

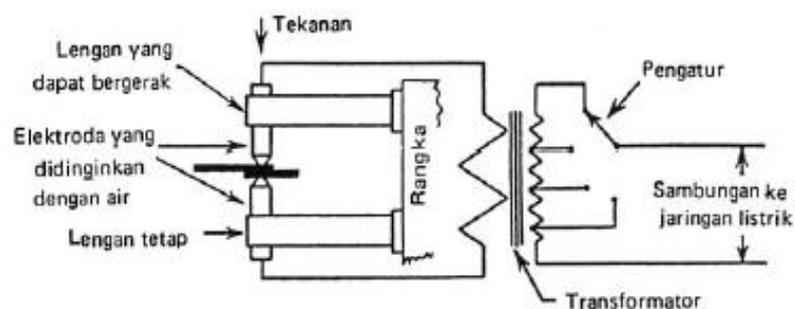
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum

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.

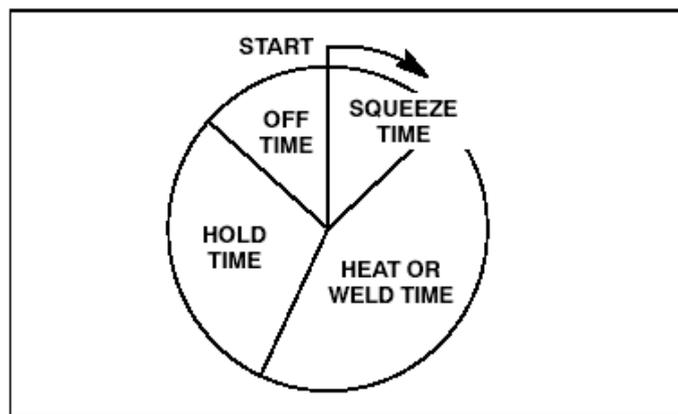


Gambar 2.1 Skema las titik [1]

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 [2]

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 dan 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. [1]

Las titik menggunakan panas dari arus listrik dan besarnya panas dapat di hitung dengan menggunakan rumus [1]:

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

Dengan:

H = jumlah panas yang dihasilkan (Joule)

I = kuat arus listrik (Ampere)

R = resistansi (ohm)

t = waktu pengelasan (detik)

2.2 Klasifikasi Baja Karbon

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000), baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur lainnya misalnya: Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Karena itu baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

2.2.1. Baja Karbon Rendah

Baja jenis ini mempunyai kadar karbon kurang dari 0,30 %. Baja ini bersifat ulet dan tangguh serta mempunyai mampu mesin (machineability), mampu bentuk (formability) dan mampu las (weldability) yang lebih baik bila dibandingkan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan yang rendah terhadap retak las dibandingkan dengan baja karbon lainnya karena kadar karbon yang paling rendah.

2.2.2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung kadar karbon 0,30 % - 0,45 %. Baja ini bersifat kuat dan keras tetapi mampu lasnya tidak sebaik baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras karena kadar karbon yang cukup tinggi ditambah dengan

adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las sehingga bisa dikatakan sifat mampu lasnya kurang baik daripada baja karbon rendah.

2.2.3. Baja Karbon Tinggi

Merupakan baja dengan kadar karbon 0,45 % - 1,70 %. Secara umum, baja karbon tinggi mempunyai kekuatan dan kekerasan yang paling tinggi dibanding baja jenis lainnya karena kadar karbonnya adalah yang paling tinggi sehingga pada umumnya paling sulit dilas.

2.3. 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:

2.3.1. 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 :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

σ = Kekuatan tarik geser material (Kg/ mm²)

P = Beban (Kg)

A = Luas penampang (mm²)

2.3.2. Kekerasan (*hardness*)

Kekerasan suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menahan deformasi plastis. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan

terhadap penetrasi pada permukaannya. Dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan. [7]

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *rockwel*.

Pada pengujian Rockwell hanya berdasar pada kedalaman penetrasi dan bukan pada luasan yang dihasilkan. Semakin keras bahan maka kedalaman penetrasi semakin kecil dan sebaliknya. Nilai kekerasan bahan dapat langsung dibaca pada skala yang terdapat pada alat uji yang kemudian dikalibrasi untuk menentukan skala kekerasan bahan sehingga tidak diperlukan perhitungan. Pengujian ini kurang teliti tapi cukup populer dikalangan industri.

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya, dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan. Kekerasan dari suatu metal diukur dengan memberikan beban dengan menggunakan indentor ke dalam permukaan material tersebut. Bentuk dari indentor pada umumnya peluru/bola, piramida, atau kerucut, dibuat dari material yang lebih keras dibanding material yang diuji. Sebagai contoh, baja yang dikeraskan, karbit tungsten, atau intan yang biasanya digunakan untuk indenters. Pengujian kekerasan sangat sederhana, sehingga banyak dilakukan dalam pemilihan bahan. Ada beberapa macam metode pengujian kekerasan yang dipergunakan, disesuaikan dengan bahan, kekerasan, ukuran dan lain-lain.

a. Uji kekerasan Brinnell.

Uji kekerasan Brinnell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan menggunakan bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi hingga tinggal 500 kg, untuk menghindari jejak yang dalam dan untuk bahan yang sangat keras digunakan paduan karbida tungsten dengan tujuan untuk memperkecil terjadinya distorsi indentor.

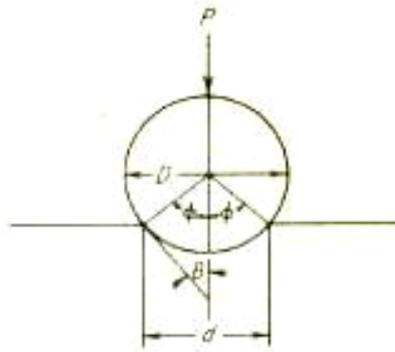
Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter

lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah setelah beban tersebut dihilangkan. Kemudian dicari harga rata-rata dari 2 buah pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus.

Permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak. Angka kekerasan brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{BHN} = \frac{P}{(\pi D / 2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D t} \quad (2.3)$$

Dimana, P = beban yang diterapkan, kg
 D = diameter bola, mm
 d = diameter lekukan, mm
 t = kedalaman jejak, mm



Gambar 2.3 Parameter dasar pada pengujian Brinell

Dari gambar di 2.3 dapat dilihat bahwa $d = D \sin \phi$. Dengan memasukkan harga ini ke persamaan diatas akan dihasilkan bentuk persamaan kekerasan Brinell yang lain, yaitu

$$\text{BHN} = \frac{P}{(\pi / 2) D^2 (1 - \cos \phi)} \quad (2.4)$$

b. Uji kekerasan Vickers.

Uji kekerasan vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Karena bentuk penumbuknya piramida, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

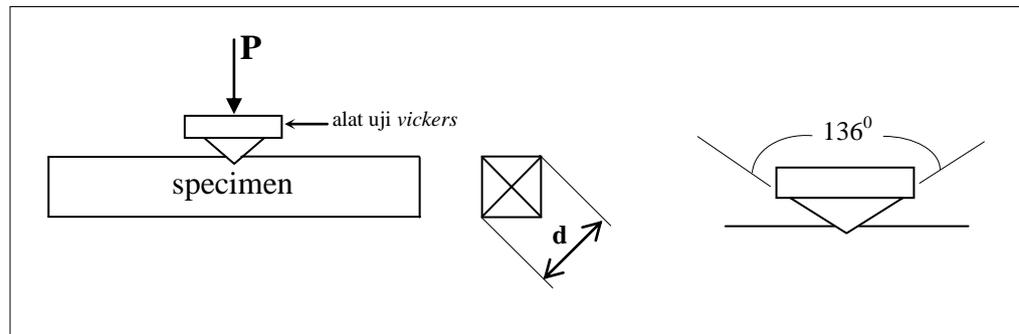
$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \quad (2.5)$$

Dimana, P = beban yang diterapkan, kg

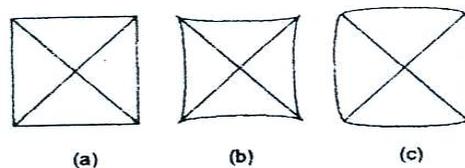
L = panjang diagonal rata-rata, mm

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Beban yang biasanya digunakan pada pengujian ini berkisar antara 1 sampai 120 kg, tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Lekukan yang benar yang dibuat oleh piramida intan harus berbentuk bujur sangkar. Akan tetapi penyimpangan dapat terjadi pada penumbuk lekukan. Lekukan bantal jarum pada gambar 2.5 b adalah akibat terjadinya penurunan logam di sekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terjadi pada logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong pada gambar 2.5 c terdapat pada logam yang mengalami proses pengerjaan dingin. Bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan ke atas logam-logam di sekitar permukaan penumbuk. Ukuran diagonal pada kondisi demikian akan menghasilkan luas permukaan kontak yang kecil, sehingga menimbulkan kesalahan angka kekerasan yang besar.



Gambar 2.4 Skema pengujian vickers hardness



Gambar 2.5 Tipe-tipe lekukan piramida intan,

- (a) lekukan yang sempurna; (b) lekukan bantal jarum (pinchusion);
(c) lekukan berbentuk tong

c. Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell paling banyak digunakan di Amerika Serikat. Hal ini dikarenakan sifat-sifatnya yaitu cepat dan bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil (beban minor) sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Kemudian diterapkan beban yang besar (beban mayor), dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam oleh gage penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Untuk indentornya biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan 120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan *penumbuk Brale*, serta bola baja berdiameter $\frac{1}{16}$ inchi dan $\frac{1}{8}$ inchi. Beban besar yang digunakan adalah 60, 100 dan 150 kg.

2.3.3 Struktur mikro

Mikrografi berasal dari kata mikro yang berarti sangat kecil, dan grafi yang berarti gambar. Secara istilah mikrografi merupakan suatu teknik untuk memperoleh gambar pencitraan yang memperlihatkan fasa dari sebuah logam dan paduannya, sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material logam tersebut.

Adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Langkah-langkah untuk melakukan pengamatan struktur mikro adalah pemotongan spesimen menjadi ukuran yang kecil kurang lebih seukuran 10mm x 10mm x 10mm, penempatan spesimen ke dalam cetakan dan cetakan tadi diisi resin yang bertujuan untuk mempermudah dalam proses penghalusan, pengampelasan dengan menggunakan amplas halus secara berurutan, mulai dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar), pemolesan dengan menggunakan bubuk penggosok ataupun pasta diamond. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir dan banyaknya bagian struktur yang berbeda.

Tabel 2.1 Reaktan untuk proses pengetsaan

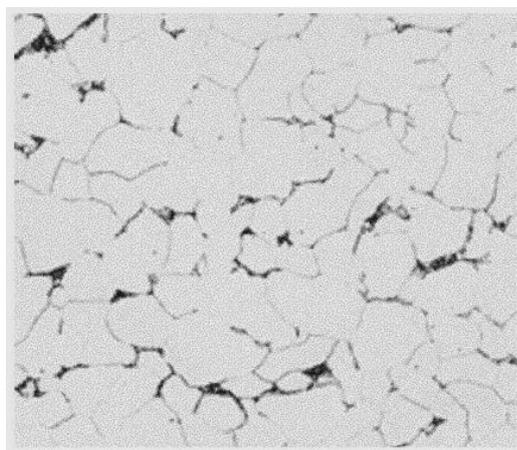
Material	Reaktan	Proses
Baja, besi, besi paduan	Nital HNO ₃ 1 – 5 ml, 100 ml ethanol (95%) atau Methanol (95%)	<ul style="list-style-type: none"> • Dichelup dalam reaktan selama 1- 5 detik, kemudian dibilas dengan air lalu dikeringkan. • Teknik Swabing

Aluminium	Keller's HNO ₃ 2,5 ml HF 1 ml, HCl 1,5 ml, 95 ml aquades	<ul style="list-style-type: none"> • Dichelup dalam reaktan selama 1- 15 detik, kemudian dibilas dengan air lalu dikeringkan dan didiamkan selama 24 jam.
Tembaga, kuningan, Atau Cu alloy	<u>Larutan I:</u> 25 ml NH ₄ OH, 2,5 ml aquades, 50 ml H ₂ O ₂ (3%) <u>Larutan II:</u> 5 gr FeCl ₃ , 50 ml HCl, 100 ml aquades	<ul style="list-style-type: none"> • Dichelup dalam reaktan selama 1- 10 detik, kemudian dibilas dengan air lalu dikeringkan.
Stainless stell	<u>Larutan I:</u> 10 ml HNO ₃ , 10 ml Acetic Acid, 5 ml HCl, 2-5 ml crops gliserin <u>Larutan II:</u> 5 ml HCl, 1 gr Picric Acid, 100 ml ethanol (95%) dan methanol (95%)	<ul style="list-style-type: none"> • Dichelup atau diswab beberapa saat (1- 10 detik). • Dichelup dalam larutan selama 1- 5 detik, kemudian dichelup dalam cairan H₂O₂ (3%) selama 1-2 detik. Dibilas dengan air lalu dikeringkan.
Amuntit (Toll stell)	<u>Larutan I:</u> Nital HNO ₃ 1-5 ml, 10 ml 100 ml ethanol (95%) dan methanol (95%) <u>Larutan II:</u> 1 gr Picric Acid,	<ul style="list-style-type: none"> • Dichelup dalam reaktan selama 1- 5 detik, kemudian dibilas dengan air lalu dikeringkan. • Teknik Swabing.

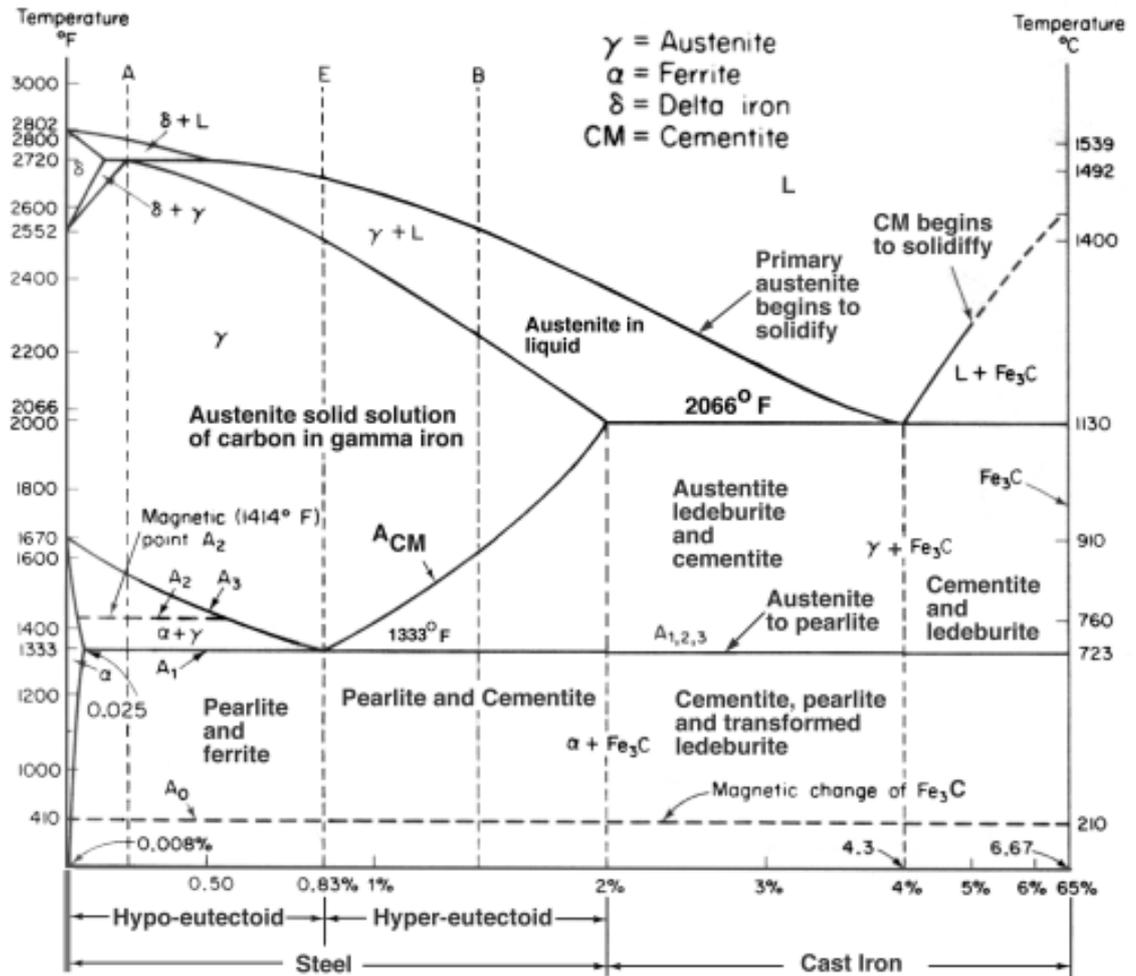
	100 ml ethanol (95%) dan methanol (95%)	<ul style="list-style-type: none"> • Dichelup/diswab 1-10 detik. • Dichelup dalam larutan H₂O₂ (3%) selama 1-2 detik. Dibilas dengan air lalu dikeringkan.
--	---	--

Baja carbon ini dibuat dan diaplikasikan dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferit. Ferit adalah salah satu fasa penting di dalam baja yang bersifat lunak dan ulet. Baja carbon rendah umumnya memiliki kadar carbon di bawah komposisi eutectoid dan memiliki struktur mikro hampir seluruhnya ferit. Pada lembaran baja kadar carbon sangat rendah atau ultra rendah, jumlah atom carbon-nya bahkan masih berada dalam batas kelarutannya pada larutan padat sehingga struktur mikronya adalah ferit seluruhnya. Hingga batas kelarutannya di dalam larutan padat ferit, penambahan carbon berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanik.

Pada kadar carbon yang lebih tinggi akan mulai terbentuk endapan *sementit* atau fase *perlit* pada batas butirnya sebagaimana terlihat pada gambar 2.3. dimana *sementit* atau *karbid* mempunyai sifat yang keras dan getas berperan penting dalam meningkatkan sifat mekanik pada baja.



Gambar 2.6 Struktur mikro baja karbon rendah [14]



Gambar 2.7 Diagram Besi Carbon (Fe₃C)

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe₃C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja carbon, suatu jenis logam paduan besi (Fe) dan carbon (C). Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solid solution) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom carbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki alpha ferrite pada temperatur ruang. Pada kadar carbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan carbon dalam bentuk hard intermetallic stoichiometric compound (Fe₃C) yang dikenal sebagai sementit atau karbid. Selain larutan padat *alpha-ferrit* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrit* dan *gamma-austenit*.

Logam Fe bersifat polymorphism yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, alpha-ferit akan berubah menjadi gamma-austenite saat dipanaskan melewati temperature 910°C . Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C gamma-austenite akan kembali berubah menjadi delta-ferrite. (Alpha dan Delta) Ferit dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) Austenite memiliki struktur kristal FCC.

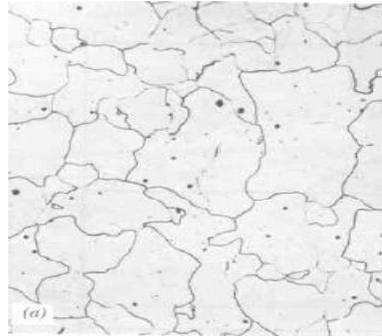
2.3.3.1 Ferit

Ferit adalah fase larutan padat antara besi dan carbon yang memiliki struktur BCC (body centered cubic). Ferit dalam keadaan murni kekuatan tariknya kurang dari 310 Mpa. Berat jenis ferit adalah $7,88 \text{ g/cm}^3$.

Ferit dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu alpha-ferit atau pada temperatur tinggi, yaitu delta-ferit. Secara umum fase ini bersifat lunak (soft), ulet (ductile), dan magnetik (magnetic) hingga temperatur tertentu, yaitu $T_{\text{curie}} = 723^{\circ}\text{C}$. Kelarutan carbon di dalam fase ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan carbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase Austenit. Pada temperatur ruang, kelarutan carbon di dalam alpha-ferit hanyalah sekitar 0,05%. Dan pada suhu 723°C kelarutan carbon dalam ferit maksimum adalah 0,025%. [14]

Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferit. Baja lembaran berkadar carbon rendah dengan fase tunggal ferit misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran.

Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar carbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar carbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik ferit sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fase tunggal ferit, faktor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir.

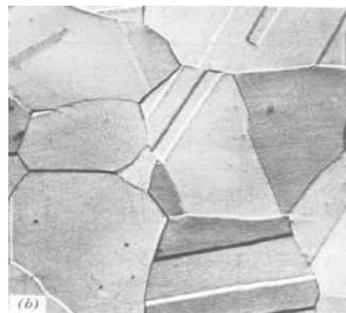


Gambar 2.8 Penampang struktur mikro ferit [14]

2.3.3.2 Austenit

Fase Austenite memiliki struktur atom FCC (Face Centered Cubic). Dalam keadaan setimbang fase Austenit ditemukan pada temperatur tinggi. Fase ini bersifat non magnetik dan ulet (ductile) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom carbon di dalam larutan padat Austenit lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom carbon pada fase Ferit yaitu sebesar 2,11%. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fase Austenite (atau kristal FCC) dan fase Ferit (atau kristal BCC). Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fase pada saat pendinginan Austenite yang berlangsung secara cepat.

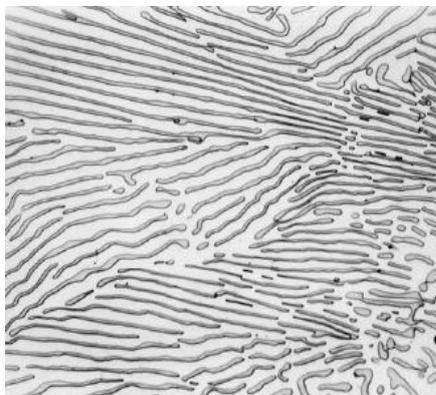
Selain pada temperatur tinggi, Austenit pada sistem Ferrous dapat pula direkayasa agar stabil pada temperatur ruang. Elemen-elemen seperti Mangan dan Nickel misalnya dapat menurunkan laju transformasi dari gamma-austenit menjadi alpha-ferit. Dalam jumlah tertentu elemen-elemen tersebut akan menyebabkan Austenit stabil pada temperatur ruang.



Gambar 2.9 Struktur mikro austenit [6]

2.3.3.3 Perlit

Perlit adalah suatu campuran eutectoid dari ferit dan sementit pada temperature 723°C dengan kandungan carbon 0,83%. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi Austenit melalui reaksi eutectoid pada keadaan setimbang, di mana lapisan ferit dan sementit terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi eutectoid. Pearlite memiliki struktur yang lebih keras daripada ferit, yang terutama disebabkan oleh adanya fase sementit atau karbid dalam bentuk lamel-lamel.



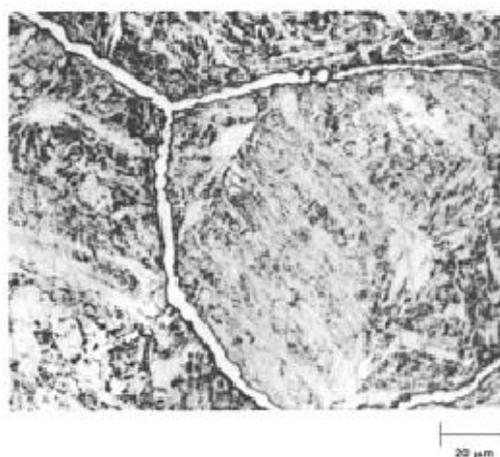
Gambar 2.10 Struktur mikro perlit [14]

Gambar di atas menunjukkan struktur mikro perlit dalam perbesaran lebih tinggi. Daerah yang lebih terang pada gambar adalah ferit sedangkan daerah yang lebih gelap pada gambar adalah karbid atau sementit. Salah satu contoh baja carbon yang memiliki struktur ini adalah kawat piano atau baja AISI 1080 menurut standar SAE-AISI. Baja kawat piano dengan kadar carbon 0,8% dengan struktur perlit seluruhnya memiliki kekuatan tarik (Tensile Strength) sekitar 4,2 GPa. Bandingkan dengan kekuatan tarik Baja Carbon Rendah (0,05% C) dengan struktur mikro Ferit seluruhnya yang kekuatannya hanya 0,2 GPa.

2.3.3.4 Sementit (Karbida Besi)

Pada paduan besi-karbida, karbon melebihi batas larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (cementit). Karbida besi memiliki komposisi kimia Fe_3C . Hal ini berarti karbida besi membentuk molekul-molekul Fe_3C , akan

tetapi sisi kristal mengandung atom besi dan karbon dalam perbandingan tiga lawan satu. Fe_3C mempunyai satu sel satuan Orthorombik dengan 12 atom besi dari 4 atom karbon per sel. Jadi kandungan karbon: 6,7% (berat), berat jenis: 7,6 Mg/m^3 . Dibandingkan dengan austenit dan ferrit, cementit sangat keras. Karbida besi dalam ferrit meningkatkan kekerasan baja, akan tetapi karbida murni tidak ulet, karbida ini tidak mampu menyesuaikan diri dengan konsentrasi tegangan sehingga kurang kuat.



Gambar 2.11 Struktur mikro sementit [14]

2.4 Contoh Hasil Analisis

2.4.1 Analisis Hasil Pengujian Geser

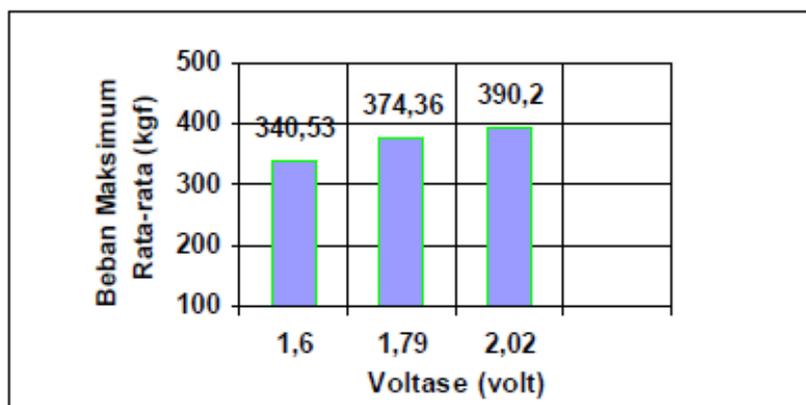
Hasil pengujian ini disajikan dalam tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Hasil Pengujian Geser

Spesimen	Welding time (s)	Voltase (V)	Nilai beban maksimum masing-masing spesimen (kgf)			Nilai rata-rata	Deviasi standar
			No. 1	No. 2	No. 3		
V = 1,6	1	1,60	333,7	326,6	361,3	340,53	18,33
V = 1,79	1	1,79	401,8	355,8	365,5	374,37	24,25
V = 2,02	1	2,02	372,7	392,3	405,6	390,2	16,55

Pada penelitian ini, kekuatan geser pada nugget las tidak dapat dihitung karena patahan tidak terjadi dibagian nugget, padahal kekuatan geser nugget las adalah gaya geser dibagi dengan luasan nugget. Kekuatan geser dari las titik

tergantung dari kekuatan nugget untuk menahan gaya yang bekerja padanya, sehingga komposisi, besar dan kekuatan dari nugget menentukan kekuatan geser dari las titik tersebut.



Gambar 2.12 Grafik antara nilai beban maksimum rata-rata dengan voltase

Tegangan geser sewaktu spesimen patah dalam pengujian tarik dapat dihitung dengan rumus $S = F/A$; dimana: S = tegangan geser (N), F = gaya (N), dan A = luas penampang patahan (mm^2). Hasil perhitungan selengkapnya disajikan di tabel 2.3 berikut ini.

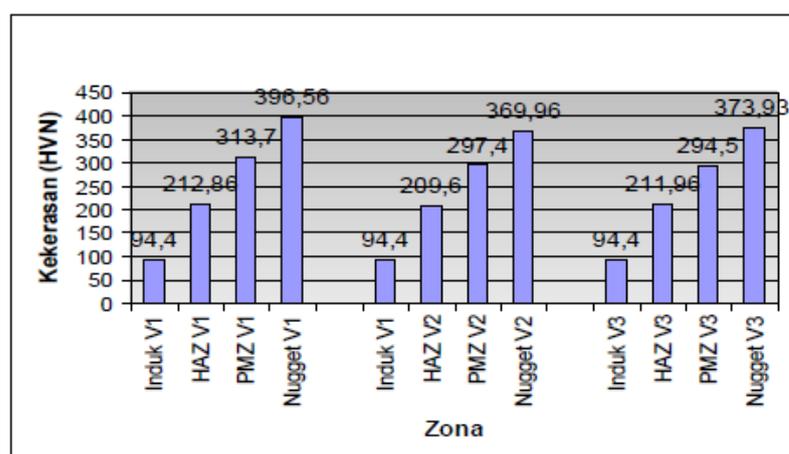
Tabel 2.4 Data hasil kekuatan geser pada waktu specimen patah

VOLTASE	KODE	F (N)	F rata-rata (N)	D (mm)	A (mm^2)	S (N/mm^2)	S rata-rata (N/mm^2)	Deviasi standar
1,60 volt	a	3.270,26	3.337,23	3,3	8,548	382,58	382,99	14,99
	b	3.200,68		3,2	8,038	398,19		
	c	3.540,74		3,5	9,616	368,21		
1,79 volt	d	3.937,64	3.668,73	4	12,56	313,51	317,99	5,74
	e	3.486,64		3,7	10,746	324,46		
	f	3.581,90		3,8	11,335	316,00		
2,02 volt	g	3.652,46	3.823,96	4,5	15,896	229,77	230,15	1,16
	h	3.844,54		4,6	16,61	231,46		
	i	3.974,88		4,7	17,34	229,23		

Dari grafik 2.11 dan tabel 2.3 di atas disimpulkan bahwa voltase pengelasan yang semakin besar menyebabkan gaya atau beban untuk memutus sambungan las semakin besar karena diameter las yang semakin besar. Tegangan geser yang

terjadi semakin kecil, karena pertambahan beban maksimum yang mampu diterima sambungan las lebih kecil dibanding pertambahan diameter patahan. Disamping itu, pada perhitungan di atas digunakan asumsi ketebalan nugget adalah sama, padahal penambahan voltase pengelasan menyebabkan ukuran diameter las semakin besar dan semakin tipis karena semakin banyak logam yang mencair dan ditekan oleh kedua elektroda sampai membeku, nugget yang lebih tipis akan lebih mudah patah.

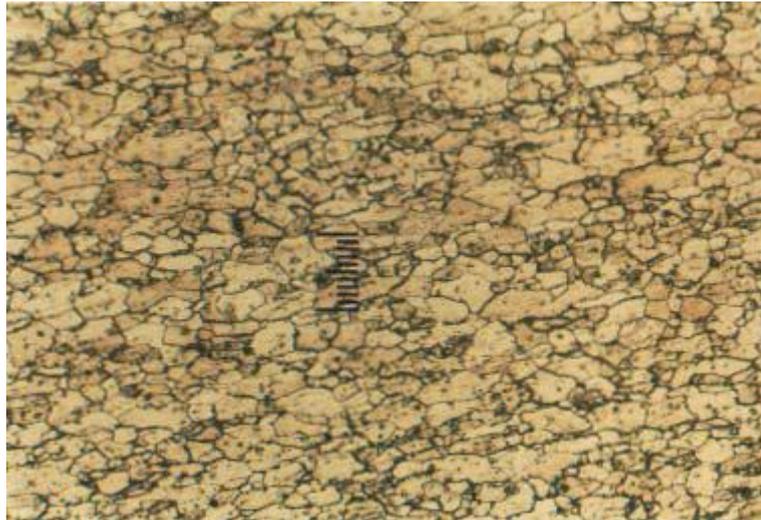
2.4.2 Analisis Uji Kekerasan



Gambar 2.13 Grafik nilai kekerasan diberbagai zona pada baja karbon rendah. Dari grafik diatas didapatkan kesimpulan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi adalah di daerah nugget, kemudian PMZ (partially melted zone), HAZ (heat affected zone), dan nilai terkecil adalah di daerah logam dasar (base metal). Kekerasan pada daerah nugget lebih tinggi dari daerah yang lain, karena didominasi struktur martensit yang bersifat keras dan getas. Daerah PMZ mempunyai komposisi ferit dan martensit dan mengalami pembesaran butir sehingga kekerasan rata-ratanya lebih tinggi dari daerah HAZ maupun logam dasar. Pada daerah HAZ terjadi rekristalisasi sehingga kekerasan rata-ratanya juga lebih tinggi dari logam dasar yang kekerasannya tidak berubah karena tidak terkena pengaruh panas. Nilai kekerasan yang semakin kecil dari pusat lasan ini juga sesuai dengan pernyataan Easterling (1983) bahwa nilai kekerasan cenderung menurun mulai dari batas lebur sampai logam dasar tergantung pada ukuran butir

(struktur mikro). Hal ini disebabkan semakin jauh dari pusat lasan, maka pengaruh panas akan semakin berkurang.

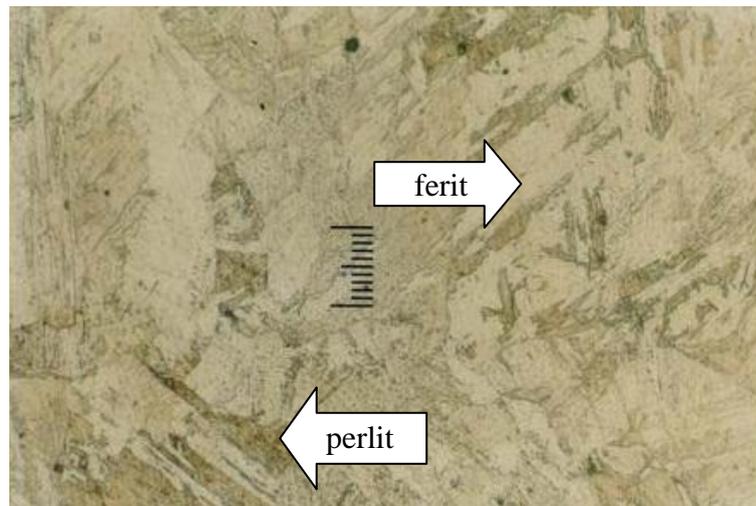
2.4.3 Analisis Struktur Mikro



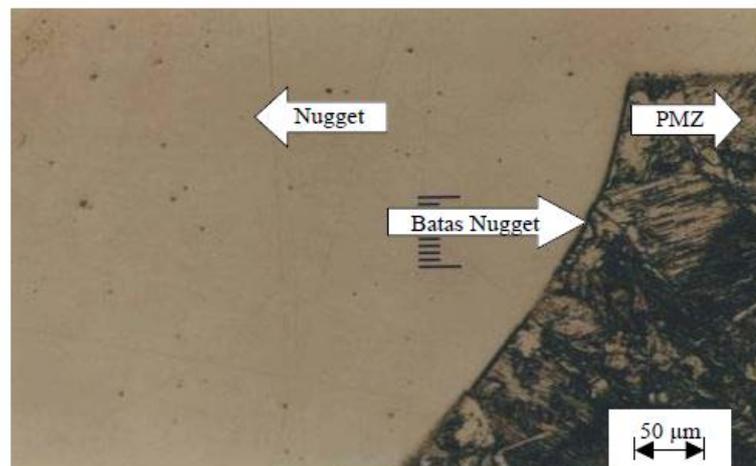
Gambar 2.14 Struktur mikro logam induk plat baja karbon rendah (perbesaran 200X)



Gambar 2.15 HAZ plat baja karbon (perbesaran 200X)



Gambar 2.16 Nugget baja karbon (perbesaran 200X)



Gambar 2.17 Struktur mikro nugget pada plat baja karbon (perbesaran 200X)