

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Azarsa dan Mostafapour (2013) melakukan penelitian terhadap kekuatan lentur FSW pada lembaran HDPE. Kekuatan lentur adalah salah satu kriteria utama dalam evaluasi sifat mekanik sambungan polimer. Kekuatan lentur termoplastik, seperti lembaran high density polyethylene (HDPE), dipengaruhi oleh parameter yang digunakan. Penentuan parameter pengelasan memainkan peran penting dalam kekuatan lasan. Dalam penelitian ini, metode respon permukaan atau *Response Surface Method* (RSM) digunakan sebagai statistik desain teknik eksperimen untuk mengatur parameter pengelasan yang optimal. Alat yang dirancang terdiri dari putaran tool, shoulder, dan sistem pemanas pada shoulder. Kecepatan putaran tool, kecepatan lintasan pahat dan suhu pada shoulder dianggap sebagai parameter yang bervariasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan yang signifikan antara properti yang dipertimbangkan dan parameter pemrosesan melalui analisis varians (ANOVA) studi dan metode permukaan respon.

Sahu dkk, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan rotasi didalam proses FSW pada bahan HDPE. Dia meneliti pengaruh kecepatan rotasi pada kekuatan tarik dengan menggunakan variasi kecepatan rotasi 500, 750 dan 1000 rpm. Parameter lain yang digunakan ialah feed rate 5 mm/menit dan 1° sudut kemiringan tool. Hasil tertinggi didapatkan dari variasi kecepatan rotasi 750 rpm dengan nilai 21.02 MPa dengan efisiensi 63.69% dari kekuatan tarik maksimum bahan dasar HDPE. Pada kecepatan rotasi yang lebih rendah, panas yang dihasilkan tidak cukup untuk merusak material secara plastis dan karenanya, ada sedikit aliran material dari sisi yang maju ke sisi yang mundur dari lasan. Dengan meningkatnya kecepatan rotasi, gesekan antara pin dan media meningkat yang menghasilkan lebih banyak panas. Panas ini cukup untuk mencapai keadaan plastis. Rotasi tool pada permukaan membuat bahan plastik mengalir di sekitar pin dan dengan demikian, diperoleh kekuatan yang lebih tinggi. Peningkatan lebih

lanjut dengan kecepatan rotasi 1000 rpm, lebih banyak jumlah panas yang dihasilkan yang sangat merusak material.

Bilici dkk (2017) menyelidiki sifat-sifat mekanik sambungan las FSW dalam lembaran HDPE dengan ketebalan 4 mm. Eksperimen dilakukan dengan kecepatan putaran pahat 600, 900, 1200, 1500 rpm dan kecepatan lintasan/*feed rate* 30, 45, 60 mm/menit dan diameter *shoulder* 20, 25, 30 mm dengan pin tool nya 4, 5, 6 mm dan sudut kemiringan pahat menggunakan  $1^\circ$  pada semua percobaan. Pada penelitian ini, spesimen diuji tarik dengan kekuatan tarik bahan dasar 23 MPa, didapatkan kekuatan tarik maksimum pada variasi kecepatan putaran pahat 900 rpm, *feed rate* 45 mm/menit, diameter *shoulder* 25 mm dengan diameter *pin* 5 mm sebesar 15 MPa atau sekitar 65% dari kekuatan tarik maksimum bahan dasarnya. Secara umum, kecepatan putaran pahat yang tinggi dan *feed rate* yang rendah menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Ini disebabkan suhu yang ditimbulkan pada kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan bahan cair yang mengarah pada sambungan yang efisien.

Ashari dan Subiyanto, (2016) melakukan studi eksperimen terhadap variasi kecepatan putaran spindle dengan pin tirus terhadap impact strength dan metallography polyethylene dengan metode FSW. Pada penelitian ini proses percobaan dilakukan pada penyambungan benda kerja HDPE (High Density Polyethylene) dengan tebal 15 mm. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran spindle dengan rpm (1320, 1720, dan 2230) dengan pin kerucut berulir kanan berdiameter 5 mm panjang 14,7 mm, diameter *shoulder* 20 mm, dan arah putaran spindle ke kanan (CW). Kemudian dilakukan pengujian kekuatan impak (impact testing) dengan metode charpy, dan foto makro hasil pengelasan. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa semakin tinggi putaran spindle, maka akan menghasilkan temperature yang tinggi, menghasilkan lebar root yang kecil dan ketinggian root relatif lebih tinggi, serta kekuatan impak (*Impact strength*) yang lebih rendah.

Pada penelitian lain ditemukan pengaruh kecepatan putaran tool dan pemanas tambahan terhadap kekuatan mekanik polypropylene hasil las FSW. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan untuk kecepatan putaran tool nya

ialah 204, 356, 602, 1140 rpm dan pemanas tambahan. Sebagai hasil dari percobaan, ditentukan bahwa alat putaran kecepatan 602 rpm dengan pemanas tambahan memiliki kekuatan tarik tertinggi dan nilai kekuatan lentur, yaitu 14,55 MPa dan 6.022 MPa. Kecepatan rotasi optimal dan pemanas tambahan menyebabkan proses pengadukan yang lebih baik, sehingga bahan cair dapat menyebar secara merata di area pengelasan. Bahan cair yang menyebar secara merata meminimalkan lubang yang muncul sehingga meningkatkan sifat mekanik dari sambungan (Prabowo dkk, 2013)

Dari beberapa penelitian diatas banyak penelitian yang meneliti tentang pengaruh hasil lasan pada proses FSW seperti pengaruh kecepatan putar tool, sudut kemiringan tool, pengaruh *plunge depth* dan *preheat*, *feed rate* dengan menggunakan bahan polimer. Namun untuk pembahasan yang berfokus pada pengaruh kecepatan putar tool terhadap sifat mekanik pada bahan HDPE masih sangat sedikit penelitian nya. Maka dari itu, penelitian ini diambil untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan putar tool terhadap kekuatan mekanik sambungan las FSW pada bahan HDPE dengan melakukan uji tarik, pengamatan struktur makro, dan juga pengujian lentur.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pengelasan**

Pengelasan adalah proses penyambungan dua material yang dipanaskan sampai cair sehingga terjadi ikatan metalurgi antara dua material tersebut. Biasanya dilakukan pada material termoplastik. Proses pengelasan plastik dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu: proses yang melibatkan gerakan mekanis yang menghasilkan panas (*ultrasonic welding*, *friction welding*, *vibration welding*), dan proses yang melibatkan pemanasan eksternal (*hot plate welding*, *hot gas welding*, *implant welding*) (Arici dan Sinmaz, 2005).

Pengelasan juga dapat diuraikan menjadi tiga bagian berdasarkan cara kerjanya, yaitu:

1. Pengelasan tekan

Pengelasan padat adalah sebuah proses pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Contohnya las gesek, las tempa dan las tekan gas.

2. Pengelasan cair

Pengelasan cair merupakan sebuah proses pengelasan yang menggunakan cara memanaskan bagian yang akan disambung sampai mencair dengan menggunakan sumber panas dari energi listrik atau api dari pembakaran gas baik menggunakan bahan tambahan/*filler* ataupun tidak, seperti las busur dan las gas.

3. Pematrian

Pematrian adalah sebuah metode menyambungkan dua logam dengan sumber panas menggunakan bahan tambahan yang mempunyai titik didih lebih rendah, sehingga pada saat proses pematrian logam induk tidak ikut mencair. Contohnya *soldering* dan *brazing*.

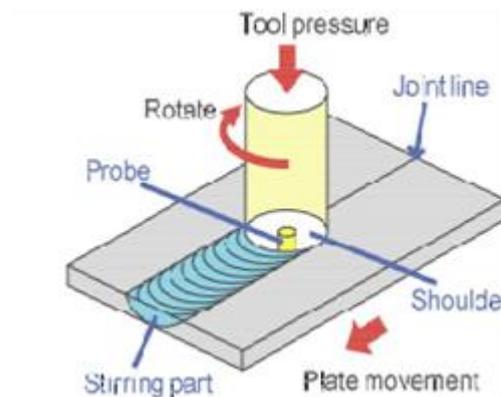
### **2.2.2 Friction Stir welding**

*Friction Stir Welding* adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid atau dengan kata lain logam tidak meleleh saat dilakukan penyambungan. Metode ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Dalam proses *friction stir welding*, alat las yaitu silinder shoulder dan *probe* (pin) yang berulir / tanpa ulir diputar pada kecepatan rotasi dan *feeding* (kecepatan pengelasan) yang konstan terhadap garis sambungan antara dua buah lembaran pelat atau material. Bagian-bagian lembaran pelat tersebut harus dalam keadaan kaku untuk itu dijepit pada sebuah bidang dukungan, tujuan prosedur ini adalah mencegah posisi pertemuan sambungan tidak terpisah selama proses penyambungan. Panjang *probe*/pin yang diperlukan adalah kurang sedikit dari kedalaman las dan shoulder harus berada dalam kontak langsung dengan

permukaan benda kerja. Pin tersebut kemudian dipindahkan terhadap benda kerja atau sebaliknya. Pada proses *friction stir welding* panas dihasilkan oleh gesekan antara alat las (*shoulder* dan pin) dengan benda kerja. Panas ini, bersama dengan panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis dan panas dalam material, menyebabkan bahan mengalami proses pengadukan dan melunak tanpa mencapai temperatur leleh (0.6 sampai dengan 0.8 temperatur leleh).

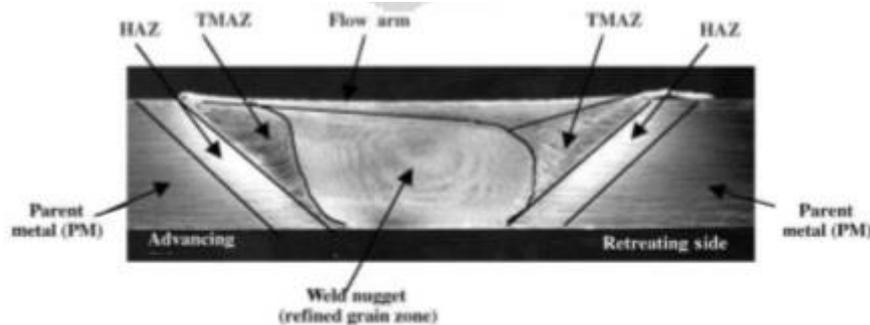
Gesekan dua benda yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses *friction stir welding*, sebuah tool yang berputar ditekankan pada material yang akan disatukan. Gesekan tool yang berbentuk silindris yang dilengkapi dengan sebuah pin dengan material mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakkan bagian tersebut.

Tool bergerak pada kecepatan tetap dan bergerak melintang pada jalur pengelasan (*Joint Line*) dari material yang akan disatukan. Dua hal itu dikerjakan secara bersama sama untuk menjaga suhu pada titik pengelasan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip kerja FSW (Wijayanto, 2012)

Pada proses *friction stir welding* ada yang dinamakan daerah pengelasan, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Heat Zone pada proses FSW (Rahayu, 2012)

Daerah pengelasan ini dibagi menjadi 4 bagian, yaitu :

a. Base Metal

Base metal merupakan bagian material yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.

b. Heat Affected Zone (HAZ)

Area ini merupakan area yang paling dekat dengan center dari lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari base material, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.

c. Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)

Pada area ini tool mendeformasi material secara plastis dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses FSW juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium, panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi. Biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.

d. Weld Nugget

Area ini yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau sering disebut juga *Stir Zone*. Area ini yang menghasilkan sambungan pada proses FSW.

Pada proses *friction stir welding* (FSW) terdapat beberapa parameter yang akan menentukan hasil dari pengelasannya. Berikut ini beberapa parameter atau batasan-batasan pada proses FSW, yaitu :

a. Kecepatan Putar Tool (*rotation speed*)

Kecepatan putar tool merupakan kecepatan putaran spindle dari mesin yang digunakan pada saat proses FSW. Parameter ini sangat penting dalam proses FSW karena perubahan-perubahan kecepatan akan mempengaruhi hasil dari pengelasan secara signifikan. Parameter inilah yang menjadi fokus penulis pada penelitian ini.

b. Kecepatan Pemakanan Las (*feed rate*)

Kecepatan pemakanan las merupakan kecepatan pakan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk penyambungan bahan pada proses FSW. Untuk memaksimalkan *feed rate* harus dilihat juga dari parameter putaran tool nya sehingga bisa menghasilkan hasil lasan yang baik.

c. Dept of Plunge

*Dept of plunge* (kedalaman pembedaman) adalah kedalaman shoulder menekan material yang akan dilas. Pada penelitian ini menggunakan *dept of plunge* 0.5 mm.

d. Kemiringan Tool

Kemiringan tool memiliki pengaruh besar pada hasil pengelasan. Ada perbedaan yang sangat jelas untuk kemiringan antara 1°- 4° dari hasil penelitiannya Wijayanto dkk, (2014).

e. Desain Tool

Desain tool merupakan rancangan tool meliputi jenis material, shoulder dan ukuran pin yang akan digunakan. Titik lebur material tool harus lebih tinggi daripada spesimen yang akan dilas untuk mengantisipasi rusaknya tool ketika proses FSW. Fungsi shoulder untuk memberikan jalur pengelasan dan memberi tekanan kepada spesimen yang akan di las. Sedangkan fungsi pin sebagai pengaduk spesimen agar bisa tersambung dengan baik.

Pengaplikasian *friction stir welding* di Indonesia tampaknya kurang begitu diminati untuk dijadikan opsi pengelasan. Namun di negara maju seperti Jepang dan Amerika sudah sejak lama mengaplikasikan teknologi ini. Pengaplikasian teknologi ini terutama pada industri alat-alat transportasi. Contohnya di bidang industri dirgantara, komponen pada bagian roket pendorong pesawat luar angkasa menggunakan proses FSW untuk menyambungkan bagian-bagiannya. Kemudian di bidang industri kereta api di Jepang menggunakan proses FSW untuk pembuatan panel atap berbahan aluminium pada kereta super cepat bernama shinkansen, dan masih banyak lagi contoh yang menggunakan proses FSW untuk penyambungannya.

### **2.2.3 High Density Polyethylene (HDPE)**

HDPE merupakan senyawa termoplastik dari atom karbon dan systemnya yang bergabung menghasilkan berat molekul yang tinggi. Gasmetana yang diubah menjadi gas etilen, kemudian dengan aplikasi panas dan tekanan, diubah lagi menjadi polietilen. HDPE merupakan polimer semikristalin. Ukuran dan distribusi luas daerah kristalin menentukan kekuatan tarik dan ketahan retak dari produk akhir. HDPE dengan rantai yang lebih sedikit dari MDPE atau LDPE, memiliki bagian kristal yang lebih besar, sehingga densitasnya lebih besar dan lebih kuat.

Secara kimia polietilen merupakan parafin yang mempunyai berat molekul tinggi. Karena itu sifat – sifatnya serupa dengan sifat parafin. Terbakar kalau dinyalakan dan menjadi cair, menjadi rata kalau dijatuhkan di atas air. Sifat HDPE yang inert dan rantai molekul yang fleksibel menghasilkan ketahanan korosi yang tinggi. HDPE mempunyai sedikit cabang, yang membuat HDPE memiliki ikatan intermolekuler dan kekuatan tarik yang lebih besar dari LDPE. HDPE juga lebih keras, dan tahan temperatur tinggi. Sedikitnya cabang dipengaruhi oleh pemakaian katalis yang tepat (contoh katalis Ziegler-Natta) dan kondisi reaksi Katalis-Zieger Natta mampu memproduksi rantai polimer pendek, sedang, atau panjang. LDPE memiliki cabang panjang dan pendek. Karena daerah kristal lebih sedikit dari HDPE maka lebih fleksibel tapi kurang kuat. HDPE memiliki struktur yang berbeda dengan LDPE, strukturnya memiliki cabang yang pendek yang

membuat rantai menjadi sangat dekat. HDPE merupakan material viskoelastis linear yang sifat-sifatnya bergantung pada waktu. (Agnesi, 2004).

Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan sifat-sifat dari polyethylene seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat-sifat HDPE

(W.billmeyer Fred,JR, Text Book Of Polymer Science,hal.478)

| Sifat fisik dan mekanik                                 | Keterangan     |
|---------------------------------------------------------|----------------|
| Massa jenis(g/cm <sup>3</sup> )                         | 0,941-0,965    |
| Temperatur melting (°C)                                 | 137            |
| Temperatur glass (°C)                                   | -90            |
| Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )                   | 2,1-3,8        |
| Perpanjangan (%)                                        | 15-100         |
| Modulus elastis (kgf/mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup> ) | 0,4-1          |
| Kekuatan tekan (kgf/mm <sup>2</sup> )                   | 2,2            |
| Kekuatan Impack (kgm/mm <sup>2</sup> )                  | 0,00425-0,0744 |

HDPE termasuk bahan yang mudah dicari, pada penelitian ini penulis menggunakan bahan HDPE berdimensi awal 1 x 2 meter yang kemudian dipotong menjadi bagian kecil dengan panjang 100 mm, lebar 80 mm dan tebal 5 mm. pada Gambar 2.3 terdapat contoh bahan HDPE berupa lembaran-lembaran yang sudah dipotong.



Gambar 2.3 lembar material HDPE

