

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

Andriansyah Firman (2012) meneliti tentang pengaruh preheating pada pengelasan GMAW multilayer terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada baja SA 516 grade 60. Variasi pengelasan pada temperatur kamar (32°C), preheat temperatur 900°C , 150°C , 200°C pada tiap specimen. Specimen yang digunakan adalah SA-516 grade 60 dengan ketebalan 30mm. proses pengelasannya dengan 11 layer dengan bentuk groove pada specimen menggunakan double V groove. Hasil lasan tersebut diuji tarik, kekerasan, diamati struktur mikro dan makronya. Dari hasil penelitian didapatkan pada pengujian tarik, patah yang terjadi untuk semua specimen variasi temperatur preheat berada di logam induk dan bukan di HAZ atau di daerah las. Hal ini disebabkan karena adanya perbaikan pada hasil pengelasan multilayer. Untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah las, sedangkan nilai kekerasan antar spesimen variasi preheat didapatkan pada spesimen nonpreheat temperatur 32°C memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi. Struktur mikro yang terjadi HAZ dan daerah las pada layer 1 berbeda dengan layer 6, hal ini disebabkan pada layer 1 mengalami perubahan struktur mikro akibat adanya proses pemanasan kembali akibat pengelasan pada layer selanjutnya.

Saifudin, Mochammad Nur Ilman (2009) meneliti tentang pengaruh *preheat* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik las logam tak sejenis baja tahan karat austenitik AISI 304 dan baja karbon A36. variasi temperatur *preheat* adalah 100°C , 200°C , dan 300°C . pengujian sambungan meliputi sifat mampu las (*weldability*), uji kekerasan (*microhardness*), struktur mikro dan uji tarik. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kekerasan bervariasi sesuai metalurgi las, yaitu daerah las, HAZ, dan logam las induk. *Preheat* menurunkan kekerasan sambungan las disertai dengan peningkatan keuletan las.

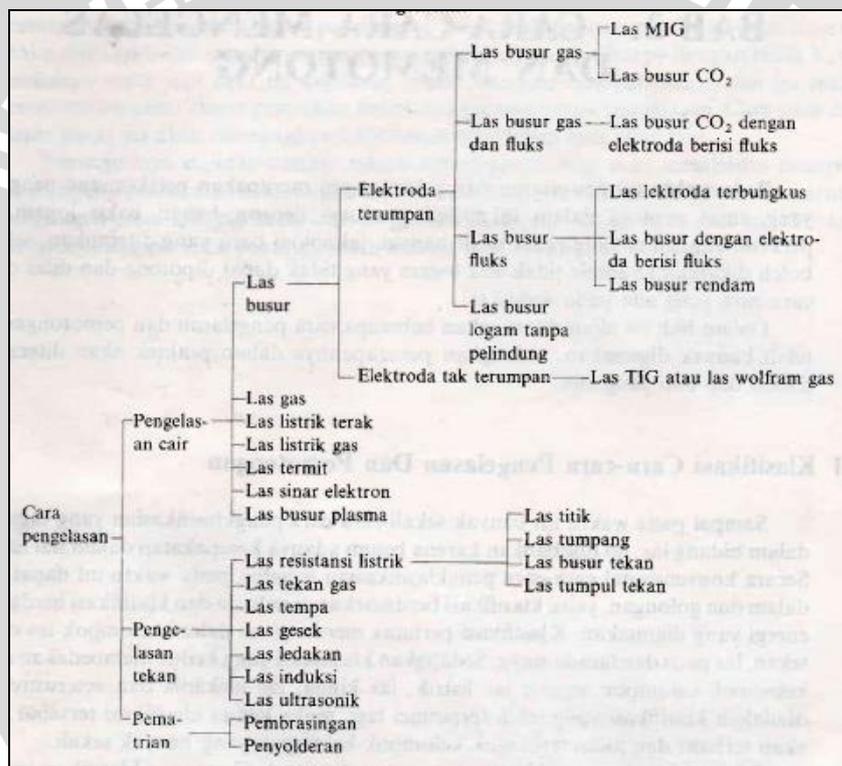
Pada penelitian yang dilakukan oleh Aktika Chandra (2011) mengenai pengaruh *preheating* terhadap ketangguhan dan struktur mikro pada pengelasan *adapter bucket excavator* dengan metode GMAW menyimpulkan bahwa dengan variasi perlakuan *preheating* pada pengelasan *adapter bucket excavator* terjadi perubahan struktur mikro akibat laju pendinginan yang berbeda sehingga berpengaruh terhadap ketangguhannya. Ketangguhan paling optimal pada pengelasan *adapter bucket excavator* adalah pada penggunaan *preheating* 150°C .

2.2 Proses Pengelasan

2.2.1 Definisi dan Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto, 1994:1)

Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian. Adapun perincian lebih lanjut mengenai klasifikasi proses pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Klasifikasi proses pengelasan.
Sumber : Wiryosumarto (1994 : 8)

2.2.2 Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*)

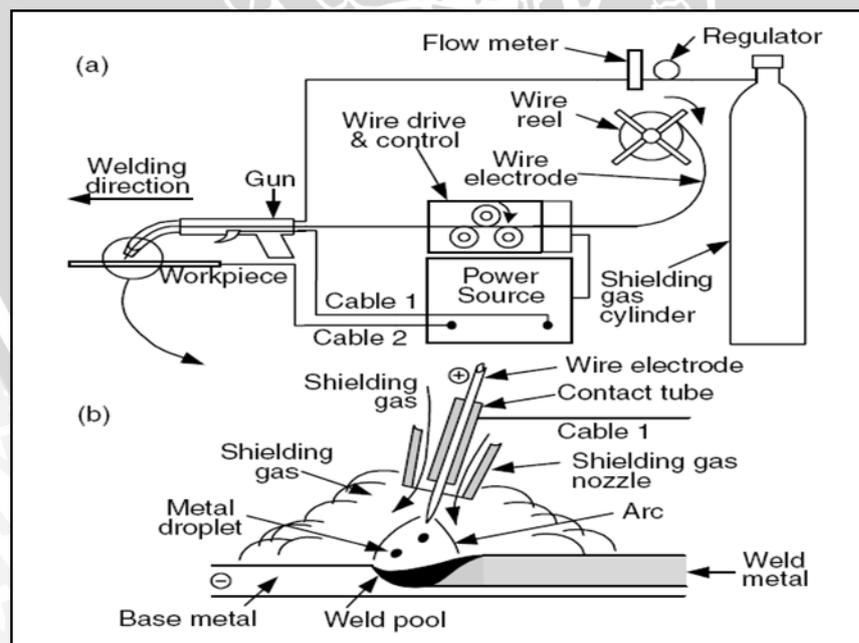
Metal Inert Gas (MIG) adalah las busur gas dengan kawat las pengisi berfungsi sebagai elektroda yang diumpankan secara terus menerus selama pengelasan. Gas pelindung digunakan untuk melindungi daerah pengelasan yang mencair (*molten metal*) dari oksidasi oleh udara atmosfer. Gas pelindung yang digunakan biasanya adalah gas argon, helium atau

campuran dari keduanya. Karena kedua gas tersebut harganya relatif mahal, maka gas CO₂ dapat menjadi alternatif. Keuntungan las MIG jika dibandingkan las jenis lain antara lain:

1. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
2. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi, kecepatan pengelasan yang digunakan juga tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.
3. Deposit yang terbentuk cukup banyak.
4. Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara, ketidakpekaan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik daripada hasil las dengan cara pengelasan lain.

Karena hal-hal tersebut di atas, maka las MIG banyak sekali digunakan dalam praktek terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain.

Kawat pengisi dalam las MIG biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya (*torch*) digerakkan dengan tangan. Sehingga dengan ini tercipta suatu alat las semi otomatis seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Kadang-kadang, las MIG juga dilaksanakan secara otomatis penuh, dimana alat pembakarnya ditempatkan pada suatu kedudukan pengelasan yang berjalan (Wirjosumarto, 1994:20).



Gambar 2.2 Pengelasan MIG (a) Proses keseluruhan dan (b) pembesaran daerah pengelasan.

Sumber: Kou (2003:20)

2.2.3 Pengelasan Baja Karbon Rendah

Berdasarkan *American Iron and Steel Institute* (AISI), baja dianggap baja karbon jika kandungan unsur selain Fe dan C seperti Cr, Co, Mo, Ni, Nb, Ti, V, Zr dan unsur lain yang ditambahkan untuk mendapatkan efek paduan yang dikehendaki tidak lebih dari 5 % atau ketika kandungan maksimal paduan yang ditentukan yaitu: 0,65 % Mn; 0,6 % Si; 0,6 % Cu dan unsur lain tidak lebih dari kandungan unsur-unsur tersebut. Baja karbon yang memiliki kandungan karbon di bawah 0,30 % disebut baja karbon rendah. Baja karbon dengan kandungan 0,30 sampai 0,50 % C disebut baja karbon menengah; dan baja karbon yang mengandung 0,50 sampai 1,00 % C disebut baja karbon tinggi (AWS, 1982:9). Semakin tinggi kandungan karbon, maka kekuatan dan kekerasannya akan semakin bertambah, akan tetapi perpanjangannya (*elongation*) semakin menurun.

Baja karbon rendah memiliki kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau mencegah adanya *hydrogen porosity* dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah, serta metode-metode yang lain.

2.2.4 Weldability pada Pengelasan

Pengertian *weldability* menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) adalah sifat mampu las yang dimiliki oleh suatu material dan dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu:

1. Jenis material

Jenis material ditentukan oleh komposisi kimia, sifat metalurgi dan sifat mekanik dari material. Dimana komposisi kimia dan sifat metalurgi mempengaruhi karakteristik sifat mekanik dari material tersebut. Selain itu, unsur paduan lain juga menentukan sifat mekanik dari material tersebut.

2. Faktor keamanan perencanaan

Terdiri dari perencanaan dan tegangan yang terjadi pada benda kerja. Kedua hal tersebut sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan yang diinginkan. Tahap

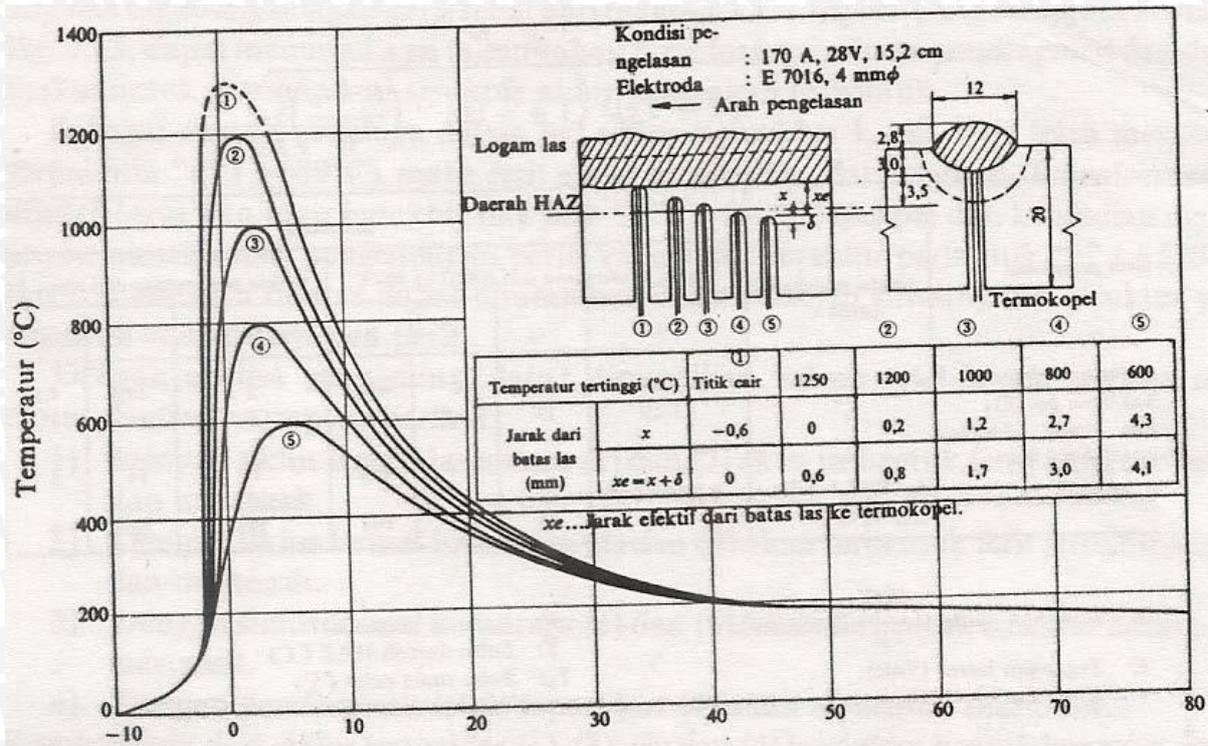
perencanaan meliputi energi yang bekerja pada benda kerja, dimensi material, serta pengaturan sambungan. Tegangan yang terjadi pada benda kerja dipengaruhi oleh tipe dan tingkat tegangan, temperatur dan korosi.

3. Proses pengelasan

Proses pengelasan terdiri dari tiga tahapan yaitu persiapan, eksekusi, dan perlakuan setelah proses pengelasan. Tahap persiapan meliputi penentuan metode pengelasan, tipe sambungan, perlakuan panas sebelum proses dan kondisi lingkungan. Tahap eksekusi meliputi penentuan parameter pengelasan yaitu masukan panas serta kontrol panas. Tahapan *finishing* setelah proses pengelasan adalah penentuan perlakuan panas setelah proses pengelasan dan proses gerinda.

2.3 Siklus Termal Daerah Las (*Heat Affected Zone*)

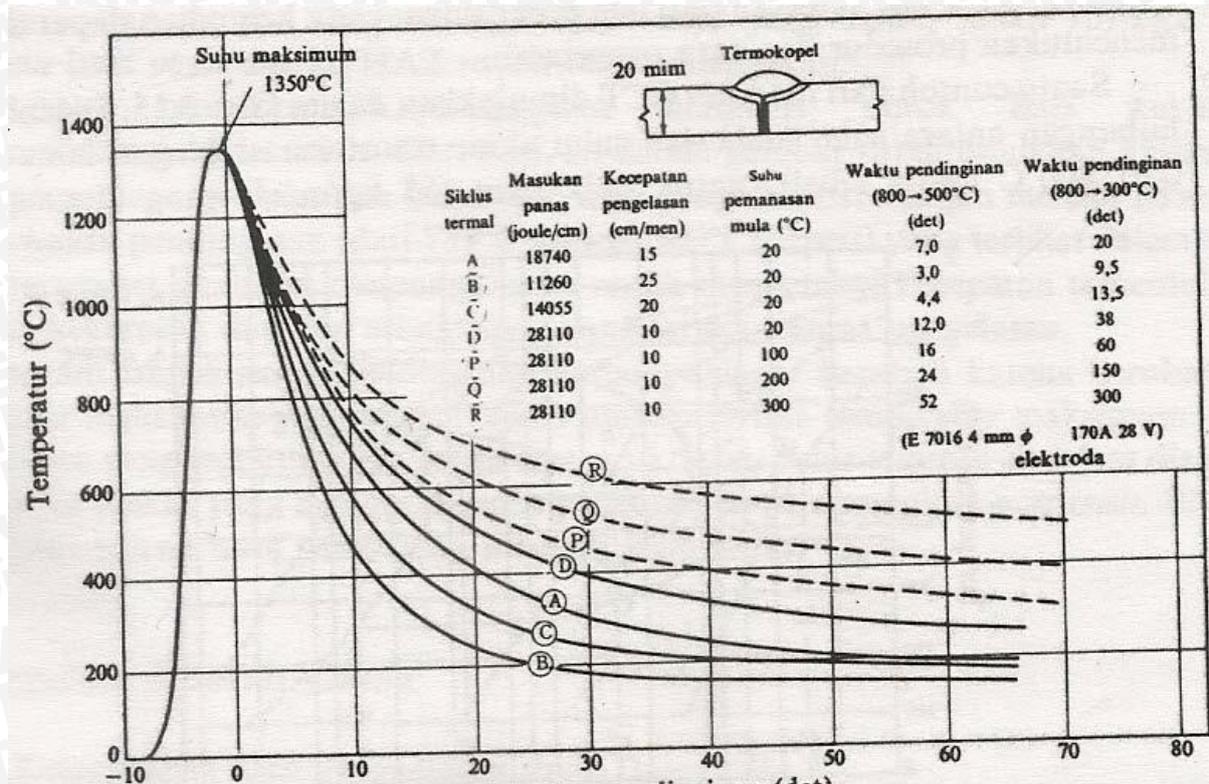
Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan, sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.3 dan gambar 2.4, menunjukkan siklus termal daerah lasan pada gambar 2.3 dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dengan kondisi pengelasan tetap, sedangkan pada gambar 2.4 menunjukkan siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan. Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone)

Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 29

Sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C, sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C. Sedangkan untuk Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.4 Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda

Sumber : Wiryosumarto, 1996 : 29

Faktor faktor yang mempengaruhi kecepatan pendinginan pada pada logam las pada siklus termal :

- Geometri las, mencakup ketebalan dari suatu benda kerja, bentuk dan ukuran dari endapan las dan sudut antara benda yang disambung.
- Karakteristik termal dari material, karakteristik termal dari material sering juga dihubungkan dengan konduktivitas termal dari material.

2.4 Preheating

Kegunaan *preheating* dapat membantu melepaskan tegangan sisa dan mencegah retak pada logam las. Gas hidrogen merupakan salah satu penyebab retak logam las, dimana gas hidrogen berdifusi pada logam yang dipanaskan dan bergerak menjauhi tempat awal dan mengalami transformasi secara metalurgi.

Dengan *preheating* akan memperlambat laju pendinginan sehingga hidrogen yang berdifusi dalam logam las dapat keluar dan tidak terperangkap dalam logam las. Selain itu *preheating* dapat mengurangi pengerasan yang terjadi di HAZ dan mengurangi pengerasan

logam dasar di dekat area las. Secara umum jika kekerasan setelah pengelasan pada HAZ tidak melebihi 35HRC atau 327 BHN, *preheating* pada baja secara umum tidak diperlukan. Perlakuan *preheating* dipengaruhi oleh komposisi kimia logam, temperatur logam atau lingkungan dan tebal material.

2.5 Laju Pendinginan (*Cooling Rate*)

Untuk pelat yang tebal (memerlukan lebih dari 6 layer dalam pengelasannya), kecepatan pendinginan yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut: (Kou, 2003:26)

$$R = \frac{2 \cdot \pi \cdot k (T_c - T_o)^2}{H_{net}} \quad (\text{Kou, 2003}) \quad (2-1)$$

dengan:

R = kecepatan pendinginan pada garis tengah las ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)

k = konduktifitas termal ($\text{J} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

T_o = temperatur awal pelat (C)

T_c = temperatur dekat temperature *Pearlite* atau “nose” dari diagram TTT ($^{\circ}\text{C}$), untuk baja,

$T_c = 550^{\circ}\text{C}$

H_{net} = masukan panas persatuan panjang ($\text{J} \cdot \text{mm}^{-1}$),

$$H_{net} = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{v} \quad (\text{Kou, 2003}) \quad (2-2)$$

dengan:

η = efisiensi sumber panas

E = tegangan (volt)

I = arus listrik (ampere)

v = kecepatan pengelasan ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)

Untuk pelat yang tipis (memerlukan kurang dari 4 layer dalam pengelasannya), kecepatan pendinginannya sebagai berikut: (Kou, 2003:27)

$$R = 2\pi \cdot k \cdot \rho \cdot C_s \cdot \left(\frac{h}{H_{net}}\right)^2 (T_c - T_o)^3 \quad (\text{Kou, 2003}) \quad (2-3)$$

dengan :

h = ketebalan logam dasar

$\rho \cdot C_s$ = panas spesifik volumetrik, untuk baja sebesar $0,0044 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$

Persamaan kecepatan pendinginan diatas berlaku untuk kecepatan pendinginan pada garis tengah las (*center line weld*). Untuk menentukan apakah suatu pelat yang digunakan merupakan pelat tebal atau pelat tipis, didefinisikan sebuah *dimensionless quantity* yang disebut dengan *the relative plate of thicknes* (τ). Persamaan kecepatan pendinginan untuk pelat tebal digunakan, apabila τ lebih besar dari 0,75 dan persamaan kecepatan pendinginan untuk pelat tipis digunakan, apabila τ kurang dari 0,75.

2.6 Baja QTS (*Quench-Tempered Steel*)

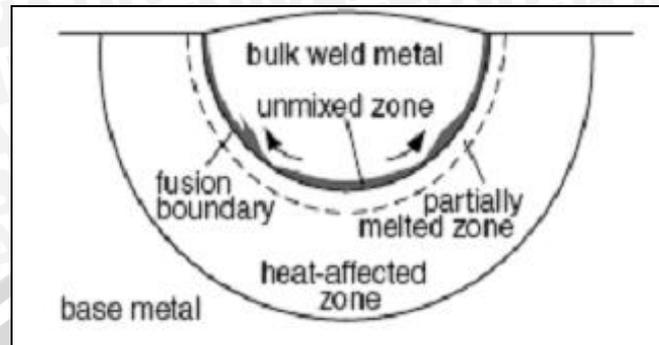
Baja *hot roll quenched* merupakan baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,29342 % yang diproduksi PT. Krakatau Steel dengan proses rol panas (pada suhu 20-30° di atas A_{C3}) yang kemudian disemprot dengan air (*quench*) yang dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan baja tersebut. Setelah itu diberikan proses *finishing* berupa proses perlakuan panas *tempering* sehingga produk pelat ini dinamakan *Hot Roll Quench-Tempered Steel* (QTS).

Tempering dilakukan untuk menurunkan tegangan dalam, melunakkan baja dan meningkatkan keuletan baja yang telah dikeraskan (Kamenichny, 1969:93). Baja yang telah melalui proses *quenching* dipanaskan pada suhu di bawah A_{C1} . Waktu *holding* yang digunakan tidak kurang dari 30-40 menit, dan pendinginan dilakukan di udara ruang. Martensit yang dihasilkan dari proses *quenching* sebagai fasa metastabil mengandung karbon sebagai larutan padat. Pada suhu di bawah A_{C1} dalam waktu yang cukup lama, larutan karbon yang lewat jenuh ini terus berubah menjadi bentuk ferit dan karbida (martensit temper) yang lebih stabil. Martensit temper ini lebih tangguh daripada martensit metastabil sehingga merupakan bahan yang banyak digunakan meskipun lebih lunak (Vlack, 1991:411).

Karena proses yang sedemikian rupa, baja QTS memiliki kekerasan yang tinggi, sehingga tidak dapat tertembus peluru. Akan tetapi baja ini memiliki kekurangan terkait sifat mampu lasnya (*weldability*). Indikasinya adalah hasil sambungan las baja ini dalam beberapa waktu tertentu mengalami retak las (*delay cracking*) dan rentannya daerah sambungan tertembus peluru. Resiko retak akan meningkat akibat adanya hidrogen selama pengelasan yang menimbulkan cacat porositas (Kou, 2003:411).

2.7 Daerah Hasil Pengelasan

Daerah hasil pengelasan secara umum dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.5 Pembagian daerah lasan.

Sumber : Kou (2003 : 254)

Daerah lasan terdiri dari 5 daerah, yaitu :

a. Logam induk (*base metal*)

Adalah logam dasar yang tidak terpengaruh, dimana panas atau suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat dari logam tersebut.

b. Logam lasan (*weld metal*)

Adalah bagian dari penggabungan logam pengisi dengan logam induk yang mencair dan kemudian membeku.

c. Daerah pengaruh panas (*heat affected zone/HAZ*)

Adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan yang cepat.

d. Daerah batas las (*fusion boundary*)

Adalah daerah batas antara daerah las (*weld metal*) dengan HAZ.

e. *Unmixed zone*

Adalah daerah cair di antara daerah batas las (*fusion boundary*) dengan HAZ yang diam selama sirkulasi logam cair.

2.8 Metode Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136 °. Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada pengujian kekerasan *brinell*. Karena bentuk penumbuknya piramid, maka pengujian ini sering

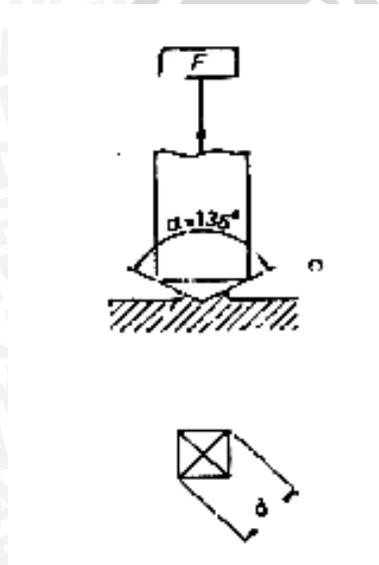
disebut pengujian piramid intan. Angka kekerasan intan, atau kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.

$$VHN = \frac{2.P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,8544P}{d} \quad (\text{Tata Surdia. 1999}) \quad (2-4)$$

Dimana : P = Beban yang diterapkan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

α = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136°)



Gambar 2.6 *Vickers test*

Sumber : Hadi Pranoto, Bardji : 8.

2.9 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian ini merupakan salah satu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui struktur mikro suatu logam dengan menggunakan mikroskop electron karena mikroskop ini mempunyai daya pengamatan lebih besar 10^{-6} - 10^{-2} cm, atau pembesaran sampai 5000-30000 kali.

Pengamatan struktur mikro didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak

terang, terang). Terhadap logam yang dihaluskan (*polish*) dicelupkan kedalam suatu larutan kimia (etsa). Mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda-beda pula. Dan bila seberkas sinar dikenakan pada permukaan tersebut akan dipantulkan sesuai dengan sudut permukaan bidang yang terkena.

Adapun tahap-tahap dalam pengujian metallografi adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan spesimen
2. *Grinding* dan *polishing*.

Spesimen yang telah dipotong selanjutnya digosok. Penggosokan dilakukan secara bertahap. Tahap pertama dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak terdapat bekas penggosokan yang terlalu dalam dan bekas penggosokan yang berupa garis-garis harus merata pada seluruh permukaan.

3. Etsa

Dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang nyata dan struktur logam melalui mikroskop elektron. Adapun larutan kimia yang digunakan dalam proses ini bermacam-macam tergantung jenis material spesimen.

2.10 Hipotesis

Preheat dalam proses pengelasan berpengaruh terhadap laju pendinginan setelah pengelasan. Semakin tinggi suhu *preheat* maka laju pendinginannya semakin rendah. Laju pendinginan yang rendah akan menghasilkan struktur butiran besar dan kekerasan yang semakin rendah.