

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Ide muncul dari penelitian ini karena didasari oleh pengalaman yang didapat selama belajar di dalam bangku perkuliahan maupun pengalaman belajar di luar perkuliahan dan dari penelitian terdahulu.

Dari beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan Nofri, (2020) melakukan penelitian tentang "Analisis Perubahan Sifat Mekanik AL 6063 Setelah Dilakukan *Heat Treatment* Pada Temperature Tetap Dengan Waktu Tahan Yang Bervariasi", penelitian ini menggunakan material utama yaitu Aluminium 6063 dengan unsur pepadu AL-Mg-Si, dengan melakukan proses perlakuan panas dengan temperature 530°C serta variasi dari waktu penahan (*holding time*) saat heating yakni 30, 40, 50, dan 60 menit dengan mendinginkan material menggunakan media udara. Diketahui dari hasil pengujian struktur mikro dengan pendingin udara menyebabkan timbulnya penyebaran butir silikon serta pembesaran ukuran butir. Begitu juga dengan hasil pengujian kekerasan dari material yang di *heat treatment* maupun yang tidak di *heat treatment* menghasilkan nilai kekerasan HV yang hampir sama rata-rata sebesar 44,66 HV, namun pada waktu tahan 40 menit terjadi penurunan kekerasan sebesar 39,16 HV.

Selanjutnya penelitian dari Duniawan, (2016) tentang "Pengaruh Post Weld *Heat Treatment* Pada Pengelasan Friction Stir Welding (Fsw) Aluminium 2024", melakukan *PWHT* pada suhu 150°C, 200°C, dan 250°C waktu tahan pemanasan selama 8 jam dengan didinginkan di dalam furnace. Dari hasil pengujian menyatakan bahwa proses *PWHT* serta waktu tahan sangat mempengaruhi sifat mekanik dari kekerasan, kekuatan tarik dan kekuatan tekan pada logam las. Pada temperature 150, 200, dan 250°C diketahui timbulnya penurunan nilai kekerasan sebesar 93,4 VHN, 79 VHN, 74,1 VHN, begitu juga pada kekuatan tarik dan tekan terjadi penurunan pada saat

dilakukannya *PWHT*. Dari sifat kekerasan, tarik dan tekan pada perlakuan *PWHT* variasi suhu serta waktu penahanan selama 8 jam, sangat berbeda jika dibanding dengan kekuatan tarik dan tekan dengan non *PWHT* (tanpa perlakuan pemanasan). Junipitoyo et al., (2020) Melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Suhu Dan Waktu *Heat Treatment* Pada Aluminium Alloy 2024-T3 Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Dengan Media Pendingin Oli” Spesimen uji diberi perlakuan panas dengan suhu 300°C, 350°C & 400°C dan waktu tahan 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada suhu aging 400°C selama 90 menit dengan nilai kekerasan sekitar 119,09. Sedangkan kekuatan tarik tertinggi terjadi pada suhu aging 400°C selama 120 menit dengan nilai tensile stress nilai sekitar 128,17 MPa

Natawiguna dkk, (2018) juga menganalisis tentang “Pengaruh Solution *Heat Treatment* Terhadap sifat Fisis Dan Mekanik Proses Pengelasan FSSW AA6063-T5”, setelah proses pengelasan akan dilakukan proses solution *heat treatment* dengan variasi suhu dan waktu tahan yaitu 470°C selama 1 jam dan 530°C selama 2 jam. Pada hasil pengamatan struktur mikro dapat diketahui pada suhu 470°C selama 1 jam menghasilkan struktur butir yang lebih kecil, namun terjadi pembesaran struktur butir terjadi pada temperature 530°C selama 2 jam. Hasil kekerasan pun akan berkurang seiring dengan bertambahnya temperatur serta waktu tahan.

Randhiko, dkk, (2014), melakukan penelitian dengan judul “pengaruh post weld *heat treatment (PWHT)* T6 pada aluminium alloy 6061-O dan pengelasan longitudinal tungsten inert gas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro”. Penelitian ini menggunakan perlakuan panas T6, temperatur solution 520°C, pendinginan air dingin, dan kemudian penuaan buatan pada suhu 175°C selama 8 jam, 18 jam dan 24 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat setelah *PWHT*. Nilai kekerasan daerahterpengaruh panas (*HAZ*) *PWHT* 8 jam adalah yang tertinggi, 109,7 Hv. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi bahan solder tanpa *PWHT* dan *PWHT* selama 8 jam dan 24 jam berturut-turut adalah 81,4 Hv, 100,2 Hv, dan 104,7 Hv.

Pranata, dkk, (2014) melakukan penelitian tentang “analisis struktur

mikro dan sifat mekanik paduan al 2014 hasil proses aging dengan variasi temperatur dan waktu tahan”. Metode yang digunakan proses heat Treatment yaitu natural aging yang membutuhkan waktu selama 96 jam. Dilakukan proses Solution *Heat Treatment* pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 25 menit. Proses dilanjutkan dengan Quenching dengan media air kemudian dilakukan pemanasan aging pada berbagai temperatur dan waktu tahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur aging dapat mempercepat laju pengintian dan pertumbuhan persipitat. Hal ini ditunjukkan dengan singkatnya waktu yang dibutuhkan paduan untuk mencapai kekerasan optimum sebesar 152.62 VHN pada temperatur 180°C dengan waktu tahan 8 jam.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Aluminium**

Aluminium adalah logam yang relatif lemah dan lunak. Aluminium adalah logam ringan dengan ketahanan korosi yang baik dan konduktivitas listrik yang baik. Umumnya, aluminium dicampur dengan logam lain untuk membentuk paduan aluminium. Bahan ini tidak hanya digunakan pada peralatan rumah tangga, tetapi juga pada industri konstruksi (Surdia, 1992).

Wirjosumarto, (2000) Paduan aluminium diklasifikasikan Ada 3 cara, salah satunya tergantung pada perlakuan panas dan ketahanan perlakuan panas. Klasifikasi ini adalah membagi aluminium menjadi tujuh jenis, yaitu: aluminium murni, aluminium tembaga, aluminium mangan, aluminium silikon, magnesium silikon dan aluminium seng.

### **2.2.2 Klasifikasi Aluminium**

Menurut standar H35.1 dari *American National Standards Institute (ANSI)* dan *Aluminium Association (AA)*, Sistem Modifikasi Paduan Aluminium mengadopsi 4 digit / angka, angka pertama menunjukkan kandungan elemen paduan utama (mayor) seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2.1** Klasifikasi paduan aluminium

Al paduan untuk dimesin	Paduan jenis tidak dapat di perlakuan panas (non-heat-treatable)	Al murni ( seri 1000) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (seri 5000)
	Paduan jenis dapat perlakuan panas (heat-treatable)	Paduan Al-Cu (seri 2000) Paduan Al-Mg-Si (seri 6000) Paduan Al-Zn (seri 7000)
Al paduan untuk coran	<i>Non-heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Si (Silumin) Paduan Al-Mg (Hydronarium)
	<i>Heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu (Lautal) Paduan Al-Si-Mg (Silumin, Lo-ex)

Angka pertama menunjukkan jenis elemen paduan utama, sedangkan angka kedua menunjukkan varian paduan. Jika digit kedua 0 mewakili paduan asli, bilangan bulat 1-9 mewakili modifikasi dari paduan asli. Angka ketiga dan keempat tidak menunjukkan arti khusus, tetapi untuk membedakan kelompok paduan aluminium yang berbeda. Menurut metode pengerasan, aluminium dibagi menjadi dua kategori: dapat diolah dengan panas dan tidak dapat diolah dengan panas. Perbedaan antara kelompok tersebut adalah kelompok yang dapat diolah dengan panas adalah paduan aluminium yang dapat dikeraskan dengan proses penuaan (*aging*), sedangkan kelompok yang tidak dapat diolah dengan panas tidak dapat dikeraskan dengan proses penuaan (*aging*), tetapi dapat dikeraskan dengan proses penuaan (*aging*). dikeraskan dengan penguatan larutan padat (*Solid Solution Strengthening*), pengerasan regangan kristal atau kekuatan dispersi. Paduan forgeable yang dapat diperkuat dengan perlakuan panas adalah paduan aluminium seri 2xxx, 6xxx, 7xx x dan berbagai jenis seri 8xxx. Sifat mekanik dari 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx dan paduan aluminium lainnya yang tidak dapat diolah dengan panas diperoleh melalui mekanisme kerja dingin dan panas melalui proses pendinginan selama produksi dan produksi selanjutnya.

**Tabel 2.2** Sifat-sifat Aluminium Murni

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Struktur Kristal	FCC
Desitas pada 20°C	2.698(sat.10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )
Titik cair	660.1(°C)
Koefisien mulur panas kawat 20°~ 100°C	23.9(10 <sup>-6</sup> /K)
Konduktifitas panas 20 ° ~ 400°C	23.8(W/(m·k)
Tahanan listrik 20°C	2.69(10 <sup>-8</sup> KΩ·m)
Modulus elastisitas	70.5(GPa)
Modulus kekakuan	26.0(GPa)

### 2.2.3 Aluminium 6061

Paduan aluminium seri 6xxx silikon dan magnesium dalam proporsi yang dibutuhkan untuk membentuk silikon dan magnesium (Mg<sub>2</sub>Si), sehingga memberikan sifat perlakuan panas yang sangat baik untuk paduan ini. Meskipun tidak sekuat paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx menawarkan kemampuan bentuk kekuatan sedang, kemampuan las, kemampuan kerja mekanis, dan ketahanan korosi yang relatif baik (Wicaksono, 2018).

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang elemen paduan utamanya adalah AlMgSi, sistem klasifikasi AA dapat mencapai paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini memiliki kekuatan penempaan yang buruk. dibandingkan paduan lainnya, tetapi sangat keras, kemampuan bentuk yang sangat baik untuk penempaan, ekstrusi, dll. Paduan 6063 selain digunakan untuk rangka bangunan (Surdia. T, 1995)

Sedangkan paduan aluminium seri 6061 merupakan material yang banyak diaplikasikan dalam industri teknologi tinggi karena memiliki keunggulan dalam berbagai aspek seperti machinability yang baik, surface finish, durability, dll. Tinggi dan ringan, dan tahan korosi (Husaini, 2006).

Adapun dari buku ASM Metal Handbook Volume 9, pada tahun 2004, untuk aluminium seri 6061 memiliki komposisi kimia dimana unsur Al memiliki persentase yang paling besar, kemudian disusul dengan persentase unsur Mg dan unsur Si, mengingat bahwa aluminium seri 6061 ini merupakan paduan dari Al-Mg-Si, seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut ini.

**Tabel 2.3** Komposisi Kimia Aluminium

Alloy group	Nominal chemical composition <sup>[a]</sup> , Wt %										
	Mg	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zu	Zr	Other
<b>Wrought alloys</b>											
1xxx (Al > 99.00%)	0.006-0.25	0.006-0.7	0.002-0.006	0.01-0.03	0.002-0.05	0.006-0.6	...	0.006-0.35	0.006-0.05	...	...
2xxx (Cu)	0.02-0.8	0.10-1.3	0.02-0.3	0.05-0.2	0.05-1.3	0.12-1.3	0.05-2.3	0.8-6.8	0.10-0.80	0.05-0.5	...
3xxx (Mn)	0.05-1.3	0.3-1.8	0.05-0.10	0.05-0.40	0.05-1.8	0.1-1.0	0.05	0.05-0.50	0.05-1.0	0.1-0.5	...
4xxx (Si)	0.05-2.0	0.8-13.5	0.04-0.30	0.05-0.25	0.03-1.5	0.20-1.0	0.15-1.3	0.05-1.5	0.05-0.25	...	...
5xxx (Mg)	0.2-5.6	0.08-0.7	0.05-0.20	0.05-0.35	0.03-1.4	0.10-0.7	0.03-0.05	0.03-0.35	0.05-2.8	...	...
6xxx (Mg + Si)	0.05-1.5	0.20-1.8	0.08-0.20	0.03-0.035	0.03-1.0	0.03-1.0	0.08-0.2	0.10-1.2	0.05-2.4	0.05-0.20	...

(Sumber : ASM Metal Handbook Volume 9, 2004)

Dapat dilihat dari tabel di atas bahwa paduan aluminium seri 6061 memiliki komposisi terbesar, dan magnesium (Mg) dan silikon dioksida (Si) memiliki dampak terbesar pada sifat mekanik paduan aluminium seri 6061. Oleh karena itu, jika 6061 paduan aluminium seri dipanaskan, hasilnya adalah senyawa Mg<sub>2</sub>Si.

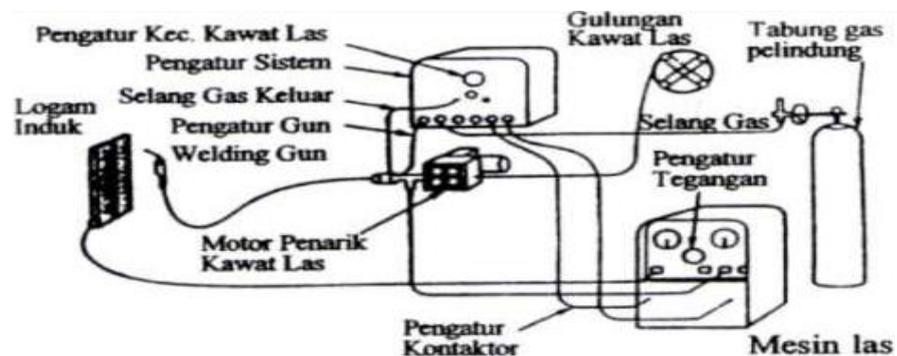
#### 2.2.4 Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Metode pengelasan yang disebut *GMAW* atau biasa disebut pengelasan busur gas adalah metode untuk melindungi busur dan logam cair dari atmosfer dengan meniupkan gas ke dalam logam cair. Gas yang digunakan sebagai pelindung adalah helium (He), argon (Ar), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) atau campuran dari gas-gas tersebut (Wiryo Sumarto & Okumura, 2000). *GMAW* ini adalah proses pengelasan listrik, yang menggunakan busur yang dihasilkan oleh elektroda, yang terus menerus diumpangkan dari perangkat mekanik sampai pengelasan selesai

(Widharto, S. 2007).

Pengelasan *GMAW* dilindungi oleh aliran gas pelindung yang dapat berupa gas aktif seperti karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), sehingga dinamakan metal active gas (MAG) atau argon (Ar), oleh karena itu disebut Metal Inert Gas (MIG). Beberapa keunggulan *GMAW* adalah laju deposisi logam yang lebih tinggi, kecepatan pengelasan yang lebih tinggi, dan penetrasi yang lebih dalam saat menggunakan teknologi blow moulding. Salah satu kelemahan penggunaan *GMAW* adalah radiasi panasnya yang tinggi. *GMAW* menggunakan arus tetap dan kecepatan kabel tetap, jadi jika posisi obor digerakkan, elektroda akan memanjang ke luar dan intensitas arus akan meningkat untuk mempertahankan busur (Widharto, S. 2007)

Hal ini dikarenakan pengelasan dapat mentransfer lebih banyak panas karena *gas metal arc welding (GMAW)* dibandingkan dengan metode pengelasan lain yang digunakan dalam penelitian, konsentrasi busur lebih tinggi dan fleksibilitasnya lebih baik. Pada penelitian ini digunakan pengelasan MIG sebagai proses pengelasan karena sesuai dengan material aluminium yang digunakan sesuai dengan jenis pengelasan *GMAW*. Penggunaan gas pelindung argon (Ar) menstabilkan busur dan mengurangi nyala api. Karena hasil pengelasan dengan argon berwarna biru dan hasil dengan pengelasan karbon dioksida berwarna hitam, maka dapat disimpulkan bahwa menggunakan argon memberikan hasil las yang lebih baik.



**Gambar: 2.1** Ilustrasi mesin *GMAW*

### 2.2.5 Parameter pengelasan MIG

Penggunaan heat input pada metal inert gas (MIG) sangat luas, sehingga perlu ditetapkan parameter yang sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Menurut (Kamal, A 2014), parameter yang mempengaruhi pengelasan MIG adalah:

a) Arus listrik

Arus mempengaruhi proses pengelasan busur dan, tergantung pada besarnya arus yang digunakan, menentukan kedalaman penetrasi dan ukuran serta bentuk las. Semakin besar arus, semakin dalam penetrasi, yang cenderung mempersempit area pengelasan.

b) Kecepatan las

Kecepatan pengelasan bervariasi tergantung pada jenis elektroda dan bahan cacat dari diameter inti elektroda, tetapi sebanding dengan kekuatan arus, sehingga pengelasan kecepatan tinggi membutuhkan arus pengelasan yang lebih tinggi untuk mendapatkan efek pengelasan yang baik. Meningkatkan kecepatan pengelasan mengurangi kalori mulut per satuan panjang dan mempercepat pendinginan.

c) Gas pelindung

Gas yang digunakan untuk pengelasan MIG adalah gas argon memberikan perlindungan yang lebih baik, tetapi karena penetrasinya yang dangkal, dapat meningkatkan laju aliran gas dan meningkatkan tekanan untuk memperdalam penetrasi. Crimping lasan meningkatkan kekuatan las dan meminimalkan fenomena lubang kecil di lasan.

d) Elektroda

Elektroda yang digunakan untuk pengelasan MIG adalah pembangkit percikan dan elektroda umpan yang merupakan logam pengisi. Ukuran elektroda tergantung pada bahan yang digunakan dan ketebalan bahan.

e) Polaritas listrik

Sumber tenaga yang digunakan berupa listrik arus bolak-balik atau arus searah dalam suatu rangkaian terpolarisasi, dengan kutub positif dihubungkan dengan batang elektroda negatif terutama dihubungkan dengan logam.

### 2.2.6 Post Weld Heat Treatment

*Post Weld Heat Treatment (PWHT)* adalah proses perlakuan panas yang dilakukan setelah proses pengelasan. *PWHT* bertujuan untuk mengurangi ukuran partikel, karena memiliki sifat-sifat khusus yang dibutuhkan oleh struktur, seperti ketahanan, keuletan, kekerasan, ketangguhan dan kehalusan butir (Femi, Purba and Fathier, 2020). Perlakuan *PWHT* dapat menyebabkan, mengurangi tegangan sisa, mengurangi kekuatan untuk meningkatkan keuletan, meningkatkan ketahanan korosi, meningkatkan kemampuan mesin, mengubah sifat fisik dan mekanik.

Proses dalam *PWHT* meliputi pemanasan, penahanan dan pendinginan. Tujuan dari setiap proses adalah:

- a) Pemanasan: Dipanaskan pada suhu tertentu selama waktu tertentu. Tujuannya adalah untuk memberikan kesempatan untuk perubahan keseluruhan dalam struktur atom.
- b) Waktu Tahan: Proses menjaga pemanasan pada suhu tertentu dimaksudkan untuk memberikan kesempatan untuk membentuk struktur seragam biasa sebelum proses pendinginan.
- c) Pendinginan: Didinginkan pada kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat struktural dan fisik, serta sifat mekanik.

### 2.2.7 Waktu Tahan ( *Holding Time* )

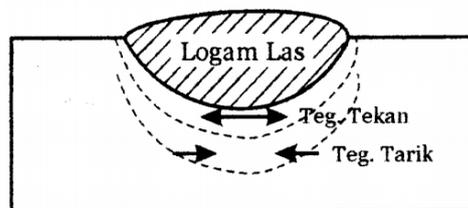
Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang disetel tergantung pada sejumlah faktor, termasuk jenis tungku yang digunakan dan jenis elemen pemanas. Waktu pemanasan pada suhu curing tergantung pada jenis bahan dan suhu pemanasan yang dipilih. Umumnya disukai untuk memilih suhu pengerasan tertinggi dalam

kisaran suhu yang telah ditentukan. Namun, jika penampang benda kerja yang akan dikerjakan sangat berbeda, biasanya dipilih suhu pengerasan terendah (Nofri, 2020).

### 2.2.8 Tegangan Sisa

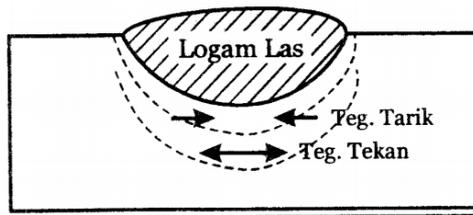
Karena pemanasan selama proses pengelasan, distribusi suhu tidak merata, ekspansi termal terjadi pada bagian yang dilas, dan bagian yang dingin tidak berubah, fenomena resistensi terbentuk dan meningkat. Jenis peregangan ini menyebabkan deformasi terus menerus dan, selain deformasi konstan (deformasi yang dihasilkan dengan sendirinya), ada juga tegangan konstan, yang pada dasarnya disebut tegangan sisa Wiryosumarto, (2000)

Sederhananya, tegangan sisa dapat didefinisikan sebagai tegangan yang bekerja pada material ketika gaya eksternal yang bekerja pada material dihilangkan. Tegangan sisa dan deformasi setelah pengelasan memiliki pengaruh besar pada sifat mekanik sambungan struktural. Selama proses pengelasan, area di bawah logam las diperluas dan area di bawahnya dipertahankan. Bagian yang mengembang menerima tegangan tekan, dan area di bawahnya ditekan oleh tegangan tarik. Di sisi lain, selama proses pendinginan, tegangan tarik dihasilkan di area di bawah logam las, dan tegangan dihasilkan di area di bawahnya. Akibatnya, tekanan yang diterapkan pada logam las berlanjut pada suhu kamar. Tegangan ini disebut tegangan sisa (Sonawan & Suratman, 2004)



**Gambar 2.2** Kondisi tegangan selama pemanasan

(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004)



**Gambar 2.3** Kondisi tegangan selama pendinginan  
(Sumber: Sonawan dan Suratman, 2004)

## 2.3 Dasar Teori Pengujian

### 2.3.1 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* merupakan uji standar untuk pengujian kekerasan. Keuntungan dari uji kekerasan *Vickers* adalah tidak cocok untuk bahan lunak, dan tapak tekanannya lebih kecil, sehingga kerusakan pada bahan percobaan lebih sedikit, pengukuran kekerasan lebih akurat, dan gaya pengukuran yang sangat halus dapat dipilih untuk pengukuran. Kekerasan benda kerja atau lapisan permukaan tipis relatif kecil. Dalam metode ini, pertama-tama tekan indenter kerucut persegi berbentuk berlian ke permukaan logam yang akan diuji. Sudut antara sisi yang berlawanan dari piramida adalah  $136^{\circ}$ .

Kekerasan *Vickers* adalah nilai ketahanan bahan uji terhadap beban pada setiap penampang bidang yang menopang beban tersebut. VHN dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2 \cdot P \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \cdot P}{d^2}, \quad d = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

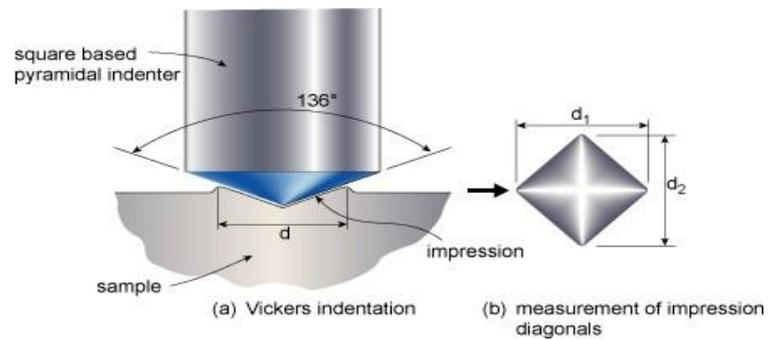
P = Beban yang diterapkan (kgf)

$\alpha$  = Sudut antara permukaan diamond yang berlawanan ( $136^{\circ}$ )

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$d_1$  = Ukuran jejak diamond horizontal (mm)

$d_2$  = Ukuran jejak diamond vertical (mm)



**Gambar 2.4** Posisi Beban Penekanan Metode *Vickers*.

### 2.3.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan mikrostruktur semacam ini sangat berguna untuk memahami perubahan mikrostruktur masing-masing material akibat proses pemanasan dan pendinginan yang cepat (termal) selama proses pengelasan, tidak hanya dapat memeriksa struktur logam utama, tetapi juga mendeteksi area yang terkena panas dari daerah yang terkena panas (Wijoyo & Aji, 2015). Uji mikrostruktur menggunakan mikroskop logam optik atau mikroskop optik yang menggunakan sistem cahaya dan lensa untuk memperbesar gambar spesimen kecil guna meningkatkan resolusi dan kontras setiap spesimen (Rohman, Umardani, & Hardjuno, 2014).



**Gambar: 2.5** Alat Uji Mikroskop Optik