

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR 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. Sifat fisik pada sambungan las titik banyak menjadi perhatian peneliti seperti kekuatan geser, kekerasan dan struktur mikro yang menjadi salah satu tolak ukur dalam menentukan kualitas sambungan. Observasi mengenai *Spot TIG Welding* mencari referensi dari beberapa sumber yang berkaitan dengan judul yang di ambil. Berikut beberapa referensi yang berkaitan dengan judul penelitian yaitu sebagai berikut :

Wibowo. (2015) yang meneliti tentang pengaruh arus dan *holding time* pengelasan titik pada material *stainless steel*. Arus yang digunakan dalam pengelasan ini yaitu mulai dari 5000 A, 6000 A, 7000 A dan *holding time* yang digunakan adalah 1 detik, 3 detik, 5 detik serta material yang diteliti berjenis *austenite stainless steel* dengan tebal material yaitu 0,8 mm. Dalam penelitiannya didapatkan kesimpulan bahwa pada arus 7000 A dengan waktu penekanan 5 detik memiliki kekerasan yang sangat tinggi dengan nilai kekerasan 285,6 HVN yang terdapat pada daerah las serta peningkatan arus memberikan peningkatan sebesar 13,44% dan pada peningkatan *holding time* memberikan peningkatan sebesar 3,73%.

Nachimani.C. (2013) Melakukan penelitian berjudul *investigating spot weld growth on 304 austenitic stainless steel (2 mm) sheets*. Pada penelitiannya arus yang digunakan adalah 7 kV, 8 kV, 9kV dan waktu pengelasan yang digunakan yaitu 10 cycle, 15 cycle, 20 cycle. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa arus pengelasan pada 9 kV 20 cycle memiliki kapasitas beban tarik paling tinggi, serta dengan peningkatan arus pengelasan yang digunakan maka akan menghasilkan diameter nugget yang semakin membesar.

Shamsul (2007) yang meneliti tentang pengelasan *spot welding* dengan material *stainless steel 304* dengan tebal plat 3 mm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian mikro dan pengujian kekerasan dengan parameter arus yang digunakan adalah 2,5 kA, 3,75 kA, 5 kA dan 6,25 kA. Dalam penelitiannya didapatkan kesimpulan bahwa ukuran nugget tidak mempengaruhi distribusi kekerasan, selain itu meningkatkan arus lasan juga tidak meningkatkan distribusi kekerasan.

Penelitian untuk jenis STW pernah dilakukan oleh Faozi (2015) variasi arus pengelasan dan waktu penekanan dengan material uji tak sejenis antara baja dan paduan aluminium, dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik dan waktu pengelasan akan mengakibatkan meningkatnya kapasitas beban dukung sedangkan kekerasannya menurun.

Beberapa penelitian diatas menunjukkan bahwa penelitian pada sambungan 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. Penelitian pada las titik dengan memvariasikan kuat arus pengelasan sangat diminati karena parameter ini sangat berpengaruh pada sifat mekaniknya selain itu parameter ini menjadi poin penting dalam menentukan karakteristik yang optimal. Akan tetapi penelitian yang terfokus pada pengaruh variasi kuat arus terhadap karakteristik material dengan metode *spot TIG* masih sangat jarang dilakukan terutama untuk penyambungan *stainless steel 304*. Oleh karena itu penelitian ini menjadi penelitian yang sangat menarik dan perlu dilakukan karena penyambungan dengan metode *spot TIG* dapat menjadi alternatif selain metode *resistance spot welding*.

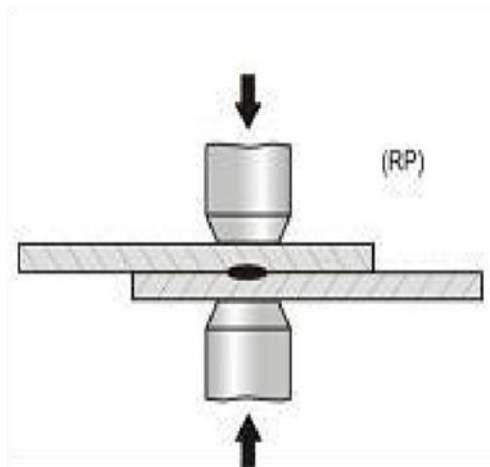
## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pengelasan**

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industries Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energy panas. Dalam proses penyambungan ini ada kalanya disertai dengan tekanan dan material tambahan (*filler material*). Teknik pengelasan secara sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 sebelum masehi. Setelah energy listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi suatu teknik penyambungan mutakhir. Hingga saat ini telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan. Pada tahap-tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, biasanya pengelasan hanya digunakan pada sambungan-sambungan dari reparasi yang kurang penting. Tapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama, maka sekarang penggunaan proses-proses pengelasan dan penggunaan konstruksi-konstruksi las merupakan hal yang umum di semua Negara di dunia. (Amstead B.H., 1995)

### **2.2.2 Las Titik (*Spot Welding*)**

Las resistansi listrik adalah suatu cara pengelasan dimana permukaan plat yang disambung ditekan satu sama lain dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair. (Wiryo Sumarto, H dan Okumura, T., 1981). Las spot welding dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Spot Welding*

*Resistance Spot Welding* merupakan jenis pengelasan titik dimana penyambungan benda kerjanya menggunakan jenis sambungan lap joint dan di kedua sisi benda kerjanya dijepit elektroda las. Logam yang dijepit dan saling bersinggungan menyebabkan suhu naik sampai mencapai titik lebur dari material benda kerja tersebut sehingga terbentuk nugget pada sambungan material tersebut. Masukan panas (*heat input*) dalam proses pengelasan merupakan parameter yang sangat penting karena nilai masukan panas dapat menyatakan hasil penetrasi yang terjadi pada saat pengelasan berlangsung. Nilai masukan panas dapat dicari dengan memperhatikan tegangan dan arus yang digunakan serta lama waktu pengelasan yang dibutuhkan.

Las titik mungkin merupakan pengelasan resistansi listrik yang paling sederhana. Sarat untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik yaitu benda kerja yang akan dilas harus bersih dari kotoran atau karat yang menempel. Jika permukaan benda kerja yang akan dilas kotor maka akan menyebabkan sambungan las tidak menempel sempurna akibat permukaan plat yang tidak bersih dan akan menyebabkan terjadinya peningkatan panas yang berlebih. Daerah yang sering dijumpai panas antara lain :

1. Pada masing-masing benda kerja (plat)
2. Pada kedua permukaan benda kerja.
3. Pada permukaan benda kerja yang berkontak langsung dengan elektroda las.

Panas yang terjadi akan sangat berpengaruh pada hasil dari pengelasan. Dapat dilihat rumus persamaan berikut :

$$H = I^2 \cdot R \cdot t \dots\dots\dots ( 2.1 )$$

Dengan : H : Panas (joule)

I : Arus (Ampere)

R : Hambatan (Ohm)

t : Waktu (detik)

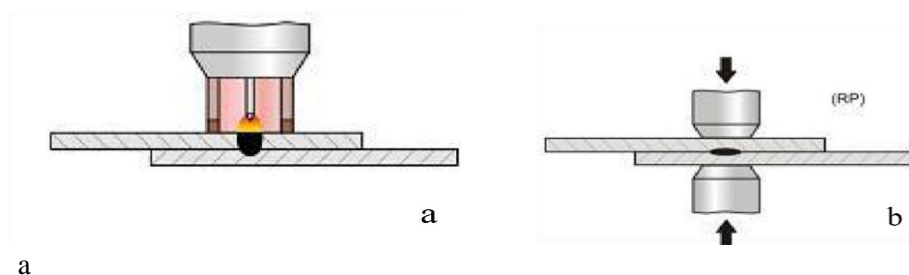
Faktor terbentuknya nugget pada sambungan las tergantung pada pada ukuran material yang akan dilas. Jika benda kerja yang akan dilas memiliki ketebalan yang sama maka nugget yang akan terbentuk akan berada tepat di tengah-tengah. Apabila kedua plat yang akan disambung memiliki ketebalan yang berbeda maka akan terjadi perbedaan panas yang dihasilkan dari kedua material yang akan menyebabkan nugget yang terbentuk tidak sama.

### **2.2.3 Spot TIG Welding**

Las TIG (*Tungsten Iners Gas*) adalah proses pengelasan yang dapat dikerjakan secara otomatis dan manual. Untuk melindungi sambungan, lapisan kawat las atau *fluks* tidak diperlukan dalam pengelasan ini. Hasil las yang dihasilkan hampir semua jenis logam bermutu tinggi seperti *magnesium*, *aluminium*, serta *stainless steel*. Proses pengelasan TIG yang menggunakan busur antara *tungsten* elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan, menggunakan elektroda *wolfram* yang bukan merupakan bahan tambah. Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda *wolfram*, dan bahan dasar merupakan sumber panas untuk pengelasan

yang harus mencapai titik cair elektroda *wolfram* cukup tinggi yaitu pada suhu 3410°C, sehingga tidak ikut mencair pada saat terjadi busur listrik.

Pengembangan las titik yang saat ini dilakukan salah satunya adalah dengan cara memodifikasi las *Tungsten Inert Gas (TIG)* supaya bisa dijadikan untuk melakukan pengelasan titik atau bisa disebut *spot tig welding (STW)*. Cara ini dilakukan dengan cara memodifikasi bagian *nozzel* gasnya. Las TIG sendiri dipilih karena las jenis ini dapat mencairkan permukaan logam dengan lebih efisien. Seperti pada pengelasan titik yang lain, pengelasan STW ini juga mempunyai beberapa parameter yang dapat memengaruhi hasil dan kualitas hasil lasan, diantaranya yaitu tingkat keahlian welder, arus pengelasan, waktu penekanan, debit gas pelindung, jenis bahan, kebersihan bahan dan lain sebagainya. Metode pengelasan STW ini juga memiliki kelebihan mudah dioperasikan dalam bentuk pekerjaan apapun karena hanya menggunakan satu elektroda yang akan memudahkan *welder* melakukan pengelasan dalam posisi apapun. Perbedaan *spot welding* dan *spot TIG welding* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

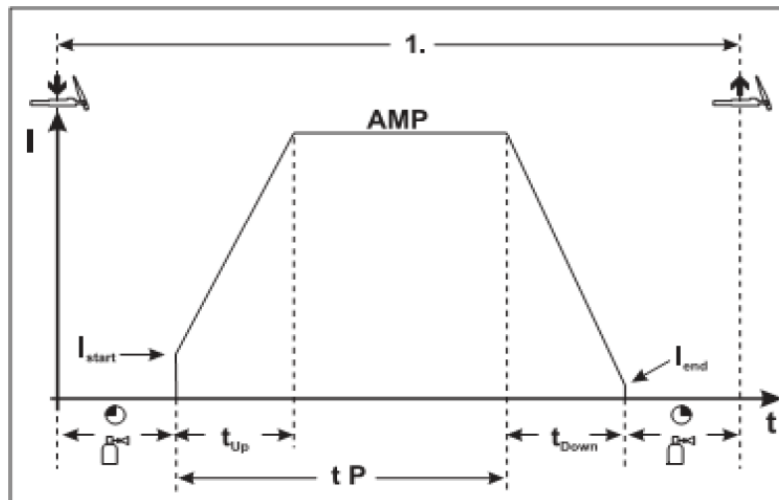


Gambar 2.2 Prinsip pengelasan (a) *spot TIG welding* dan (b) *resistance spot welding* (*Manual Operating instructions EWM tetrix 351, 2011*)

Pada pengelasan STW, elektroda *tungsten* dilindungi dari udara luar menggunakan gas argon. Hal ini bertujuan untuk mencegah kontak langsung logam pengisi maupun logam induk dengan udara luar yang akan mengakibatkan terjadinya proses oksidasi. Gaya tekanan pada pengelasan ini

dilakukan secara manual yaitu dengan cara menahan bagian yang akan dilas menggunakan *spot gun*.



a. proses pengelasan STW



Gambar 2.3 Skema pengelasan Spot TIG welding (*Manual Operating Intructions EWM Tetrix 351, 2011*)

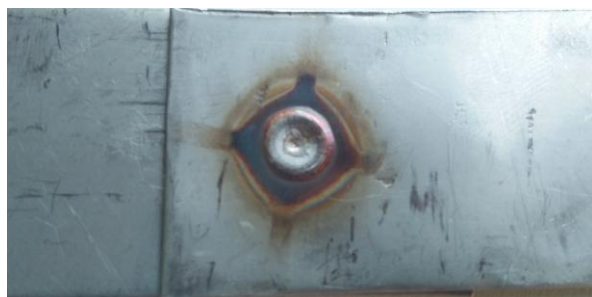
Pada Gambar 2.3 dapat kita lihat skema pengelasan STW berlangsung. Pada saat *spot gun* diletakan (angka 1) maka pada saat itu gas pelindung akan mengalir sebelum bunga api melompat dari elektroda tungsten ke material selanjutnya akan terjadi pengapian busur yang akan mencairkan logam yang akan dilas dan membuatnya tersambung. *Arus pengelasan akan keluar secara konstan sesuai dengan nilai parameter arus yang ditentukan pada mesin las TIG. Pengelasan akan berhenti dengan otomatis sesuai dengan waktu yang sudah diatur pada mesin las.* Pada Tabel 2.1 berikut akan dijelaskan symbol-simbol dalam pengelasan *spot TIG welding*.

Tabel 2.1 Simbol-simbol pengelasan STW (*Manual Operating Intructions EWM Tetrix 351, 2011*)

Simbol	Deskripsi
	Pelatak <i>spotgun</i> ditahan selama proses pengelasan seperti angka 1 pada gambar 2.2
	Keluarnya gas pelindung sebelum dan sesudah proses penyambungan dimana bunga api melompat dari elektroda ke material dalam beberapa saat.
<b>I<sub>start</sub></b>	Waktu pada saat arus pengelasan mulai mengalir.
<b>I<sub>end</sub></b>	Waktu pada saat arus pengelasan berakhir.
<b>t<sub>up</sub></b>	Proses mulai terjadinya lompatan busur api pengelasan.
<b>t<sub>down</sub></b>	Proses berakhirnya lompatan busur api pengelasan.
<b>t<sub>P</sub></b>	Waktu lamanya busur api menyala untuk proses penyambungan.
<b>T</b>	Waktu proses pengelasan sesuai dengan waktu yang distel pada mesin

b. Hasil pengelasan *spot TIG welding*

Sebelum proses pengelasan *spot TIG welding* dilakukan, *welder* akan mengatur arus, lama waktu pengelasan serta laju aliran gas pelindung yang akan digunakan. Pengaturan arus dan lama waktu pengelasan akan mempengaruhi *heat input* atau masukan panas, sedangkan untuk laju aliran gas pelindung ini berfungsi untuk melindungi material dari kontaminasi udara sekitar. Pada proses pengelasan, loncatan bunga api dari *tungsten* akan melelehkan logam yang dilas dan membentuk *nugget*. Hasil nugget dari proses pengelasan Spot TIG welding dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 *Nugget* hasil pengelasan STW pada material SS-304



#### 2.2.4 Parameter pengelasan

Pada proses pengelasan ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah parameter pada waktu pengelasan. Beberapa parameter dalam pengelasan yang perlu diperhatikan sebelum melakukan pengelasan adalah sebagai berikut :

a. Arus pengelasan

Pengontrolan arus pengelasan sangat mempengaruhi karakteristik dari hasil pengelasan, penggunaan arus yang terlalu tinggi akan menyebabkan penetrasi atau fusi terlalu besar dan bisa menyebabkan jebolnya sambungan las dan daerah yang terpengaruh panas akan lebih besar. Sedangkan penggunaan arus yang terlalu kecil akan menyebabkan penetrasi dangkal.

b.  *Holding Time*

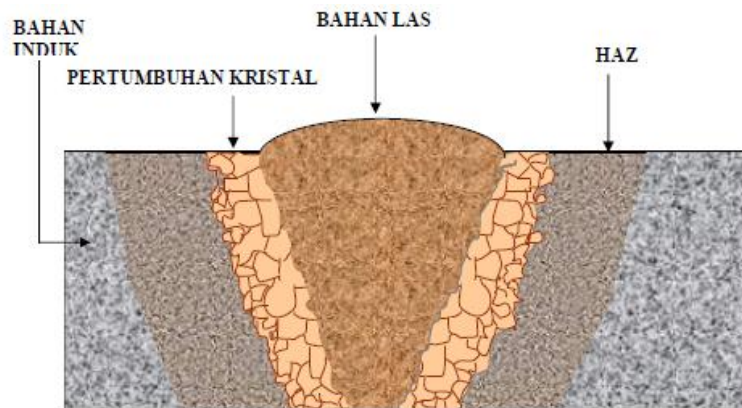
*Holding time* merupakan waktu pengelasan pada proses  *spot TIG welding*, dimana waktu pengelasan mempengaruhi masukan panas ( *heat input*) yang diberikan ke benda kerja. Waktu pengelasan juga mempengaruhi karakteristik dari hasil lasan, karena waktu pengelasan mempengaruhi kualitas las, kekuatan geser, kekerasan dan kekuatan terhadap pengaruh dari luar.

c. Gas Pelindung

Gas pelindung adalah gas yang berfungsi untuk melindungi benda kerja agar tidak terkontak langsung pada saat pengelasan, gas yang dipakai adalah gas argon dikarenakan sifatnya yang tidak mudah beraksi dengan unsur lain. Gas argon memberikan perlindungan yang lebih baik dari gas helium, akan tetapi untuk kadalaman penetrasinya cukup dangkal. Untuk memperdalam penetrasinya dapat mengatur volume alir gas sehingga tekanan yang didapat meningkat.

### 2.3 Metalurgi Pengelasan

Metalurgi las bertujuan untuk mengetahui struktur mikro pada material logam dan perubahan strukturnya yang mempengaruhi sifat-sifat mekanis logam las, mikrostruktur dan kekerasan berkaitan erat dengan kemampuan kecepatan pendinginan dan pemanasan ulang pada daerah fusion las dengan HAZ, sehingga perlu di perhatikan setiap perubahan mikrostruktur yang terjadi pada pengelasan. Melalui proses perkembangan epitaxial, lebar kristal columnar (panjang) di zona fusi ditentukan oleh ukuran bahan induk yang berdekatan dengan antar muka las. Berhubung suhu puncak HAZ meningkat dengan semakin dekatnya dengan lokasi antar muka las, sedangkan pengembangan kristal meruakan fungsi suhu, ukuran maksimum kristal di dalam HAZ selalu terjadi disepanjang antar muka las. Kristal dengan ukuran maksimum inilah yang ditransmit ke dalam zona fusi. (Balai Latihan Kerja)



Gambar 2.5 *Metalography* Las (Balai Latihan Kerja Dalam Negeri)

Suhu dan waktu pada suhu menentukan pertumbuhan butir didalam HAZ, dan sebagaimana telah diutarakan didepan butir dengan ukuran maksimu selalu berada dibatas antar muka las . Dengan berkurangnya laju pendinginan, menaikkan waktu tunggu, dan membesarkan ukuran butir butir kristal dalam HAZ. Proses pertumbuhan kristal yang berlangsung dapat menyebabkan pertumbuhan lateral dari butir kristal bahan las. Pada pengelasan bahan nikel murni, lebar butir butir columnar yang berkembang dari HAZ berlanjut melebar ke sona fusi. Sama halnya di metal baja lebar butir butir columnar

akan beberapa kali lebih besar dari ukuran butir maksimum di dalam HAZ. Lebar butir columnar hanya dapat dibatasi oleh ukuran jalur las dan masukan energi busur nyala, misalnya suatu hal yang tidak mungkin untuk mendeteksi HAZ dari nyala GTAW pada permukaan tembaga tuang kasar. Hal ini disebabkan oleh waktu tinggal yang terlalu singkat sehingga tidak sempat terbentuk pengembangan kristal. (Balai Latihan Kerja Dalam Negeri)

## **2.4 Kegagalan Sambungan**

Pada proses pengelasan titik, 2 mode kegagalan yang sering terjadi yaitu *Pull out failure* (PF) dan *Interfacial failure* (IF).

### **1. *Pull out failure* (PF)**

Mode kegagalan *Pull out failure* merupakan jenis mode kegagalan yang terjadi akibat pada zona fusi mengalami kerusakan yang ditandai dengan benda kerja atau plat mengalami sobek. Mode kegagalan *Pull out failure* memiliki deformasi plastis yang tinggi sehingga mode kegagalan ini yang dibutuhkan pada proses pengelasan.

### **2. *Interfacial failure* (IF)**

Mode kegagalan *Interfacial failure* merupakan jenis mode kegagalan dalam pengelasan titik yang disebabkan oleh keretakan pada daerah *nugget*. Mode kegagalan ini biasanya ditandai dengan lepasnya sambungan lasan pada daerah nugget.

## **2.5 *Stainless Steel***

### **2.5.1 Pengertian *Stainless Steel***

Baja tahan karat atau sering disebut *Stainless steel* merupakan baja paduan yang bersifat tahan terhadap karat (korosi), karena ketahanannya terhadap korosi banyak industry yang menggunakan baja tahan karat ini untuk industry makanan, minuman, industry kimia dan industry lainnya yang memerlukan ketahanan korosi.. (Raharjo, 2015)

Pada umumnya diperoleh dari penambahan chromium pada baja sejumlah 12 %. Lapisan ini kedap dan kuat sehingga berfungsi sebagai pelindung permukaan logam dibawahnya, lapisan tersebut akan mencegah proses korosi (karat) berkelanjutan. Unsur Cr ini akan bereaksi dengan oksigen yang ada di udara (atmosfer) dan membentuk lapisan Cr-oksida yang sangat tipis. Lapisan ini dapat dikatakan permanen, karena jika lapisan tersebut rusak misalkan akibat goresan, maka akan segera terbentuk lapisan Cr-oksida yang baru. ( INCO,1963)

Di dalam dunia industri pengaplikasian material *Stainless steel* saat ini sangat banyak digunakan, diantaranya di industry otomotif, konstruksi, industry air, industry alat rumah tangga dan industry pengolahan makanan. Pada industry pengolahan makanan sering digunakan sebagai material utama karena sifatnya yang tahan terhadap panas, tahan lama dan tahan korosi sehingga kualitas produk makanan atau minuman yang dihasilkan tetap terjaga dan aman bagi kesehatan konsumen. Banyak industry yang menggunakan material stainless steel karena tidak memerlukan perlakuan khusus seperti pengecatan atau pelapisan, akan tetapi harga stainless steel ini relative lebih mahal jika dibandingkan dengan baja karbon biasa (Defrancq, 2013)

### 2.5.2 *Stainless Steel 304*

komposisi yang terkandung dalam baja tahan karat jenis stainless steel 304 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 unsur kimia stainless steel 304

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
0,042 %	1,19 %	0,034%	0,006%	0,049%	18,24%	8,15%

Dalam dunia industry penggunaan material stainless steel ini sangat banyak dijumpai diantaranya pada industry farmasi, makanan, kimia, peralatan pertambangan, dan tangki penyimpanan bahan kimia. Ketahanannya terhadap

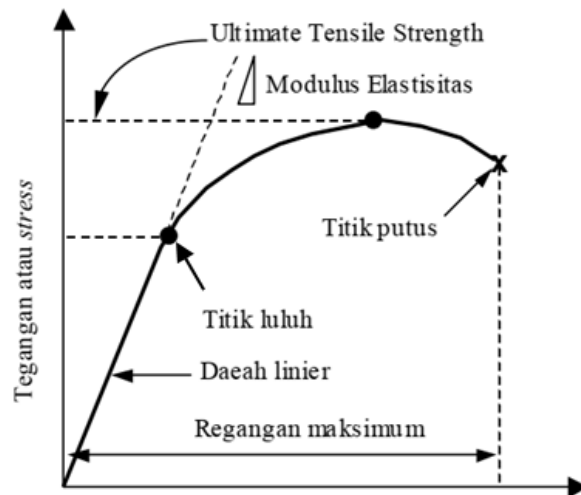
korosi, kemampuan las dan kekuatan mekaniknya menjadikan stainless steel dipakai hampir di semua industry.

## **2.6 Proses Pengujian**

### **2.6.1 Uji Tarik**

Uji tarik merupakan proses pengujian yang banyak dilakukan untuk mendapatkan beberapa sifat mekanik dari 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.

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, keadaan tegangan selama pengujian, laju regangan, perlakuan panas, suhu, dan, deformasi plastis 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. Pada pengujian ini benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji (Faozi, 2015). Grafik pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gamabar 2.6 Grafik pengujian tarik

### 2.6.2 Uji struktur mikro

Uji mikro dilakukan untuk melihat fasa dari material logam dan paduannya sehingga dapat diketahui sifat dan karkteristik dari material uji tersebut. Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengamati material dengan perbesaran antara 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 matrial 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.

### 2.6.3 Pengujian kekerasan *Vickers*

Pengujian *Vickers* merupakan salah satu pengujian mekanik yang dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari suatu material atau bisa diartikan sebagai kemampuan suatu benda untuk menahan penetrasi (penekanan). Uji kekerasan ini perlu dilakukan terutama pada benda yang pada pemakaiannya akan mengalami deformasi plastis dan pergesekan. 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 yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Bentuk indenter pengujian kekerasan *vickers* (Callister, 2001)

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

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

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