BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pengelasan merupakan teknik penyambungan dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas maupun dengan tekanan [6], [7]. Energi panas yang dihasilkan pada proses pengelasan berasal dari nyala busur (*fusion*) luar ataupun dari gesekan benda kerja. Sehingga teknologi pengelasan merupakan salah satu teknik yang penting dalam industri manufaktur, penerbangan, perbaikan (*maintenance*) dan rekaysa industri [6]. Pengelasan memeliki prosedur dalam pengelasan untuk aturan-aturan yang digunakan sebagai standarisasi pengelasan yang biasa dikenal *WPS* (*Welding Prodecure Specification*). Untuk menghindari terjadinya cacat harus memperhatikan suhu maksimal, kecepatan pengelasn, besar arus listrik dan tegangan listrik yang digunakanan [8].

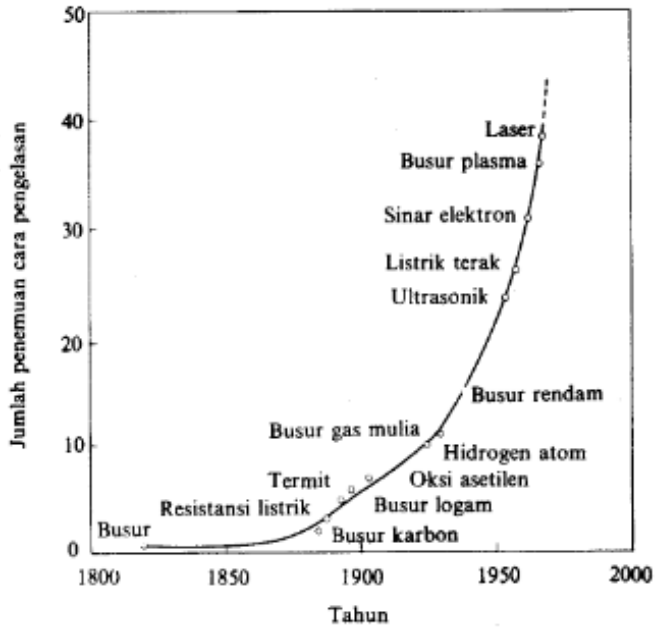
Penelitian yang dilakukan oleh Queiroz, A.V, (2020) membahasa tentang penerapan magnet eksternal dapat mempengaruhi karakteristik dari mikrostruktur dari manik las yang diamati oleh mikroskop optik dan pemindai mikroskop elektron. Menunjukan bahwa penerapan medan magnet eksternal pada pengelasan TIG dapat menerunkan persentasi *ferrite* yang terjadi pada zona fusi, sehingga terjadi penyempurnaan pada butir dan penurunan dendritik jarak di manik las,serta penambahan medan magnet dapat eksternal dapat menyebakan potensi korosi karena kandungan *ferrite* yang terdapat lebih rendah di zona fusi [9].

Selain itu pada penelitian lain yang dilakukan oleh Zhoi Ming, (2020), membahas tentang penerapan medan magnet melintang pada pengelasan terhadap struktur mikro dan sambungan pada pengelasan TIG berkecepatan tinggi. Menunjukan bahwa gaya medan magnet dari magnet melintang dapat meningkatkan pembentukan las, menekan terjadinya manik las *humping*, dan dapat meningkatkan ketahanan sambungan las terhadap korosi karena medan magnet dapat mengurang laju korosi atmosferik dan laju korosi elektrokimia [10].

2.2 Sejarah Pengelasan

Pengelasan adalah suatu metode penyambungan dua bahan atau lebih berdasarkan prinsip proses difusi sehingga bagian-bagian bahan yang akan disambung menjadi satu. Keuntungan sambungan las adalah tahan terhadap kekuatan tinggi, konstruksi ringan dan cukup ekonomis. Namun, kelemahan utama adalah perubahan struktur mikro dari material yang akan dilas, sehingga dapat mengubah sifat fisik dan mekanik dari material yang akan dilas [11].

Teknik penyambungan logam telah diketahui sejak zaman prasejarah ini diketahui dengan ditemukannya benda-benda sejarah, seperti pembrasingan logam paduan emas-tembaga dan pematrian timbal-timah ini diketahui sudah dipraktekan dalam rentang waktu 4000 sampai 3000 S.M. Sumber energi panas yang digunakan berasal dari pembakaran kayu atau arang, karena suhu panas yang dihasilkan dari pembakaran kayu dan arang sangat rendah maka teknik penyambungan ini tidak di kembangkan lagi pada masa itu [1].



Gambar 2. 1 Grafik Perkembangan Cara Pengelsan [1]

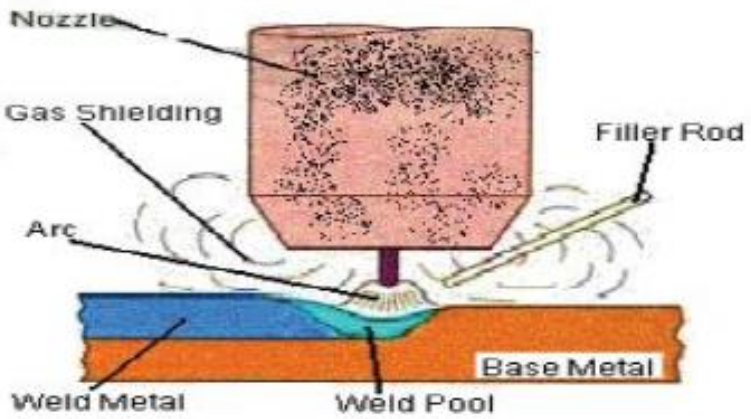
Pada tahun 1950an dianggap sebagai masa terbaik dalam perkembangan pengelasan karena pada tahun itu bayak perkembangan yang terjadi dalam teknik pengelasan, seperti ditemukannya teknik las baru

diantaranya yaitu las tekan dingin, las listrik terak, las busur dengan perlindungan CO_2, las ultra sonik, las busur plasma, las gesek, las laser dan masih banyak lagi lainnya. Tetapi belum semua penemuan itu digunakan sebagian masih memerlukan perbaikan dan dikembangkan [1].

2.3 Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG)

Pengelasan *tungsten inert gas* atau yang sering disebut pengelasan TIG ini pertama kali ditemukan di USA pada tahun 1940, awalnya pengelasan ini digunakan untuk menyambung badan pesawat terbang. Las TIG menggunakan elektroda *tungsten* yang memiliki titik lebur yang tinggi yaitu 3260℃ sehingga saat digunakan *tungsten* yang digunakan tidak ikut mencair karena daya tahan panasnya lebih tinggi dari logam pengisinya [12].

Pengelasan TIG merupakan suatu teknik pengelasan busur listrik elektroda tidak terumpan, dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung dari pengaruh udara luar. Gas mulia yang digunakan berupa gas Argon(Ar), gas karbondioksida (CO_2), gas helium (He) serta campuran dari beberap gas tesebut. Pengelasan TIG meleburkan logam dengan panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dan elektroda pengisi dengan logam induk [2] [13].



Gambar 2. 2 Skema Pengelasan TIG [14]

Elektroda tidak terumpan merupakan elektrodayang tidak menjadi loga pengisinya juga. Sebagai elektroda biasanya digunakan tungsten atau *tungsten alloyed*. Ada 3 macam jenis elektroda yang digunakan untuk las TIG, yaitu [4]:

A. *Pure Tungsten*

Pure tungsten merupakan elektroda yang memiliki titik leleh 3400℃, elektroda ini biasanya digunakan unuk menyambung paduan alumunium.

B. Zirconiated Tungsten

Zirconiated tungsten merupakan elektroda yang memiliki titik leleh 3800℃. Elektrodan ini bisa digunakan pada kutub AC maupun pada kutub DC tetapi biasa dipasang pada kutub AC.

C. *Thoriated Tungsten*

Thoriated tungsten merupakan elektroda yang memeiliki titik leleh 4000℃, elektroda ini biasanya dipasang pada bukut DC negatif. Elektroda ini biasanya digunakan untuk pengelasan baja karbon, tembaga, baja tahan karat, titanium, dan sebagainya.

Dalam pemilihan ukuran diameter pada elektroda tungsten dapat ditentukan oleh arus yang akan digunakan. Seperti yang dapat kita lihat pada tabel 2.1 berikut [4].

Tabel 2. 1 Pemilihan Ukuran Diameter Elektroda [4]

Elektroda Mm	Tungsten Amp. AC	Zr-alloyed Amp. AC	Th-alloyed Amp. DC
0.5	5 – 15	5 – 20	5 – 20
1,0	10 – 60	15 – 80	20 – 80
1,6	50 – 100	70 – 150	80 – 150
2,4	100 – 160	110 – 180	120 – 220
3,2	130 – 180	150 – 200	200 – 300
4,0	180 – 230	180 – 250	250 – 400

Proses pengelasan TIG memiliki kemampuan yang tinggi untuk mengikat logam serta pengelasan dengan kepadatan tinggi di semua posisi pengelasan. Daya busur tidak tergantung pada bahan tambahan yang diperlukan, sehingga pengelasan TIG dapat digunakan untuk mengelas berbagai jenis logam. [15].

Pengelasan TIG dapat menggunakan arus bolak-balik atau arus searah. Pemilihan ini tergantung pada jenis logam yang akan dilas. Arus searah polaritas langsung dapat digunakan untuk pengelasan besi cor, paduan tembaga, baja tahan karat, dan baja [16]. Sementara pada arus bolak-balik jarang menggunakan polaritas, dan arus bolak-balik dapat digunakan untuk pengelasan besi cor, magnesium, aluminium serta beberapa jenis logam lainnya. Pengelasan TIG banyak digunakan untuk pengelasan pelat tipis karena untuk melakukan pengelasan pada plat tebal biayanya akan menjadi mahal [16].

Untuk menentukan kekuatan dari hasil sambungan dapat dilihat dari kualitas sambungan las. Pengelasan yang baik dapat menghasilkan kualitas sambungan yang baik dan masukan panas (*heat input*) yang baik. Ada beberapa parameter yang menentukan masukan panas (*heat input*) diantaranya adalah arus listrik, kecepatan pengelasan, dan tegangan busur. Adapun rumus untuk mencari masukan panas ialah [14]:

$$\mathrm{HI} = \frac{60 \times \mathrm{E} \times I}{v} \quad \text{..... (2.1)}$$

Dimana:

HI = *Heat Input* (*Joule*/cm)

E = Tegangan Busur (*Volt*)

I = Kuat Arus (*Ampere*)

v = Kecepatan Las (cm/menit)

Pada pengelasan TIG memeliki kelebihan yaitu hasil pengelasan yang bermutu tinggi pada bahan-bahan *ferrous* dan *non ferrous*. Dengan teknik yang tepat, dapat menghilangkan pengotor yang berasal dari atmosfir. Dan keuntungan yang utama dari pengelasan ini dapat membuat *root pass* bermutu tinggi dari arah satu sisi pada berbagai jenis bahan [16].

Sedangkan kekurangan dari pengelasan TIG yaitu laju pengisi yang lebih rendah dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya. Selain itu pada pengelasan TIG membutuhkan kontrol kelurusan sambungan yang sangat baik untuk menghasilkan pengelasan bermutu tinggi pada pengelasan dari arah satu sisi. Pada pengelasan TIG juga membutuhkan kebersihan pada sambungan untuk menghilangkan minyak, *grease*, karat dengan kotoran-kotoran lain agar tidak terjadinya porositas dan cacat-cacat las lainnya [16].

2.4 Metalurgi Pengelasan

Pada saat pengelasan, siklus *thermal* dapat terjadi dimana saat pengelasan terjadi pemanasan sampai mencapai suhu maksimum lalu dilakukan pendingan [17]. dapat mempengaruhi perubahan pada struktur mikro dan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat mampu las (*weldability*) dari sambungan. Siklus *thermal* dapat menghasilkan perubahan metalurgi, cacat pada logam las atau deformasi dan tegangan termal [18].

Disaat pengelasan, sambungan las terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) dan logam induk yang tak terpengaruhi [19].

A. Logam las

Logam las merupakan bagian pada logam yang pada saat pengelasan yang mengalami pencairan dan kemudian terjadi pendinginan hingga membeku [19].

B. Daerah Pengaruh Panas (*HAZ*)

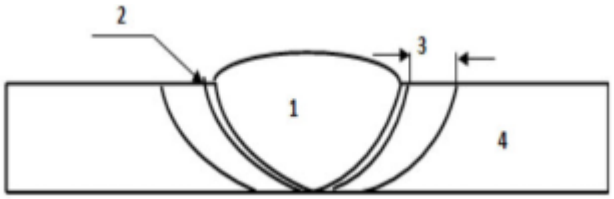
Daerah pengaruh panas atau yang biasa disebut *HAZ* (*Head Affected Zone*) merupakan daerah logam las yang pada saat pengelasan terjadi siklus termal yaitu pemansan hingga pendinginan [19].

C. Logam Induk

Logam induk merupakan bagian logam dasar yang tidak terpengaruh oleh panas pada saat pengelasan sehingga pada bagian ini tidak terjadi perubahan struktur dan sifat pada logam tersebut [19].

D. Garis Penggabungan (*Fusion Line*)

Fusion line atau biasa disebut garis penggabungan merupakan batas cair antara logam las dan logam induk [20].



Gambar 2. 3 Pembagian Daerah Las [20]

Keterangan:

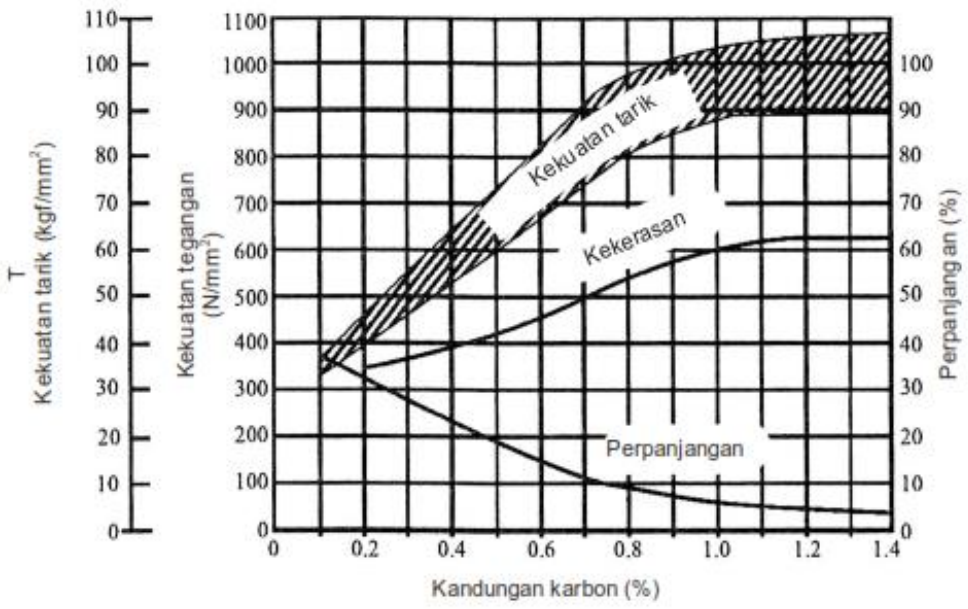
1. *Weld Metal* (Logam Las)
2. *Fusion Line* (Garis Penggabungan)
3. *HAZ* (Daerah Pengelasan)
4. Logam Induk

2.5 Baja Karbon Rendah

Baja karbon merepukan material paduan yang terdiri dari unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta unsur-unsur pendukung lainnya, seperti manganese (Mn), vanadium (V), nikel (Ni), chromium (Cr) dan lain sebagainya yang tersusun dalam persentasi yang sangat kecil. Paduan unsur-unsur tersebut lah yang dapat mempengaruhi mutu dari baja tersebut [21]. Baja karbon sendiri dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis ini yang dibedakan oleh kandungan karbon yang terdapat dari baja karbon tersebut. Dapat dilihat oleh tabel 2.2 berikut [22]:

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon [22]

Jenis	Kandungan Karbon	Penggunaan Utama
Baja Lunak atau Baja Karbon Rendah	0,08% - 0,3%	Berupa plat baja atau baja roll biasa, profil, pipa, gulungan
Baja Karbon Sedang	0,31% - 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poro, roda gigi, baut, dan mur
Baja Keras atau Baja Karbon Tinggi	0,6% - 2,0%	Rel kerta api, baja perkakas, baja pegas, dan baja alat ukur



Gambar 2. 4 Hubungan Antara Sifat Mekanis dan Kandungan Karbon [22]

Seperti yang terlihat di tabel 2.2 baja karbon rendah memiliki kandungan karbon yang paling sedikit 0,08% < 0,3%. Sehingga sifat dari kekerasannya relatif rendah dan keuletannya tinggi. Baja karbon rendah lebih sering digunakan untuk bentuk plat, profil, pipa, gulungan, dan sejenisnya [21].

2.6 Magnet

Magnet merupakan sebuah benda yang memiliki dua jenis kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan jika pada satu sisi merupakan sisi kutub utara maka pada sisi lainnya merupakan sisi kutub selatan [23]. Magnet permanen merupakan material yang dapat menghasilkan energi medan magnet. energi medan magnet yang dihasilkan cukup tinggi dan ramah pada lingkungan [24]. Pada magnet permanen dapat menghasilkan densitas fluks (B), medan magnet, memeiliki karakteristik sifat kemagnetan permanen (B_r), koersivitas instrinsik (H_c) serta temperatur curie (T_c) [25].

Harga magnet permanen yang terbuat dari logam tanah jarang harganya mahal karena teknik produksi yang lumayan sulit, mahal serta bahan material yang digunakan memeliki keterbatasan. Sehingga para peneliti melakukan penelitian untuk mendapatkan magnet permanen dengan teknik pembuatan yang lebih murah dan bahan yang mudah didapatkan [26].

Pada tahun 1984 terdapat dua grup peneliti yang berbeda menemukan fasa magnetik baru yaitu magnet *neodymium iron boron* atau $Nd_{12}Fe_{14}B$ dengan teknik yang berbeda. dua grup ini ialah grup GM (*general motors*) dan SSM (*sumitomo special metals*) [26].

Magnet *Neodymium* biasa dikenal magnet NdFeB merupakan magnet permanen yang memiliki gaya tarik-menarik yang kuat. Magnet jenis ini ditemukan sejak tahun 1980 dan mulai dikomersilkan pada tahun 1984 [23]. Magnet *Neodymium* adalah magnet yang tersusun dari material magnetik tanah jarang (*rare earth*) karena terbentuk dari 2 atom tanah jarang yaitu *neodymium* (Nd), 14 atom besi (Fe) dan 1 atom boron (B) [24].

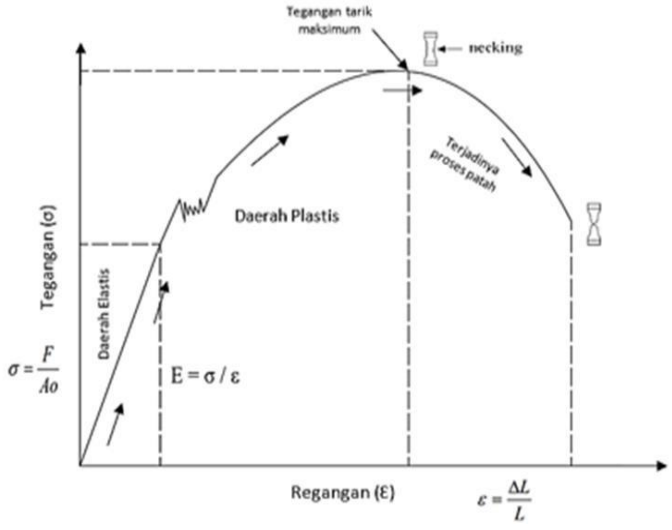
Magnet *neodymium* memiliki keunggula dari magnet permanen lainnya yaitu polarisasi total dan produk energi maksimum. Dan keunggulan lainnya ialah bahan dasar yang mudah diperoleh karena pada magnet *Neodymium* menggunakan 82% bahan Fe [25].

2.7 Uji tarik

Kekuatan tarik dari suatu material dapat diketahui dengan melakukan pengujian tarik, sehingga menghasilkan nilai dari sifa-sifat seperti kekuatan mulur, perpanjangan, reduksi penampang, modulus elastisitas dan sebagainya [27]**.**

Uji tarik merupakan pengujian *stress-strain* mekanik yang berguna untuk mengetahui dan mencari kekuatan suatu material terhadap gaya tarik. Suatau material dilakukan penarikan sampai putus maka dapat diketahui bagaimana suatu material beraksi terhadap suatu gaya tarik dan dapat mengetahui sejauh mana material bertambah panjang [28]. Saat dilakukam uji tarik gaya yang akan terjadi terhadap beban akan mengangkibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) material tersebut. Proses deformasi tersebut adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang di akibatkan melemahnya gaya elektro magnetik pada setiap atom logam sehingga ikatan terlepas oleh penarikan gaya maksimum [28].

Dalam uji tarik, beban tarik diatur mulai dari nol dan diakhiri ketika beban atau tegangan patah tarik (*ultimate strenght*) dari material yang digunakan. Beban yang akan diuji diukur dan diatur pada mesin uji tarik, kemudian gaya tarik diberikan secara perlahan dari nol sampai maksimum. Uji tarik dapat dilakukan pada mesin uji tarik atau Universal Testing Machine (UTM) [29].



Gambar 2. 5 Grafik Tegangan-Regangan [29]

Proses pengujian tarik memiliki siklus yang dapat terjadi pada material yaitu yang pertama adalah proses elastisitas, ketika bahan diregangkan dan dapat kembali ke posisi semula, yang kedua adalah plastis yaitu perubahan panjang material dan tidak kembali ke posisi semula material, yang ketiga adalah nilai kekuatan tarik maksimum yaitu material ditarik sehingga menyebabkan terjadinya *necking* pada material dan akhirnya material tersebut putus [29].

Uji tarik juga merupakan uji destruktif atau pengujian yang merusak suatu material yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material. Kekuat tarik suatu bahan dapat ditentukan jika garis gayanya berhimpitan dengan garis sumbu bahan tersebut, sehingga beban yang terjadi berupa beban tarik lurus [14]. Berikut adalah beberapa sifat yag dapat dihasilkan oleh pengujian tarik [2] .

A. Regangan Maksimun (ε)

Regangan maksimum digunakan untuk menunjukkan pertambahan panjang sutau material setelah perpatahan terhadapa panjang awal material [14]. Regangan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2.2)}$$

$$\varepsilon = \frac{Li - Lo}{Lo}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2.3)}$$

dimana :

ε = Regangan (%)

ΔL = Panjang Bertambah (mm)

Li = Panjang Awal (mm)

Lo = Panjang Sesudah Patah (mm)

B. Tegangan Tarik Maksimum (σ)

Tegangan tarik maksimum adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum mengalami kegagalan atau terjadinya perpatahan (*fracture*). Pada material getas, tegangan maksimum juga merupakan tegangan putus atau titik putus [29]. Tegangn tarik maksimum dapat dicari dengan persamaan sebagi berikut.

$$\sigma = \frac{P}{Ao} \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana:

P = Beban Maksimum (N)

σ = Tegangan Tarik Maksimum (MPa)

Ao = Luas Area Awal (mm^2)

C. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas adalah suatu ukuran kekakuan dari suatu material pada grafik tegangan-regangan. Modulus elastisas dapat kita hitung dari slope kemiringan garis elastik yang linier [14]. Modulus elastisitas dapat dicari dengan persaman sebagi berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{.....(2.5)}$$

$$E = \frac{P\ x\ Lo}{Ao\ x\ \Delta L} \quad \text{.....(2.6)}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan Tarik Maksimum (MPa)

ε = Regangan (%)

p = Beban Maksimum (N)

Lo = Panjang Sesudah Patah (mm)

Ao = Luas Area Awal (mm^2)

ΔL = Panjang Bertambah (mm)

2.8 Uji Makro dan uji Mikro

Hasil sambungan las dapat dilakukan pengujian makro dan pengujian mikro agar dapat mengetahui tampak dari hasil pengelasan tersebut

A. Uji Makro

Uji makro adalah pengujian yang dilakukan dengan cara mengamati secara langsung dengan mata telanjang hasil pengelasan untuk memeriksa penetrasi lasan, bentuk lapisan lasan, ukuran dari daerah pengaruh panah *HAZ* (*heat affected zone*), dan kemungkinan munculnya cacat pada pengelasan, spesimen uji diambil dari potongan benda kerja dengan permukaan halus yang dilapiskan cairan asam terlebih dahulu [30].

B. Uji Mikro

Uji mikro adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui dan membedakan struktur logam antara logam induk, daerah *HAZ* (*heat affected zone*) dan logam las. Struktur mikro yag didapat dari hasil foto mikro dapat mengetahui sifat fisis logam [29]. Struktur mikro logam ditunjukkan oleh ukuran, bentuk dan orientasi butir, jumlah fase, proporsi dan kekakuan di mana mereka tersusun atau didistribusikan. Struktur mikro paduan tergantung pada beberapa faktor seperti elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diterapkan. [29].

Struktur mikro suatu logam adalah kombinasi dari satu atau lebih struktur kristal. Pada umumnya suatu logam tersusun atas banyak kristal (majemuk), dan ada pula yang hanya tersusun dari satu kristal (tunggal). Namun, logam yang terdiri dari kristal majemuk dapat menunjukkan banyak sifat yang dapat memperluas cakupannya. Dalam logam, kristal ini sering disebut butir, dan batas pemisah antara satu kristal dengan kristal lainnya disebut batas butir [27].