kemampuan maksimum material sehingga mengalami pertambahan panjang (melar) sebelum material tersebut mengalami patah (*fracture*) mengikuti hukum Hooke.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

σ_u = Tegangan Maksimal (N/mm²)

F_u = Gaya Maksimal (N)

A = Luas Awal Penampang (mm²)

Gaya tarik yang diberikan selama pengujian pada mesin pengujian tarik akan tercatat setiap kondisi bahan sampai terjadinya tegangan maksimum, dan begitu juga akan menggambarkan diagram tarik dari benda uji, adapun panjang awal akan diketahui setelah benda uji patah dengan menggunakan pengukuran secara normal, tegangan maksimum merupakan tegangan tertinggi atau terbesar yang bekerja pada luas penampang semula. Bentuk dan besaran pada kurva tegangan dan regangan suatu logam tergantung pada perlakuan panas, komposisi, deformasi plastis yang pernah dialami, suhu, laju regangan dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian tarik.

Adapun Parameter-parameter atau acuan yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan dan regangan logam yaitu:

1. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji. Kekuatan ini berguna untuk keperluan spesifikasi dan kontrol kualitas bahan.

2. Kekuatan luluh

Kekuatan luluh ialah tegangan minimum atau tegangan yang dibutuhkan untuk meminimalisir terjadinya deformasi plastis yang terjadi pada benda atau material. Kekuatan luluh yang diperoleh dengan metode offset biasanya dipergunakan untuk perancangan dan keperluan spesifikasi.

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

σ_y = Tegangan Luluh (N/mm²)

F_y = Gaya Luluh (N)

A = Luas Awal Penampang (mm²)

3. Perpanjangan

Perpanjangan diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur material setelah pengujian dengan panjang awal dan dinyatakan dalam persen.

1.7. Pengujian Kekerasan

Kekerasan pada umumnya banyak diartikan sebagai ketahanan deformasi (perubahan bentuk atau ukuran), sedangkan nilai kekerasan pada logam adalah ukuran ketahanan logam terhadap deformasi permanen atau plastis. Ada dua tipe umum pengukuran kekerasan tergantung bagaimana pengujian tersebut dilakukan diantara sebagai berikut :

1. *Scratch Hardness*

Pengukuran yang didasarkan pada kemampuan logam terhadap goresan dan ini didasarkan skala mohs.

2. *Indentation Hardness*

Pengukuran didasarkan pada kedalaman atau lebar goresan yang dibuat oleh suatu indentor pada permukaan logam dengan beban tertentu.

Pada saat ini teknik pengukuran dengan indantasi merupakan teknik pengukuran yang banyak dilakukan karena mudah untuk dilakukan dan tidak merusak spesimen secara berlebihan. Adapun beberapa teknik pengukuran kekerasan dengan indentasi yang banyak dilakukan di dunia teknik manufaktur diantaranya :

A. Pengujian kekerasan Rockwell (ASTM Standar E-18)

Metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan pada material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja atau kerucut intan yang ditekan dengan beban tertentu pada permukaan material uji tersebut. Ada 3 jenis dalam pengujian Rockwell yaitu :

1. Rockwell A

Indentor berbentuk kerucut intan dengan beban 60 kg biasanya digunakan pada jenis logam keras.

2. Rockwell B

Indentor berbentuk bola baja diameter 1.6 mm dengan beban 100 kg biasanya digunakan untuk logam lunak.

3. Rockwell C

Indentor berbentuk kerucut intan dengan beban 150 kg biasanya digunakan untuk logam yang diperkeras.

Nilai kekerasan Rockwell

$$HR = E - e \dots \dots \dots 2.5$$

Dimana :

HR= Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness.

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.002

mm

E =Jarak antara indentor saat diberi minor load dan zero reference

line yang untuk tiap jenis indentor disesuaikan pada tabel skala

Tabel 2.1 Skala Rockwell Hardness.

Scale	Indentor	F0 (kgf)	F1 (kgf)	F (kgf)	E	Jenis Material Uji
A	Diamond cone	10	50	60	100	Extremely hard materials, tugsen carbides, dll
B	1/16" steel ball	10	90	100	130	Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll
C	Diamond cone	10	140	150	100	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	Diamond cone	10	90	100	100	Annealed kuningan dan tembaga
E	1/8" steel ball	10	90	100	130	Beryllium copper, phosphor bronze, dll
F	1/16" steel ball	10	50	60	130	Aluminium sheet
G	1/16" steel ball	10	140	150	130	Cast iron, aluminium alloys
H	1/8" steel ball	10	50	60	130	Plastik dan soft metals seperti timah
K	1/8" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
L	1/4" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
M	1/4" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
P	1/4" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
R	1/2" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
S	1/2" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
V	1/2" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale

B. Pengujian kekerasan Brinell (ASTM Standar E-10)

Metode Brinell adalah salah satu metode uji kekerasan yang bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekan dengan beban tertentu pada permukaan material uji tersebut (spesimen).

Pada pengujian brinell sangat dianjurkan untuk material-material atau bahan-bahan uji yang bersifat heterogen, tidak dapat digunakan

pada benda yang tipis atau kecil dan butuh ketelitian saat mengukur diameter lekukan hasil indentasi.

Nilai kekerasan Brinnel

$$BHN = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{(D^2 - d^2)}]} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

P = Beban yang diberikan (KP atau Kgf).

D = Diameter indentor yang digunakan.

d = Diameter bekas lekukan.

C. Pengujian Kekerasan Mikro Vickers (ASTM Standar E-29)

Metode Mikro Vickers bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk pyramid dengan beban yang diberikan sebesar 250 gf - 2000gf.

Nilai kekerasan mikro Vickers

$$HVN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

HVN= Hardness Vickers Number

P = Beban yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata hasil indentasi

Untuk menentukan metode yang tepat pada uji kekerasan yang akan digunakan, maka harus memperhatikan beberapa hal diantaranya permukaan material, jenis dan dimensi material, jenis data yang diinginkan dan ketersediaan alat uji.