

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Referensi pertama dari eksperimen atau penelitian sebelumnya adalah penelitian tentang “Effect Of Post Weld Heat Treatment On Microstructure And Mechanical Properties Of Gas Tungsten Arc Welded AA6061-T6 Alloy”, pada penelitian tersebut menggunakan metode pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan elektroda (*Filler Metal*) ER5356, dilakukan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dan tanpa perlakuan pemanasan non-PWHT pada material pengelasan, dengan pemanasan didalam pemanas elektrik (*Furnance Electric*) dengan suhu 560°C selama 1 jam, setelah itu didinginkan menggunakan air bersuhu 50°C atau air hangat dan dilakukan pengerasan buatan (*Artifical Aging*) menggunakan suhu 175°C selama 8 jam kemudian didinginkan kembali dengan air bersuhu 25°C hingga mencapai suhu normal. daerah HAZ 1 dan weld metal cenderung lebih rendah kekuatannya serta strukturnya pun berbeda dari pada base metal dan HAZ 2, diketahui dari pengamatan nanoindentasi terdapat dengan material non-PWHT yakni WM 1,1 GPa, HAZ1 1,15 GPa, HAZ2 2,08 GPa, BM 1,9 Gpa dan setelah di PWHT mengalami peningkatan WM 1,6 Gpa, HAZ1 2,0 Gpa, HAZ2 1,9 Gpa, BM 2,1 Gpa (Fadaeifard et al, 2016)

Penelitian kedua yaitu penelitian tentang “Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) T6 Pada Aluminium Alloy 6061-O Dan Pengelasan Longitudinal Tungsten Inert Gas Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro”, perlakuan panas PWHT dengan suhu 520°C selama 1 jam di Quenching dengan air, kemudian dilakukan pengerasan buatan (*Artifical Aging*) dengan suhu 175°C variasi waktu holding 8, 12, 24jam dan di dinginkan secara narutal (suhu ruang). Kekerasan terendah dari non-PWHT terletak pada daerah base metal (BM) sebesar 44,6HV, dari dari variasi waktu tersebut selama 18jam memiliki nilai kekerasan terkecil di area weld metal (WM) 79,7HV, berbeda dengan waktu penahan 8jam diketahui nilai kekerasan terbesar pada weld metal (WM) 108,7HV, (HAZ) 109.7HV dan pada waktu penahanan 24jam mengalami proses over-aging.

Dari pengamatan struktur mikro terlihat adanya perbedaan struktur butir dari material yang di PWHT dan non-PWHT, material non-PWHT memiliki ukuran butir yang lebih besar dibanding material yang di-PWHT (Randhiko et al, 2014)

Penelitian selanjutnya adalah "Effect Of Post Weld Heat Treatment On Properties Of Variable Polarity TIG Welded AA2219 Aluminium Alloy Joints", Aluminium AA2219 dengan ketebalan 8 mm dilas menggunakan elektroda (*Filler*) ER2325 menggunakan kampun single V-groove 75°, kemudian di PWHT dengan suhu 535°C waktu holding 30 menit dan di quenching menggunakan media air, selanjutnya di lakukan artificial aging atau pengerasan buatan dengan perlakuan panas 175°C waktu holding 12 jam dan dibiarkan dingin selama di furnace. Berdasarkan nilai kekerasan dengan variable spesimen PWHT dan non-PWHT, diketahui nilai kekerasan dari spesimen yang non-PWHT sebesar 133,7HV (BM), 69,8HV (WM), 82,2HV (HAZ) dan sesudah di PWHT terjadi peningkatan kekerasan di daerah (BM) 135HV, (WM) 75,6HV, (HAZ) 82,2HV (Ji-Kun Ding et al, 2014)

Penelitian berikutnya adalah "Effects Of Post Weld Heat Treatment On Aluminium Alloy 7075 In Gas Metal Arc Welding", eksperimen tersebut melakukan perlakuan PWHT (Post Weld Heat Treatmen) dengan variable suhu furnace 200°C dan 250°C selama 1jam kemudian di aging dengan suhu rendah 80°C dan 110°C waktu holding selama 20 dan 24 jam dan di dinginkan menggunakan udara, dari nilai kekerasan dengan PWHT 200°C 1jam dengan aging 80°C holding 20 jam diketahui angka maksimum sebesar 121,04 HV, dan selanjutnya dengan PWHT 250°C 1 jam dengan aging 110°C 24 jam diketahui angka maksimum dari kekerasan tersebut yakni 65,66 HV, terjadi over aging pada saat holding selama 24 jam yang disebabkan oleh faktor suhu dan waktu tahan (Prachya, 2012)

Penelitian dari Kurniawan et al, (2020) "Pengaruh Media Pendingin Air Tawar, Air Coolant, dan Udara Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Las MIG (*Metal Inert Gas*) dan MAG (*Metal Active Gas*) Aluminium 6061", diketahui nilai kekerasan rata-rata dari variasi media pendingin hasil

pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*), MIG air tawar 79 VHN, MIG air coolant sebesar 73 VHN, MIG udara sebesar 70 VHN. Sedangkan rata-rata dari pengelasan MAG (*Metal Active Gas*) media pendingin air tawar sebesar 81 VHN, MAG air coolant sebesar 80 VHN, MAG udara sebesar 70 VHN. Kesimpulan dari pengelasan MAG dan MIG dengan media pendingin air tawar, menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 81 VHN pada MIG dan pengelasan MIG memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 79 VHN pada media pendingin air. Bahwasannya media pendingin air tawar lebih mendominasi nilai kekerasan tertinggi dari pada coolant dan udara.

Penelitian berikutnya dari Triansyah & Jokosisworo (2017) meneliti tentang “Pengaruh Suhu Pendinginan Dengan Media Air Terhadap Hasil Pengelasan Pada Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Aluminium 5083 Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas)”, menyimpulkan bahwa variasi pendinginan yang dilakukan menggunakan media air dengan suhu media pendingin yakni 10°C, 25°C, 50°C, 95°C dan tanpa pelakuan pendinginan. Diketahui pada suhu 95°C didapatkan kekuatan tarik yang paling baik atau optimal dengan nilai regangan tertinggi diantara media pendingin lainnya yaitu sebesar 130,18 N/mm<sup>2</sup> serta regangan terendah pada suhu 25°C = 108,97 N/mm<sup>2</sup> dan tanpa pendinginan sebesar = 102,71 N/mm<sup>2</sup>.

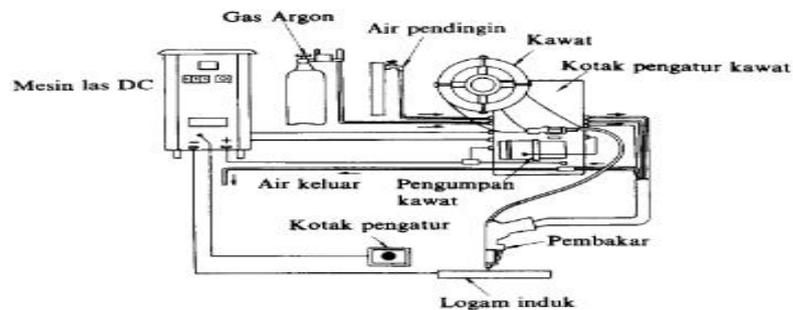
Penelitian sebelumnya oleh Andrea Tri Wibowo et al, (2014) melakukan penelitian “Pengaruh Heat Treatment T6 Pada Aluminium Alloy 6061-O Dan Pengelasan Transfersal Tungsten Inert Gas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro”, spesimen uji hasil pengelasan diberi perlakuan panas PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dengan temperatur solution 520°C selama 1 jam dan di *quenching* menggunakan media air dingin, kemudian dilakukan perlakuan panas *artificial aging* dengan temperatur 180°C selama 8 jam, 18 jam, dan 24 jam. Diketahui bahwa nilai kekerasan dari aluminium tanpa PWHT memiliki nilai kekerasa terendah terletak pada base metal yaitu 44,5 HV, baik di daerah las (*Weld Zone*), daerah HAZ maupun base metal (BM). Begitu juga saat pemanasan selama 24 jam memiliki nilai kekerasan yang terkecil di daerah las (*Weld Zone*).

Hasil penelitian dari Andri Arianata (2018) yang meneliti tentang “Pengaruh Variasi Media Pendinginan (Air Sumur, Udara dan Oli SAE40) Terhadap Hasil Pengecoran (Al) Menggunakan Cetakan Pasir CO<sub>2</sub>”, pada penelitian ini digunakan media pendingin yaitu air sumur, udara suhu kamar dan oli SAE40, pengukuran dari proses pencelupan spesimen pada media pendingin dilakukan durasi setiap 10 menit dengan waktu lama pendinginan selama 1 jam. Menyimpulkan bahwa penurunan suhu pada media pendingin dari 10 menit ke-2 sampai penurunan suhu ke-6 variasi pendinginan dengan media oli SAE40 menjadi yang tertinggi dari variasi pendinginan air sumur dan udara suhu kamar, Dari pengujian kekesaran pada pendinginan air sumur didapatkan nilai 39,01 HRb, lebih keras dibandingkan dengan pendinginan oli SAE40 dengan nilai 36,10 HRb dan nilai dari pendinginan udara suhu kamar yaitu 26,34 HRb.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) MIG (*Metal Inert Gas*)

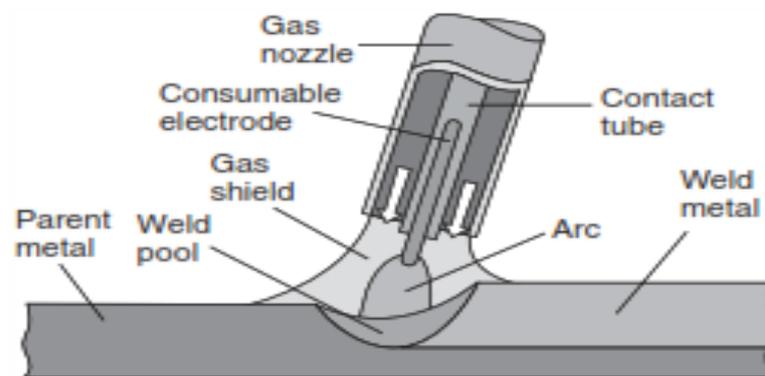
GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) MIG (*Metal Inert Gas*) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda yang keluar dari nozzle bersamaan dengan gas pelindung, dalam pengelasan perlu diperhatikan prosedur-prosedur pengelasan dan menghindari segala bentuk faktor yang dapat menyebabkan cacat las (Jukliv & Yoedhawan, 2014). skema dari mesin las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar :2.1 Skema Mesin Las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Sumber :(Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Metode pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) ini menggunakan gas mulia argon murni sebagai pelindung busur, gas pelindung digunakan untuk menghindari terjadinya proses oksidasi dari proses pengelasan dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer (Fakri & Juhan, 2019). Proses pengelasan busur gas yang menggunakan kawat logam (*filler*) sebagai elektroda dan gabungan antara logam pengisi dengan gas mulia sebagai pelindung, logam pengisi ditambahkan ke dalam logam yang dilas secara otomatis atau secara terus-menerus, diilustrasikan pada gambar 2.2.

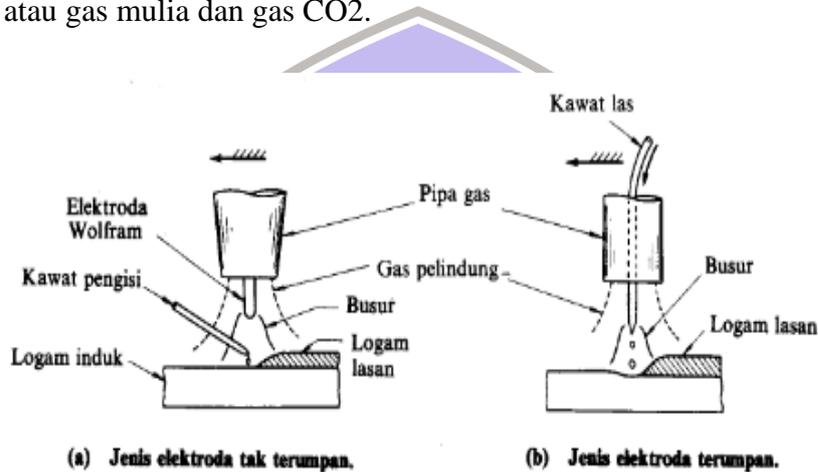


Gambar :2.2 skema proses pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Sumber :(Mathers, 2002)

Ada beberapa keunggulan dari pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dibandingkan dari metode pengelasan yang lainnya, seperti produktivitas tinggi, penetrasi yang lebih baik, tidak perlu fluks, percikan kecil, dan mampu untuk digunakan di semua posisi pengelasan. Karena dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan yang lebih rendah melalui peningkatan efisiensi bahan bakar, pengurangan berat, dan kapasitas beban, metode pengelasan tersebut lebih banyak digunakan pada produksi seperti bagian komponen part mesin maupun konstruksi yang bahan utamanya terbuat dari aluminium bukan baja. Pengelasan dengan metode ini terutama pada bahan material aluminium semakin banyak digunakan dalam industri otomotif, konstruksi dan juga kereta api karena bobotnya yang sangat ringan dan kuat (Guo, Hu, & Tsai, 2009).

Las GMAW dibagi menjadi dua pengelompokan diantaranya yaitu kelompok elektroda tak terumpan dan kelompok elektroda terumpan. Seperti pada gambar 2.3 di bawah ini yakni kelompok elektroda tak terumpan menggunakan batang wolfram sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa ikut mencair, sedangkan kelompok elektroda terumpan sebagai elektrodanya digunakan yaitu kawat las (*filler*). Kelompok elektroda terumpan terkadang juga dikelompokkan lagi menjadi dua jenis berdasarkan kawat elektroda yang digunakan, yaitu jenis kawat elektroda pejal dan jenis kawat elektroda dengan inti fluks. Di dalam pengelompokan ini digunakan dua macam gas pelindung yaitu inert gas atau gas mulia dan gas CO<sub>2</sub>.



Gambar :2.3 Skema Elektroda Terumpan Dan Tak Terumpan

Sumber :(Wiryosumarto & Okumura, 2000)

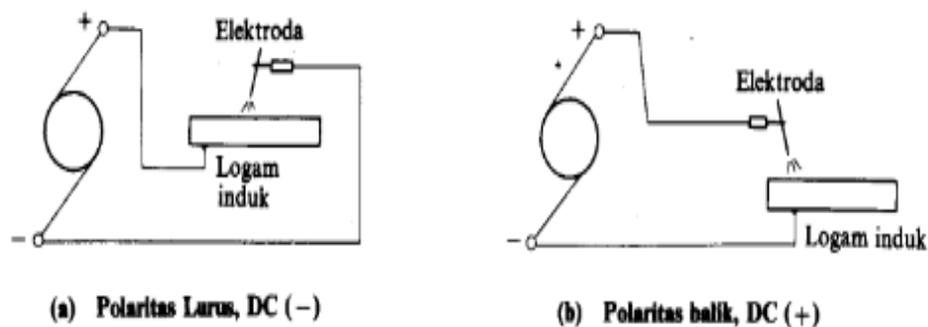
### 2.2.2 Parameter Pengelasan

Menurut Sonawan & Suratman, (2006) didalam pengelasan, untuk mencairkan logam induk dan logam pengisi diperlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam metode pengelasan berasal dari bermacam- macam sumber yang tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari parameter arus las. Menurut Budiarsa, (2008) mengatakan bahwa besarnya arus listrik serta kecepatan volume alir gas adalah salah satu contoh dari parameter dalam pengelasan dan dapat mempengaruhi hasil

pengelasan las GMAW-MIG pada Aluminium. semakin tinggi arus listrik yang digunakan dalam pengelasan, semakin tinggi pula penembusan (penetrasi) serta kecepatan pencairan tegangan las dan kecepatan pengelasan.

### 2.2.3 Polaritas listrik

Menurut Sonawan & Suratman, (2006) walaupun arus las listrik yang masuk pada GMAW adalah arus bolak-balik, namun arus pengelasannya sendiri adalah arus searah (DC) seperti ditunjukkan pada gambar 2.4, baik elektroda positif maupun elektroda negatif jadi mesin las GMAW-MIG sebenarnya adalah mesin perata arus (*rectifier*). Pada pengelasan MIG dengan elektroda terumpan dan tidak terumpan dapat menggunakan arus listrik DC atau juga dapat menggunakan arus AC, dalam hal menggunakan arus listrik DC rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus dimana posisi kutub positif yang dihubungkan dengan material induk logam dan sedangkan kutub negatif dihubungkan dengan batang elektroda, dan begitupula rangkaian sebaliknya yang disebut polatiras balik (Wiryosumarto & Okumura, 2000).



Gambar :2.4 Diagram Rangkaian Mesin Las DC

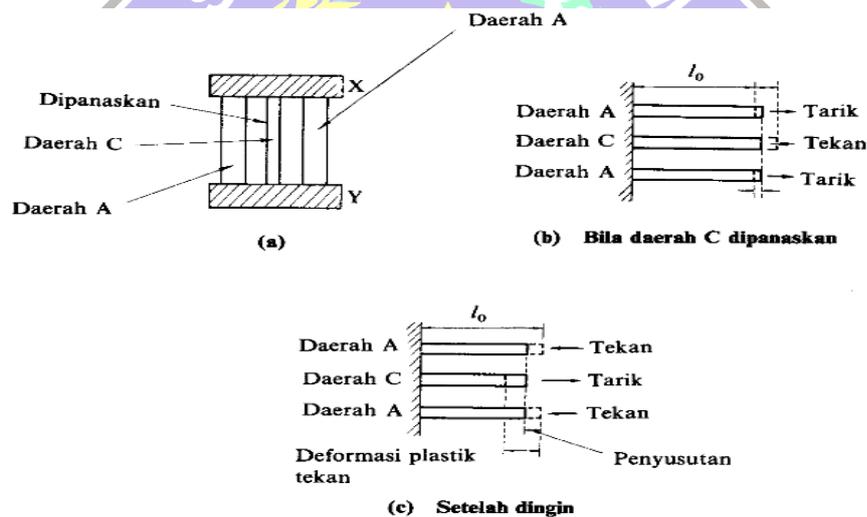
Sumber :(Wiryosumarto & Okumura, 2000)

### 2.2.4 Tegangan Sisa

Menurut Wiryosumarto & Okumura, (2000) di dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena

panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal. Sedangkan pada bagian yang dingin atau dengan panas yang rendah menjadi tidak berubah sehingga menyebabkan terbentuknya penghalang pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit. Beberapa tegangan sisa karena faktor pengelasan dibagi menjadi dua diantaranya: pertama tegangan sisa oleh adanya halangan dalam yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada bagian konstruksi yang bebas, kedua tegangan sisa karena adanya halangan luar yang terjadi akibat perubahan bentuk dan penyusutan dari konstruksi. Terdapat dua cara untuk mengurangi atau melepaskan tegangan sisa pada logam las yaitu dengan cara termal dan cara mekanik, secara umum yang banyak digunakan adalah dengan cara termal. Kedua cara tersebut dijelaskan pada tabel 2.1.

#### 2.2.4.1 Terjadinya Tegangan Sisa



Gambar :2.5 Pembentukan Tegangan Sisa

Sumber :(Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Terjadinya tegangan sisa dapat dilihat pada gambar 2.5, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangan pada area C ditangan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Tetapi apabila daerah A luasnya jauh lebih besar dari C, maka pada daerah C akan terjadi perubahan bentuk tetap, sedangkan A terjadi perubahan bentuk elastik. Pada waktu pengelasan selesai, terjadilah proses

pendinginan dimana pada bagian C menyusut cukup besar di samping karena pendinginan juga karena adanya tegangan tekan, penyusutan tersebut ditahan oleh area A. Karena itu pada daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.

	Cara	Penjelasan	Keuntungan	Kerugian
Cara mekanik	Penempaan	Logam lasan dan daerah sekitarnya ditempa atau dipukul selama atau setelah pengelasan	Dapat digunakan pada logam-logam ulet. Butir logam dapat menjadi halus.	Tidak dapat digunakan pada logam-logam getas
	Peregangan	Sambungan ditarik sampai terjadi perubahan bentuk plastik.	Sangat baik untuk bejana bentuk bola. Karena geometrinya maka tegangan yang diperlukan dapat dihitung dengan teliti. Pelaksanaannya dapat dilakukan dengan tekanan hidrostatik.	Tidak dapat digunakan pada bentuk-bentuk yang rumit.
	Getaran	Kepada konstruksi diberikan getaran yang dapat memberikan resonansi frekwensi rendah. Karena getaran ini akan terjadi perubahan bentuk plastik setempat.	Pelaksanaannya sederhana.	Tidak dapat digunakan pada konstruksi besar dengan pelat-pelat tebal karena hasilnya tidak merata.
Cara termal	Anil	Lasan dari jenis baja ferit dipanaskan sampai 600 atau 700°C dan yang dari jenis austenit sampai 900°C. Setelah ditahan beberapa waktu pada suhu ini kemudian didinginkan pelan-pelan.	Keberhasilannya tinggi	Tidak dapat digunakan pada konstruksi besar dan sukar untuk dilaksanakan di lapangan.
	Anil suhu tinggi	Lasan dari jenis baja konstruksi umum dipanaskan sampai 900 atau 950°C Setelah ditahan beberapa lama pada suhu ini kemudian didinginkan pelan-pelan.	Seluruh tegangan sisa dapat dibebaskan.	Diperlukan pemanasan yang merata dan harus dijaga agar tidak terjadi perubahan bentuk.
Cara termal	Pembebasan tegangan dengan suhu rendah	Kedua permukaan daerah lasan selebar 60 sampai 130 mm dipanaskan sampai 150 atau 200°C, yang diikuti dengan pendinginan dengan air.	Baik untuk konstruksi-konstruksi besar.	Pengurangannya terhadap tegangan sisa rendah.

Gambar :2.6 Cara Pembebasan Tegangan Sisa

Sumber :(Wiryosumarto & Okumura, 2000)

## 2.2.5 Perlakuan Panas

### 2.2.5.1 Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Menurut Sunaryo, (2008) pemanasan akhir pada pengelasan (*Post Weld Heat Treatment*) termasuk pemanasan kembali daerah las dengan segera setelah pengelasan selesai dengan tujuan adalah melepas hidrogen dan tegangan sisa dari daerah las. ASM International, (1991) mengatakan tujuan dari pemanasan pada

aluminium dengan sifat *Heat-treatable* adalah untuk meningkatkan ketangguhan dan kekerasan dari daerah las, menghindari retak tegangan korosi dan menghilangkan tegangan sisa. Meskipun demikian, harus dilakukan dengan hati-hati bila melaksanakan PWHT, karena perlakuan panas ini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan atau ketangguhan dari daerah las. Proses perlakuan panas pasca pengelasan PWT akan menyebabkan perubahan struktur yang tidak homogen terutama pada material aluminium karena adanya proses pemanasan dan pendinginan (Sudibyo et al, 2014)

#### **2.2.5.2 Holding time**

Holding time atau waktu penahan pada saat pemanasan dengan suhu tertentu didalam furnace elektrik dengan demikian untuk mendapatkan kekuatan serta struktur pada material. Jika waktu penahanan terlalu cepat maka pembentukan struktur pada material kurang begitu sempurna, waktu penahanan juga menjadi penentu pembentukan struktur yang lebih teratur dan seragam dan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik suatu material.

#### **2.2.5.3 Pendinginan (*Quenching*)**

Menurut ASM International, (1991) Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat dari logam tersebut, karbon yang dihasilkan dari pendinginan cepat lebih banyak dari pendinginan lambat. Proses quenching menjadi faktor penentu dalam proses pemanasan pada logam, bertujuan untuk menghentikan laju proses terjadinya larutan padat yang terbentuk saat perlakuan pemanasan, dengan mendinginkan secara cepat pada media pendingin biasanya sampai dengan suhu kamar. Wicaksono, (2018) mengatakan proses quenching melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan, pertama yaitu jenis media pendingin, dan kondisi proses yang digunakan. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses quenching, dengan adanya proses pendinginan (*Quenching*) setelah perlakuan pemanasan dengan suhu tertentu bertujuan untuk mencegah atom yang berada di dalamnya tidak sempat bergerak atau berdifusi membentuk fasa lain yang tidak diinginkan.

## 2.2.6 Paduan Aluminium

Syamsul Hadi, (2016) mengatakan bahwa aluminium dibedakan ke dalam dua kelompok, yaitu tipe aluminium tempa dan aluminium cor. Untuk aluminium tempa diberikan penandaan dengan empat digit, sebagaimana pada tabel 2.2 pada digit pertama menandakan dari unsur pepadu utama, yang telah ditambahkan ke paduan aluminium dan sering digunakan untuk menguraikan pada seri paduan aluminium. Misalkan, seri 1000 sampai seri 8000 digit kedua menandakan telah dilakukan modifikasi pada paduan khusus, digit ketiga dan keempat mengindikasikan paduan khusus dalam paduan. Misal, paduan 5153, angka 5 berarti seri paduan adalah Magnesium, angka 1 mengindikasikan modifikasi pertama pada paduan asli 5153, dan angka 53 menandakan ada di dalam seri 5xxx. Hanya ada pengecualian pada penomoran seri paduan yaitu paduan Aluminium seri lxxx yang 2 digit terakhir menandakan persentase minimum Al > 99,00% (Al murni).

Tabel 2.1 Penomoran Seri Aluminium Tempa

Seri Paduan AL	Unsur Pepadu Utama
Tempa	
1xxx	99% minimum Aluminium
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silicon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium Dan Silicon

Sumber :(Syamsul Hadi, 2016)

Penandaan paduan Aluminium cor didasarkan pada tiga digit-plus tanda desimal xxx.x sebagaimana pada tabel 2.1, berbeda dengan penomoran dari seri paduan aluminium tempa yang diberikan penandaan empat digit angka. Misal, pada seri aluminium cor dengan penomoran 356.0 yang berarti digit pertama menunjukkan unsur dari pepadu yang utama, yang telah ditambahkan ke dalam

paduan seperti pada tabel 2.2. Selanjutnya digit kedua dan ketiga menunjukkan paduan khusus dalam seri. Angka yang mengikuti setelah titik desimal menunjukkan apakah suatu paduan dicor (0) atau dalam ingot (1 atau 2), sebuah huruf kapital di awal menandakan proses modifikasi pada paduan khusus. Contoh: Paduan A382.0, huruf kapital pertama A menandakan suatu modifikasi dari paduan 382.0. Pada penandaan angka 3 mengetahui bahwa unsur pemuad dari seri Si + Cu atau Mg. Angka 38 mengindikasikan paduan di dalam seri A3xx.x, dan angka 0 terakhir mengindikasikan bentuk akhir berupa produk yang dihasilkan dari proses cor (bukan ingot).

Tabel 2.2 Penomoran Seri Aluminium Cor

Seri Paduan AL Cor	Unsur Pemuad Utama
1xx.x	99% minimum Aluminium
2xx.x	Tembaga
3xx.x	Silicon+tembaga atau magnesium
4xx.x	Silicon
5xx.x	Magnesium
6xx.x	Seri ini tidak digunakan
7xx.x	Seng
8xx.x	Timah Putih
9xx.x	Unsur - unsur lain

Sumber : (Syamsul Hadi, 2016)

### 2.2.7 Aluminium 6061

Menurut Davis, (2001) aluminium merupakan jenis logam non fero yang sangat berbeda dengan besi maupun baja, dikarenakan pada logam aluminium memiliki massa jenis hanya 2,7 g / cm<sup>3</sup>, kira-kira sepertiga dari baja yakni (7,83 g / cm<sup>3</sup>) dan temperatur cairnya cenderung lebih rendah yakni hanya 660°C. Didalam udara terbuka atau udara bebas aluminium sangat mudah mengalami oksidasi yang membentuk lapisan tipis berupa oksida yang membuat tahan terhadap korosi dan juga terdapat sifat atmosfer yang mampu bereaksi dilarutkan basa ataupun asam. Aluminium seri 6061 merupakan salah satu paduan

aluminium dari kategori seri 6xxx yang memiliki sifat dengan kekuatan sedang (*Medium Strength*) dan juga mampu untuk diperlakukan panaskan (*Heat Treatable*). Unsur paduan utamanya yaitu Al dengan tambahan Mg + Si, penambahan Mg dan Si dalam Al menghasilkan suatu senyawa magnesium silicide yang mampu menjadi *solution heat treated* yang dapat memperbaiki kekuatan dari material tersebut.

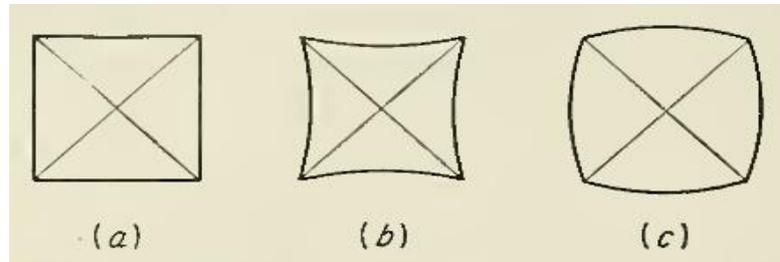
Syamsul Hadi, (2016) mengatakan sifat aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu aluminium yang mampu diberi perlakuan panas dan tidak dapat diperlakukan panaskan. Seri dari paduan aluminium proses tempa dengan seri 1xxx, 3xxx, dan 5xxx adalah paduan aluminium yang tidak dapat diberi perlakuan panas (*non-heat treatable*) dan hanya mampu atau dapat dikeraskan dengan peregangan (*strain hardenable*). Aluminium yang dapat diberi perlakuan panas adalah seri 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan seri 4xxx dan cenderung tidak bisa untuk dilakukan pengerasan regangan.

## 2.2.8 Teori Dasar Pengujian

### 2.2.8.1 Kekerasan Vickers

Menurut George E. Dieter, (1961) metode pengujian kekerasan Vickers menggunakan indenter berupa *diamond* berbentuk piramida dengan bagian dasar piramida berbentuk persegi sebagai inden. Sudut yang berada diantara permukaan piramida *diamond* yang berlawanan yaitu dengan sudut  $136^\circ$ . Sudut ini dipilih karena perkiraan yang paling mudah untuk menentukan kekerasan bahan daripada rasio diameter indentasi terhadap diameter bola dalam tes kekerasan Brinell. Dalam kekerasan Vickers biasanya sering disebut tes kekerasan piramida berlian, Angka *Diamond Pyramid Hardness* (DPH), atau *Vickers Hardness Number* (VHN), atau (VPH), pengujian kekerasan Vickers didefinisikan sebagaimana beban dibagi dengan area permukaan indentasi (*Diamond*). Pengujian kekerasan Vickers harus membutuhkan persiapan serta preparasi yang cermat pada bagian permukaan. Beberapa faktor kurangnya ketelitian dalam pengujian kekerasan menyebabkan kesalahan pahaman dalam perhitungan dan menentukan panjang

diagonal. Indentasi yang sempurna yaitu dengan inden piramida diamond dengan jejak penekanan berbentuk persegi, sebagaimana dilihat pada gambar 2.7.



Gambar :2.7 Tipe Jejak Penekanan Indentasi, (a) Perfect Indentation, (b) Pincushion Indentation, (c) Barreled Indentation

Sumber :(George E. Dieter, 1961)

Menurut William D. Callister and Rethwisch, (2009) mengatakan *Vickers Microindentation Hardness* adalah teknik pengujian kekerasan atau juga disebut kekerasan piramida berlian, dilihat pada gambar 2.4 menunjukkan *Vickers Indenter* atau indentasi kekerasan memiliki geometri berbentuk piramida yang ditekan ke permukaan spesimen dengan beban yang digunakan jauh lebih kecil daripada untuk pengujian Rockwell dan Brinell, berkisar antara 1 dan 1000 g. Injakan penekanan yang dihasilkan diamati di bawah mikroskop optik dan diukur diagonalnya, pengukuran tersebut kemudian dikonversi menjadi angka kekerasan (HVN). Pengukuran diagonal serta nilai kekerasan vickers dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

HV = gaya yang diberikan / luas permukaan indentasi.

$$HV = 2P \sin(\alpha / 2) / d^2 = 1.854 P / d^2$$

Atau,

$$HV = \frac{1,854 \times P}{D^2} = \dots$$

Dimana:

P = Gaya Tekan (Kg).

D = Diagonal Jejak Tekan (mm).

$\alpha$  = Sudut Puncak Indentor = 136°.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> <li>(Diamond cone;</li> <li><math>\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}</math> in.-diameter steel spheres</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>60 kg } Rockwell</li> <li>100 kg }</li> <li>150 kg }</li> <li>15 kg } Superficial Rockwell</li> <li>30 kg }</li> <li>45 kg }</li> </ul>	

Gambar :2.8 Hardness Testing Techniques

Sumber :(William D. Callister & Rethwisch, 2009)

### 2.2.8.2 Struktur Mikro

Struktur mikro merupakan butiran-butiran suatu benda logam yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, sehingga perlu menggunakan mikroskop optik atau elektron untuk pemeriksaan butiran-butiran logam tersebut. Perubahan sifat fisis suatu material yang sudah melalui tahap pengelasan dapat diketahui dengan cara pengamatan mikrografi dan hasil dari pengamatan tersebut dapat berupa foto mikro (Haryadi, 2016).

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui struktur apa saja yang terdapat dalam material, pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik seperti pada gambar 2.8, atau yang sering disebut juga sebagai mikroskop cahaya, adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan cahaya dan sebuah sistem lensa untuk memperbesar gambar

spesimen yang sangat kecil meskipun ada banyak desain lain yang kompleks yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan kontras dari spesimen.



Gambar :2.9 Ilustrasi Microscope Optik

