

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang *Friction Stir Welding* telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian dengan menggunakan parameter rasio diameter *tool* dan *feedrate* telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Saravanan (2016) telah melakukan penelitian tentang FSW menggunakan paduan bahan yang berbeda yaitu paduan aluminium AA2024-T6 dan AA7576-T6. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan rotasi, kecepatan pengelasan, beban aksial, dan variasi rasio diameter *shoulder* dengan pin *tool* ( $D/d$ ) yaitu 2, 2.5, 3, 3.5, dan 4. Hasilnya tercatat bahwa kekuatan tarik maksimum sebesar 356 MPa diperoleh dari rasio  $D/d$  3, kecepatan putar alat 1200 RPM, kecepatan pengelasan 12 mm/menit, dan beban aksial 8 kN. Nilai kekerasan minimum terdapat pada daerah HAZ di *advancing side*, sedangkan kekerasan maksimum terdapat di daerah SZ yaitu sebesar 151 HV dengan rasio  $D/d$  sebesar 3, hal ini terjadi karena di daerah zona aduk butirannya lebih halus. Struktur mikro SZ dengan rasio  $D/d$  sebesar 3 memperlihatkan adanya struktur rekristalisasi halus, dan ukuran butir jauh lebih kecil dari ukuran butiran bahan dasar. Diameter *shoulder* yang lebih kecil berpengaruh pada peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekerasan mikro pada sambungan.

Bilici (2017) meneliti penyambungan *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan metode FSW menggunakan parameter kecepatan rotasi *tool* 600, 900, 1200, dan 1500 RPM, laju umpan (*feedrate*) 30, 45, 60 mm/menit, diameter pin 4, 5, 6 mm dan diameter bahu *tool* 20, 25, 30 mm. Dari percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik maksimal diperoleh dari rasio diameter *tool* 4 dan 5. Kekuatan tarik sambungan sebesar 71 % dari plat dasar diperoleh dari kecepatan putar *tool* 900 RPM dan laju umpan 45 mm/menit. Secara umum ditemukan bahwa kecepatan rotasi yang lebih tinggi dan laju umpan yang rendah menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena suhu yang tinggi diperoleh pada kecepatan spindle yang lebih tinggi yang menyebabkan pembentukan lelehan material dengan jumlah yang besar sehingga terbentuk

sambungan yang efisien. Menambah diameter *shoulder* pahat juga memiliki efek menurunkan kekuatan tarik las.

Sadeghian (2014) meneliti FSW pada *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) menggunakan pendekatan eksperimental dan metode statistik untuk memperoleh hasil sambungan las yang optimal. Parameter - parameter utamanya adalah rasio diameter *tool*, kecepatan rotasi, kecepatan linier dan sudut kemiringan. Hasil dari penelitian ini tercatat bahwa dengan membandingkan 2 bentuk pin *tool* yang ada, bentuk pin kerucut lebih menghasilkan sambungan yang efisien dari pada bentuk pin silinder, efisiensinya sebesar 101% untuk bentuk pin kerucut dan 99% untuk bentuk pin silinder. Sudut kemiringan, rasio diameter *tool* di tingkat yang tinggi dan kecepatan rotasi di tingkat yang rendah akan menghasilkan sambungan las FSW ABS dengan optimal. Selain itu, kecepatan linier yang tinggi berpengaruh signifikan terhadap kekuatan sambungan. Sudut kemiringan 2 derajat, kecepatan putar 900 RPM, rasio diameter *tool* 20/6, dan kecepatan linier 25 mm/menit menghasilkan *yield strength* yang hampir sama dengan kekuatan lembaran ABS induk.

Pengaruh kecepatan rotasi *tool* juga diteliti oleh Zafar (2016) pada proses FSW dengan bahan *nylon 6* terhadap sifat mekanik sambungannya. Hasilnya menunjukkan bahwa karena viskositas lelehnya rendah, maka *nylon 6* juga akan baik jika dilas dengan kecepatan rotasi yang rendah pula yaitu 300 RPM dan kecepatan makan 25 mm/menit dengan sudut kemiringan pahat 0 derajat. Pada rotasi tinggi telah diamati bahwa terjadi penyusutan berlebih pada material yang terplastisasi dan pembentukan cacat pada daerah las. Ukuran diameter *shoulder* yang kecil juga mengurangi *primary heat* sehingga cacat *flash* menjadi berkurang. Struktur mikro pada daerah las juga terlihat halus dan seragam pada parameter optimal. Pada pengujian tarik semua spesimen terputus di daerah *retreating side*, hal ini disebabkan karena didaerah ini terdapat cacat *lack of bonding* dan kristalisasi yang rendah. Pada penelitian ini menggunakan parameter rotasi pahat sebesar 300, 400, 500 & 1000 RPM dengan kemiringan pahat 0 derajat dan 300 RPM dengan kemiringan pahat 3 derajat.

Penelitian FSW dengan *nylon 6* oleh Ethiraj (2017) dengan menyelidiki parameter proses terhadap sifat mekanik dan mikrostrukturnya. Benda kerja yang digunakan adalah *nylon 6* dengan ketebalan 6 mm, dimensi *tool* berbentuk silinder ulir, dan parameter yang digunakan antara lain kecepatan rotasi pahat 600, 800, 1000 & 1200 RPM dan *feedrate* 18, 21, 24, 27 & 30 mm/menit. Dari hasil penelitian yang didapat bahwa terdapat cacat *flash* pada kedua sisi garis las dibawah permukaan *shoulder tool*. Pada rotasi yang rendah dan *feedrate* yang tinggi juga meyebabkan terbentuknya permukaan las yang kasar. Nilai kekuatan tarik maksimum, *yield strength* dan elongasi semua parameter pada percobaan yang sudah dilakukan jauh lebih rendah dari material induknya. Sambungan las pada kecepatan rotasi 1200 RPM dan *feedrate* 30 mm/menit memiliki sifat tarik yang maksimal yaitu dengan nilai kekuatan tarik maksimal, *yield strength* dan elongasinya sebesar 18%, 26% dan 65% dari bahan induknya. Pada pengujian SEM juga terlihat cacat *cavity* dan diskontinuitas pada sebagian besar sambungan yang mengurangi kekuatan tariknya.

Dari uraian beberapa penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa rasio diameter *tool* dan *feedrate* merupakan parameter yang sangat penting digunakan dalam proses FSW. Rasio diameter *tool* berpengaruh pada pembentukan struktur rekristalisasi dan ukuran butir pada zona aduk. Kecepatan pemakanan mempengaruhi laju panas yang dibawa oleh *tool* sehingga kedua parameter tersebut berpengaruh terhadap sifat tarik sambungan.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Nylon 6

*Nylon* merupakan suatu keluarga polimer sintetik yang diciptakan pada 1935 oleh Wallace Carothers di DuPont. *Nylon* dibuat dari rangkaian unit monomer dan sering diistilahkan dengan *poliamida* (PA). *Nylon* merupakan polimer pertama yang sukses secara komersial, dan merupakan serat sintetik pertama yang dibuat seluruhnya dari bahan anorganik yaitu batu bara, air, dan udara. Elemen-elemen ini tersusun menjadi monomer dengan berat molekular rendah, yang selanjutnya direaksikan untuk membentuk rantai polimer panjang.

Komposisi kimia dari *nylon* adalah  $(C_{12}H_{22}N_2O_2)_n$ . Ini mengandung 12 atom karbon dan 22 atom hidrogen bersama dengan 2 nitrogen dan 2 oksigen atom yang terikat dan semuanya diulang satu di atas yang lain untuk membentuk polimer. Ikatan yang biasanya terbentuk adalah kovalen. Properti fisik *nylon* berpengaruh pada kemampuan las dan sifat yang diinginkan setelah pengelasan dilakukan (Jaiganesh, 2014).

*Nylon* kompatibel dengan *epoxy adhesive* bila digunakan sebagai perekat, karena *epoxy adhesive* dapat bereaksi dengan *nylon* melalui *amida hidrogen*. Sambungan dengan menggunakan perekat ini menyebabkan peningkatan kekuatan getas dan penurunan kekuatan luluh *nylon* (Karoly, 2018).

Jenis *nylon* yang paling sering digunakan di dunia *engineering* adalah *nylon 6*. *Nylon 6* mempunyai sifat cukup keras, kenyal, dan dapat dibengkokkan, serta memiliki sifat mekanis yang baik, koefisien geseknya rendah sehingga tahan aus, dan daya hantar panasnya rendah. Pada umumnya metode penyambungan *nylon 6* menggunakan lem *plastic steel*. *Nylon 6* banyak digunakan sebagai pengganti logam dalam membuat roda - roda gigi, bantalan luncur, alat - alat pesawat telepon dan alat - alat kedokteran.

**Tabel 2.1** Sifat - sifat lembaran *nylon 6* (dalam Karoly, 2018)

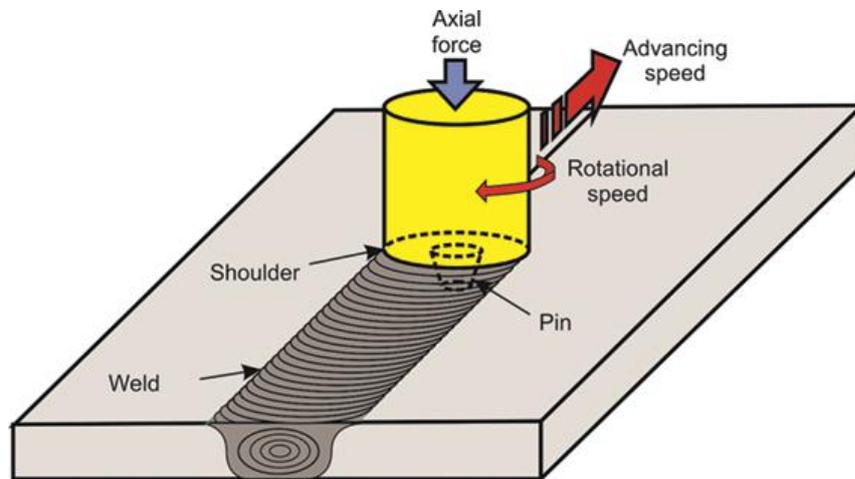
No	Property	Values
1	Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.14
2	Yield stress (MPa)	70
3	Elasticity modulus (N/mm <sup>2</sup> , Mpa)	3100
4	Shore D hardness	75
5	Thermal conductivity (W/mK)	0.23
6	Melting temperature (°C)	255

### 2.2.2 Pengertian Pengelasan

Berdasarkan defenisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) dalam Harsono dkk (1991) mendefinisikan bahwa Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Sedangkan menurut Maman Suratman (2001) mengatakan tentang pengertian mengelas yaitu salah satu cara menyambung dua bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas. Sedangkan menurut Sriwidharto (2006) las adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan cara mencairkannya melalui pemanasan. Dari beberapa pendapat di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pengelasan adalah menyambung dua atau lebuah bagian logam atau material dengan menggunakan energi panas.

### 2.2.3 Pengertian *Friction Stir Welding*

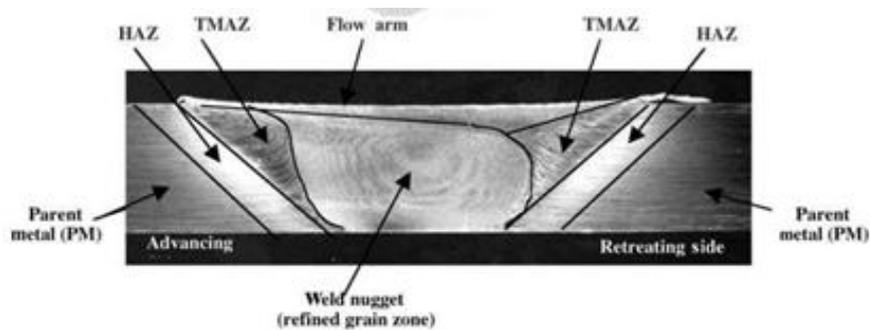
*Friction stir welding* (FSW) adalah proses pengelasan *solid state* di mana sebuah *tool* yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. *Tool* yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan (*stirring*) material untuk membentuk sambungan las. Perbedaan *friction stir welding* dengan *friction welding* adalah pada *friction stir welding* panas gesekan dihasilkan oleh *tool* tahan aus, sedangkan pada *friction welding* berasal dari benda kerja yang akan disambung itu sendiri.



**Gambar 2.1** *Friction Stir Welding* (Fraser, 2016)

#### 2.2.4 Daerah Pengelasan Pada FSW

Daerah pengelasan merupakan daerah yang terbentuk oleh panas yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



**Gambar 2.2** Daerah pengelasan dengan metode *friction stir welding* (dalam Rahayu, 2012)

Daerah pengelasan dibagi menjadi beberapa bagian antara lain:

1. *Parent metal* atau *unaffected material* atau material induk merupakan daerah yang tidak terpengaruh siklus termal, mikrostruktur maupun sifat mekanik. Struktur mikro berupa butiran halus memanjang searah dengan arah rol.

2. HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis dan perubahan sifat mekanik. Pada daerah ini terjadi perubahan struktur mikro.
3. *Thermomechanically affected zone* (TMAZ) adalah daerah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami deformasi struktur tetapi tidak terjadi rekrystalisasi.
4. Daerah *weld* adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekrystalisasi yang menghasilkan butiran halus didaerah pengadukan. *Weld* bentuknya bergantung pada parameter proses, geometri *tool*, temperatur, benda kerja dan konduktivitas termal material.

#### **2.2.5 Parameter Pengelasan**

Berikut ini adalah parameter atau batasan - batasan dalam pengelasan FSW, antara lain:

1. Kecepatan putar *tool*, panas gesekan, kedalaman pin, pengadukan, pemecahan dan pencampuran lapisan oksida.
2. Sudut puntir, berpengaruh pada tampilan lasan.
3. Laju pengelasan berpengaruh pada tampilan lasan dan kendali panas
4. Gaya tekan turun berpengaruh pada panas gesekan.

#### **2.2.6 Aplikasi FSW**

*Friction stir welding* digunakan di bidang *aerospace*, otomotif, kereta, dan perkapalan. Jenis sambungan yang digunakan adalah *butt joint*. Logam yang dapat dilas dengan FSW antara lain: aluminium, baja (*steel*), titanium, dan tembaga. Selain logam ada material lain yang dapat dilas dengan FSW yakni polimer dan komposit.

#### **2.2.7 Kelebihan FSW**

Kelebihan *friction stir welding* antara lain:

1. Sifat mekanis sambungan baik.

2. Terhindar dari asap beracun dan masalah - masalah lain yang dapat dijumpai pada *arc welding*.
3. Distorsi atau penyusutan kecil.
4. Bentuk las bagus.

#### **2.2.8 Kelemahan *Friction Stir Welding***

Kelemahan *friction stir welding* antara lain:

1. Terdapat lubang ketika kita menarik *tool* dari benda kerja.
2. Penjepitan benda kerja harus kuat.