

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang analisa sambungan hasil pengelasan dengan menggunakan variasi kecepatan putaran *tool* pada metode pengelasan FSW (*Friction Stir Welding*) sudah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu, Nurdiansyah dkk, (2012) telah melakukan penelitian tentang pengaruh rpm terhadap kualitas sambungan dan metalurgi las pada *joint line* untuk aluminium seri 5083 dengan proses *friction stir welding* pada pelat tebal 4 mm, penelitian ini menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 67.2 VHN pada variasi 394 rpm, sedangkan nilai kekerasan terendah sebesar 43.9 VHN pada variasi 1084 rpm, hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan nilai kekerasan dipengaruhi karena semakin besarnya ukuran butir, sehingga menjadikan perluasan jumlah butirnya semakin berkurang, hal ini dapat terjadi karena masukan panas yang terlalu besar akibat semakin tingginya kecepatan putaran yang digunakan.

Penelitian juga telah dilakukan oleh Pratisna dkk, (2016) tentang sifat fisik dan mekanik sambungan las *friction stir welding* (FSW) AA 5083 dengan variasi bentuk dan kecepatan putar *probe* pada konstruksi kapal, hasil penelitian menunjukkan nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) terbesar didapat dari variasi kecepatan putaran 770 rpm sebesar 20.725 Kgf/mm<sup>2</sup>, sedangkan untuk nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) terendah didapat dari variasi kecepatan putaran 1268 rpm sebesar 16.535 Kgf/mm<sup>2</sup>, sehingga dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa dengan semakin rendahnya kecepatan putaran dapat meningkatkan kekuatan tarik sambungan las.

Iqbal dkk, (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh putaran dan kecepatan *tool* terhadap sifat mekanik pada pengelasan *friction stir welding* aluminium 5052, dari hasil penelitian ini diketahui bahwa kekuatan tarik rata - rata terbesar dengan nilai 5.3 Kg/mm<sup>2</sup> atau 51.97 MPa terjadi pada kecepatan putaran 1800 rpm dengan *feed rate* 11.4 mm/menit, sedangkan pada kecepatan putaran 1100 rpm dengan *feed rate* 19.8 mm/menit mendapatkan hasil kekuatan tarik rata - rata yang terkecil senilai 2 Kg/ mm<sup>2</sup> atau 19.61 MPa, sehingga diketahui bahwa peningkatan nilai kekuatan tarik sambungan las dapat terjadi karena adanya pengaruh dari kecepatan putaran yang semakin tinggi, dan *feed rate* yang semakin rendah saat proses pengelasan berlangsung.

Penelitian juga telah dilakukan oleh Rahman dkk, (2018) tentang pengaruh *feed rate* dan kecepatan putar pin *tool Friction Stir Welding* (FSW) terhadap kekuatan tarik dan kekerasan aluminium 5052 dengan tebal pelat 5 mm, dari hasil penelitian dengan menggunakan kecepatan putaran *tool* 2500 rpm mendapatkan nilai kekerasan rata – rata tertinggi sebesar 65.1 VHN, sedangkan nilai kekerasan rata - rata terendah sebesar 58.0 VHN dihasilkan pada penggunaan variasi kecepatan putaran *tool* 1500 rpm. Pada penggunaan variasi *feed rate* 120 mm/menit didapatkan hasil nilai kekerasan rata – rata tertingginya sebesar 67.2 VHN, sedangkan nilai kekerasan rata – rata terendahnya sebesar 58.0 VHN dihasilkan pada penggunaan variasi *feed rate* 20 mm/menit. Sehingga dalam penelitian uji kekerasan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran dan *feed rate* dapat meningkatkan nilai kekerasan, namun pada penggunaan variasi kecepatan putaran pin *tool* tertinggi sebesar 3600 rpm dan variasi *feed rate* tertinggi sebesar 180 mm/menit mengalami penurunan nilai kekerasan dikarenakan rekristalisasi

yang terjadi pada proses pengelasan aluminium dengan metode FSW belum sempurna.

Pada penelitian ini juga dihasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 196.67 MPa atau 20.05 Kgf/mm<sup>2</sup> pada putaran 2500 rpm dan 3600 rpm, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah pada putaran 1500 rpm sebesar 124.0 MPa atau 12.64 Kgf/mm<sup>2</sup>. Pada variasi *feed rate* 20 mm/menit menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan nilai sebesar 193.33 MPa atau 19.71 Kgf/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah yaitu sebesar 93.33 MPa atau 9.52 Kgf/mm<sup>2</sup> dari hasil pengelasan variasi *feed rate* 180 mm/menit. Sehingga dapat dianalisa dari penelitian ini bahwa dengan semakin tingginya kecepatan putaran dapat meningkatkan kekuatan tarik sambungan hasil pengelasan, namun pada variasi *feed rate* analisa pada penelitian ini berbanding terbalik bahwa semakin tingginya *feed rate* yang digunakan dapat menurunkan nilai kekuatan tarik dari sambungan hasil pengelasan dari spesimen.

Tarmizi dkk, (2017) juga telah melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan putar *tool* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada proses *friction stir welding* aluminium paduan 2024, maka hasil analisa dari penelitian sambungan pengelasan FSW pada aluminium seri 2024 dengan tebal pelat 6 mm, menggunakan parameter *tool* tetap berbentuk silinder ulir, *feed rate* 29 mm/menit, sudut kemiringan pengelasan 0°, kedalaman indentasi pin 5.8 mm, serta variasi kecepatan putaran 1175 rpm dapat menghasilkan kekuatan tarik yang paling optimal sebesar 268 MPa atau 27.33 Kgf/mm<sup>2</sup> dan pada penelitian ini nilai kekerasan pada *weld metal* mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan logam induk yaitu sebesar 125 VHN. Sehingga sambungan las dengan menggunakan variasi kecepatan putar

1175 rpm menghasilkan sifat mekanik lebih baik dan struktur mikro yang lebih halus bila dibandingkan dengan menggunakan variasi kecepatan putaran 1555 rpm dan 910 rpm.

## 2.2 Pengelasan

Pengelasan merupakan suatu proses pemanfaatan energi panas yang digunakan untuk menyambungkan dua bagian dari logam atau lebih, dengan terjadinya proses tersebut menyebabkan adanya perubahan struktur metalurgi, timbulnya deformasi, serta timbulnya tegangan termal pada logam yang berada di sekitar daerah las (Trihutomo, 2014). Menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) pengelasan dapat didefinisikan sebagai suatu ikatan metalurgi yang berada dalam kondisi cair atau lumer pada suatu sambungan logam atau logam paduan (Mizhar & Pandiangan, 2014), sedangkan menurut AWS (*American Welding Society*) pengelasan didefinisikan sebagai suatu proses pemanasan material hingga mencapai temperatur las dengan menggunakan tekanan maupun tanpa tekanan, serta menggunakan logam pengisi maupun tanpa logam pengisi, yang dilakukan dengan tujuan untuk menyambung material logam atau non logam (Bakhori, 2017).

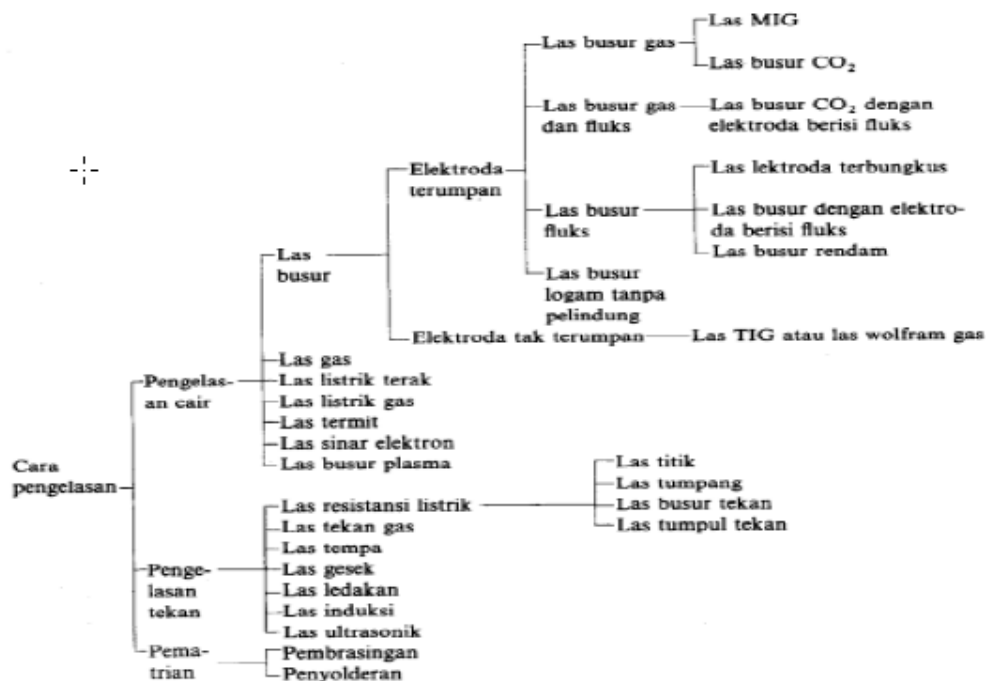
Sambungan hasil pengelasan memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah memiliki kemampuan dalam menahan kekuatan yang tinggi, memiliki konstruksi yang ringan, pelaksanaan yang mudah, serta biaya operasional yang lebih murah, namun metode pengelasan yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap sambungan las yang dihasilkan (Permana, 2016). Dalam perkembangan dunia industri yang begitu pesat, pengelasan memegang peranan yang sangat penting dalam bidang industri rekayasa serta reparasi produksi logam. Pengelasan memiliki ruang pengaplikasian dalam bidang industri konstruksi yang sangat luas, diantaranya

meliputi industri fabrikasi kapal, industri fabrikasi jembatan, industri fabrikasi rangka batang aluminium atau baja, serta industri fabrikasi pipa. Maka dari itu untuk mendapatkan hasil sambungan pengelasan yang sesuai dengan standar rancangan las perlu benar-benar memperhatikan kesesuaian dengan sifat-sifat las yaitu kekuatan dari sambungan dan memperhatikan sambungan yang akan dilas (Wijayanto, 2012).

### 2.3 Klasifikasi Cara Pengelasan

Menurut Riswanda & Iryani, (2017) klasifikasi cara pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelompok, diantaranya adalah:

1. Pengelasan cair merupakan sebuah proses pengelasan dengan memanfaatkan sumber panas yang terbentuk dari busur listrik atau api dari gas yang terbakar, dengan tujuan untuk memanaskan sambungan sampai menuju titik cairnya.
2. Pengelasan tekan merupakan suatu cara pengelasan dengan memanfaatkan energi panas dan tekanan yang diberikan pada sambungan, hingga sambungan tersebut dapat menyatu.
3. Pematiran (*Brazing*) merupakan suatu proses pemanfaatan energi panas untuk menyambungkan logam atau bahan yang lain, cara pengelasannya menggunakan logam paduan yang mempunyai titik cair rendah, kemudian disatukan dan diikat dengan sambungan, sehingga pada saat proses pengelasannya logam induk tidak ikut mencair, namun yang mencair hanya bahan tambahannya.



**Gambar 2.1 Tabel Pembagian Klasifikasi Cara Pengelasan**

(Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

#### 2.4 *Friction Stir Welding*

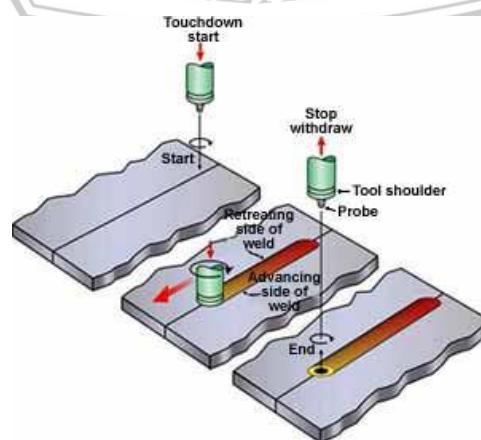
*Friction Stir Welding* (FSW) merupakan suatu metode pengelasan dimana dalam proses penggabungannya tidak menggunakan bahan tambahan yang lain, hal tersebut dikarenakan pada metode pengelasan ini proses penggabungan yang terjadi dalam keadaan padat (*solid state*). Pada tahun 1991 TWI (*The Welding Institute*) telah mempatenkan dan mengembangkan *Friction Stir Welding* di Cambridge, Inggris (Setiawan dkk, 2011). Teknologi FSW ini telah memungkinkan penyatuan material yang dianggap sulit untuk digabungkan dengan proses pengelasan secara konvensional, prosesnya dengan memanfaatkan panas akibat gesekan untuk menggabungkan dua bahan yang berbentuk pelat (Padmanaban dkk, 2015).

Pada saat proses pengelasan berlangsung material *tool* harus mempunyai titik cair yang lebih tinggi daripada titik cair material yang akan disambung, dengan

begitu *tool* yang digunakan dalam proses pengelasan tidak akan mencair atau menempel pada benda kerja yang diam (Wijayanto, 2012). Dalam dunia industri metode pengelasan *friction stir welding* seringkali digunakan dalam proses penyambungan aluminium dan paduannya, sehingga di negara maju metode pengelasan ini sudah banyak digunakan pada industri perkapalan, industri pesawat, industri kereta api, serta industri otomotif (Sugito, 2016).

## 2.5 Prinsip Kerja *Friction Stir Welding*

Prinsip kerja dari metode pengelasan *friction stir welding* untuk menghasilkan panas agar dapat menyambungkan dua bagian logam yaitu dengan cara memanfaatkan gesekan dari *tool* dan benda kerja secara terus menerus. Proses kerja dari pengelasan metode *friction stir welding* yaitu dengan memutar, serta menekan *tool* dan pin berbentuk silindris pada material yang akan disambungkan, sehingga dengan proses tersebut akan menimbulkan pemanasan setempat yang dapat melunakkan daerah sambungan. *Tool* akan bergerak melintang pada jalur pengelasan dari bahan yang akan disambungkan dengan kecepatan yang sudah ditetapkan (Indra dkk, 2011).



**Gambar 2.2** Proses Kerja Pengelasan Metode *Friction Stir Welding*

(Sumber: Wijayanto, 2012)

## 2.6 Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Metode *Friction Stir Welding*

### 2.6.1 Kelebihan Pengelasan Metode *Friction Stir Welding*

Beberapa kelebihan yang dimiliki pengelasan metode *friction stir welding* yaitu proses pengelasan FSW dapat mencegah penurunan sifat mekanis material yang dilas, karena proses pengelasan FSW tidak menimbulkan *over aging* yang dapat mengakibatkan penurunan kekuatan material yang dilas, serta pengelasan dengan metode FSW mampu digunakan untuk mengelas material aluminium paduan yang tidak dapat dilas dengan metode las cair (Duniawan, 2016). Pengelasan dengan menggunakan metode FSW memiliki keunggulan yang lain, diantaranya adalah tidak menggunakan logam pengisi, biaya operasional yang lebih murah dari pengelasan busur, efisien dan lebih cepat dalam proses pengerjaannya, sifat mekanik yang dihasilkan lebih baik, kecilnya deformasi yang terjadi, proses pengelasannya aman dari gangguan radiasi sinar *ultraviolet*, serta ramah lingkungan karena dalam proses pengelasannya tidak menggunakan gas pelindung (Prabowo dkk, 2013). Sambungan hasil pengelasan *friction stir welding* mempunyai kualitas permukaan yang rata, lebih halus karena tidak adanya pori-pori yang timbul, serta memiliki sifat mekanik yang kuat (Pratisna dkk, 2016).

### 2.6.2 Kekurangan Pengelasan Metode *Friction Stir Welding*

Permasalahan yang sering terjadi dalam proses pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* adalah terbentuknya cacat pengelasan berupa cacat *whorehole* atau *incomplete fusion*, yaitu cacat yang berbentuk lubang kecil sepanjang jalur lasan yang terlihat dari hasil pengujian radiografi. Cacat ini disebabkan oleh beberapa parameter, diantaranya adalah *tool geometry*, parameter pengelasan, dan rancangan sambungan (Permana dkk, 2018). Agar material yang



dilas tidak bergerak saat proses pengelasan FSW berlangsung dibutuhkan proses pencekaman material yang sangat kuat sebelum dilakukannya proses pengelasan FSW, fleksibilitas pengerjaan pengelasan kurang baik bila dibandingkan dengan pengelasan menggunakan busur nyala, penggunaan *tool* yang berbeda - beda sesuai dengan jenis bahan dan ketebalan bahan yang akan dilas, serta membutuhkan mesin yang tangguh (Wijayanto, 2012). Dapat meningkatkan laju korosi karena benda kerja mengalami pelunakan pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), serta pada daerah las (*nugget*) di sepanjang garis sambungan las akibat terjadinya rekristalisasi saat proses *stirring* (Wartono & Kuntara, 2016).

## **2.7 Parameter Pengelasan Metode *Friction Stir Welding***

Kualitas sambungan hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* sangat dipengaruhi dengan adanya parameter proses pengelasan yang telah dirancang (Tarmizi & Prayoga, 2016). Parameter proses pengelasan yang digunakan dalam metode FSW antara lain:

1. Kecepatan putaran merupakan frekuensi putaran permenit yang terjadi pada *probe* untuk melakukan proses pengelasan FSW. Proses rekristalisasi serta peningkatan *strain rate* dapat terjadi karena adanya pengaruh dari kecepatan putaran *probe* yang tinggi.
2. Kecepatan pengelasan mempunyai peranan yang vital terhadap baiknya hasil sambungan las. Sambungan las yang memiliki nilai kuat tarik tinggi dapat dihasilkan dari proses penyambungan dengan menggunakan kecepatan pengelasan yang rendah, tetapi dengan terlalu tingginya penggunaan kecepatan pengelasan dapat menimbulkan terjadinya cacat las pada sambungan las.

3. Tekanan *tool* merupakan gaya tekan *tool* terhadap material yang di las.
4. Geometri pada pahat yang terdiri dari rasio pahat, panjang pahat, diameter pahat, panjang pin, diameter pin, dan sudut kemiringan pahat.

## 2.8 Aluminium

Aluminium adalah salah satu jenis logam ringan yang dapat menghantarkan listrik, serta memiliki sifat tahan terhadap korosi yang sangat baik. Kekuatan mekanik dari aluminium akan meningkat apabila ada penambahan unsur seperti, tembaga (Cu), magnesium (Mg), silicon (Si), mangan (Mn), Seng (Zn), nikel (Ni) (Permana dkk, 2016). Banyak negara di dunia mengklasifikasikan paduan aluminium dalam berbagai standar. ALCOA (*Aluminium Company of America*) merupakan standar terdahulu yang menjadi dasar standar AA (*Aluminium Association*) yang saat ini sudah sempurna dan terkenal di Amerika. Satu atau dua angka "S" digunakan untuk menyatakan paduan tempaan, sedangkan tiga angka digunakan untuk menyatakan paduan coran. Penandaan pada standar AA menggunakan empat angka antara lain, untuk menyatakan sistem paduan dengan tambahan unsur - unsurnya menggunakan angka pertama, untuk menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi serta aluminium murni menggunakan angka kedua, sedangkan untuk memberi tanda ALCOA terdahulu kecuali S menggunakan angka ketiga dan keempat (Surdia & Saito, 1999).

Dalam penelitian ini akan menggunakan pelat aluminium 5083 dengan ketebalan 4 mm. Aluminium 5083 merupakan golongan aluminium dengan menggunakan paduan magnesium (Mg), aluminium dengan paduan magnesium (Mg) ini mempunyai karakteristi tahan terhadap korosi yang sangat baik terutama korosi yang disebabkan oleh air laut (Prawira, 2015).



**Gambar 2.3 Pelat Aluminium 5083**

**Tabel 2.1 Komposisi Aluminium 5083**

(Sumber: UD. Bungur Sari)

Unsur	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
%	≤94.0	≤0.40	≤0.40	≤0.10	0.40- 1.0	4.0- 4.9	0.05- 0.25	≤0.25	≤0.15

## 2.9 Aplikasi Aluminium 5083

Pada lingkungan dengan kondisi yang ekstrim aluminium 5083 dikenal memiliki kemampuan yang sangat baik, hal tersebut dapat terjadi karena aluminium 5083 memiliki ketahanan terhadap korosi akibat pengaruh dari air laut maupun akibat pengaruh dari zat – zat kimiawi industri. Pada kondisi asam ph 4 – 9 ketahanan korosi bahan aluminium 5083 masih tergolong sangat baik. Bahan aluminium 5083 rata - rata mengandung 4.5% Mg, 0.7% Mn, dan 0.13% Cr, sehingga bahan ini menawarkan kekuatan mekanik yang sangat baik (Nurdiansyah dkk, 2012). Oleh karena itu, aluminium 5083 banyak digunakan pada struktur pengelasan, *pressure vessels*, perpipaan, deck kapal, tiang kapal, tangki air tawar pada kapal, tangki bahan bakar pada kapal, dan *speed boat* aluminium (Junus, 2011).



**Gambar 2.4 Speed Boat Dari Bahan Aluminium 5083**

(Sumber: <https://fiberboat-indonesia.com>)

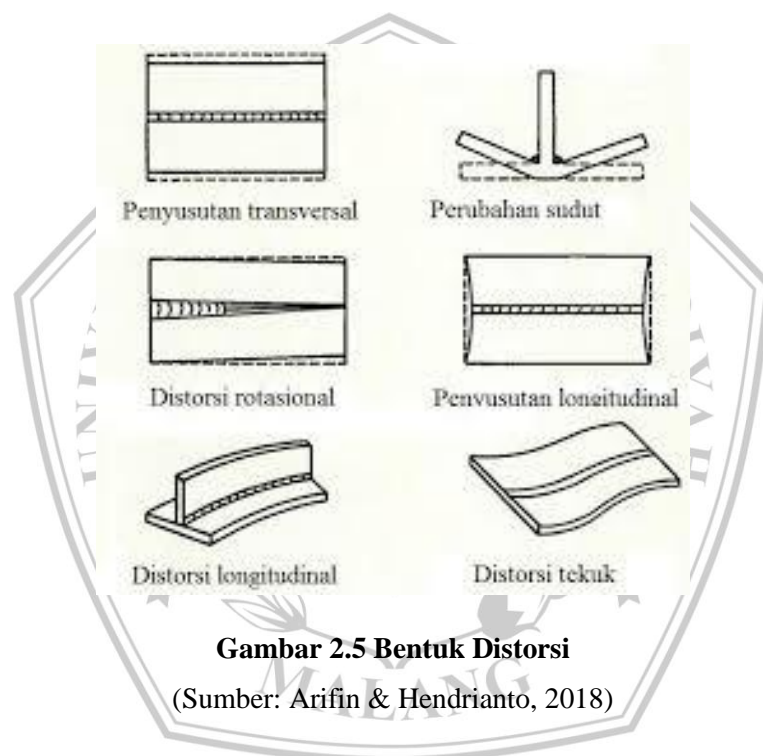
## 2.10 Distorsi Spesimen

Distorsi dapat didefinisikan sebagai perubahan bentuk serta ukuran pada struktur las akibat terjadinya pemuaian dan penyusutan las, hal tersebut disebabkan karena selama siklus las berlangsung, sambungan las mengalami proses pemanasan dan pendinginan. Distribusi massa disekitar garis las, adanya medan gaya serta adanya logam las merupakan faktor - faktor yang dapat mempengaruhi besar dan arah terjadinya distorsi. Terjadinya distorsi dapat menjadikan bagian terlemah, serta dengan adanya distorsi juga dapat mengganggu distribusi gaya (Machmoed, 2014). Selain itu, adanya distorsi menyebabkan pelat hasil pengelasan menjadi bergelombang atau melengkung, sehingga bentuk dan ukuran yang sudah direncanakan menjadi menyimpang, hal tersebut membuat proses pengerjaan selanjutnya menjadi sulit, sehingga untuk mengurangi distorsi yang terjadi perlu dilakukan perlakuan tambahan (Subeki dkk, 2018).

Huda dkk, (2013) menyatakan bahwa bentuk distorsi dapat dibedakan menjadi enam antara lain:

1. Penyusutan melintang / penyusutan transversal (*Transverse Shrinkage*) merupakan distorsi yang muncul secara tegak lurus terhadap garis lurus.

2. Penyusutan memanjang / penyusutan *longitudinal* (*Longitudinal Shrinkage*) merupakan distorsi yang muncul secara parallel terhadap garis las.
3. Distorsi rotasional adalah perubahan anguler berupa rotasi disekitar garis las (antar *web* dan *flange*).
4. Perubahan bentuk sudut.
5. Deformasi memanjang atau distorsi *longitudinal*.
6. Deformasi berombak atau distorsi tekuk.

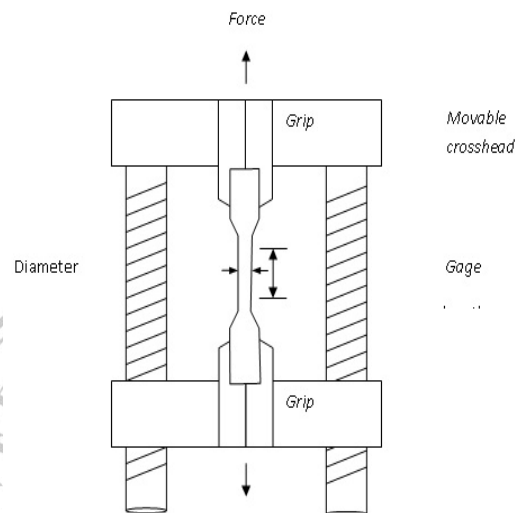


Distorsi merupakan salah satu cacat las yang sulit dihindari apabila prosedur dalam pengelasan tidak dirancang dengan benar. Ada beberapa hal yang dapat mencegah terjadinya distorsi pada sambungan las, hal-hal tersebut diantaranya adalah, 1) Bagian material yang akan disambung dilakukan pengikatan dengan (*tack weld*), 2) Memilih dengan tepat bentuk kampuh yang akan dibuat dengan menyesuaikan ketebalan benda kerja yang akan di las, 3) Dalam proses pengelasan menggunakan teknik *weaving*, 4) Menyesuaikan *heat input* dengan ketebalan benda

kerja yang akan di las, 5) Pada sambungan las yang panjang menggunakan penerapan pengelasan *intermiten* (Kusdiyarto & Djatmiko, 2018).

## 2.11 Sifat Mekanik

### 2.11.1 Pengujian Tarik

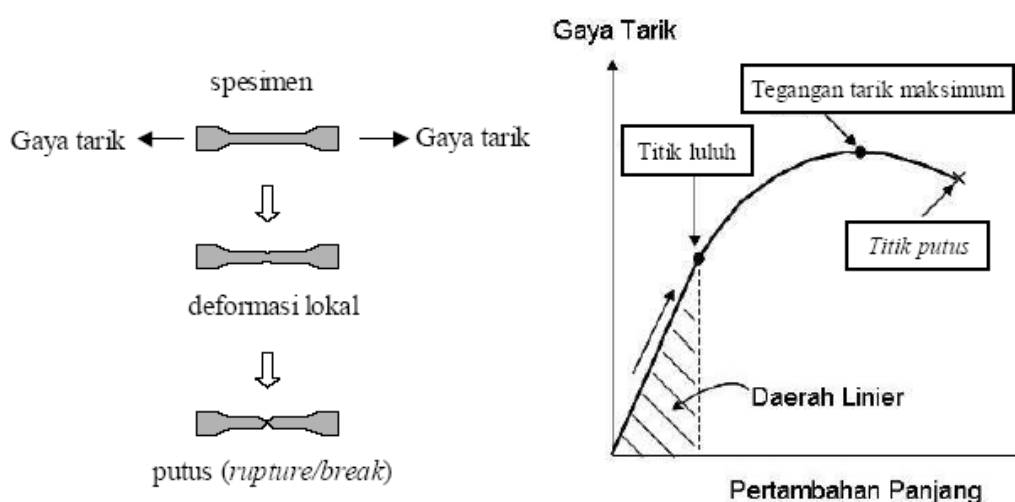


**Gambar 2.6 Skema Pengujian Tarik**  
(Sumber: <https://sersasih.wordpress.com>)

Pengujian tarik merupakan suatu pengujian yang mempunyai tujuan untuk mendapatkan hasil berupa gambaran kondisi serta sifat - sifat dari suatu logam yang diuji. Mekanisme dalam pelaksanaan pengujian tarik yaitu dengan menambahkan beban secara konstan dan perlahan - lahan, sehingga pertambahan panjang akan terjadi sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan gaya yang bekerja tersebut akan terus berlanjut sampai bahan yang diuji mencapai titik *proportionality limit*, kemudian terjadinya pertambahan panjang yang disebabkan karena adanya penambahan beban bekerjanya tidak lagi berbanding lurus, pertambahan panjang yang lebih besar dihasilkan dari penambahan beban yang sama, dan pertambahan panjang tanpa adanya penambahan beban suatu saat akan terjadi, sehingga batang

uji akan mengalami pertambahan panjang dengan sendirinya, hal ini yang membuat batang uji dikatakan mengalami luluh (*yield*). Berlangsungnya kondisi ini hanya sesaat, dan setelah itu akan mengalami kenaikan lagi.

Kenaikan beban akan berlangsung sampai dengan bahan uji mencapai nilai beban maksimumnya, beban mesin uji tarik akan turun lagi sampai akhirnya putus apabila kondisi batang yang diuji ulet, pengecilan penampang setempat (*local necking*) pada batang uji akan terjadi apabila beban sudah mencapai nilai maksimumnya, dan hanya disekitar *necking* saja yang akan mengalami pertambahan panjang. Pada batang uji yang memiliki kondisi getas, pada saat diberikan beban maksimum bahan akan putus, serta pada penampangnya tidak terjadi *necking* (Pradipta, 2016). Berikut ini adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya tarik terhadap pertambahan panjang:



**Gambar 2.7 Kurva Hubungan Gaya Tarik Terhadap Pertambahan Panjang**

(Sumber: <https://zwingly.wordpress.com/2011/03/21/uji-tarik-tensile-test/>)

Perhitungan dalam pengujian tarik menggunakan persamaan sebagai berikut:

- $\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{(w_0 \times t_0)} = \dots$  (MPa)
- $\sigma_{yield} = \frac{P_{yield}}{(w_0 \times t_0)} = \dots$  (MPa)
- $\Delta L = L_1 - L_0$
- $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \dots$  (%)

Keterangan:

$\sigma_{max}$  = Tegangan tarik (MPa)

$P_{max}$  = Beban maksimal (N)

$W_0$  = Lebar mula - mula spesimen (mm)

$t_0$  = Tebal mula - mula spesimen (mm)

$\sigma_{yield}$  = Tegangan luluh (MPa)

$P_{yield}$  = Beban yield (N)

$\Delta L$  = Penambahan panjang pada spesimen (mm)

$L_1$  = Panjang akhir spesimen (mm)

$L_0$  = Panjang mula - mula spesimen (mm)

$\epsilon$  = Regangan

### 2.11.2 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan (*hardness test*) adalah suatu kemampuan bahan untuk menahan beban yang diberikan dalam perubahan yang tetap. Besarnya nilai kekerasan material dapat dianalisa dengan mengetahui besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan. Mekanisme pengujian yang sering digunakan adalah dengan menekankan penekan yang diberikan beban tertentu pada benda yang akan diuji, hasil indentasi atau bekas penekanan yang



terbentuk di atasnya kemudian diukur berdasarkan metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menentukan nilai kekerasan dari material yang diuji. Kekerasan juga didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap penetrasi permanen yang diakibatkan beban dinamis atau statis (Gunawan, 2017).

Pengujian kekerasan memiliki beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya adalah pengujian dengan menggunakan metode kekerasan *vickers*. *Vickers Hardness Tester* merupakan sebuah alat yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material. Jenis indenter yang digunakan pada pengujian kekerasan *vickers* yaitu piramida intan berbentuk bujur sangkar, dengan besar sudut yang saling berhadapan antar permukaan - permukaan piramida intan sebesar  $136^\circ$  (Sahhendra, 2017). Pengukuran nilai kekerasan material dengan menggunakan pengujian kekerasan *vickers* memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, serta pengujian kekerasan *vickers* juga dapat digunakan untuk menguji material - material dengan tingkatan kekerasan yang beragam (Mohruni & Kembaren, 2013).

Kelebihan lain yang dimiliki pengujian kekerasan *vickers* dalam proses pengujiannya antara lain, tidak merusak material uji karena bekas penekanannya atau indentasinya kecil, material uji yang sudah pernah digunakan untuk pengujian dapat digunakan kembali, skala kekerasan pada pengujian kekerasan *vickers* dapat digunakan secara kontinue dari nilai yang sangat lunak sampai nilai yang paling keras dengan rentang ukuran yang luas, serta pengujian dapat dilakukan pada benda uji dengan ketipisan mencapai 0.006 inchi. Dalam pengujian kekerasan *vickers* juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya, material yang diuji harus memiliki kerataan yang sejajar, harus memiliki permukaan yang bersih dan mengkilap, ketinggian permukaan spesimen uji harus sama, sehingga dalam membuat spesimen

uji juga memerlukan waktu yang cukup lama, serta dalam menentukan nilai kekerasan pada spesimen uji juga membutuhkan waktu yang cukup lama (Maulana, 2018).

Mekanisme pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers* yaitu material ditumbuk dengan menggunakan indenter piramida intan, untuk menghasilkan bekas indentasi pada material yang diuji. Bekas indentasi tersebut selanjutnya diukur berdasarkan panjang diagonalnya ( $d$ ), selanjutnya besar diagonal rata - ratanya dimasukkan ke dalam persamaan 2, sehingga nilai angka VHN bisa didapatkan dari hasil persamaan tersebut (Purwaningrum, 2006).

Persamaan yang digunakan untuk menentukan angka kekerasan VHN sebagai berikut:

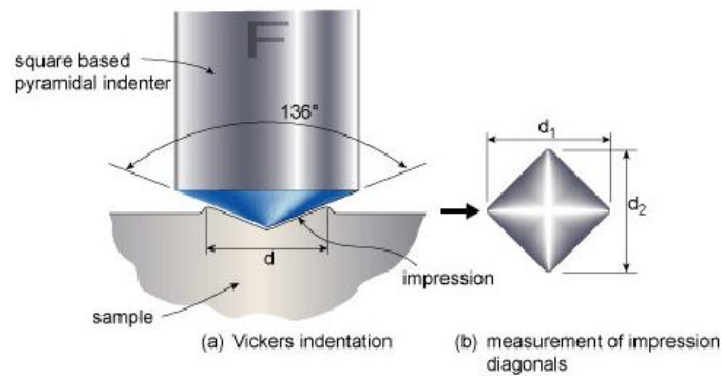
$$VHN = \frac{2 P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

$P$  : Beban yang dipergunakan (kgf)

$d$  : Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  : Sudut antara permukaan intan yang berlawanan =  $136^\circ$



**Gambar 2.8 Skema Pengujian Kekerasan Metode *Vickers***

(Sumber: <http://indonesian.temperaturehumiditytestchamber.com>)