

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Penyambungan material dengan metode las titik telah banyak digunakan terutama pada industri otomotif. Pengelasan titik pada material sejenis ataupun tidak sejenis sudah banyak dilakukan penelitian dengan menggunakan variasi parameter yaitu material lasan, kuat arus pengelasan, dan waktu penekanan. Penggunaan las titik dissimilar atau material tidak sejenis pada konstruksi otomotif sangat baik karena mudah digunakan dan dapat dilakukan dengan waktu yang cepat. Paduan material antara Stainless Steel 430 dan Baja Karbon Tinggi sangat baik untuk konstruksi pada mobil karena dapat mengurangi beban mobil, mengurangi biaya produksi supaya lebih murah, dan lebih kuat serta irit bahan bakar.

Fachruddin dkk (2016), meneliti tentang pengaruh variasi arus pengelasan titik (*spot welding*) terhadap kekuatan geser, kekerasan dan struktur mikro pada sambungan dissimilar *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon rendah ST 41 dengan ketebalan plat 1mm. Variasi arus pengelasan yang digunakan sebesar 1000 A, 1200 A, 1400 A, dan 1600 A dengan waktu pengelasan selama 1 detik. Hasil pengujian pada arus pengelasan 1000 A didapatkan nilai kekuatan geser sebesar $76,89 \pm 15,36 \text{ kg/mm}^2$, untuk arus pengelasan 1200 A didapatkan nilai kekuatan geser sebesar $60,54 \pm 3,46 \text{ kg/mm}^2$, untuk arus pengelasan 1400 A didapatkan nilai kekuatan geser sebesar $57,76 \pm 5,33 \text{ kg/mm}^2$, dan arus pengelasan 1600 A didapatkan nilai kekuatan geser $50,89 \pm 3,28 \text{ kg/mm}^2$. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa arus pengelasan semakin besar maka akan menghasilkan daerah las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah serta menambah kerapuhan material (Arifin, 1997). Pada hasil uji struktur mikro menunjukkan pada arus pengelasan 1000 A didominasi oleh struktur ferrit *acicular* yang berfungsi sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju perambatan retak.

Anrinal dan Hendri (2012), meneliti tentang analisa kekuatan tarik hasil *spot welding* baja karbon rendah. Bahan yang digunakan adalah plat baja karbon rendah ST 34 dengan ketebalan 1,5 mm dengan parameter variasi waktu tekan pengelasan adalah 20 detik, 25 detik, dan 30 detik, serta arus pengelasan yang digunakan adalah 70 A. Hasil dari grafik pengujian tegangan tarik menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengelasan maka semakin besar tegangan tarik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh waktu penekanan yang merupakan parameter sangat penting pada proses pengelasan. Semakin lama waktu pengelasan juga mengakibatkan diameter *nugget* semakin besar. Dengan melihat besarnya beban yang diberikan terhadap benda uji pada masing masing sampel maka dapat dilihat perbedaan beban yang diberikan tidak terlalu jauh berbeda hal ini disebabkan kuatnya sambungan yang terjadi sehingga berdampak pada benda uji, kerapatan antara benda uji sangat berpengaruh untuk menghasilkan besarnya gumpalan (*nugget*).

Lisa dkk (2011), melakukan penelitian eksperimental tentang pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan pada proses las titik (*spot welding*) terhadap kekuatan tarik dan mikrostruktur hasil las dari baja fasa ganda (*ferrite-martensite*). Bahan yang digunakan adalah lembaran plat AISI 1005 dengan tebal 1 mm yang telah *ditreatment* menjadi baja fasa ganda. Variabel bebas yang digunakan adalah besar arus yaitu 900 A, 1600 A, 1850 A serta waktu penekanan proses pengelasan yaitu 0,25 detik, 0,5 detik, 0,75 detik dan 1 detik. Variabel terikat adalah kekuatan sambungan dan bentuk mikrostruktur yang dihasilkan dari pengelasan RSW pada baja fasa ganda. Variabel terkontrol adalah gaya tekan elektroda pada benda kerja saat pengelasan. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik sambungan las atau kekuatan gesernya memiliki nilai rata-rata yang meningkat yang berarti semakin besar *heat input* (akibat perubahan kuat arus dan waktu pengelasan) maka menghasilkan diameter *nugget* semakin meningkat hal ini yang kemungkinan menyebabkan *tensile shear forcenya* meningkat dan kekuatan maksimum ditunjukkan pada waktu pengelasan 1 detik yaitu sebesar 237,0724 N/mm².

Hendrawan dan Rusmawan (2014), meneliti tentang pengaruh arus dan waktu pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan las titik (*spot welding*) logam tak sejenis. Bahan yang digunakan adalah plat baja karbon dengan ketebalan 0,9 mm dan baja tahan karat austenit tipe 316L dengan ketebalan yang sama yaitu 0,9 mm. Parameter pengelasan yang digunakan adalah waktu pengelasan dengan lamanya penekanan adalah 0,4; 0,5; 0,6 detik dan arus pengelasan sebesar 5 kA, 6 kA dan 7 kA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada besar arus pengelasan 5 kA memiliki kemampuan daya beban dukung sebesar 4,857 kN; 4,860 kN; 5,160 kN. Arus 6 kA memiliki kemampuan daya beban dukung sebesar 4,940 kN; 4,977 kN; 5,313 kN, sedangkan arus 7 kA sebesar 5,267 kN; 5,277 kN; 5,323 kN. Dari hasil pengujian kekerasan vickers *microhardness* didapatkan bahwa variasi yang paling optimal terhadap nilai kekerasan yang terjadi di daerah logam las (*nugget*) adalah arus 7 kA dan waktu 0,6 detik. Peningkatan nilai kekerasan daerah logam las baja karbon rendah sebesar 3,36 kali, yang lebih tinggi dibandingkan nilai kekerasan daerah logam las baja tahan karat yaitu 2,15 kali.

Mustakim dkk (2017), melakukan penelitian tentang pengaruh arus dan waktu *spot welding* terhadap sifat mekanik sambungan *dissimilar* AISI 1003 dengan AISI 1025. Penelitian ini mengkombinasikan waktu dengan variasi 14, 17, 20, 23, dan 26 *cycle* dan variasi arus listrik yang digunakan adalah 49, 52, 55, 58, dan 61 ampere. Dari hasil pengujian tarik nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi 26 *cycle* dan 58 ampere dengan nilai kekuatan tarik sebesar 27,03 kg/mm². Hal ini disebabkan karena menyatunya semua mur pada plat hingga menyebabkan alir rusak. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi waktu 23 *cycle* dan arus 52 ampere. Pada hasil uji struktur mikro daerah HAZ terbentuk struktur ferrite namun terlihat lebih halus dibandingkan logam induk, sementara itu pada weld zone terdapat struktur *acicular ferrite*, *widmenstatten ferrite*, dan *grain boundary ferrite*. Semakin tinggi waktu dan arus pengelasan struktur *grain boundary* semakin mendominasi dan spesimen cenderung terlihat feritik.

Silaban dkk (2016), meneliti tentang pengaruh tegangan listrik dan waktu penekanan pada *spot welding* terhadap kekuatan geser pada aluminium. Penelitian

ini menggunakan variasi waktu penekanan (0,5 detik, 1 detik, 1,5 detik, 2 detik dan tegangan listrik sebesar 1,6 Volt, 1,79 Volt, 2,02 Volt, 2,30 Volt). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi waktu penekanan dengan tegangan berpengaruh terhadap nilai kekuatan tegangan geser. Adapun nilai kekuatan tegangan geser tertinggi berada pada waktu 2,5 detik dengan tegangan arus 2,30 V yaitu sebesar: 14,194 N/mm² sedangkan nilai kekuatan tegangan geser terendah berada pada waktu 0,5 detik dengan tegangan 1,60 V yaitu sebesar: 3,471 N/mm², Artinya semakin tinggi tegangan arus dan semakin lama waktu pengelasan maka kekuatan tegangan geser semakin besar pula, dan jika waktu tidak tetap maka hasil pengelasan akan mengalami kerusakan.

Kuntoro dkk (2017), melakukan penelitian tentang Pengaruh pre-strain dan tegangan listrik terhadap sifat fisik mekanik dan korosi sambungan las titik (RSW) logam beda jenis antara AISI 430 dan JSL AUS (J1). Variasi perlakuan pre-regangan yang digunakan adalah (0%; 0,2%; 0,5%; 1%) dan voltase (1.60 Volt; 1.79 Volt; 2.02 Volt; 2.30 Volt). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran diameter *nugget* membesar seiring meningkatnya tegangan yang menyebabkan mode kegagalan pullout. Ukuran diameter *nugget* menurun setelah pre-regangan diaplikasikan pada spesimen uji dan membuat mode kegagalan interfacial. Variasi pre-regangan pada 1% dan tegangan pada 2.30V memiliki laju korosi tertinggi 0,0497 mm / y.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan memvariasikan parameter pengelasan seperti, waktu, arus listrik, dan tegangan listrik dapat mempengaruhi sifat mekanis material. Diameter *nugget* lasan dan nilai beban tarik yang didapat akan semakin besar seiring dengan meningkatnya variasi parameter pengelasan yang ditentukan.

2.2. Dasar Teori

Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan dengan memanaskan benda kerja tersebut sampai titik cair dan menyatu, sehingga membentuk suatu sambungan atau kumpuh las. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, mudah pelaksanaannya, dapat menahan kekuatan yang tinggi, dan cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

2.2.1 Las Titik

Las titik (*spot welding*) adalah suatu metode penyambungan material logam dengan pengelasan, pada permukaan logam yang akan disambung dialirkan arus listrik sehingga permukaan material menjadi panas dan mencair dikarenakan adanya resistansi listrik. Masukan panas atau *heat input* sangat berpengaruh pada hasil pengelasan titik. *Heat input* sangat mempengaruhi hasil *fusion zone*. *Fusion zone* akan meningkat seiring dengan meningkatnya *heat input* proses pengelasan.

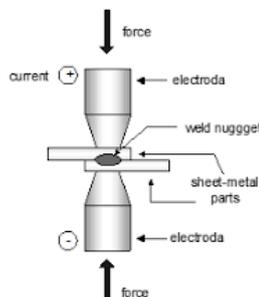
$$H_i = V \times I \times t \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan H_i : *Heat input*

V: Voltase (volt)

I : Arus (ampere)

t : Waktu (detik)



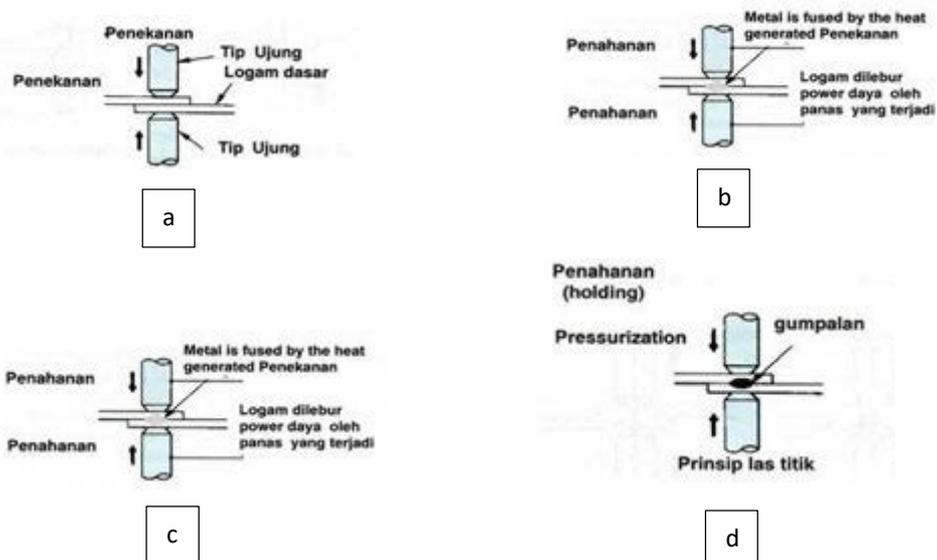
Gambar 2.1 *Resistance Spot Welding (RSW)*

Gambar 2.1 menunjukkan skema pengelasan *spot welding* dengan menunjukkan posisi spesimen las berada di tengah elektroda. *Weld metal* akan terbentuk setelah spesimen diberikan penekanan dari kedua ujung elektroda serta dialiri arus pengelasan.

a. Prinsip dasar *spot welding*

Prinsip dasar dari *spot welding* yaitu mengelas dengan menggunakan tekanan pada tumpuan logam dasar yang akan disambung dan dijepit antara dua elektroda. Besar arus listrik yang dipakai dan panas yang dihasilkan oleh listrik menyebabkan area-area sambungan melebur. Untuk mencairkan logam secara bersamaan, tekanan elektroda diperlukan untuk menahan loga tersebut.

b. Tahapan proses *spot welding*



Gambar 2.2 Tahapan proses RSW

Gambar 2.2 (a) Pada plat logam diberikan penekanan elektroda dengan dialirkannya arus listrik yang menyebabkan permukaan antar logam saling berhubungan. (b) Arus listrik yang dialirkan oleh elektroda menuju plat logam, maka terjadi panas di area sambungan dan menyebabkan suhu naik dengan cepat. (c) Area sambungan dari logam dasar mencair dan melebur bersama, dikarenakan panas yang terjadi. (d) Ketika arus listrik dihentikan area las menjadi dingin secara perlahan dan membentuk suatu gumpalan (*nugget*).

c. Pengaturan *spot welding*

Proses pengelasan *spot welding* ini mempunyai beberapa pengaturan yang harus dilakukan diantaranya yaitu pengaturan arus dan waktu penekanan. Untuk mendapatkan penetrasi hasil lasan yang diinginkan, maka pengaturan arus dan waktu di sesuaikan dengan variasi yang digunakan.

2.2.2 Parameter Pengelasan

Pada metode pengelasan *spot welding* terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap hasil sambungan lasan antara lain waktu penekanan dan arus pengelasan.

2.2.2.1 Arus Pengelasan

Besar arus pengelasan berhubungan dengan masukan panas yang digunakan untuk mencairkan material yang akan di las. (Arifin, 1997) mengatakan apabila arus pengelasan yang digunakan terlalu rendah maka panas yang terjadi tidak bisa untuk melelehkan plat logam sehingga menghasilkan daerah logam induk terlalu cepat dan menghasilkan daerah logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan. Arus yang akan digunakan diatur karena sangat penting dan akan berpengaruh terhadap karakteristik hasil pengelasan. Besar kuat arus diatur tergantung dari jenis dan ukuran material spesimen lasan, geometri sambungan, jenis elektroda dan diameter inti elektroda.

2.2.2.2 Waktu Penekanan (*holding time*)

Waktu penekanan (*holding time*) merupakan parameter yang menentukan masukan panas yang digunakan untuk melelehkan spesimen plat logam. Waktu penekanan pada pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las, hal ini dikarenakan jika waktu penekanan yang diberikan terlalu singkat maka diameter *nugget* yang dihasilkan kecil dan sambungan belum sempurna. Waktu penekanan las harus disesuaikan agar mendapatkan hasil sambungan las dan kekuatan tarik yang baik.

2.2.3 Pengelasan Material Berbeda Jenis (*Dissimilar Metal Welding*)

Pengelasan material berbeda jenis metode ini sering mengalami kegagalan pada sambungan las karena adanya perbedaan sifat fisik, mekanik, termal dan metalurgi. Kendala yang terjadi diakibatkan oleh variasi arus listrik dan waktu penekanan yang belum sesuai karena arus listrik dan waktu penekanan yang dipilih terlalu kecil ataupun terlalu besar. Pemilihan metode pengelasan juga berpengaruh, karena tidak semua metode pengelasan tidak dapat digunakan untuk melakukan pengelasan *dissimilar* ini. Penelitian ini menggunakan penyambungan antara Stainless Steel 304 dan baja karbon tinggi SK-5.

2.2.4 *Stainless Steel AISI 304*

Baja paduan Stainless Steel 304 merupakan jenis baja tahan karat jenis austenite. Jenis baja tipe austenite memiliki kandungan kromium (Cr) yang tinggi, yaitu 16,5 % - 26 % dan mengandung sedikit nikel (Ni) 8%. Jenis baja tahan karat tipe ini merupakan paling mudah untuk dilas dibandingkan dengan baja tahan karat lainnya. Baja austenitik memiliki koefisien panas yang rendah dibandingkan dengan baja tahan karat ferritik, sehingga baja austenit mudah mengalami distorsi dan kontraksi. Namun, masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *welding jig*, (Sindo, 1987).

Tabel 2.1 *Material properties stainless steel AISI 304*

<i>Physical Properties</i>	<i>Metric</i>	<i>English</i>	<i>Comment</i>
<i>Density</i>	<u>8 g/cc</u>	0.289 lb/in ³	
<i>Hardness, Rockwell B</i>	70	70	
<i>Hardness, Vickers</i>	129	129	<i>Converted from Rockwell B hardness.</i>
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	505 MPa	73200 psi	
<i>Tensile Strength, Yield</i>	215 MPa	31200 psi	<i>at 0.2% offset</i>
<i>Elongation at Break</i>	70%	70%	<i>In 50mm</i>
<i>Modulus of Elasticity</i>	193 - 200 GPa	28000 - 29000 ksi	
<i>Poisson's Ratio</i>	0.29	0.29	
<i>Charpy Impact</i>	325 J	240 ft-lb	
<i>Shear Modulus</i>	86 GPa	12500 ksi	

2.2.5 Baja Karbon Tinggi (*High-Carbon Steel*) SK-5

Baja tipe SK-5 merupakan baja karbon tinggi standar JIS G4401 yang setara dengan standar SAE 1085. Material baja karbon tinggi mempunyai sifat tahan panas, kekerasan yang baik dan kekuatan tarik yang tinggi, akan tetapi baja karbon tinggi memiliki nilai keuletan yang rendah sehingga menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya. Dikarenakan baja karbon tinggi memiliki martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Baja karbon tinggi banyak digunakan untuk pembuatan alat-alat perkakas seperti gergaji, palu, pembuatan kikir, pisau cukur.

Tabel 2.2 *Material properties high carbon steel SK-5 (SAE 1085)*

<i>Mechanical Properties</i>		<i>Physical Properties</i>	
<i>Yield $R_{p0.2}$</i>	958 (\geq)	<i>Temperature</i>	
<i>Tensile R_m</i>	886 (\geq)	<i>Modulus of elasticity</i>	576 GPa
<i>Impact KV/Ku</i>	41 J	<i>Mean coefficient of thermal expansion 10-6°C between 20°C</i>	11 °C.
<i>Elongation A</i>	22 %	<i>Thermal conductivity</i>	14,3 – 31,2 (W/m °C)
<i>Reduction in cross section on fracture</i>	13 %	<i>Specific thermal capacity</i>	324 (J/Kg °C)
<i>Brinell hardness (HBW)</i>	143	<i>Specific electrical resistivity</i>	0,21 Ω mm ² /m
<i>Modulus of Elasticity</i>	193 - 200 GPa	<i>Density</i>	244 (Kg/ dm ³)
<i>Poisson's Ratio</i>	0.29	<i>Poisson coefficient</i>	122 V
<i>Charpy Impact</i>	325 J		
<i>Shear Modulus</i>	86 GPa		

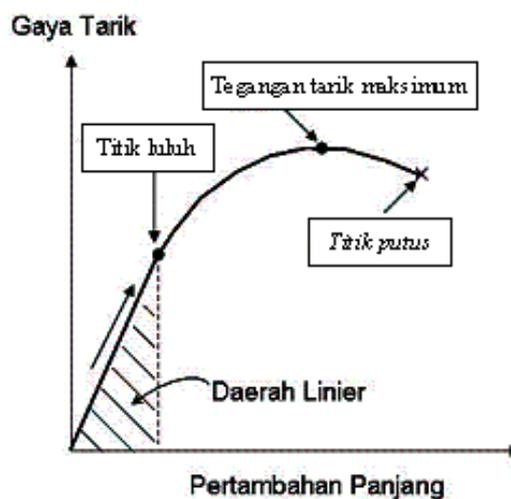
2.2.6 Proses Pengujian

2.2.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan suatu bahan material/bahan dengan cara memberikan beban gaya (Askeland, 1985). Pengujian ini mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Dalam rekayasa teknik desain produk hasil pengujian ini sangat penting karena menghasilkan data kekuatan material. Bentuk spesimen dalam pengujian tarik ini adalah plat, pejal dan pipa silinder yang biasanya dibuat sesuai dengan

standar ASTM, AWS, DIN, dan JIM. Pengujian tarik ini juga digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dan kekuatan sambungan las dalam menahan beban yang diberikan (Hendrawan & Rusmawan, 2014). Beban yang diberikan pada pengujian ini berupa gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji dan menghasilkan kurva gaya perpanjangan (*extension*) yang dapat dilihat pada gambar 2.3.

Membuat grafik kurva tegangan-regangan atau gaya perpanjangan diperlukan beberapa parameter yaitu kekuatan tarik, kekuatan luluh, perpanjangan dan pengurangan luas. Bentuk kurva yang diperoleh juga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya komposisi material, perlakuan panas, deformasi plastis, dan temperatur.



Gambar 2.3 Grafik hasil pengujian tarik berupa kurva gaya-perpanjangan (Rifai, 2015)

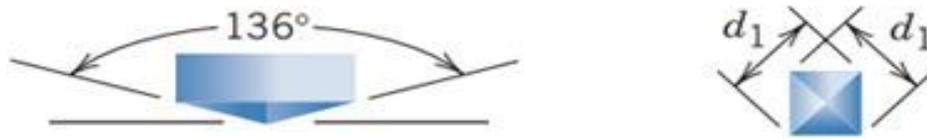
Gambar 2.3 Menunjukkan grafik pengujian tarik berupa kurva gaya-perpanjangan yang didapatkan setelah spesimen dilakukan pengujian tarik. Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai gaya tarik maksimum, dan pertambahan panjang.

2.2.6.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk melihat kumpulan fasa-fasa dari sebuah material logam dan paduannya melalui teknik metalografi sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material tersebut. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mikroskop dan spesimen diamati dengan perbesaran sekitar 20 hingga 3000 kali atau lebih. Pengujian mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir, dan banyaknya bagian struktur yang berbeda. Langkah-langkah yang dilakukan sebelum pengujian mikro adalah pemotongan spesimen, selanjutnya spesimen diletakan pada cetakan resin dan dilakukan pengamplasan agar spesimen dapat dengan mudah diamati saat uji struktur mikro. Pengamplasan dilakukan secara perlahan dari yang kasar hingga paling halus, dan pada sisi permukaan dipoles autosol agar spesimen mengkilat. Langkah terakhir adalah pemberian cairan etsa pada permukaan material agar struktur material logam terlihat dengan jelas.

2.2.6.3 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *vickers* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material atau sebagai kemampuan suatu material untuk menerima beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Dalam pengujian ini digunakan indentor berlian piramida dengan sudut 136° , hasil indentasi yang dihasilkan dari indentor *vickers* sangat jelas, sehingga memiliki akurasi yang sangat baik. Metode ini diaplikasikan pada logam yang memiliki nilai *vickers* rendah 5 HV pada logam lunak hingga logam dengan nilai *vickers* tinggi sekitar 1500 HV pada material logam yang sangat keras. Beban yang diberikan antara 15 hingga 1000 gram dan waktu yang digunakan dalam pembebanan indentasi biasanya 30 detik. Angka kekerasan *vickers* (HV) dapat didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (P) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor (diagonalnya) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$.



Gambar 2.4 Pengujian kekerasan *vickers* dan bentuk indenter (Callister,2006).

Persamaan 2.1 dalam menentukan nilai kekerasan dengan metode *Vickers* ini dapat dituliskan, sebagai berikut:

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan: HV = Angka kekerasan *Vickers*

P = Beban (Kg)

d = Diagonal, rata-rata ukuran dari bekas injakan d_1 dan d_2 (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan 136°