

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pengelasan merupakan proses yang cukup umum digunakan terus dikembangkan untuk memenuhi persyaratan baru proyek mekanis dalam kondisi tertentu. Keseragaman sifat metalurgi dan mekanik sambungan las merupakan faktor kunci dalam setiap proses pengelasan. Masalah utama dalam proses pengelasan adalah akar patah, tumpang tindih, penetrasi kurang, pemotongan, fusi kurang dan retak [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Queiroz, A.V, (2020) menunjukkan penerapan magnet eksternal berpengaruh terhadap karakteristik mikrostruktur dari manik las yang dianalisis dengan mikroskop optik dan pemindaian mikroskop elektron. Ditemukan bahwa medan magnet eksternal menurunkan persentase delta ferit, meningkatkan penetrasi *weld pool* dengan logam las, dan mengurangi dendritik primer dan sekunder [4]. Baskoro, A.S, (2018) dalam penelitian lain menganalisa medan magnet yang dihasilkan oleh magnet eksternal yang menunjukkan konfigurasi yang dapat mengurangi konsumsi daya hingga 11%. Hasil pengujian inilah yang menjadi rujukan terkait efek signifikan pada peningkatan efisiensi pengelasan [5].

Penelitian lain yang juga dilakukan oleh Deddy, S.U, (2017) meninjau upaya peningkatan efisiensi pengelasan dengan menggunakan magnet eksternal. Hasil akhir pengujian menjabarkan perbedaan luas HAZ yang disebabkan oleh gaya elektromagnetik. Hal ini dikarenakan adanya gaya konvektif pada proses pengelasan di area *weld pool* akan mengalami sirkulasi. Arus konveksi dalam proses peleburan logam yang bekerja pada lasan dipengaruhi oleh gaya gravitasi, gaya karena tegangan permukaan dan gaya elektromagnetik. Jika besar gaya elektromagnetik semakin tinggi maka akan mengurangi luasan area HAZ [3].

2.2 Pengelasan TIG

TIG (*Tungsten Inert Gas*) atau umum dikenal dengan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) merupakan salah satu jenis pengelasan yang memanfaatkan panas yang diperoleh dari nyala api pijar elektroda tungsten dan menggunakan gas langka sebagai pelindung dari atmosfer. Elektroda las merupakan batang tungsten yang dapat menghasilkan busur tanpa meleleh. Kecepatan umpan pengisi juga dapat diatur besarnya tanpa mempengaruhi arus yang merupakan faktor utama infiltrasi logam induk. Hal ini yang menjadikan pengelasan TIG cocok untuk pelat baja tipis maupun pelat baja tebal [1].

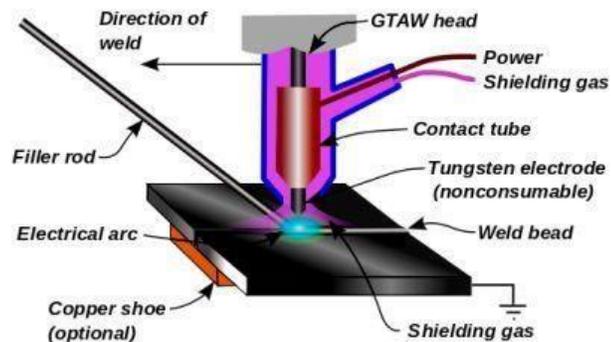
Pengelasan TIG merupakan penemuan inovatif pada metode pengelasan yang ditemukan di Institut Pengelasan Listrik Paton pada tahun 1960-an. Penemuan ini diawali dengan pengembangan lapisan fluks yang diterapkan pada seluruh area las logam induk yang disiapkan. Fluks non-konduktif sendiri berfungsi menahan arus yang mengarah pada penyempitan busur peningkat rapat arus dan gaya busur. Saat fluks terurai dan larut menjadi logam cair dengan gaya busur yang tepat, penetrasi *weld pool* dapat mengalami peningkatan. Pengembangan lain juga terdapat pengujian yang menunjukkan tingkat keberhasilan TIG yang dilaporkan mendapatkan penetrasi yang lebih optimal ketika penggunaan spesimen bermaterial baja karbon, titanium, baja tahan karat, dll [6].

Umumnya pada pengelasan TIG standar nyala api dapat dilepaskan dengan bebas, tetapi pada beberapa jenis lain terdapat nozel tambahan untuk mengurangi busur. Dengan bantuan gas untuk melindungi logam cair, elektroda tungsten panas dan ujung pengisi logam cair tidak akan terpengaruh prosesnya oleh atmosfer. Walaupun penggunaan argon dan helium atau campuran argon dan hidrogen akan meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi, umumnya sebagian pengguna lebih memilih argon. Peralatan yang digunakan untuk pengelasan gas tungsten adalah:

1. Elektroda tungsten
2. Regulator gas lindung
3. Mesin las AC atau DC

4. Kabel elektoda
5. Stang las (*welding torch*)
6. Selang gas dan perlengkapannya
7. Gas pelindung

Pengelasan jenis ini dapat dikerjakan secara manual, otomatis, maupun semi otomatis. Skema dari pengelasan TIG ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Skema pengelasan TIG [7]

Elektroda pada TIG merupakan elektroda tidak terumpan (*non consumable*) yang pada dasarnya berfungsi sebagai tempat tumpuan busur listrik. TIG mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam yang dapat dilas. Sumber kelistrikan TIG umumnya berasal dari generator AC maupun DC. Ciri umum generator jenis AC diantaranya merupakan kombinasi antara *cleaning* dengan penetrasi medium dan mencegah elektroda tungsten *overheating*. Penggunaan arus DC dibedakan menjadi dua yaitu polaritas lurus (*Direct Current Straight Polarity*) dan polaritas balik (*Direct Current Reserve Polarity*) [7].

Hal lain yang juga menjadi penilaian terkait kualitas dan ketepatan tinggi pada sambungan las TIG diantaranya dengan tidak terdapat coakan dan percikan api. Tidak ada asap yang dihasilkan pada saat pengerjaan juga merupakan kelebihan dari proses pengelasan ini. Penelitian terdahulu juga menjelaskan bahwa kekerasan dan suhu pengelasan merupakan faktor yang cukup berpengaruh besar pada kekuatan lasan. Intensitas *arc* yang kecil mempengaruhi kualitas lasan [8].

Keserbagunaan, sumber panas yang stabil, biaya peralatan yang efisien dan kualitas lasan halus adalah ciri-ciri yang diketahui dari *Tungsten Inert Gas* (TIG), faktor-faktor tersebut yang menjadikan TIG secara luas dimanfaatkan di berbagai lingkup industri. Terlepas dari setiap kelebihanannya terdapat faktor yang mengimbangi penerapan ekstensif pengelasan TIG. Pengenceran yang terbatas, laju deposisi yang buruk, dan penetrasi yang dangkal dalam satu lintasan menyebabkan produktivitas terbilang buruk. Kekurangan ini yang menjadi permasalahan dalam pengerjaan luas dari proses ini untuk pembuatan pelat tebal. Penetrasi las atau kedalaman penetrasi merupakan faktor krusial dalam pengelasan TIG yang secara langsung yang dapat mempengaruhi laju produksi dalam pengelasan [9].

2.3 Baja Karbon Rendah

Kriteria utama dalam perancangan material diantaranya seperti memiliki bahan yang kuat, tahan lama dan *cost* rendah sehingga dapat digunakan dalam industri. Termasuk industri transportasi seperti pesawat terbang, kereta api dan otomotif yang membutuhkan kualitas tinggi dengan kondisi performa baik dan harga terjangkau. Baja karbon rendah banyak digunakan oleh industri dalam hal ini karena dapat dibentuk dan dilas yang baik.

Baja sendiri merupakan material yang umum diaplikasikan sebagai dasar konstruksi pemesinan. Umumnya dikarenakan bersifat ulet, kuat dan mampu keras. Baja dengan unsur utama Fe dan C dapat dipadukan dengan unsur lain seperti Cr, Ni, Ti, dan sebagainya, hal ini dilakukan agar dapat memperoleh sifat mekanik seperti yang dibutuhkan. Jumlah karbon pada struktur baja amat berdampak pada penentuan sifat mekanis dan *performance*-nya [10].

Baja dapat didefinisikan sebagai campuran karbon dan besi, dimana kandungan karbon sendiri amat berpengaruh pada tingkat kekerasan baja. Baja juga mengandung elemen lainnya yang disebut paduan, yang diantaranya seperti fosfor, belerang, mangan, dan silikon. Elemen-elemen ini berkerja sebagai pengikat yang didasarkan pada jumlah persen berat penggunaan standar dan

fabrikasi berfungsi untuk meningkatkan mekanik dan fisik properti. Sifat fisiknya bersifat alami yang tidak dapat diubah, misalnya seperti sifat magnetis, massa jenis logam, elektrik konduktif dan titik leleh [11].

Terdapat tiga jenis baja jika ditinjau dari jumlah kandungan karbon yang terdapat dalam strukturnya, yaitu :

1. Baja karbon tinggi adalah baja dengan kandungan karbon 0,70 % – 1,70 %.
2. Baja karbon menengah adalah baja dengan kandungan karbon 0,31 % - 0,70 %.
3. Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon 0,04 % - 0,30 %.

Baja karbon rendah memiliki fisik dan mekanik properti sebagai berikut:

1. *Physical Properties*

Karakteristik fisik baja seperti memiliki sifat magnet yang baik, logam dengan massa jenis tinggi, dan titik leleh tinggi (1600°C).

2. Peralatan mekanis

Sifat mekanik sendiri dapat diubah dan terpengaruh oleh faktor eksternal. Pengaruh pemanasan pada waktu dan suhu tertentu dapat juga mengubah sifat mekanik mikro logam [11].

Kehadiran karbon dalam baja sendiri secara signifikan mempengaruhi struktur metalografi dan sifat mekaniknya. Memahami peristiwa difusi dan presipitasi karbida karbon dalam baja selama proses perlakuan panas cukup penting sebagai pengendalian struktur metalografi material tersebut. Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa terdapat beberapa peninjauan yang mengulas variasi dalam kekerasan vickers dari baja karbon rendah yang terhapus oleh aluminium selama penuaan isothermal pada suhu yang berbeda dan menjelaskan peningkatan yang luar biasa dalam kekerasan baja mengalami perlakuan panas suhu rendah [12].

Kandungan karbon didalam struktur baja juga akan berpengaruh terhadap sifat kekerasan material. Sifat ini dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bersinggungan karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu. Baja

karbon rendah tak mampu digetaskan dikarenakan kandungan karbon yang tidak cukup untuk membentuk martensit [10].

Dalam proses karburisasi, karbon bebas akan diserap ke dalam lapisan permukaan karbon rendah baja. Karbon bebas didapat dari gas atau cairan masuk kontak langsung dengan permukaan logam dengan reaksi kimia yang tidak secara langsung melibatkan logam. Penelitian tentang perlakuan panas dalam karburisasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti yang menyimpulkan bahwa penambahan unsur (C) pada baja karbon rendah mengakibatkan perubahan kekuatan tarik maksimum pada spesimen [11].

Tabel 2.1 Aplikasi baja karbon rendah

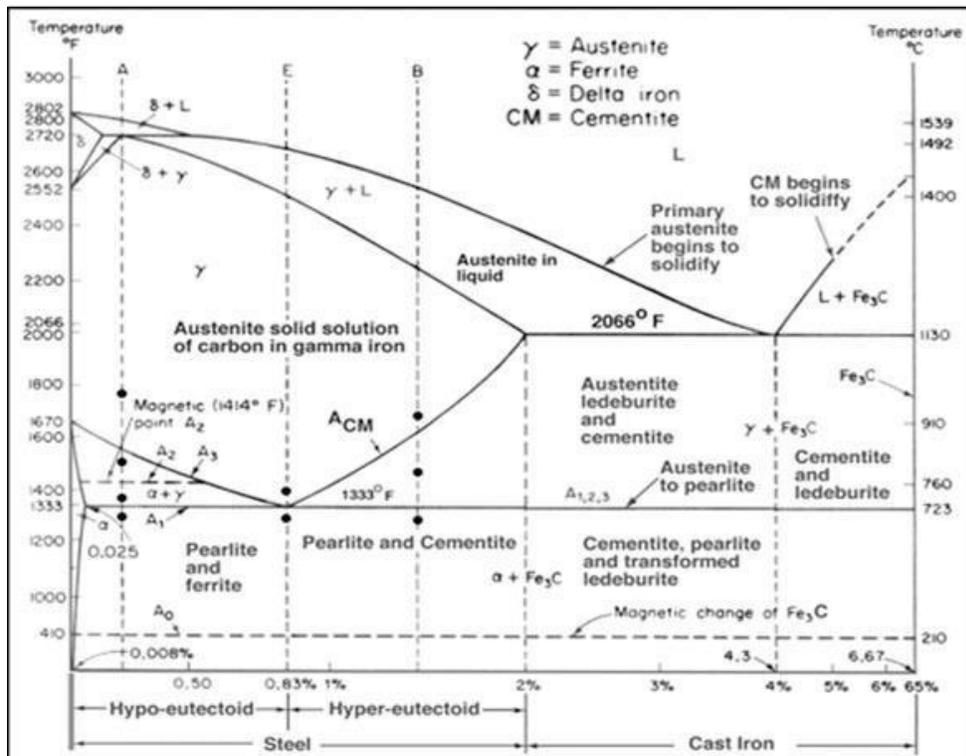
Presentase Karbon (%)	Aplikasi
0.08-0.15	Cold headed fasteners and bolts
0.15-0.30	Case hardened, shafts, spindles and rods

Baja karbon rendah dan baja karbon sedang memiliki kekurangan kandungan karbon untuk mengubah struktur kristalnya, alhasil baja tidak dapat ditempa atau dikeraskan. Baja karbon menjadi lebih getas sulit dan tidak dapat dipotong bahkan menggunakan gergaji besi. Saat baja dipanaskan hingga logam memancarkan sinar pemanasan dan kemudian segera direndam dalam air bersih, baja menjadi keras tetapi rapuh. Sifat mekanik suatu logam bergantung pada perilaku mikrostruktur baja. Sehingga tujuan perlakuan panas adalah untuk mengembangk an dan mengontrol sifat mekanik dengan memanipulasi mikrostruktur untuk penggunaan industri [13].

2.3.1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Umumnya baja dan besi tuang merupakan paduan karbon dan besi. Karbon paduan ini berupa *cementite* Fe₃C atau Grafit. Grafit adalah karbon dengan bentuk stabil maka disebut sistem paduan Fe₃C yang stabil, sedangkan *cementite* merupakan suatu struktur yang meta stabil. Sistem paduan ini umum disebut dengan diagram

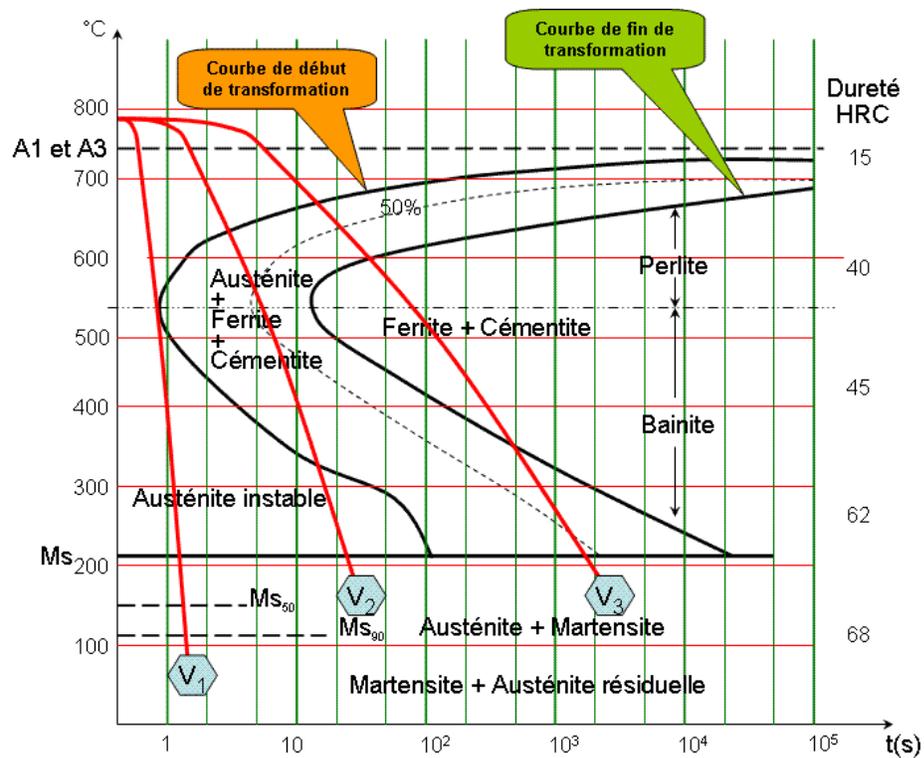
fasa Fe_3C dengan huruf yunani menandakan larutan padat. [14]. Sistem ini ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Diagram fasa Fe_3C [14]

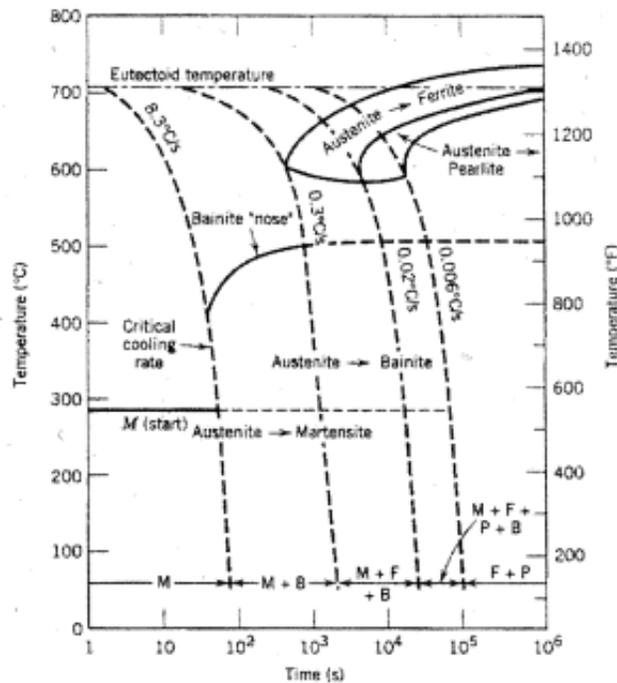
2.3.2 Diagram TTT dan CCT

Diagram TTT merupakan gambaran yang menjabarkan transformasi austenit terhadap temperatur dan waktu. Hal ini berkaitan dengan perlakuan panas yang ditujukan agar memperoleh struktur yang diinginkan, sehingga cocok untuk penggunaan yang direncanakan. Fasa yang diperoleh adalah hasil proses transformasi dari kondisi awal. Transformasi ini bisa dibaca menggunakan diagram fasa tetapi untuk kondisi tak seimbang tidak dapat menggunakan diagram fasa, maka pada kondisi ini menggunakan diagram TTT. Hal ini menyimpulkan bahwa diagram ini dapat digunakan untuk menganalisis kelakuan baja pada perlakuan panas [15].



Gambar 2.3 Diagram *Time Tempreature Transformation*[15]

Selain dari TTT pembentukan fasa juga diamati dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram CCT adalah diagram yang menunjukkan hubungan laju pendinginan kontinyu dan struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi. Gambar 2.4 menunjukkan secara skematika diagram CCT pada baja. Kurva-kurva menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju yang berbeda akan menghasilkan fasa atau struktur baja yang berbeda [15].



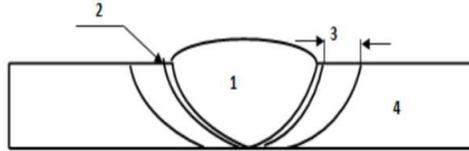
Gambar 2.4 Diagram *Cooling Temperature Transformation*[15]

2.4 Metalurgi Pengelasan

Metalurgi meliputi pengaruh siklus termal terhadap proses berubahnya struktur mikro serta faktor-faktor yang mempengaruhi sifat *weldability* dari logam sambungan. Tingkat kekuatan merupakan salah satu parameter dasar dari kualitas sambungan, ketangguhan atau sifat mekanis lainnya. Siklus termal dapat menimbulkan perubahan-perubahan metalurgi yang kompleks, deformasi dan tegangan termal atau cacat pada logam las. Struktur umum juga pada dasarnya bergantung pada apa yang terjadi di tingkat mikro baik itu terkait komposisi kimia dan kondisi logam induk. Terdapat beberapa parameter pada metalurgi pengelasan seperti *Weld Metal*, *HAZ*, dan *Basemetal* [7].

HAZ sebagai salah satu parameter metalurgi pengelasan merupakan logam dasar yang bersinggungan langsung dengan logam las selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan. Parameter lain yaitu logam induk (*basemetal*) merupakan bagian logam dasar dimana pada bagian ini panas dan suhu pengelasan tidak dapat mempengaruhi perubahan-perubahan struktur dan

sifat logam. Selain ketiga parameter utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah terpengaruh panas, yang disebut batas. Adapun pembagian daerah las ditunjukkan pada gambar 2.2 [16].



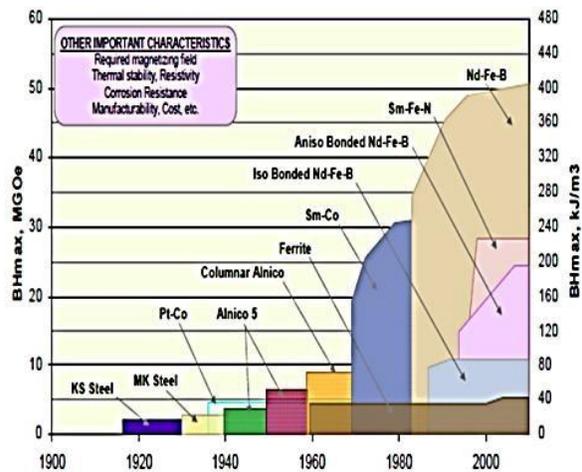
Gambar 2.5 Pembagian daerah las [16]

Keterangan:

1. Logam Las
2. Garis Penggabung
3. Daerah Pengaruh Panas
4. Logam Induk

2.5 Magnet

Magnet permanen merupakan komponen penting dalam banyak sektor teknologi modern hingga meliputi pembangkitan dan konversi energi. Perkembangan terkini menjadikan magnet permanen umum digunakan secara luas dalam teknologi maju termasuk kendaraan listrik, kincir angin, perangkat memori, transportasi levitasi magnetik, dan peralatan biomedis (termasuk mesin pencitraan resonansi magnetik, alat pacu jantung, pompa jantung, dll). Sifat paling unik dari magnet permanen yang membuat mereka penting untuk aplikasi di atas ialah, magnet memiliki kemampuan untuk mempertahankan fluks magnet yang besar di lingkungan aplikasi yang tidak terdapat medan magnet terapan. Kemajuan yang signifikan telah dicapai dalam produksi magnet permanen berkinerja tinggi di abad terakhir, berkat penemuan rare-earth berbasis SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, dan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ bahan magnet keras pada 1960-an dan 1980-an, adapun secara historitis susunan perkembangan magnet dijelaskan pada gambar 3.2 [17].



Gambar 2.6 Sejarah perkembangan magnet [18]

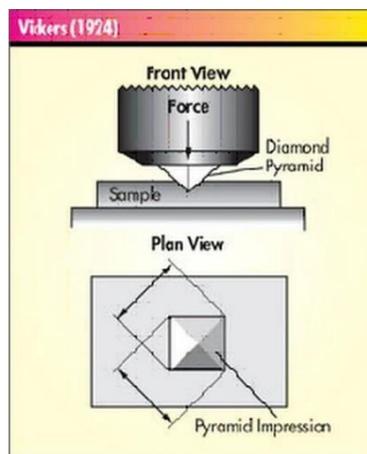
Magnet pada dasarnya terbagi menjadi dua jenis yang diantaranya ialah, magnet lunak dan magnet keras (magnet permanen). Magnet yang keras mampu menarik material lain dapat dinyatakan bersifat magnetis dan sifat magnetis ini bisa dianggap abadi. Magnet lunak hanya bersifat magnetis dan dapat menarik magnet lain jika magnet berada dalam medan magnet sehingga pada magnet lunak magnetisme dianggap tidak kekal. Perbedaan mendasar antara magnet permanen dan magnet lunak dapat dianalisa dengan menggunakan lingkaran histeresis, yaitu karakterisasi kebergantungan magnetisasi (M) ke H . Hasil pengukuran tersebut menunjukkan informasi terkait bidang saturasi, remanensi dan koersivitas, aspek tersebut terkait dengan sifat material dalam aplikasi medan magnet atau medan listrik [19].

Magnet neodmium merupakan jenis magnet permanen permanen yang berasal dari pusat yang secara histori telah ditemukan di dataran tinggi China. Magnet jenis ini juga umum disebut dengan magnet NdFeB. Karakteristik magnet permanen yang paling tinggi saat ini adalah Neodymium Iron Boron (NdFeB), yang memiliki nilai produk energi maksimum sampai dengan 400 kJm^3 [18]. Gaya tarik-menarik pada magnet jenis ini dinilai cukup kuat sehingga pada pengembangan terkini memungkinkan untuk pengaplikasiannya dapat digunakan dalam sektor alat transportasi maupun pada sektor industri umum lainnya [20].

2.6 Uji Kekerasan

Kekerasan bukanlah sifat berdasarkan fisik tetapi merupakan ciri suatu material yang merupakan hasil pengukuran kedalaman yang didasarkan pada penyokan pada permukaan. Analogi ini menjelaskan bahwa semakin lembut jenis material spesimen, semakin besar lekukan yang akan ditinggalkan oleh indenter akibat tekanannya. Dengan mengukur kedalaman dan ukuran penyok yang diperoleh dengan menggunakan metode uji beda lekukan nilai kekerasan dapat diperoleh [13].

Pengujian kekerasan mekanis umumnya digunakan untuk mengevaluasi beberapa sifat mekanis sifat bahan. Misalnya, nilai kekerasan suatu bahan logam memungkinkan terjadinya estimasi ketahanan aus, keuletan, aliran dan tegangan potongnya. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah material pada lekukan suatu benda yang disebabkan oleh objek pada permukaan spesimen. Ilmu Material kekerasan didefinisikan sebagai kapasitas bahan menahan deformasi, yang sebanding dengan kekuatan ikatan atomnya, Pengujian kekerasan Brinell, Rockwell dan Vickers adalah teknik pengujian kekerasan yang paling umum digunakan. Skema pengujian metode vickers ditunjukkan pada gambar 2.4 [21].



Gambar 2.7 Skema pengujian Vickers [22]

Uji kekerasan vickers pada dasarnya menggunakan penekan berbentuk piramida intan yang berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara permukaan-

permukaan piramida berhadapan sebesar 136° . Bentuk indentornya piramida ini yang menjadikan pengujian ini umum disebut dengan uji kekerasan piramida intan. *Hardness Vickers Number* (HVN) merupakan pengertian dari beban dibagi luas permukaan lekukan. Prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. Adapun HVN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{HVN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk $\alpha = 136^\circ$, maka

$$\text{HVN} = 1,854 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

P = Daya Tekan (kg)

D = Diagonal Identasi (mm)

$$= \frac{d1 + d2}{2}$$