

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Penyambungan material dengan menggunakan metode las titik telah banyak dilakukan penelitiannya, baik itu penyambungan sejenis ataupun penyambungan tak sejenis. Ada berbagai variasi parameter yang telah diteliti sebelumnya, ada yang meneliti dengan memvariasikan material lasan, waktu penekanan, arus pengelasan, dan sebagainya.

Anrinal dan Hendri (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi waktu penekanan terhadap kekuatan tarik hasil *spot welding* baja karbon rendah. Parameter waktu penekanan yang digunakan adalah (20, 25 dan 30 detik). Arus pengelasan yang digunakan adalah 70 A dan material ujinya adalah baja karbon rendah ST 37 dengan tebal 1,5 mm. Penelitian ini menggunakan 3 buah sampel untuk masing-masing variasi waktu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengelasan maka diameter nugget yang dihasilkan semakin besar dan gaya tarik yang dibutuhkan juga semakin besar pula. Diameter *nugget* terbesar yang dihasilkan adalah 5,8 mm pada variasi waktu 30 detik, dan tegangan tarik rata-rata terbesar yang dihasilkan adalah $400,82 \text{ N/mm}^2$ juga pada variasi waktu 30 detik.

Handra dan Syafr (2013), juga telah melakukan penelitian tentang studi kekuatan sambungan plat pada pengelasan titik yang ditinjau dari kekuatan tarik dan geser. Penelitian ini menggunakan plat hitam dan plat galvanis dengan ketebalan 1,2 mm sebagai spesimen uji serta parameter yang divariasikan hanya pada waktu penekanannya (2 detik, 2,5 detik, 3 detik dan 3,5 detik). Arus pengelasan yang digunakan sebesar 26 A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengelasan, kekuatan dan diameter *nugget* sambungan yang dihasilkan semakin besar pula, dimana nilai kekuatan tarik rata-rata terbesar dari sambungan plat hitam sebesar $167,30 \text{ N/mm}^2$ dan galvanis sebesar $145,56 \text{ N/mm}^2$.

Handra (2014), juga telah melakukan penelitian yang lain dengan judul Pengaruh Waktu Tekan dan Hasil Gumpalan terhadap Kekuatan Geser pada Las Titik. Penelitian ini menggunakan plat baja dengan tebal 1,5 mm sebagai material uji, serta variasi arus pengelasan yang digunakan adalah 10, 20 dan 30 detik. Adapun variasi arusnya adalah 70 A, 80 A dan 90 A. Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data yang dilakukan, arus dan waktu penekanan yang paling efektif adalah 70 A dan 30 detik. Hal tersebut dilihat dari besarnya tegangan geser yang diperoleh, yaitu sebesar $511,623 \text{ N/mm}^2$, dimana nilai ini adalah yang paling besar dibandingkan dengan variasi yang lain.

Susanto dan Bisono (2017), juga telah meneliti tentang las titik dengan judul Pengaruh Tekanan Aliran Mesin Pendingin pada Mesin Las Titik Terhadap Kekuatan Tarik dan Makrostruktur Galvalum dengan SCFC. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *true experimental research* dengan variasi parameter tekanan aliran pendingin 10 psi, 20 psi, dan 30 psi. Sedangkan variabel kontrol yang digunakan yaitu: kuat arus pengelasan 8 A, waktu penekanan 4 detik, dan tebal plat 0,4 mm. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi tekanan aliran pendinginan maka kekuatan tariknya semakin meningkat dan diikuti juga meningkatnya kekuatan gesernya.

Waluyo (2013), meneliti tentang sifat fisis, mekanis dan efisiensi panas yang dihasilkan dari pengelasan aluminium dengan metode las titik. Parameter pengujian yang digunakan adalah variasi tebal plat dan waktu penekanan. Variasi tebal plat yang digunakan adalah 0,8 mm; 1mm dan 1,2 mm sedangkan variasi waktu penekanan yang digunakan yaitu 1 detik; 1,5 detik dan 2 detik. Material pengujian disambung tindih (*lap joint*) dengan arus pengelasan sebesar 26 A dan voltase output 1,75 V. Hasil pengujian menunjukkan kekerasan terbesar didapat pada pengelasan menggunakan waktu pengelasan 2 detik dan tebal plat 1,2 mm yaitu sebesar $0,09 \text{ kg/mm}^2$ dan kekerasan terendah adalah $0,02596 \text{ kg/mm}^2$ pada pengelasan plat 0,8 mm dengan waktu penekanan 1 detik.

Pada penelitian yang lain Waluyo (2012), telah meneliti tentang pengaruh variasi tebal plat, tegangan listrik, dan lama penekanan pengelasan titik terhadap sifat fisis dan mekanik pada sambungan baja karbon rendah AISI 1010. Pengujian

tersebut menggunakan arus pengelasan 26 A serta variasi tebal plat 0,6 mm; 0,8 mm dan 1 mm, variasi tegangan listrik yang dipakai yaitu 1,75 V; 2,2 V; dan 2,8 V, sedangkan variasi waktunya adalah 1,5; 2,5 dan 3 detik. Hasil pengujian yang didapat menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi yang diperoleh adalah 11 kg/mm^2 pada pengelasan dengan tegangan 1,75 V dan waktu penekanan 1,5 detik pada ketebalan plat 0,8 mm. Kekuatan tarik terendah yang didapat adalah $1,7 \text{ kg/mm}^2$ dengan menggunakan tegangan 2,3 V dan waktu penekanan 3 detik pada ketebalan plat 0,6 mm. Sedangkan kekerasan tertinggi yang didapat adalah pada pengelasan menggunakan tegangan 2,3 V, waktu penekanan 3 detik, dengan tebal plat 1,2 mm yaitu sebesar $300 \text{ mg}/\mu\text{m}^2$ pada daerah pengelasan, dan kekerasan terendah yang diperoleh $138 \text{ mg}/\mu\text{m}^2$ pada pengelasan menggunakan tegangan 1,75 V dan waktu penekanan 1,5 detik dengan tebal plat 1,2 mm pada daerah HAZ.

Sementara itu Agustriyana dkk (2011), meneliti tentang pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan pada proses las titik terhadap kekuatan tarik hasil las dari baja fasa ganda (*ferrite-martensite*). Material uji yang digunakan adalah plat AISI 1005 dengan tebal 1 mm yang telah *ditreatment* menjadi baja fasa ganda. Arus pengelasan yang digunakan adalah 0,9 kA; 1,6 kA; dan 1,85 kA dengan waktu pengelasan 0,25; 0,5; 0,75 dan 1 detik. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik terbesar yang diperoleh sebesar $237,04 \text{ N/mm}^2$ pada variasi pengelasan 1,85 kA dan waktu 1 detik. Sedangkan kekuatan tarik terendah sebesar 150 N/mm^2 yaitu pada variasi 0,9 kA dan waktu 0,25 detik.

Fachruddin dkk (2016) juga telah meneliti pengaruh variasi arus listrik pengelasan titik terhadap kekuatan geser, kekerasan dan struktur mikro pada sambungan *dissimilar* baja *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon rendah ST 41. Pengelasan tersebut menggunakan tebal plat masing-masing bahan 1 mm, waktu penekanannya 1 detik dan variasi arus yang digunakan adalah 1000 A, 1200 A, 1400 A, 1600 A. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan terbesar yang diperoleh adalah $76,89 \text{ kg/mm}^2$ yaitu pada variasi arus 1000 A, begitu pula dengan kekerasan yang paling baik, terdapat pada variasi pengelasan dengan arus 1000 A,

hal ini disebabkan oleh terbentuknya struktur mikro yang didominasi oleh *ferrite acicular* yang mampu menghambat laju perambatan retak.

Purwaningrum dan Fatchan (2013) meneliti tentang pengaruh arus listrik terhadap karakteristik fisik-mekanik sambungan las titik logam aluminium dan baja. Penelitian ini menggunakan aluminium seri 5083 dengan tebal 4 mm dan baja SS 400 dengan tebal 1,2 mm. Pengelasan dilakukan menggunakan variasi arus 65 A, 70 A dan 75 A serta *holdnig time* 1,2 detik. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan terbesar terdapat pada daerah logam las pada SS 400, hal ini sesuai dengan struktur mikro yang terbentuk pada daerah tersebut yaitu berupa bainit. Sedangkan pada daerah logam induk dan HAZ untuk semua variasi arus pengelasan, strukturnya berupa ferit dan perlit.

Sedangkan penelitian penyambungan tak sejenis dengan metode *spot welding* telah dilakukan oleh Mustakim dkk (2017) dengan judul Pengaruh Arus dan Waktu *Spot Welding* terhadap Sifat Mekanik Sambungan *Dissimilar* AISI 1003 dengan AISI 1025. Pada penelitian ini variasi arus yang dipakai adalah 49 A, 52 A, 55 A, 58 A, 61 A, dan kombinasi waktunya 14, 17, 20, 23, 26 *cycle*. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi 26 *cycle* dan 58 A yaitu sebesar 27,03 kg/mm². Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah las dengan variasi waktu 23 *cycle* dan arus 52 A sebesar 237,7 VHN.

Penelitian sambungan las dengan metode *spot welding* pada material tak sejenis juga telah dilakukan oleh Amin (2017). Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari sambungan las yang dihasilkan. Perpaduan material yang digunakan adalah *stainless steel* dengan tebal 1,2 mm dan baja karbon rendah dengan tebal 0,9 mm. Variasi parameter arus yang digunakan adalah 60 A, 70, dan 80 A serta waktu pengelasan yang digunakan selama 4 detik. Hasil penelitian menunjukkan hasil kekuatan tarik yang tertinggi terdapat pada variasi arus 70 A yaitu sebesar 190,920 kN/mm².

Penelitian dengan metode spot TIG welding telah dilakukan oleh Abbass dkk (2016) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter arus, waktu pengelasan dan tebal plat terhadap gaya geser maksimum dan diameter *nugget*.

Bahan yang diteliti adalah baja AISI 304L dengan variasi ketebalan 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1 mm, sedangkan variasi waktu yang digunakan yaitu 2 detik, 4 detik dan 6 detik. Variasi arus yang dipakai pada penelitian ini adalah 125, 150 dan 175 Ampere. Metode pengujian yang dipakai adalah metode taguchi dengan *array orthogonal L27* dan hasil menunjukkan bahwa gaya geser maksimal akan meningkat seiring meningkatnya arus dan waktu penekanan, kemudian akan turun lagi pada arus yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama. Nilai gaya geser terbesar yang diperoleh yaitu 14000 N pada variasi ketebalan 1 mm serta arus 175 A dan waktu penekanan 6 detik.

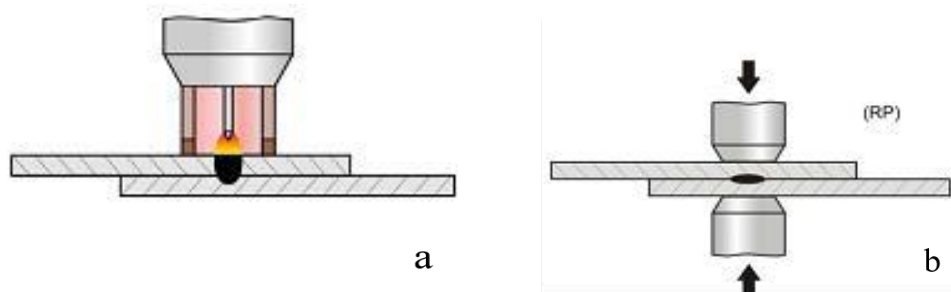
Selain itu Faozi (2015), meneliti tentang pengaruh variasi parameter arus listrik dan waktu pengelasan terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las *spot TIG* material tak sejenis baja SS400 dan paduan aluminium AA5083 dengan tebal masing-masing 1,2 mm dan 2,5 mm. Variasi arus pengelasan yang digunakan adalah 70A, 80A, 90A, 100A, dan variasi waktu penekanannya 6 detik, 7 detik, 8 detik. Setelah dilakukan pengujian hasil lasan, didapat nilai *Tensile Load Bearing Capacity* (TLBC) rata-rata tertinggi sebesar 869,19 N yaitu pada pengelasan dengan parameter arus 100 A, dan waktu penekanan 8 detik. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada arus 70 A dan waktu pengelasan 6 detik yaitu sebesar $\pm 241,30$ HV pada daerah *weld metal* baja SS400. Sedangkan struktur mikro menunjukkan pembesaran ukuran butir pada daerah HAZ baja SS400 dan aluminium AA5083 seiring dengan meningkatnya arus dan waktu pengelasan.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan penelitian tentang sambungan pengelasan dengan metode *spot tig welding* masih jarang dilakukan, pada penelitian sebelumnya banyak yang menggunakan metode *resistance spot welding* dimana metode ini sudah banyak diterapkan pada beberapa industri, beda halnya dengan metode *spot TIG welding* ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang sifat fisis dan struktur mikro pada sambungan baja karbon rendah dan aluminium 1100 dengan metode *spot TIG welding*, yang sebelumnya belum pernah dilakukan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Spot TIG welding*

Spot TIG welding merupakan modifikasi dari proses pengelasan TIG biasa. Metode pengelasan titik ini memungkinkan untuk dapat menyambung lembaran logam hanya dari salah satu sisi material induknya saja, berbeda dengan pengelasan *resistance spot welding* yang membutuhkan akses dari kedua sisi material induk yang akan dilas, sehingga pengelasan dengan metode ini lebih mudah pengoprasianya. Adapun perbedaan prinsip antara *resistance spot welding* dan *spot TIG welding* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



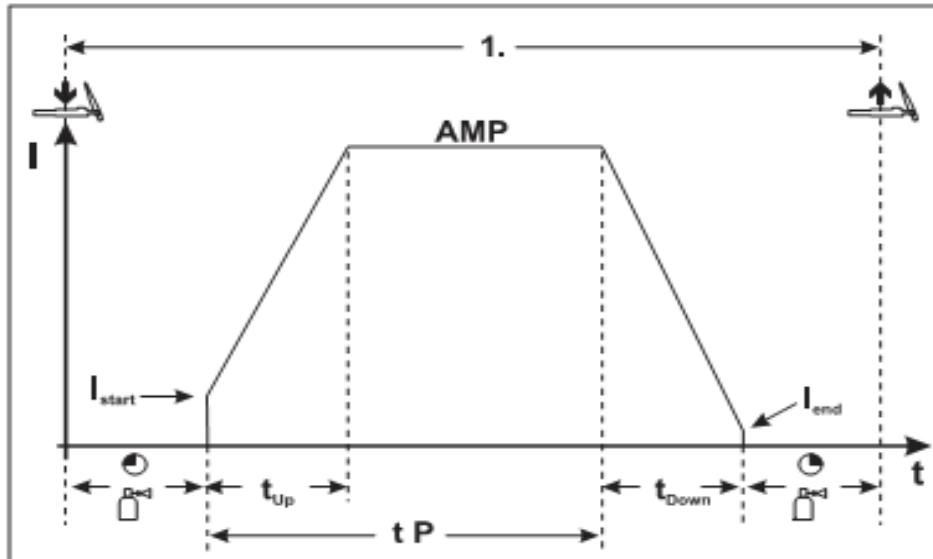
Gambar 2.1 Prinsip pengelasan (a) *spot TIG welding* dan (b) *resistance spot welding* (Faozi,2015)

Pengelasan ini menggunakan gas argon yang berfungsi untuk memastikan saat proses pengelasan berlangsung, bagian yang akan disambung tidak terkontaminasi dengan udara sekitar dengan tekanan manual dari *gun las spot TIG*.

a. Proses *spot TIG welding*

Proses pengelasan spot TIG ini tetap membutuhkan *power supply* las TIG konvensional yang mampu menghasilkan arus DC yang dimulai dari busur *High Frequency* (HF). Langkah kerja proses pengelasan *spot TIG* ini dapat dilihat pada Gambar 2.2. Proses pengelasan *spot TIG* ini dimulai saat pelatuk pada *spot gun* ditekan dan ditahan, proses ini ditunjukkan pada angka (1). Selama pelatuk pada *spot gun* belum dilepas proses pengelasan juga belum selesai. Gas pelindung (argon) akan mengalir tepat sebelum pengelasan dimulai. proses berikutnya adalah penyalaan busur api pada material yang akan dilas karena adanya lompatan pengapian *high frequency* (HF) elektroda yang terbuat dari tungsten ke material

lasan. Sedangkan arus pengelasan secara konstan mengalir sesuai nilai arus pengapian (I_{start}) yang telah ditentukan.



Gambar 2.2 Proses langkah kerja pengelasan *spot TIG* (Faozi, 2015)

b. Pengaturan *spot TIG welding*

Sama halnya dengan proses pengelasan yang lain, pengelasan *spot TIG* ini juga memiliki beberapa pengaturan yang harus dilakukan diantaranya meliputi pengaturan arus, waktu penekanan dan laju aliran gas pelindung. Untuk mendapatkan penetrasi dan hasil lasan yang diinginkan, arus dan waktu penekanan diatur sesuai variasi yang akan digunakan. Semakin tinggi arus yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan semakin sedikit, begitu pula sebaliknya. Sedangkan gas pelindung pada *spot TIG* ini berfungsi untuk mencegah lasan terkontaminasi udara luar saat proses pengelasan berlangsung.

c. Pembentukan *nugget* pada *spot TIG welding*

Permukaan *nugget* yang dihasilkan dari pengelasan *spot TIG* ini lebih halus jika dibandingkan dengan *resistance spot welding*. *Nugget spot TIG welding* ini dihasilkan karena adanya loncatan arus listrik dari busur listrik atau elektroda tungsten *spot gun* melewati lembaran material pada bagian atas dan kemudian lembaran material yang bawah dilebur ke atasnya. Permukaan *nugget* hasil lasan *spot TIG welding* pada material baja karbon rendah dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Permukaan *nugget* hasil lasan *spot TIG welding* pada sisi material baja karbon rendah

2.2.2. Parameter pengelasan

Terdapat beberapa parameter pengelasan yang dapat memengaruhi hasil sambungan lasan *spot TIG welding* ini diantaranya arus pengelasan, *holding time* (waktu penekanan), dan gas pelindung.

a. Arus pengelasan

Besar arus yang digunakan pada pengelasan *spot TIG* ini, berhubungan dengan masukan panas (*heat input*) yang digunakan untuk mencairkan material yang akan dilas. Hal ini pula yang dapat mempengaruhi karakteristik lasan yang dihasilkan diantaranya kekerasan dan kekuatan geser. Arifin (1997) menyatakan apabila arus pengelasan yang digunakan terlalu rendah, maka panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan material, sehingga menghasilkan daerah logam las yang kecil serta penembusan kurang dalam, sebaliknya bila arus pengelasan terlalu tinggi maka pencairan logam induk terlalu cepat dan menghasilkan daerah logam yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan.

b. Holding Time

Holding atau yang disebut dengan waktu penekanan pada pengelasan *spot TIG* ini juga merupakan parameter penentu masukan panas yang digunakan untuk mencairkan material induk yang akan dilas. *Holding time* yang singkat akan menurunkan kekuatan tarik sambungan, hal ini dikarenakan *nugget* yang dihasilkan kecil dan pengelasan belum sempurna. Maka penentuan waktu penekanan ini harus tepat, sehingga dapat menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik yang baik.

c. Gas pelindung

Fungsi gas pelindung pada pengelasan *spot TIG* ini adalah untuk melindungi busur listrik dan material las dari kontaminasi udara luar. Gas pelindung yang digunakan adalah gas mulia jenis argon, gas ini dipilih karena memiliki sifat yang tidak mudah bereaksi dengan unsur lain. Ada beberapa kelebihan mengapa gas argon ini sering digunakan, diantaranya adalah:

- Penyalaan busur lebih mudah, lebih tenang dan halus
- Tegangan busur yang dibutuhkan lebih rendah bila dibandingkan dengan gas pelindung lain.

Jika dibandingkan dengan gas pelindung lain semisal helium, gas argon ini masih memiliki kemampuan perlindungan yang lebih tetapi penembusannya dangkal. Meningkatkan volume aliran gas merupakan salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk bisa memperdalam penembusan.

2.2.3. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan baja paduan dengan presentasi kandungan karbonnya sekitar 0,05–0,25%. Baja karbon rendah ini merupakan bentuk baja yang paling umum karena harganya relatif rendah sementara memiliki sifat material yang dapat diterima untuk banyak aplikasi. Baja karbon rendah ini memiliki kekuatan tarik yang relatif rendah, tetapi murah dan mudah dibentuk, kekerasan permukaan dapat ditingkatkan melalui *carburizing*. Baja paduan karbon rendah ini biasanya diaplikasikan untuk proses pembentukan logam lembaran, bodi kendaraan bentuk

struktur, pipa saluran dan lain-lain. Baja karbon rendah ini juga memiliki sifat mampu las yang baik dan dapat dilakukan penguatan dengan metode “*Cold Working*”. Massa jenis dari baja karbon rendah ini adalah sekitar $7,85 \text{ g/cm}^3$ (7850 kg/m^3 atau $0,284 \text{ lb/in}^3$) dan modulus Young sebesar 200 GPa atau 29.000 ksi (Azom, 2012).

2.2.4. Aluminium 1100

Aluminium 1100 ini merupakan aluminium paduan murni dengan karakter pembentukan yang sangat baik. Komposisi kimia dari paduan aluminium 1100 ini terdiri dari 99,00 % aluminium dan 0,12 % tembaga, dan aluminium ini memiliki massa jenis $2,71 \text{ g/cm}^3$ ($0,0979 \text{ lb/in}^3$). Aluminium ini memiliki sifat mampu las yang baik dan juga aluminium ini cocok untuk pekerjaan dingin karena memiliki keuletan yang baik. Adapun sifat mekanik dan sifat termal dari aluminium jenis ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Sifat mekanik dan termal Aluminium 1100 (Azom, 2012)

Properti		
Modulus elastisitas		70 - 80 GPa
<i>Poisson's ratio</i>		0.33
Kondisi		
Konduktifitas termal	218 W/mK	25 °C
Ekspansi termal	$23.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	20 – 100 °C

2.2.5. Pengelasan material tak sejenis (*Dissimilar*)

Karena adanya perbedaan fisik, mekanik, termal, dan metalurgi dari material yang akan dilas ini, pengelasan material tak sejenis ini sering mengalami kegagalan. Pada pengelasan material, konduktifitas panas, dan perbedaan titik leleh dari masing-masing material yang disambungkan merupakan unsur penting yang berperan dalam menentukan karakteristik mekanik suatu hasil sambungan pengelasan (Faozi, 2015). Pemilihan metode pengelasan juga berpengaruh, karena tidak semua metode pengelasan dapat digunakan untuk melakukan pengelasan

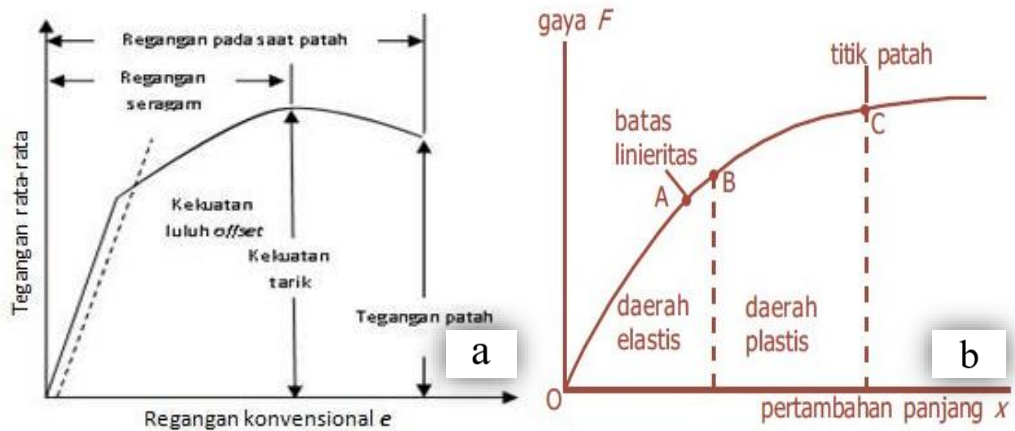
dissimilar ini. Penelitian ini akan menggunakan penyambungan antara baja karbon rendah dan aluminium 1100.

2.2.6. Proses pengujian

1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian yang banyak dilakukan untuk mengetahui beberapa sifat mekanik suatu material yang berguna dalam suatu konstruksi. Bentuk spesimen pada uji tarik ini berbentuk plat, pipa silinder, dan juga pejal yang biasanya dibuat berdasarkan standar ASTM, JIM, AWS dan DIN. Pada penelitian ini, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan geser dari hasil sambungan plat yang dilakukan. Proses pengujian ini dilakukan dengan menjepit kedua ujung material uji dimana salah satu penjepit dihubungkan dengan perangkat pengukur beban yang ada pada mesin uji dan ujung yang lain dihubungkan dengan perangkat peregang. Spesimen uji kemudian diberikan beban gaya tarik secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan perubahan panjang yang terjadi hingga benda uji mengalami patahan. Data yang didapat dari pengujian ini berupa kurva tegangan regangan atau bisa berupa kurva beban perpanjangan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Untuk menggambar kurva tegangan regangan atau beban perpanjangan, diperlukan beberapa parameter yaitu kekuatan tarik, titik luluh / kekuatan luluh, persen perpanjangan, dan pengurangan luas. Komposisi material, perlakuan panas, deformasi plastis, laju regangan, suhu, dan keadaan tegangan selama pengujian, akan memengaruhi bentuk dari kurva yang diperoleh. 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.



Gambar 2.4 Kurva hasil pengujian tarik (a) tegangan regangan (Faozi,2015), (b) beban perpanjangan (Fisikazone,2013)

Adapun persamaan untuk mencari nilai tegangan geser ini adalah sebagai berikut:

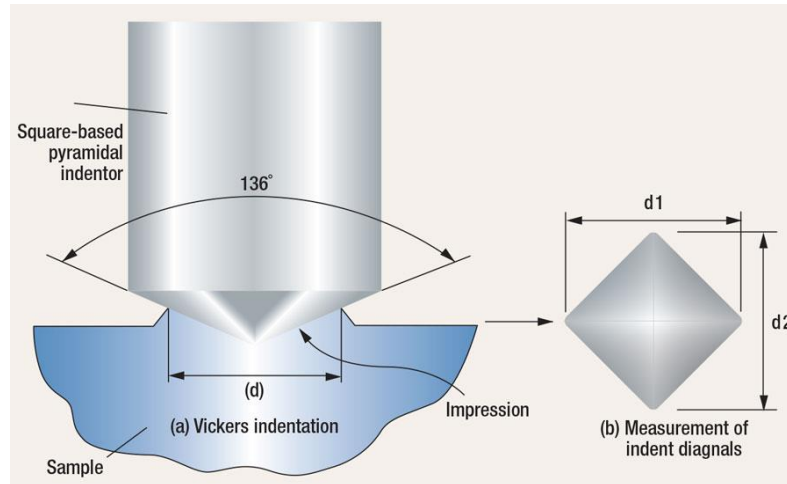
$$\tau = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Keterangan:
- τ : tegangan geser (N/mm^2)
 - P : Gaya geser / beban (N)
 - A : luas penampang (mm^2)

2. Pengujian kekerasan *Vickers*

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. Pengujian dengan metode *vickers* ini banyak dilakukan karena bekas dari pengujian kecil, pengukurannya teliti, dan *range* ukurannya besar. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tekanan dengan beban (F) pada permukaan material yang akan diuji

menggunakan indenter intan yang cukup kecil berbentuk piramida seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 dengan dasar persegi dan sudut puncak 136°.



Gambar 2.5 Indentasi Vickers (Forge, 2017)

Untuk menghitung nilai kekerasan dengan metode Vickers ini dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1.854)P}{d^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

- Keterangan:
- VHN : *vickers hardness number*
 - P : beban yang digunakan (kgf)
 - D : panjang diagonal rata-rata (mm)
 - θ : sudut antar permukaan intan yang berhadapan 136°

3. Pengujian mikro struktur

Pengujian mikro dilakukan untuk melihat fasa dari material logam dan paduannya sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material uji tersebut. Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengamati material dengan perbesaran anatra 20 sampai 3000 kali atau lebih. Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan sebelum pemeriksaan ini dapat dilakukan, diantaranya pemotongan spesimen, pengamplasan dan penghalusan spesimen. Pengamplasan sendiri dilakukan dengan menggunakan amplas halus secara bertahap, dimana sebelum pengamplasan

dilakukan, spesimen diberi resin terlebih dahulu. 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. Hasil pemeriksaan ini berupa informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir, dan banyaknya bagian struktur yang terdapat pada spesimen uji tersebut.