

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian pada las titik sudah mulai banyak dilakukan dari material sejenis maupun tidak sejenis dengan parameter yang berbeda dan variasi yang berbeda untuk meningkatkan kualitas sambungan dan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Ada berbagai macam variasi yang dilakukan penelitian sebelumnya seperti variasi arus pengelasan, waktu penekanan, material yang digunakan dan lain sebagainya.

(Hendrawan dan Rusmawan 2014), melakukan penelitian tentang pengaruh arus dan waktu pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan las titik logam tak sejenis. Variasi parameter arus pengelasan yaitu 5000 A, 6000 A dan 7000 A. Sedangkan variasi waktu adalah 0,4 detik, 0,5 detik dan 0,6 detik. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan baja tahan karat austenit tipe 316 L dengan ketebalan masing-masing 0,9 mm. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi arus dan waktu sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan lasan maupun kekerasan sambungan lasan yang dihasilkan. Untuk variasi parameter pengelasan yang optimal terhadap kekuatan sambungan lasan ditemukan pada variasi arus 7000 A dengan waktu penekanan 0,6 detik dengan nilai 5,323 KN. Sedangkan untuk nilai tertinggi pada kekerasan sambungan lasan ditemukan pada variasi arus 7000 A dan waktu 0,6 detik.

(Amin, 2017), telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi arus listrik terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las titik logam *dissimilar stainless steel* dan baja karbon rendah. Variasi arus yang digunakan adalah 60 A, 70 A, dan 80 A. Adapun waktu pengelasan yang digunakan adalah 4 detik. Material pengujian menggunakan *stainless steel* dan baja karbon rendah dengan masing-masing ketebalan 1,2 mm dan 0,9 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus listrik sangat berpengaruh pada hasil sambungan lasan. Hasil uji tarik yang terbaik ditemukan pada variasi arus 70 A dengan nilai 190,920 KN/mm².

Kemudian untuk struktur mikro yang dihasilkan pada arus 70 A banyak didominasi oleh struktur *perlit* dengan butiran halus.

(Anrinal dan Hendri 2012), meneliti tentang analisa kekuatan tarik hasil *spot welding* baja karbon rendah. Bahan uji yang digunakan adalah baja karbon rendah ST 37 dengan ketebalan 1,5 mm. Waktu penekanan pengelasan yang digunakan adalah 20, 25 dan 30 detik. Sedangkan untuk arus pengelasan yang digunakan yaitu 70 A. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengelasan, maka diameter *nugget* yang dihasilkan akan semakin besar begitu juga dengan gaya tarik yang dihasilkan besar pula. Untuk diameter *nugget* yang terbesar di temukan pada variasi waktu 30 detik dengan nilai diameter 5,8 mm. sedangkan untuk nilai tegangan tarik rata-rata terbesar yang dihasilkan adalah $400,82 \text{ N/mm}^2$ dengan varisi 30 detik.

(Handra dan Syafra 2013), telah melakukan penelitian dengan judul studi kekuatan sambungan plat pada *spot welding* ditinjau dari kekuatan tarik dan geser. Pada penelitian ini material yang pakai adalah baja karbon rendah ST 37 dengan dua tipe yaitu plat galvanis dan plat hitam. Adapun variasi waktu penekanan pengelasannya yaitu 2 detik, 2,5 detik, 3 detik dan 3,5 detik, sedangkan arus yang digunakan adalah 26 A. Hasil dari penelitian ini menunjukkan semakin lama waktu pengelasan maka akan semakin besar pula diameter *nugget* dan juga kekuatan dari sambungan lasan. Waktu pengelasan yang optimal dari penelitian ini ditemukan pada variasi waktu 3,5 detik dengan tegangan tarik rata-rata terbesar dengan nilai $167,30 \text{ N/mm}^2$ untuk plat hitam dan $145,56 \text{ N/mm}^2$ untuk plat galvanis. Sedangkan untuk tegangan geser rata-rata terbesar dengan nilai $156,66 \text{ N/mm}^2$ untuk plat hitan dan $111,74 \text{ N/mm}^2$ untuk plat galvanis.

Pada penelitian yang lain, (Handra, 2014), telah melakukan penelitian tentang pengelasan titik dengan judul pengaruh waktu tekan dan hasil gumpalan terhadap kekuatan geser pada las titik. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu plat baja dengan ketebalan 1,5 mm. Adapun variasi waktu pengelasan yang digunakan yaitu 10, 20 dan 30 detik, dan untuk variasi arus pengelasan yang dipakai adalah 70, 80 dan 90 A. Dari hasil penelitian yang dilakukan untuk waktu dan arus yang optimal di temukan pada arus 70 A dengan waktu 30 detik, hal tersebut dapat

dilihat hasil dari kekuatan gesernya yaitu sebesar 511,623 N/mm². Dimana nilai tersebut merupakan nilai terbesar dari variasi yang lain.

(Agustriyana dkk, 2011), telah melakukan penelitian tentang pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan pada proses las titik (*spot welding*) terhadap kekuatan tarik dan mikrostruktur hasil las fasa ganda (*ferrite-martensite*). Pada penelitian ini untuk bahan material uji yang digunakan adalah plat baja karbon rendah AISI 1005 dengan ketebalan 1 mm. Variasi arus yang dipakai adalah 900 A, 1600 A, 1850 A dan variasi waktu penekanannya yaitu 0,25 detik, 0,5 detik, 0,75 detik dan 1 detik. Adapun hasil dari penelitian ini menunjukkan semakin besar kuat arus dan waktu pengelasan maka semakin besar pula hasil kekuatan hasil tarik yang dihasilkan. Hasil sambungan yang optimal ditemukan pada arus 1,85 A dengan waktu penekanan 1 detik dan hasil tegangan tarik rata-rata terbesar dengan nilai 237,04 N/mm².

(Fachruddin dkk, 2016), melakukan penelitian penyambungan tak sejenis (*dissimilar*) dengan metode las titik dengan judul pengaruh variasi arus listrik pengelasan titik (*spot welding*) terhadap kekuatan geser, kekerasan dan struktur mikro pada sambungan *dissimilar stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon rendah ST 41. Pada penelitian ini variasi arus listrik yang digunakan yaitu 1000 A, 1200 A, 1400 A dan 1600 A dan untuk waktu pengelasannya selama 1 detik. Dari hasil penelitian bahwa nilai kekuatan geser yang paling baik terdapat pada arus 1000 A dengan nilai 76,89 kg/mm². Sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi didapatkan dengan nilai 105,7 HRB pada arus 1000 A.

Pada penelitian yang sama dengan penyambungan tak sejenis dilakukan oleh (Firmansyah dkk, 2016) dengan judul pengaruh variasi waktu penekanan pengelasan titik terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada sambungan *dissimilar* baja tahan karat AISI 304 dengan baja karbon rendah ST 41. Untuk variasi waktu yang digunakan yaitu 0,5 detik, 1 detik, 1,5 detik dan 2 detik dan arus pengelasan yang dipakai yaitu 1200 A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik yang tertinggi diperoleh pada variasi waktu 1 detik sebesar 26,6 kg/mm². Untuk nilai kekerasan tertinggi juga sama pada variasi 1 detik dengan nilai 86,2 HRB.

Penelitian dengan penyambungan logam tak sejenis juga dilakukan oleh (Mustakim dkk, 2017), dengan judul pengaruh arus dan waktu *spot welding* terhadap sifat meknik sambungan *dissimilar* AISI 1003 dengan AISI 1025. Parameter variasi arus yang digunakan yaitu 49 A, 52 A, 55 A, 58 A dan 61 A. Untuk variasi waktu penekanan pengelasan yang dipakai yaitu 14, 17, 20, 23, dan 26 *cycle*. Penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik terbesar didapat pada variasi waktu 26 *cycle* dan variasi arus 58 A dengan nilai sebesar 27,03 kg/mm². Sedangkan untuk nilai kekerasan tertinggi daerah las didapat pada variasi waktu 23 *cycle* dan variasi arus 52 A dengan nilai 237,7 VHN.

Selain itu (Purwaningrum dan Fatchan, 2013), meneliti tentang penyambungan tak sejenis dengan metode *spot welding* dengan judul pengaruh arus listrik terhadap karakteristik fisik-mekanik sambungan las titik logam *dissimilar* Al-*steel*. Material yang digunakan pada pengujian ini yaitu aluminium 5083 dan baja SS 400. Pengelasan dilakukan menggunakan variasi arus 65 A, 70 A dan 75 A dan untuk waktu penekanan pengelasan menggunakan 1,2 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat daerah logam las pada material SS 400. Hal tersebut sesuai dengan mikro struktur yang dihasilkan pada daerah tersebut yakni bainit.

(Nugroho dkk, 2018), melakukan penelitian tentang pengelasan titik dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan plat baja karbon rendah dan lama waktu penekanan las terhadap kekuatan tarik. Variasi ketebalan plat yang digunakan adalah 0,6 mm, 0,8 mm dan 1 mm dengan lama penekanan 1 detik, 2 detik dan 3 detik. Dari hasil penelitian nilai tegangan tarik rata-rata terbesar didapat 67,69 N/mm² pada ketebalan plat 0,6 mm dengan lama waktu penekanan 3 detik.

Begitu juga dengan (Waluyo, 2013), telah melakukan penelitian yang sama tentang pengelasan titik dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh tebal plat aluminium dan lama penekanan terhadap sifat fisis, mekanis dan efisiensi panas. Variasi tebal plat yang dipakai yaitu 0,8 mm, 1 mm dan 1,2 mm, sedangkan untuk variasi waktu yang digunakan 1 detik, 1,5 detik dan 2 detik. Penyambungan plat menggunakan sambungan tindih (*lap joint*) dan arus pengelasan yang digunakan 26 A dengan voltase output sebesar 1,75 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

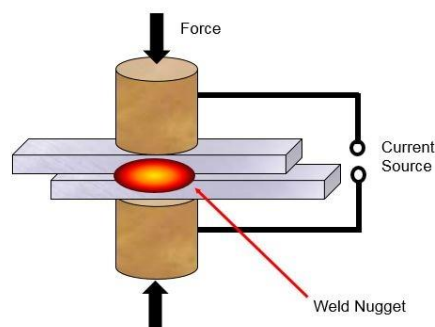
kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi waktu 2 detik dan tebal plat 1,2 mm dengan nilai $0,09 \text{ kg/mm}^2$ dan nilai kekerasan terendahnya adalah $0,02596 \text{ kg/mm}^2$ di peroleh pada variasi waktu 0,8 mm dan tebal plat 0,8 mm.

Beberapa penelitian diatas menunjukkan bahwa penelitian mengenai las titik sangat menarik dan masih banyak yang perlu diteliti dari penggunaan material yang berbeda maupun material yang sama atau menggunakan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik material demi meningkatkan kualitas sambungan. Ada berbagai macam variasi yang dilakukan penelitian sebelumnya seperti variasi arus pengelasan, waktu penekanan, material yang digunakan dan lain sebagainya. Akan tetapi penelitian tentang las titik yang terfokus pada variasi diameter elektroda terhadap sambungan *dissimilar* sebelumnya belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi diameter elektroda terhadap sambungan *dissimilar* untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik yang dihasilkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Las Titik

Las titik (*resistance spot welding*) merupakan salah satu pengelasan menggunakan arus listrik dimana dua permukaan plat yang akan disambung ditekan satu sama lain dengan dua buah elektroda yang dialiri listrik, sehingga permukaan material menjadi panas dan mencair dikarenakan adanya resistansi listrik. Kelebihan dari proses pengelasan ini lebih cepat dan rapi dibandingkan las asitelin ataupun las busur listrik serta cukup ekonomis.



Gambar 2.1 Proses terjadinya sambungan las titik
 Sumber : <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16217>

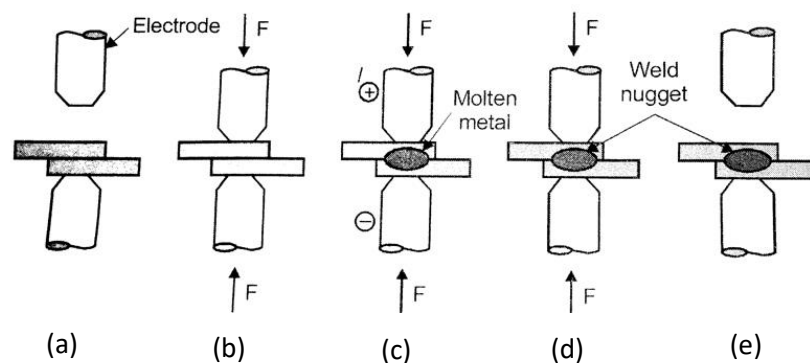
Proses terjadinya sambungan las titik pada benda kerja disebabkan oleh listrik yang mengalir pada kedua plat elektroda yang ditekan sehingga pada titik singgung kedua buah benda kerja atau material menimbulkan panas maka terjadilah proses sambungan las (Handra, 2014).

a. Prinsip dasar las titik (*resistance spot welding*)

Pengelasan menggunakan tekanan pada plat material yang akan disambung dan dijepit diantara dua elektroda yang dialirkan arus listrik. Besar arus listrik yang digunakan dan panas yang dihasilkan oleh listrik menyebabkan area yang akan disambung menjadi leleh kemudian kedua plat tersambung.

b. Tahapan proses las titik (*resistance spot welding*)

Pada pengelasan titik atau *spot welding* terjadi 5 tahap pengelasan seperti pada gambar berikut



Gambar 2.2 Tahapan proses las titik

Sumber : <https://techminy.com/resistance-spot-welding/>

Gambar 2.2 menunjukkan tahapan proses las spot welding (a) material yang akan disambung diletakan diantara kedua elektroda. (b) penekanan pada plat material oleh elektroda yang dialirkan arus listrik sehingga kedua plat tersebut saling berhubungan. (c) arus listrik mengalir menuju plat material dan terjadi panas diarea yang akan disambung. (d) area sambungn dari plat material menjadi leleh dan mencair sehingga kedua plat tersebut tersambung. (e) area sambungan las menjadi dingin dan membentuk suatu gumpalan (*nugget*)

c. Pengaturan las titik (*resistance spot welding*)

Proses pengelasan titik 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 disesuaikan dengan variasi yang digunakan.

2.2.2 Parameter Pengelasan

Pada pengelasan dengan metode las titik terdapat beberapa parameter pengelasan yang dapat mempengaruhi hasil sambungan lasan antara lain arus pengelasan, waktu pengelasan dan dimensi elektroda.

1. Arus pengelasan

Besar kuat arus diatur tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, jenis elektroda dan diameter inti elektroda. Pengaturan besar arus pengelasan yang digunakan sangat penting karena akan berpengaruh terhadap karakteristik dari hasil lasan. apabila arus pengelasan yang digunakan terlalu rendah, maka panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan material benda kerja, sehingga menghasilkan daerah logam las yang kecil serta penetrasi lasan menjadi dangkal, sebaliknya apabila arus pengelasan terlalu tinggi maka logam induk terlalu cepat meleleh dan menghasilkan daerah logam las yang lebar serta penetrasi lasan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan.

2. Waktu Pengelasan (*Holding time*)

Holding time merupakan waktu pengelasan yang menentukan masukan panas (*heat input*) untuk melelehkan logam induk. Waktu pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari sambungan las yang dihasilkan, apabila waktu pengelasan yang diberikan terlalu cepat maka diameter hasil lasan yang dihasilkan menjadi kecil dan sambungannya belum sempurna serta kekuatan tarik yang dihasilkan menjadi turun. Oleh karena itu, penentuan waktu pengelasan yang diberikan harus sesuai agar mendapatkan hasil sambungan lasan dan kekuatan tarik yang baik.

3. Dimensi Elektroda

Diameter permukaan elektroda pengelasan sangat berpengaruh terhadap sambungan las yang dihasilkan, apabila diameter elektroda pengelasan yang digunakan terlalu kecil maka diameter *nugget* yang dihasilkan menjadi kecil dan sambungan menjadi tidak kuat serta kekuatan tarik yang dihasilkan menjadi turun.

Hal ini dikarenakan luas penampang permukaan elektroda sangat berpengaruh terhadap masukan panas yang diberikan. Maka dari itu, diameter permukaan elektroda pengelasan yang digunakan harus sesuai agar mendapatkan hasil sambungan lasan dan kekuatan tarik yang baik.

2.2.3 Heat Input

Panas yang terjadi selama proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap distribusi suhu, tegangan sisa dan distorsi. Panas juga dapat mempengaruhi transformasi fasa sehingga dapat berpengaruh pada sifat fisik dan mekanik las. Adapun masukan panas (*heat input*) yang masuk pada material selama proses pengelasan (*resistance spot welding*) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$H = V \cdot I \cdot t$$

$$H = V \cdot \frac{V}{R} \cdot t$$

$$H = \frac{V^2}{R} \cdot t \dots\dots\dots(2.1)$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

- Dengan:
- H = Total *Heat Input* (Joule)
 - V = Tegangan (Volt)
 - R = Resistansi (Ohm)
 - t = Waktu (s)
 - ρ = hambatan jenis ($\Omega \cdot m$)
 - l = Panjang plat (mm)
 - A = luas penampang elektroda (mm)
 - I = Arus (A)

2.3 Pengelasan Material Berbeda jenis (*Dissimilar Metal Welding*)

Pengelasan material tidak sejenis ini masih sering mengalami kegagalan pada sambungan lasan. Kegagalan yang terjadi disebabkan oleh variasi kuat arus dan waktu penekanan yang belum sesuai, mungkin karena variasi kuat arus dan

waktu penekanan yang dipilih terlalu kecil atau terlalu besar (Mustakim, 2017). Pada penelitian ini material yang akan disambung dengan metode *spot welding* adalah *stainless steel* 304 dengan baja karbon rendah.

2.3.1 Baja Tahan Karat Tipe 304 (*Stainless Steel* 304)

Baja tahan karat tipe 304 (*stainless steel* 304) merupakan baja paduan jenis *austenitic*. Baja *austenitic* memiliki kandungan kromium dan nikel yang lebih tinggi yang membuatnya secara teoritis menjadi non-magnetik. *Stainless steel* 304 mengandung sekitar 18 % kromium dan 8 % nikel. Jenis baja tahan karat ini merupakan yang paling mudah dilas dan dibentuk daripada jenis baja tahan karat yang lainnya. *Stainless steel* 304 banyak diaplikasikan untuk peralatan dapur dan peralatan medis. Adapun sifat mekanik dan hambatan jenis dari *stainless steel* 304 dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Sifat mekanik *stainless steel* 304
Sumber : <https://www.lenntech.com/stainless-steel-304.htm>

<i>Mechanical properties and electrical resistivity</i>	<i>Value</i>
<i>Hardness, Rockwell Ball</i>	82 HRB
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	621 MPa
<i>Tensile Strength, Yield</i>	290 MPa
<i>Elongation at Brake</i>	55 %
<i>Modulus of elasticity</i>	193 GPa
<i>Electrical resistivity</i>	$6,90 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$

2.3.2 Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*) SPHC JIS G3131

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan utama besi dan karbon dengan komposisi karbon < 0,3 %. sehingga baja karbon rendah ini mempunyai keuletan dan ketangguhan lebih kuat, namun kekerasannya rendah/lunak, tidak tahan aus, dan kemampuan regangnya kurang. Dengan kandungan karbon yang rendah ini menyebabkan struktur yang dimiliki oleh baja karbon rendah didominasi struktur *ferrite* dan *pearlite*. Baja SPHC merupakan baja yang dihasilkan lewat proses panas canai dengan kualitas komersil. Baja SPHC

sering digunakan dalam industri alat rumah tangga, dekorasi logam, bahan pembuatan sasis mobil, knalpot dan rangka kendaraan dll. Adapun sifat mekanik dan hambatan jenis dari baja karbon rendah SPHC JIS G3131 dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Sifat mekanik baja karbon rendah SPHC JIS G3131
Sumber : <https://www.materialgrades.com/jis-g-3131-commercial-hot-rolled-sphc-steels-24.html>

<i>Mechanical properties and electrical resistivity</i>	<i>Value</i>
<i>Tensile strength</i>	270 N/mm ²
<i>Elongation</i>	27 %
<i>Electrical resistivity</i>	1,43 x 10 ⁻⁷ Ω · m

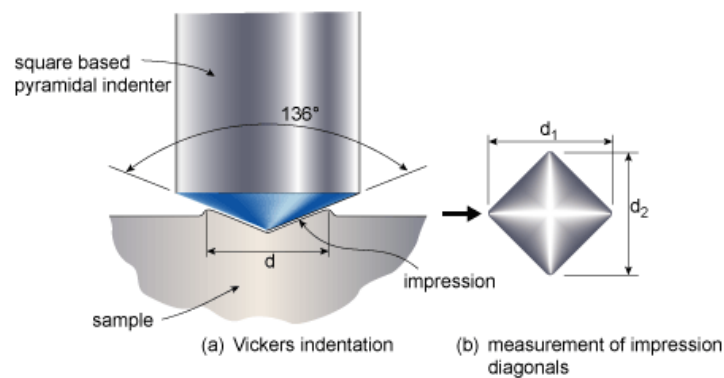
2.4 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian mikro dilakukan untuk melihat fasa dari material logam dan paduannya sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material uji tersebut. Material uji diamati dengan menggunakan perbesaran antara 20 sampai 3000 kali atau lebih. Hasil dari pengujian ini berupa informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir, dan banyaknya bagian struktur yang berbeda. Ada beberapa langkah sebelum dilakukan pengujian diantaranya pemotongan spesimen, pengamplasan dan penghalusan spesimen. Sebelum dilakukan pengamplasan material harus diresin terlebih dahulu dengan tujuan agar pada saat proses pengamplasan dilakukan menjadi mudah. Pengamplasan sendiri dilakukan dengan menggunakan amplas halus secara bertahap. Langkah selanjutnya pemolesan dengan autosol yang akan menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilat. Hal terakhir yang dilakukan sebelum pemeriksaan dilakukan adalah dengan mengetsa permukaan material uji supaya struktur material logam bisa terlihat jelas.

2.5 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan atau *hardness* dalam metode pengujian yang paling sering digunakan untuk menganalisa kualitas dan ketahanan material. Pengujian *vickers* merupakan salah satu pengujian mekanik yang dilakukan untuk mengetahui

kekerasan dari suatu material atau bisa diartikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Pengujian kekerasan ini perlu dilakukan terutama pada material yang pada penggunaannya akan mengalami gesekan dan deformasi plastis. Metode kekerasan *vickers* dilakukan dengan cara menekan benda uji dengan indenter terbuat dari intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan sudut puncak 136° seperti ditunjukkan gambar berikut ini



Gambar 2.3 Indentasi *vickers*

Sumber : <https://www.forgemag.com/articles/84692-hardness-testing-machine-shopping-tips>

Perhitungan nilai kekerasan dengan metode *vickers* dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Dengan : HV : *Hardness vickers*

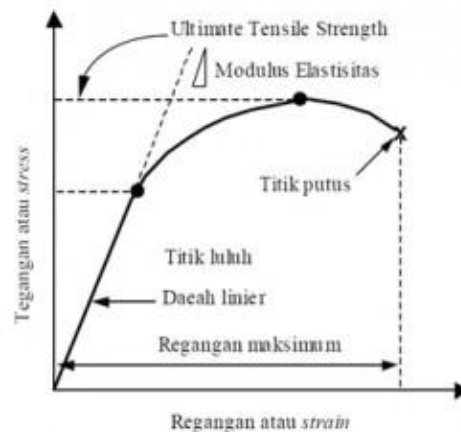
P : Beban (Kg)

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

2.6 Pengujian Tarik

Untuk mengetahui sifat dari material perlu dilakukan suatu pengujian salah satunya pengujian tarik. Pengujian tarik mempunyai fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali suatu karakteristik dari material tersebut. Pada pengujian ini, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan geser dari hasil sambungan plat yang telah dilakukan. 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. Data yang didapat dari pengujian ini berupa kurva tegangan regangan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva hasil uji tarik tegangan regangan

Sumber : <https://www.alatuji.com/index.php?/article/detail/2/uji-tarik>

Dari gambar 2.4 ada tiga parameter yang dapat dilihat yaitu titik luluh, tegangan maksimum dan titik putus. Titik luluh merupakan titik dimana material mengalami perubahan fase dari perilaku elastis ke awal perilaku plastis. Tegangan maksimum merupakan tegangan batas tegangan atau kekuatan material yang mampu ditahan sebelum mengalami patah. Titik putus merupakan titik dimana material uji mengalami perpatahan atau putus. Adapun untuk tegangan geser sendiri dapat dihitung dengan membagi nilai beban yang didapat dengan luas penampang, dimana pada penelitian ini luas penampangnya berupa lingkaran (*nugget*) yang terbentuk dari pengelasan. Untuk mencari nilai tegangan geser dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$\tau = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan : τ = Tegangan geser (N/mm²)

P = Kapasitas beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)