

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Jaiganesh dkk. (2014) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi bentuk profil *pin tool*. Dalam penelitian tersebut parameter pengelasan dengan metode FSW yang diteliti adalah gaya aksial dari 1 hingga 5 (KN), kecepatan putaran tool dengan variasi antara 800 sampai 1200 (rpm) dan laju pemakanan antara 0 sampai 20 (mm/min). Sebuah upaya dilakukan untuk menyambung *polypropylene sheet* dengan ketebalan 5 (mm) dan menggunakan 3 jenis bentuk profil *pin tool* yaitu silinder, silinder runcing dan silinder ulir berdiameter pin 5 mm. Kualitas hasil lasan pada *polypropylene* (PP) dievaluasi dengan menggunakan kekuatan uji tarik dan analisis struktur makro. Pada tahap percobaan kecepatan putaran *tool* memakai tiga tingkat (900, 1000, 1200 rpm), sudut kemiringan 0 - 1° dan laju pemakanan *feed rate* (5; 10; 12 mm/menit). Hasil lasan terbaik diperoleh pada kecepatan putaran *tool* 1000 rpm, laju pemakanan 10 mm/menit dan sudut kemiringan 1° dengan menggunakan *tool* silinder runcing. Kekuatan tarik maksimal diperoleh 10 MPa masih hampir 45% dari bahan dasarnya yaitu 22,2 MPa. Dari hasil uji struktur makro menyimpulkan bahwa ada kekuatan yang lebih rendah di bagian sisi belakang lasan, jadi kerusakan dimulai dari sisi belakang spesimen yang dilas.

Payganeh dkk. (2011) melakukan sebuah penelitian tentang sifat mekanik pada pengelasan *friction stir welding* menggunakan material *polypropylene* (PP) dengan ukuran 100 mm x 50 mm x 5 mm dan tambahan serat *glass fiber* (GF) sebanyak 30 %. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa parameter FSW seperti geometri *pin tool*, sudut kemiringan tool dan kecepatan putaran *pin tool*. Pada percobaanya memakai kecepatan putaran tool (400, 630, 1000 rpm), kecepatan linear kerja (8, 16, 20 mm/min) dan kemiringan tool (0, 1, 2°). Variasi bentuk profil *pin tool* sendiri menggunakan empat buah jenis tool yang berbeda bentuk maupun diameter pinnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Variasi bentuk profil pin tool (Payganeh dkk, 2011)

Tool	Deskripsi geometri pin	Diameter besar (mm)	Diameter kecil (mm)
1	Pin silinder runcing beralur	5	3
2	Pin segitiga beralur	5	5
3	Pin segitiga tanpa alur	5	5
4	Pin silinder beralur	5	5

Pada tabel 2.1 menunjukkan perbedaan profil bentuk *pin tool* yang sangat berpengaruh pada hasil pengelasan dan berpengaruh terhadap sifat mekaniknya saat dilakukan pengujian tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengelasan paling bagus terdapat pada *pin tool* silinder runcing beralur dengan kecepatan putar tool (500 rpm) memiliki penampilan yang bersih dengan lebar seragam dan tidak terdapat cacat permukaan dengan kekuatan tarik sekitar 9 MPa masih hampir 25% dari material dasar (*base material*) sekitar 36 MPa. Dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa geometri pin tool dan kemiringan sangat berpengaruh terhadap hasil lasan dan kekuatan tarik, penyambungan material *polypropylene* dengan 30% serat *glass fiber* (GF) sangat di rekomendasikan menggunakan *friction stir welding*.

Prabowo dkk. (2013) telah melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan putaran tool dan pemanas tambahan terhadap kekuatan mekanik *polypropylene* dengan metode pengelasan *friction stir welding*. Pada penelitiannya saat melakukan penyambungan material *polypropylene* menggunakan beberapa variasi parameter antara lain, kecepatan putaran tool (356, 602 dan 1140 rpm), kedalaman penetrasi tool 0,2 mm dan kecepatan translasi tool (*feed rate*) menggunakan 7,3 mm/min sedangkan tool terpasang pada *chasing* pemanas tambahan dengan mengeset temperatur 140°C. Pada pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638 dan pengujian bending standar yang digunakan adalah ASTM D790. Pada hasil akhir penelitian menunjukkan bahwa variasi pengelasan FSW yang optimal terdapat pada variasi kecepatan putaran tool 602 rpm dengan pemanas tambahan di *pin tool* dan hasil kekuatan tarik tertinggi yaitu 14,55 MPa dan 6,022 MPa untuk kekuatan bending, sedangkan kekuatan tarik dan bending raw

materialnya mencapai 32,19 MPa dan 16,89 MPa. Terjadi penurunan kualitas hasil lasan dari segi visul hasil lasan maupun kekuatan mekanik hasil las terdapat pada kecepatan putaran *tool* 1140 rpm yang disebabkan oleh putaran *tool* terlalu tinggi mengakibatkan banyak molten material yg terlempar keluar dari area sambungan.

Penelitian telah dilakukan Bilici (2012) mengenai pengaruh variasi bentuk profil *pin tool* pada penyambungan material *polypropylene* dengan metode pengelasan *friction stir spot welding*. Dalam penelitiannya digunakan beberapa variasi bentuk profil *pin tool* (silinder, silinder ulir, persegi, silinder runcing) dimana diameter pin 7,5 mm, panjang pin 5,5 mm, sudut bahu 6° dan diameter bahu 30 mm. Pada pin silinder meruncing memiliki sudut 15° dan material *polypropylene* yang digunakan memiliki ketebalan 4 mm. Parameter pengelasan konstan, kecepatan putaran *tool* 900 rpm, 105 detik waktu tinggal dan 50 detik delay sebelum mencabut *pin tool*. Tahap pengelasan fase FSSW dimulai dengan selesainya *pin tool*, durasi pada pengelasan ini disebut waktu tinggal setelah mencapai waktu yang telah ditentukan rotasi *pin tool* akan segera berhenti. Pin *tool* tersebut ditinggal di zona las selama 50 detik kemudian ditarik. Kekuatan tarik terbaik terdapat pada hasil lasan yang menggunakan pin ulir (panjang pitch 0,8 mm, diameter pin 7,5 mm, panjang pin 5,5 mm). Dari hasil penelitian menyimpulkan bahwa penyambungan material *polypropylene* bentuk profil *pin tool* sangat berpengaruh terhadap pembentukan zona aduk dan lap-geser pada sambungan las.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa, banyak penelitian yang dilakukan tentang pengamatan pengaruh dari variasi bentuk profil *pin tool*, kecepatan translasi *tool* (*feed rate*) dan kecepatan putaran *tool*. Dari parameter yang digunakan pada pengelasan FSW pada lembaran *polypropylene* dapat mempengaruhi sifat mekanik pada hasil lasan. Namun masih sedikit penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh bentuk profil *pin tool* (Jaiganesh dkk, 2014) pada pengelasan FSW lembaran *polypropylene* dikarenakan kekuatan tarik maksimal diperoleh 10 MPa yang hampir 45% dari *base material*. Oleh sebab itu, perlu adanya penelitian lebih

lanjut yang menggunakan parameter bentuk profil pin tool untuk menghasilkan sifat mekanik pada hasil lasan lebih tinggi.

2.2 Dasar Teori

2.3. Pengelasan

Pengelasan adalah salah satu cara teknik penyambungan dua material yang sama maupun berbeda dengan memanaskan sampai massa meleleh (*molten mass*) dan terjadi ikatan antara dua material tersebut. Pada pengelasan material termoplastik terbagi menjadi dua cara, yakni : yang pertama dengan cara pemanasan eksternal (*implant welding, hot plate welding dan hot gas welding*) dan yang ke dua menggunakan cara gerakan mekanis yang menghasilkan panas (*Continuous drive friction welding, vibration welding, friction stir welding, ultrasonic welding*) (Arici dan Sinmaz, 2005).

Berdasarkan klasifikasi pada penyambungan sebuah material dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Pengelasan Cair

Pengelasan cair adalah sebuah proses penyambungan material dengan cara memanaskan pada bagian yang akan disambung hingga mencapai titik lelehnya dengan sumber panas dari energi listrik atau api dari pembakaran gas baik menggunakan bahan tambah maupun tanpa bahan tambah seperti elektroda/filler. Berikut contoh dari las cair : las FCAW, las GTAW, las SMAW, las GMAW, Las OAW dan las termit.

2. Pengelasan Tekan

Pengelasan tekan adalah salah satu metode proses penyambungan dua material sama maupun beda jenis materialnya dimana sambungan dipanaskan kemudian ditekan hingga kedua material tersambung menjadi satu. Berikut contoh las tekan : las gesek, las tekan gas, las tempa, las ledakan.

3. Pematrian

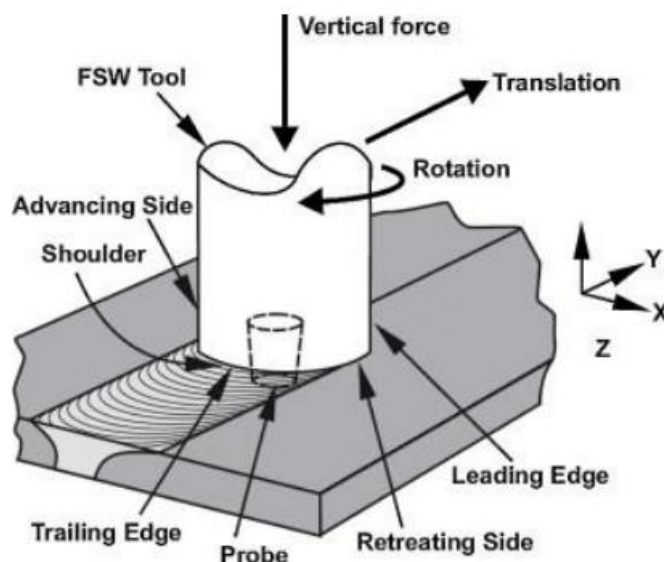
Pematrian merupakan cara penyambungan dua logam maupun polimer dengan sumber panas dan menggunakan bahan tambah yang memiliki

titik cair lebih rendah, pada proses pematrian logam induk (*base material*) tidak ikut mencair. Contoh dari pematrian : brazing dan soldering.

2.4. Friction Stir Welding

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu metode pengelasan dalam keadaan padat (*solid state*) dimana sebuah tool yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara kedua sisi material yang sama maupun berbeda jenis materialnya. FSW juga disebut *solid state joining process*, dikarenakan material tidak benar-benar mencair saat terjadi proses pengadukan oleh pin tool yang berputar sepanjang garis sambungan (temperatur kerja tidak mencapai titik lebur material tersebut). Metode pengelasan FSW merupakan teknologi baru yang ditemukan oleh Wayne Thomas pada tahun 1991 di TWI (*The welding institute*).

Prinsip kerja *friction stir welding* dengan memanfaatkan panas dari gesekan dari sebuah putaran *pin tool* dan *shoulder* yang terjadi sepanjang garis sambungan yang mengakibatkan material induk meleleh dan menghasilkan ikatan metalurgi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1, sehingga terbentuklah sebuah sambungan dari hasil pengelasan *solid state*.



Gambar 2.1 Proses pengelasan FSW (Hussain, 2018)

Metode pengelasan *friction stir welding* juga terdapat parameter yang sangat mempengaruhi dari hasil pengelasan, parameter berikut yaitu :

a. *Advancing side area*

Advancing side area adalah suatu sisi dimana arah gerakan putaran tool (kecepatan tangensial) selaras dengan sambungan lasan (*welding direction*). Dikarenakan *tool* bergerak ke arah depan dan material yang terkena panas akan mengalir ke arah belakang.

b. *Retreating side area*

Retreating side area adalah suatu sisi dimana arah gerakan putaran *tool* (kecepatan tangensial) berlawanan arah dengan sambungan lasan (*welding direction*). Aliran material pada sisi lebih mudah mengalir disebabkan oleh permukaan *pin* dan *shoulder* yang membantu mengarahkan aliran ke belakang arah sambungan las.

c. Kemiringan *tool*

Kemiringan *tool* merupakan sebuah parameter pengelasan yang memiliki efek pada hasil dan pengujian mekanis. Kemiringan tersebut antara 1° sampai 4° , karena jika nilai kemiringan tool semakin tinggi maka pin tool tersebut tidak mudah untuk bergerak melintasi pada garis sambungan.

d. *Deep of plunge*

Deep of plunge merupakan sebuah kedalaman *shoulder* ke dalam sambungan antara dua material yang akan dilas.

e. Rancangan *pin tool*

Rancangan *pin tool* yaitu meliputi dari ukuran maupun bentuk profil pin, diameter *shoulder* dan jenis material yang digunakan. Pin sendiri mempunyai fungsi sebagai pengaduk material dan menghasilkan panas ketika proses pengelasan sedangkan *shoulder* berfungsi untuk meratakan lelehan yang keluar dipermukaan sambungan lasan.

f. Kecepatan tranlasi *tool (feed rate)*.

Kecepatan translasi tool adalah kecepatan rata-rata pemakanan pada proses pengelasan, dimana perpindahan *pin tool* sangat berpengaruh terhadap hasil lasan.

g. Kecepatan putar spindel (rpm).

Kecepatan putaran *tool* adalah perubahan-perubahan pada kecepatan yang bisa di atur dan putaran dapat mempengaruhi hasil lasan tersebut.

2.5. Aplikasi *Friction Stir Welding* penyambungan Material Polimer

Teknik pengelasan *friction stir welding* dengan material polimer saat ini banyak dikembangkan didunia industri maupun diperguruan tinggi, karena sangat mudah untuk otomatisasi, tegangan sisa yg sedikit dan sifat mekanis yang baik didaerah sambungan lasan. Pengaplikasian pengelasan FSW di negara maju banyak dilakukan di bidang aerospace, otomotif, kereta dan perkapalan. Biasanya pengelasan dengan metode FSW dilakukan pada logam antara lain : alumunium, baja, titanium, dan tembaga. Selain itu yang dapat dilas yakni polimer dan komposit dengan jenis sambungan yang digunakan adalah *butt join*.

Keuntungan penyambungan material menggunakan metode FSW, diantaranya :

1. Distorsi atau penyusutan kecil.
2. Ramah lingkungan dibanding pada *arc welding*.
3. Sangat baik untuk penyambungan material logam, polimer maupun komposit.
4. Biaya hemat.

Adapun kerugian penyambungan material menggunakan metode FSW, antara lain :

1. Terdapat lubang ketika *pin tool* ditarik dari benda kerja tersebut.
2. Benda kerja yang akan dilas harus simetris.

2.6. *Polypropylene*

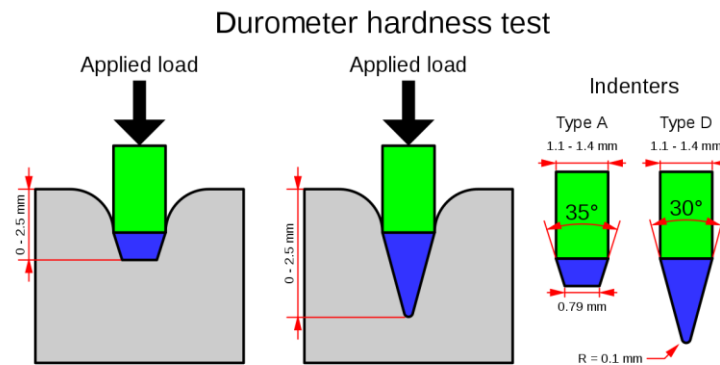
Polypropylene merupakan polimer termoplastik yang terbuat dari kombinasi monomer propilena. Material jenis *polypropylene* tahan terhadap bahan kimia seperti asam dan basa karena tidak mudah bereaksi yang membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk tempat cairan, seperti produk pertolongan pertama, bahan pembersih dan digunakan diberbagai aplikasi dibidang otomotif, industri pesawat terbang dan peralatan rumah tangga.

Keuntungan dari *polypropylene* adalah dapat dengan mudah untuk dikopolimerkan (digabungkan ke dalam plastik komposit) dan polimer lain seperti polietilena. Sehingga *polypropylene* dapat digunakan dengan baik pada aplikasi di industri maupun peralatan rumah tangga, sifat dan kemampuannya untuk beradaptasi dengan berbagai teknik fabrikasi membuat material tersebut menonjol sebagai bahan yang tak ternilai untuk berbagai penggunaan.

2.7. Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) merupakan sifat mekanik dari suatu material dan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material uji untuk menahan indentasi permanen atau penetrasi (penekanan). Polimer mempunyai sifat kekerasan yang berbeda dibandingkan dengan logam, karena deformasi elastisnya, sifat viskoelastiknya dan pemulihan yang lebih cepat.

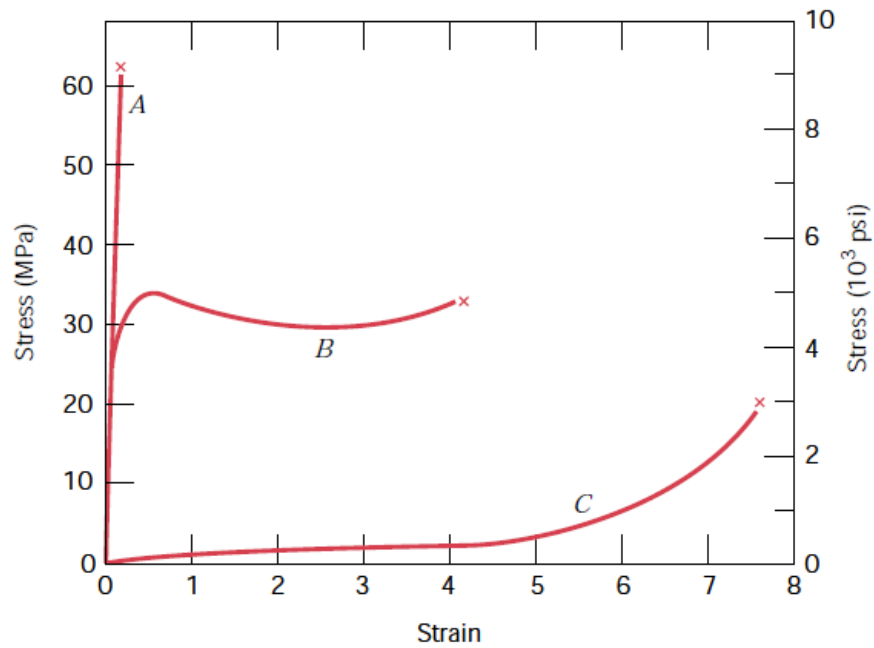
Pengujian kekerasan *shore hardness tester (Durometer)* adalah salah satu pengujian kekerasan yang digunakan untuk mengukur lekukan dalam material yang dibuat oleh suatu kekuatan yang diberikan pada kaki presser standar. Pengujian *shore hardness tester* ini biasanya digunakan untuk menguji kekerasan material polimer, elastomer dan rubber. *Durometer* mempunyai beberapa skala yang digunakan untuk pengujian bahan dengan sifat yang berbeda. Dua skala yang secara umum seringkali digunakan ialah memakai sistem pengukuran durometer shore A dan D seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram indenter durometer atau kaki presser pada shore A dan D (Albert, 1920)

2.8. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh sebuah spesimen ketika ditarik maupun diregangkan, sebelum spesimen uji tarik tersebut patah. Dari beberapa material dimungkinkan bisa patah tanpa mengalami deformasi terlebih dahulu karena material tersebut bersifat getas (*brittle*) atau rapuh. Material akan mengalami peregangan dan deformasi sebelum patah, disebut dengan material elastis (*ductile*). Pada umumnya kekuatan tarik dicari dengan melakukan pengujian tarik dan mengamati perubahan regangan dan tegangan. Dilihat pada kelakuan lenturnya dapat diperoleh 2 jenis, yaitu : kurva tegangan – regangan dan kurva gaya perpanjangan dan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik hasil uji tarik kurva tegangan – regangan (A) Polimer getas (B) Polimer elastis (C) Elastomer (Callister, 2007)

Grafik maupun kurva diatas jika melakukan sebuah pengujian tarik bergantung pada material yang akan digunakan, dapat dilihat dari beberapa faktor seperti : temperatur, cacat pada spesimen dan komposisi.