

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Chatur (2006) melakukan penelitian tentang pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan kekuatan tarik hasil pengelasan plat baja dengan las *Metal Inert Gas*. Dengan media pendingin air, udara, minyak tanah dan oli diperoleh data nilai tingkat kekerasan dari beberapa jenis media pendingin 159,6 HRC (Air); 152,4 HRC (Minyak tanah); 147,0 HRC (Oli); 146,6 HRC (Udara). Tingkat nilai kekerasan tertinggi mulai dari air, lalu diikuti oleh minyak tanah, oli, dan udara. Dilihat dari kekuatan tariknya, pendinginan dengan udara memiliki kekuatan tarik terendah yaitu $183,05 \text{ N/mm}^2$, diikuti minyak tanah ($244,18 \text{ N/mm}^2$), air ($263,04 \text{ N/mm}^2$), dan oli ($264,4 \text{ N/mm}^2$). Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan menurun seiring dengan laju pendinginan yang semakin rendah, karena air memiliki kapasitas pendinginan yang tinggi sehingga laju pendinginan juga tinggi sehingga air memiliki nilai kekerasan tertinggi. Kekuatan tarik paling rendah yaitu kekuatan tarik yang diperoleh dari pendinginan udara.

Khoirur (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh pendinginan hasil las MIG (*Metal Inert Gas*) dengan berbagai media pendingin terhadap kekerasan jalur las dan sekitarnya. Hasil penelitian rata-rata nilai kekerasan tertinggi pada media pendingin yang berbeda, yakni pada media air garam 79,802 HRB, kemudian air 78,923 HRB, lalu media oli 75,128 HRB. Laju pendinginan berpengaruh terhadap nilai kekerasan dalam pengelasan baja St 41, semakin cepat laju pendinginan nilai kekerasan semakin tinggi.

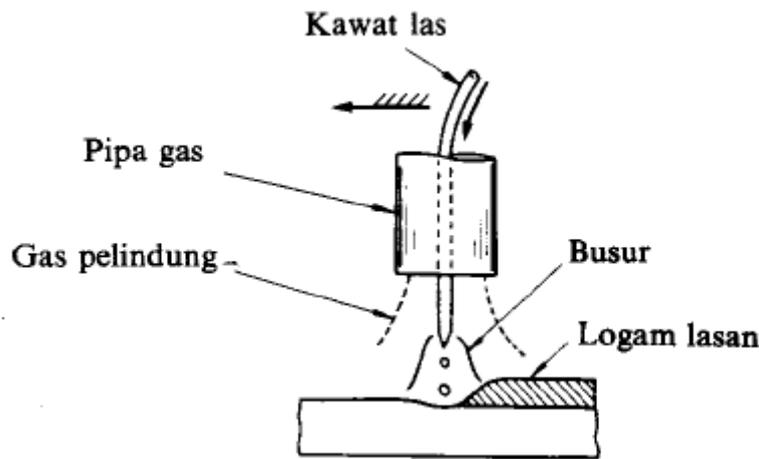
2.2 Proses Pengelasan

2.2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan diartikan sebagai proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah serta menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Las menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (1994) adalah “penyambungan besi dengan cara membakar”.

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) dalam Harsono dkk (1991:1), mendefinisikan bahwa “las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair”. Sedangkan menurut Maman Suratman (2001:1) mengatakan tentang pengertian mengelas yaitu salah satu cara menyambung dua bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas.



Gambar 2.2. Las GMAW

Sumber : Wiryosumarto, 1985: 16

Pada pengelasan GMAW gas yang digunakan merupakan gas mulia, karena sifatnya stabil dan tidak mudah bereaksi dengan unsur lain. Fungsi gas pelindung adalah melindungi busur listrik dan logam las dari kontaminasi udara luar. Beberapa alasan las GMAW lebih sering memakai gas argon (Ar) sebagai gas pelindung antara lain:

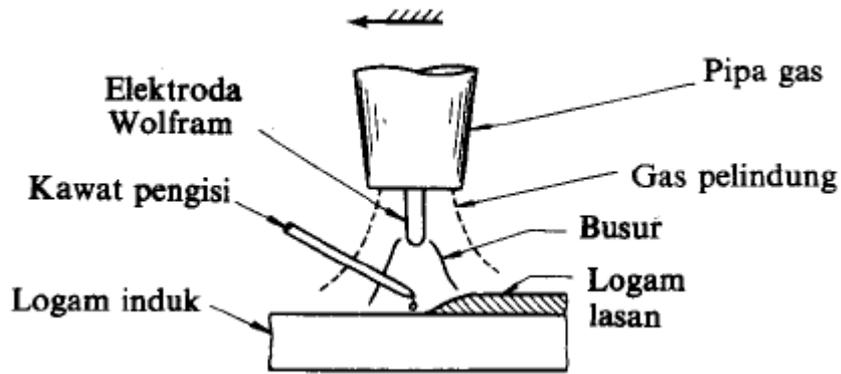
1. Membuat busur lebih stabil dan halus serta mengurangi percikan.
2. Argon lebih mudah mengion sehingga tidak memerlukan tegangan busur yang tinggi.
3. Penghantar panas argon yang rendah menyebabkan pengaliran panas melalui busur listrik lambat sehingga baik untuk plat logam yang tipis.

3. FCAW

Pada dasarnya pengelasan dengan FCAW merupakan proses pengelasan yang mirip dengan GMAW / MIG dan menggunakan kawat Las berinti Flux.

4. GTAW (TIG)

GTAW adalah Proses pengelasan dengan elektroda tak terumpan menggunakan busur listrik sebagai sumber panas dan menggunakan gas pelindung inert / gas mulia.



Gambar 2.3. Las TIG
Sumber : Wiryo Sumarto, 1985: 16

5. PAW

PAW adalah proses pengelasan dengan pelindung gas dimana panas timbul akibat busur elektroda dengan BK. Busur dipersempit oleh orifice tembaga paduan yang terletak antara elektroda dan BK. Plasma dibentuk oleh ionisasi bagian gas yang melewati orifice.

Pada PAW, sebuah elektroda tungsten digunakan sama seperti pada GTAW. Dua aliran gas yang terpisah melewati torch. Satu aliran mengelilingi elektroda didalam badan orifis dan melalui orifis, terjadi penyempitan busur untuk membentuk plasma panas. Gas yang digunakan adalah gas mulia dan biasanya adalah argon. Aliran gas lainnya yaitu gas pelindung lewat diantara badan orifis dan di bagian luar pelindung. Gas ini melindungi logam cair dan busur dari kontaminasi oleh lingkungan sekitarnya. Gas mulia, seperti argon, juga bisa digunakan untuk pelindung, tapi campuran gas yang tak teroksidasi, seperti argon dengan 5 % hydrogen, bisa juga dimanfaatkan.

6. SAW

Secara bahasa SAW adalah pengelasan busur rendam. SAW adalah proses Pengelasan busur mirip dengan GMAW tetapi secara bersamaan diumpankan flux untuk melindungi proses menggantikan gas pelindung.

7. Electroslag Welding (ESW)

ESW adalah suatu proses las otomatis dengan laju deposit tinggi yang digunakan untuk mengelas logam dengan tebal 2 inci atau lebih secara vertical.

B. Solid State Welding

Solid state welding adalah proses pengelasan dengan tekanan dan, atau tanpa panas.

Berikut jenis-jenis pengelasan yang termasuk ke dalam jenis solid state welding:

- Explosion Welding
- Forge Welding
- Friction Welding
- Radial Friction Welding
- Ultrasonic Welding
- Roll Welding
- Cold Welding

Proses brazing adalah proses penyatuan logam-logam dengan logam pengisi yang mencair di atas temperatur 840 °F (di bawah temperature cair logam induk).

Berikut jenis-jenis pengelasan yang termasuk ke dalam jenis proses brazing:

- Torch Brazing
- Furnace Brazing
- Induction Brazing
- Dip Brazing
- Resistance Brazing
- Diffusion Brazing
- Exothermic Brazing
- Brazing with clad Brazing materials

C. Proses Soldering

Proses soldering adalah proses pengelasan dengan logam pengisi yang mencair dibawah temperature 840⁰ F umumnya logam pengisi menggunakan Timah.

Berikut jenis-jenis pengelasan yang termasuk kedalam jenis proses soldering:

- Iron Soldering
- Torch Soldering
- Furnace and Infrared Soldering
- Dip Soldering
- Hot Gas Soldering
- Induction Soldering

- Wave Soldering

Brazing dan soldering adalah proses penyambungan dengan menggunakan efek kapilaritas. Dimana efek kapilaritas adalah gaya tarik logam yang disambung terhadap logam pengisi cair sehingga permukaan sambungan dikontak oleh logam pengisi dengan syarat jarak antara dua logam harus dekat.

2.3 Pengelasan Baja Karbon

2.3.1 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu (Wiryosumarto, 1985: 89). Pada baja ini kadar karbon sangat mempengaruhi sifat bajanya, sehingga dikelompokkan berdasarkan kadar karbon yang dikandung:

- Baja karbon rendah, memiliki kadar kandungan karbon kurang dari 0,3%
- Baja karbon sedang, memiliki kadar kandungan kandungan karbon 0,3% - 0,45%
- Baja karbon tinggi, memiliki kadar kandungan kandungan karbon 0,45% - 1,70%

Bila kadar karbon tinggi maka kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi namun perpanjangannya menurun. Hal ini juga dapat dilihat dari tabel berikut:

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 : Wiryosumarto, 1985: 90

A. Pengelasan Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah banyak digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon rendah memiliki kepekaan retak las yang rendah apabila dibandingkan dengan baja karbon sedang ataupun tinggi. Tetapi retak las dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau terdapat belerang bebas yang cukup tinggi pada baja tersebut. Baja karbon rendah dapat

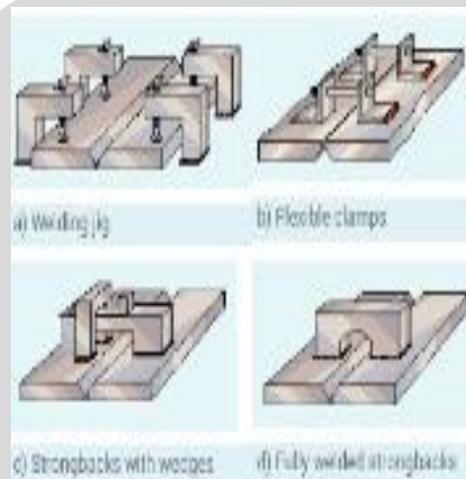
dilas menggunakan semua metode pengelasan. Baja karbon rendah merupakan baja yang mudah dilas.

B. Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Tinggi

Baja karbon sedang maupun baja karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya *hydrogen* difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las.

2.4 Jig and Fixtures

Digunakan untuk membantu proses pengelasan yang bertujuan untuk mempertahankan dimensi benda kerja pada saat dilas.



Gambar 2.4 Jig and Fixtures
Sumber : Dan, 2004

2.4.1 Flexible Clamp

Merupakan sebuah penjepit yang berfungsi untuk mempertahankan posisi benda pada saat pengelasan sehingga tidak mengalami pergeseran pada saat proses pengelasan.

2.4.2 Strongback

Strongback adalah sebuah metode atau teknik yang digunakan untuk mengontrol dampak *distorsi* yang terjadi pada hasil pengelasan. Penggunaan *strongback* banyak digunakan untuk proses *maintenance*.

Strongback digunakan di seluruh dunia pada industri minyak dan eksplorasi gas, pengeboran, transportasi, dan kegiatan penyulingan. Metode ini merupakan metode perbaikan pipa dan solusi perawatan yang dipilih oleh para insinyur petrokimia berpengalaman untuk kekuatan, fleksibilitas dan kesederhanaan aplikasi.

Dalam sebuah industri di mana kontinuitas layanan penting, *strongback* menyediakan perbaikan yang cepat dan aman tanpa perlu mengeluarkan pipa dari layanan. Tidak memerlukan kerja keras, dan tidak ada alat khusus atau pelatihan ekstensif.

Strongback idealnya cocok untuk kondisi lingkungan yang merugikan dan dimana persiapan yang baik sukar dilakukan. Dengan prosedur instalasi yang tepat lumpur, air, salju dan es tidak akan mengganggu efektivitas dari *strongback*. *Strongback* banyak digunakan mulai dari daerah hutan khatulistiwa hingga gurun.



Gambar 2.5 Aplikasi *Strongback*
Sumber : *Industry*, 2014

2.5 Tegangan Sisa (*Distorsi*)

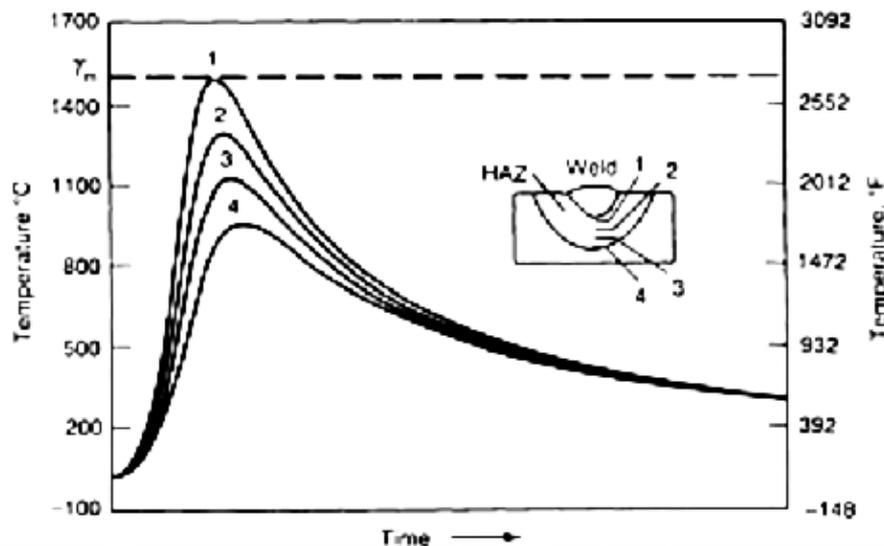
Dalam pengelasan tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan jalan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil celah akar pada alas.

2.6 Masukan Panas (*Heat Input*)

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan. Struktur dan sifat mekanik pada HAZ sangat dipengaruhi oleh siklus termal yang terjadi dimana proses pemanasan dan pendinginan terjadi di daerah lasan. Jumlah masukan panas dan lamanya pendinginan pada suatu daerah tertentu sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil lasan. Struktur logam pada HAZ berubah secara perlahan dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini yang disebut dengan batas las (Wirjosumarto, 1985: 65).

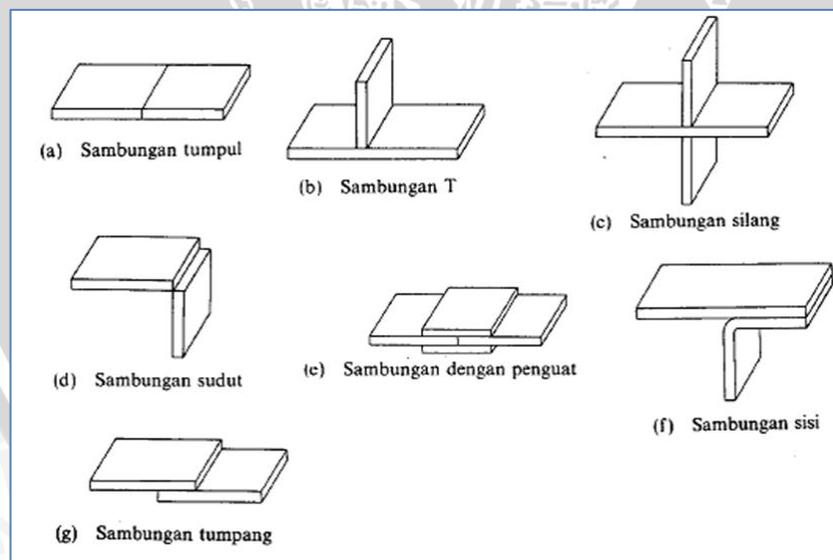
Struktur mikro dan sifat mekanik daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin

terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C (Wirjosumarto, 1985: 59).



Gambar 2.6 Siklus Termal Las
Sumber: ASM Handbook Vol. VI

2.7 Klasifikasi Sambungan Las



Gambar 2.7 Jenis- Jenis Sambungan
Sumber: Wirjosumarto, 1985: 157

Pada dasarnya jenis sambungan pada pengelasan dibagi atas:

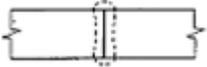
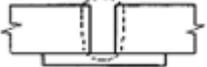
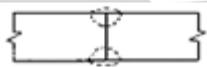
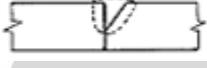
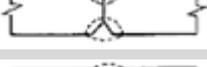
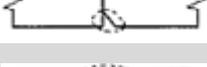
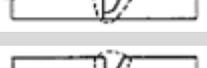
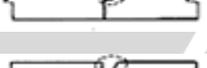
1. Sambungan tumpul
2. Sambungan T
3. Sambungan Silang

4. Sambungan Sudut
5. Sambungan dengan Penguat
6. Sambungan Sisi
7. Sambungan Tumpang

2.8 Jenis dan Bentuk Kampuh (Alur) Las

Bentuk kampuh pada sambungan las sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan dan jaminan konstruksi yang akan dilas. Dalam memilih bentuk kampuh las harus memperhatikan ketebalan material yang akan disambung.

Tabel 2.2 Alur Sambungan Las Tumpang

Jenis Alur / Jenis Lasan	Lasan dengan Alur		
	Lasan Penetrasi Penuh Tanpa Plat Penahan	Lasan Penetrasi Penuh dengan Plat Penahan	Lasan Penetrasi Sebagian
Persegi (t)			
V Tunggal (V)			
Tirus Tunggal (V)			
U Tunggal (U)			
V Ganda (X)			
Tirus Ganda (K)			
U Ganda (H) (DU)			
J Tunggal (J)		-	
J Ganda (DJ)		-	

Sumber: Wiryosumarto, 1985: 158

Salah satu jenis kampuh yang sering digunakan didalam pengelasan adalah model *single vee*. Dalam penelitian ini jenis kampuh yang digunakan model *single vee* 30°, 45° dan 60°. Standar untuk model *single vee* dari AWS (*American Welding Society*) adalah 30°.

2.9 Parameter Pengelasan

1. Tegangan Busur Las

Tingginya tegangan busur berdasarkan pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis dari elektroda yang digunakan.

2. Besar Arus Las

Besarnya arus las yang digunakan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan dan jenis elektroda.

3. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan las berbanding lurus dengan arus las. Kecepatan las bergantung pada jenis elektroda, diameter elektroda, bahan yang akan dilas dan sebagainya.

4. Polaritas Listrik

Pemilihan polaritas tergantung dari bahan pembungkus elektroda, kapasitas panas dari elektroda dan sebagainya.

5. Penetrasi

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang cukup diperlukan penetrasi yang cukup.

6. Beberapa Kondisi Standar dalam Pengelasan

Kondisi standar dalam pengelasan harus dilaksanakan agar mendapatkan hasil yang baik.

2.10 Daerah Pengaruh Panas (*Heat Affected Zone*)

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. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Daerah HAZ memiliki tiga daerah pengelasan yaitu :

1. Daerah logam induk adalah daerah yang tidak mengalami perubahan mikro struktur.
2. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan mikrostruktur karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan.
3. Daerah las merupakan daerah terjadinya pencairan logam dan kemudian secara cepat mengalami pembekuan.

2.11 Langkah-Langkah Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan beberapa tahap agar mendapatkan hasil yang sesuai standart. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengelasan adalah sebagai berikut:

1. Pengecekan.

Pengecekan ini dilakukan untuk mengetahui panjang robekan dan kedalaman robekan. Untuk mengetahui panjang robekan dapat diukur menggunakan alat pengukur, sedangkan untuk mengetahui kedalaman robekan dapat dilakukan dengan alat *ultra sonic*.

2. Perataan dan Pembersihan

Perataan dilakukan untuk meratakan permukaan robekan menggunakan gerinda untuk memudahkan proses pengelasan. Setelah melakukan perataan, permukaan robekan dibersihkan dan dipenetrasi untuk mencek permukaan apakah sudah bersih atau tidak.

3. Pengelasan.

Dalam proses pengelasan harus dilihat prosedur pengelasan atau WPS (*Welding Procedure Spesification*) sebagai pedoman dalam pelaksanaan pengelasan dan mendapatkan hasil kualitas las yang sesuai dengan standar.

4. *Quality Control*

Setelah melakukan pengelasan dilakukan *Quality Control* yang bertujuan untuk melihat hasil pengelasan apakah terdapat cacat pengelasan atau tidak. Oleh karena itu setiap proses pengelasan harus diikuti rangkaian pemeriksaan seperti :

a. Penetrant Test

Suatu metode NDT yang cepat dan handal untuk mendeteksi cacat pada permukaan yang terbuka dari suatu hasil pengelasan yang terbuat dari material yang nonporous dan yang mempunyai cacat yang terlalu kecil untuk dapat dideteksi dengan pemeriksaan visual yang biasa.

b. Ultrasonic Test

Inspeksi Ultrasonik merupakan suatu metode NDT yang sangat sensitif untuk menginspeksi hasil pengelasan yang terbuat dari metal, non metal, dan non magnetik. Dengan metoda ultrasonik ini, dapat diketahui estimasi letak dan ukuran cacat yang kecil walaupun hanya satu sisi permukaan hasil pengelasan yang dapat diakses serta mampu mendeteksi cacat internal, cacat di permukaan, dan menentukan karaktersitik perekatan (*bond characteristic*), juga

untuk mengukur ketebalan dan lebar korosi. Kesuksesan dari inspeksi ultrasonik sangat tergantung pada kondisi permukaan subjek, ukuran butir dan arah butir, dan impedansi magnetik.

c. *Radiographic Test*

Inspeksi Radiographic merupakan suatu metode NDT yang sangat sensitif untuk menginspeksi hasil pengelasan. Metoda Radiographic ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film ini lah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat.

d. *Vacuum Test*

Vacuum test merupakan salah satu cara untuk menguji hasil pengelasan. Dengan *Vacuum test* ini dapat diketahui ada tidak tidaknya kebocoran pada hasil pengelasan. *Vacuum test* dilakukan pada hasil pengelasan yang hanya satu sisi pengelasan yang dapat dilihat dan umumnya digunakan sebagai tempat yang berfungsi sebagai fluida *storage tank*.

e. *Leak Test*

Leak test merupakan salah satu jenis pengujian las yang digunakan untuk mengetahui ada tidak nya kebocoran pada hasil lasan. Pengujian jenis ini hanya bisa dilakukan untuk bidang lasan yang kedua sisi nya dapat diamati.

2.12 Uji Kekerasan *Vickers (Vickers Hardness Test)*

Pada uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara permukaan-permukaan piramida adalah 136°. Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *Brinell*. Angka kekerasan piramida intan (DPH) atau angka kekerasan *Vickers* (VHV) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. DPH dapat ditentukan dengan persamaan:

$$DPH = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,845 P}{L^2} \quad (2-1)$$

Dengan:

P = Beban yang diterapkan (kgf)

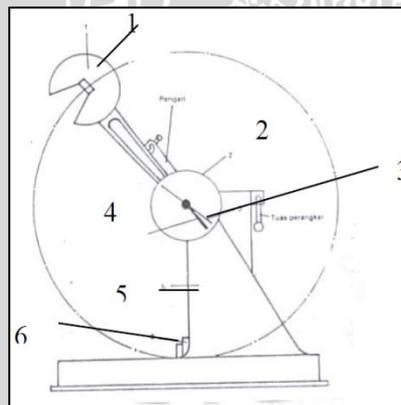
L = Panjang diagonal rata-rata (mm^2)

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

2.13 Uji Kekuatan *Impact*

Ketangguhan adalah tahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan (takikan yang tajam). Tujuan utama dari pengujian impak adalah untuk mengukur kegetasan atau keuletan bahan terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba). Metode yang sering digunakan adalah metode *charpy* dengan menggunakan benda uji standar. Pada pengujian pukul takik (*impact test*) digunakan batang uji yang bertakik (*notch*).

Pada metode *charpy*, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. Bandul akan berayun memukul batang uji tepat dibelakang takikan. Untuk pengujian ini akan digunakan sebuah mesin dimana sebuah batang dapat berayun dengan bebas. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat. Batang uji diletakkan di bagian bawah mesin dan takikan tepat pada bidang lintasan pemukul.



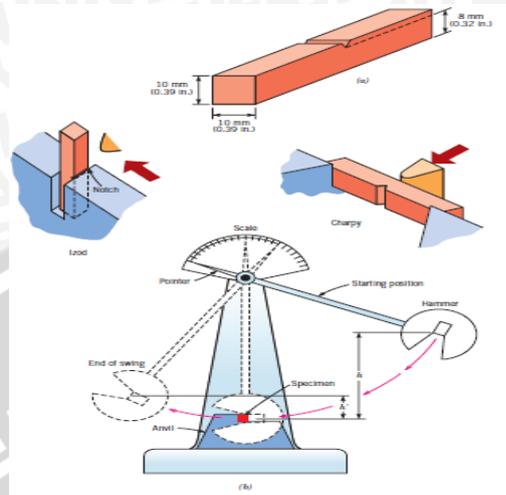
Gambar 2.8 Pengujian Kekuatan *Impact*

Sumber: Supardi, 1996

Keterangan:

1. Pendulum
2. Piring busur derajat
3. Jarum penunjuk sudut
4. Batang pembawa jarum

5. Badan mesin uji
6. Tempat benda uji dipasang



Gambar 2.9 Pengujian *Impact Charpy*
Sumber: Callister, 2007

Proses pengujian *impact* dilakukan dengan mengangkat pendulum menggunakan roda pemutar hingga sudut tertentu. Kemudian menentukan sudut *dry run* terlebih dahulu sehingga mendapatkan sudut dari energi yang dilepaskan mesin karena kerugian mekanik mesin dengan cara melepas pendulum. Lalu benda kerja ditaruh di tempat benda uji dengan posisi *notch* membelakangi pendulum. Lalu dilakukan pengujian dengan cara melepas pendulum sehingga jatuh mengenai benda kerja dan mendapatkan sudut dari energi yang diserap oleh benda kerja.

Besarnya energi potensial yang dibutuhkan pendulum sebelum mematahkan spesimen adalah energi gesek.

$$\begin{aligned} E_{gesek} &= m \cdot g \cdot a \\ &= w \cdot a \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned} a &= R - R \cdot \sin(90^\circ \cos \beta_1) \\ &= R - R(\sin 90^\circ \cos \beta_1 - \cos 90^\circ \sin \beta_1) \\ &= R - R(1 - \cos \beta_1 - 0) \\ &= R(1 - \cos \beta_1) \end{aligned} \quad (2-3)$$

$$\begin{aligned} E_{gesek} &= w \cdot a \\ &= w \cdot R(1 - \cos \beta_1) \end{aligned} \quad (2-4)$$

Besarnya energi potensial yang dibutuhkan setelah mematahkan spesimen adalah energi patah.

$$\begin{aligned} E_{patah} &= m \cdot g \cdot b \\ &= w \cdot b \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$\begin{aligned} b &= R - R \cdot \sin(90^\circ - \beta_2) \\ &= R - R (\sin 90^\circ \cos \beta_2 - \cos 90^\circ \sin \beta_2) \\ &= R - R (1 - \cos \beta_2 - 0) \\ &= R (1 - \cos \beta_2) \end{aligned} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} E_{patah} &= w \cdot b \\ &= w \cdot R (1 - \cos \beta_2) \end{aligned} \quad (2-7)$$

Energi yang digunakan untuk memecahkan spesimen balok adalah:

$$\begin{aligned} E_{serap} &= E_{gesek} - E_{patah} \\ &= w \cdot R (1 - \cos \beta_1) - w \cdot R (1 - \cos \beta_2) \\ &= w \cdot R (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \end{aligned} \quad (2-8)$$

Setelah diketahui besarnya energi yang diperlukan pendulum untuk mematahkan spesimen, maka besarnya kekuatan atau energi *impact* dapat dihitung dengan persamaan. (Shackelford, 1992)

$$\text{Harga } impact = \frac{E_{serap}}{A} = \frac{w \cdot R (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)}{A} \quad (2-9)$$

Dimana:

R = Panjang lengan pendulum (*m*)

W = Berat pendulum (*N*)

m = Massa pendulum (*kg*)

g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

A = Luas penampang patahan spesimen (mm^2)

2.14 Hipotesa

Hipotesis dari penelitian ini penambahan *strongback* dan perbedaan sudut kampuh memiliki pengaruh pada kekuatan *impact* dan kekerasan dari baja ST 42. Kekuatan tersebut dipengaruhi oleh penambahan *strongback* pada hasil pengelasan memiliki kekuatan *impact* yang berbeda dengan hasil lasan yang tidak diberi penambahan *strongback*.