

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Husain dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses terhadap sifat mekanik poliamida (nilon 66) dengan metode friction stir welding dengan menggunakan specimen atau bahan dasar yang memiliki kekuatan tarik 15,57 Mpa, kekuatan impact 36,636 kJ/m², titik lebur 265,8 °C dan berdimensi 250×150×8mm. Pin tool terbuat dari bahan baja ringan dengan dimensi diameter pin 4 dan soulder 16mm dengan panjang masing-masing 7,8mm. Parameter yang dipertimbangkan dalam penelitiannya meliputi ; kecepatan putar dalam lima tingkat (780, 994, 1255, 1570 dan 2000 rpm) dan kecepatan pengelasan pada tiga tingkat (27, 42 dan 62 mm/menit), untuk mengevaluasi perilaku mekanis hasil lasan dilakukan uji tarik dan uji impak. serta analisis varian (ANOVA) dilakukan secara berurutan untuk menentukan signifikansi pada parameter proses dan hubungan dengan sifat mekanik dari lasan. Adapun hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kekuatan pengelasan meningkat saat kecepatan rotasi meningkat. Namun semakin meningkat kecepatan putaran (lebih tinggi dari 1570 rpm) akan menurunkan kekuatan pengelasan. Kekuatan tarik maksimal yang diperoleh sekitar 8,51 Mpa sedangkan kekuatan tarik bahan dasarnya adalah 15,57 Mpa, dengan kata lain kekuatan relatif pada lasan dapat disimpulkan kira-kira 55 % dari bahan dasarnya. Kekuatan impak yang didapat sekitar 10,8 kJ/m² ini menunjukkan bahwa kekuatan impak dari lasan sekitar 30 % dibanding bahan dasarnya.

Mendes dkk. (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh gaya aksial, kecepatan rotasi dan *traverse*, kualitas pengelasan, kekuatan tarik, dan regangan tarik pada pengelasan FSW. Dengan menggunakan lembaran akrilonitril butadiena styrene (ABS), sistem robot dan shoulder stasioner dikembangkan untuk tujuan ini. Ditemukan bahwa gaya aksial yang tinggi mendorong bahan polimer cair, mencegah kontak udara kedalam lasan dan membantu pendinginan pengelasan dan menghindari susut. Diamati juga

bahwa gaya aksial yang tinggi dan kecepatan rotasi yang tinggi akan meningkatkan kuat tarik dan regangan pada hasil lasan.

Shaihk dkk. (2012) melakukan penelitian tentang sifat mekanik pada pengealasan FSW dengan menggunakan high density polyethylene (HDPE) dengan atau tanpa penambahan SiC, SiO₂, nano alumina dan bubuk grafit. Alat pengelasan dibuat dari stainless steel dengan dimensi diameter pin 8mm panjang pin 5,2mm yang meruncing 15°, soulder 20mm dengan kecekungan 6°. Parameter yang digunakan meliputi : kecepatan putar 1800 rpm dengan kecepatan pemakanan 16 mm/menit. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dan uji kekerasan, uji tarik dilakukan pada 0,50, 1,63, 2,75, 3,88 dan 5,00 mm/menit rata-rata perpindahan sedangkan sampel lasan komposit hanya diuji pada 5,00 mm/menit. Adapun hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa nilai ultimate tensile strength (UTS) dari sambungan las ditemukan kurang dari kekuatan bahan dasar dengan jumlah kir-kira 10%. UTS tertinggi pada pengelasan secara keseluruhan sebesar 20,7 Mpa pada 5 mm/menit pada rata-rata perpindahan. Bahan dasar pada UTS rata-rata perpindahan yang sama adalah 24,3 Mpa, karenanya lasan memiliki kekuatan 85% dari bahan dasar. Daktilitas pada sambungan berkurang drastis dimana bahan dasar dapat mencapai pemanjangan 150% sedangkan pada hasil lasan hanya 60%. Sedangkan pada pengelasan komposit menunjukkan bahwa ada penurunan UTS untuk semua lasan komposit. UTS tertinggi 17,7 Mpa didapat dengan penambahan SiC dan terendah dengan penambahan silica. UTS dari bubuk nano alumina dan grafit komposit berkisar antara 16 Mpa. Peningkatan daktilitas yang signifikan dari lasan HDPE yang diperkuat grafit dengan perpanjangan mencapai 100 %. Kekerasan diseluruh lasan meningkat pada kasus lasan HDPE dengan penambahan silicon karbida.

Mostafapour dan Azarsa (2012) meneliti tentang proses parameter seperti ; kecepatan putaran pin, kecepatan pengelasan dan suhu pemanas yang disesuaikan pada perilaku mekanik yang selanjutnya diuji dengan pengujian sifat mekanik dan mikrostruktur pada sambungan. Parameter proses diselidiki dengan berbagai tungkatan, kecepatan rotasi pin adalah 1000, 1250 dan 1600

rpm. Dengan suhu soulder 80, 110 dan 140 dan kecepatan pengelasan dengan nilai 10, 25 dan 40 mm/menit. Nilai optimum 0,5 dicapai untuk dept of plunge tes eksperimental bahwa terdapat pada lasan berkualitas tinggi. Dari hasil penelitian didapat bahwa dalam kondisi kecepatan yang sama (1600 rpm dan 20 mm/menit) dengan kenaikan suhu pemanas kekuatan tarik dan lentur menjadi naik pada area sambungan, saat suhu soulder 80 °C polyethylene tidak mencapai pelunakan, dengan naiknya suhu ke 110 °C pengurangan jumlah bahan yang terdegradasi diamati pada garis pengelasan dengan nilai kekuatan tarik sampai 16,5 Mpa. Saat suhu pemanas diatur ke 140°C kinerja sambungan mirip dengan bahan dasar. Pada kecepatan pengelasan 10 dan 40 mm/menit, kekuatan tarik lebih rendah dari 90% kekuatan bahan dasar. Dalam kedua kasus tersebut efisiensi sambungan akan menurun secara signifikan. Disimpulkan bahwa 25 mm/menit adalah kecepatan pengelasan terbaik untuk FSW HDPE.

Rezgui dkk. (2011) meneliti tentang proses FSW pada *polyethylene* kerapatan tinggi dengan tiga parameter operasi, yaitu kecepatan putar, feed rate dan tool plunged surface pada tegangan aliran longitudinal yang diukur dalam proses FSW HDPE. Adapun hasilnya, kecepatan rotasi terbukti tidak signifikan pada tingkatan 5%. Multi regresi digunakan untuk memprediksi aliran tegangan longitudinal dari F dan S dan respon plot permukaan untuk nilai yang pas. Maksimum tegangan longitudinal ditemukan sekitar 26 Mpa dengan F dan S tetap sekitar 24 mm/menit dan 401 mm². Perbedaan kecil antar perhitungan dan perkiraan aliran tegangan longitudinal terbukti adanya kecocokan. Namun demikian, berkenaan dengan statistik $S = 2.311$, $R-Sq = 65,58\%$, $R-Sq (pred) = 42,09\%$, $R-Sq (adj) = 58,34\%$ dan tidak ada kekurangan cocok untuk advokat model F^2 , F , S , FxS , perbaikan model masih harus dilakukan untuk menyelidiki model lain dengan $R-Sq$ yang lebih tinggi (khusus $R-Sq > 80\%$).

Rezgui dkk. (2010) meneliti tentang hasil eksperimen dan numerik dari FSW HDPE dengan mengaplikasikan pendekatan taguchi. Uji eksperimental yang dilakukan menurut kombinasi faktor proses seperti kecepatan putaran,

kecepatan pengelasan, diameter pin dan tahan waktu di awal waktu pengelasan, dilakukan sesuai dengan tabel ortogonal Taguchi L_{27} secara acak. Pengukuran termal yang dicatat selama pengelasan yang berbeda menunjukkan bahwa dalam kisaran putaran 900-1700 rpm dan kecepatan pengelasan 16 dan 44 mm/menit, tingkat suhu yang diraih bervariasi antara 120 dan 180°C. Ini membuktikan bahwa pengelasan HDPE diproduksi dalam keadaan cair dari peleburan material. Hasilnya, perbandingan antara pengamatan eksperimental dan prediksi numerik untuk uji tarik pada sampel lasan menunjukkan bahwa sifat mekanik pengelasan tergantung pada parameter pengelasan.

Squeo dkk. (2009) meneliti tentang friction stir welding pada lembaran poliethylene. Dalam proses set up jarak minimum sekitar 0,2 mm antara permukaan pin dan permukaan bawah sampelnya, kecepatan rotasi pin antara 3000 dan 20.000 rpm, laju pengelasan antara 10 dan 40 mm/menit, diameter pin antara 1 dan 3 mm. Hasilnya, dalam hal kecepatan pengelasan, hasil terbaiknya diperoleh pada nilai 28 mm/menit. Dalam hal bentuk pin tool, pin tool yang lebih besar yang terdapat hasil buruk pada lasan, kekuatan tertinggi sekitar 10 Mpa, sedangkan bahan dasar mencapai 23 Mpa. Dalam hal kecepatan putaran pin diperoleh dengan menggunakan kecepatan putar 5.000 rpm untuk menghasilkan lasan yang baik.

Dari beberapa penelitian diatas banyak penelitian yang meneliti tentang pengaruh hasil lasan pada pengelasan FSW dengan menggunakan lembaran polimer, seperti pengaruh kecepatan putar tool, kecepatan pengelasan, gaya aksial, pengaruh bahan tambah, temperatur sampai kedalaman pembedaan. Namun belum ada penelitian pengelasan FSW polimer yang menggunakan pengaruh bentuk pin tool seperti FSW pada bahan logam. Maka dari itu, perlu adanya penelitian yang menggunakan parameter bentuk pin tool sebagai acuan penelitian FSW yang belum banyak dilakukan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan

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

Pengelasan juga dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan cara kerjanya, diantaranya :

1. Pengelasan Padat

Pengelasan padat adalah sebuah proses pengelasan yang dilakukan dengan metode dimana ikatan metalurgi diperoleh dengan sedikit atau tanpa peleburan bahan dasar. Contohnya ; las ledakan, las gesek, las tempa dan las tekan gas.

2. Pengelasan Cair

Pengelasan cair merupakan sebuah proses pengelasan yang dalam praktiknya dengan cara memanaskan bagian yang akan disambung sampai mencair dengan menggunakan sumber panas dari energi listrik atau api dari pembakaran gas baik menggunakan bahan tambah (elektroda/filler) atau tidak. Seperti las busur dan las gas.

3. Pematrian

Pematrian adalah sebuah metode menyambung dua logam dengan sumber panas dengan menggunakan bahan tambah yang memiliki titik cair lebih rendah serta pada proses pematrian logam induk tidak ikut mencair. Contohnya ; soldering dan brazing.

Penerapan teknologi pengelasan berguna tidak hanya ada pada proses produksi melainkan juga selama perbaikan. Berdasarkan metode panasnya

pengenalan teknologi pengelasan polimer dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu : metode berbasis konduksi panas, radiasi panas dan gesekan mekanis.

Semua teknik pengelasan terdiri dari tiga macam tahap yakni : pembentukan lapisan bahan cair pada permukaan untuk menyambung, pembentukan ikatan dengan penerapan tekanan dan selanjutnya lelehan dibiarkan dingin dan pada tahap ini tekanan harus tetap dijaga agar tidak terjadi cacat rongga di dalam zona las (Strand, 2003).perhatian harus dilakukan untuk mencapai hasil lasan yang berkualitas tinggi.

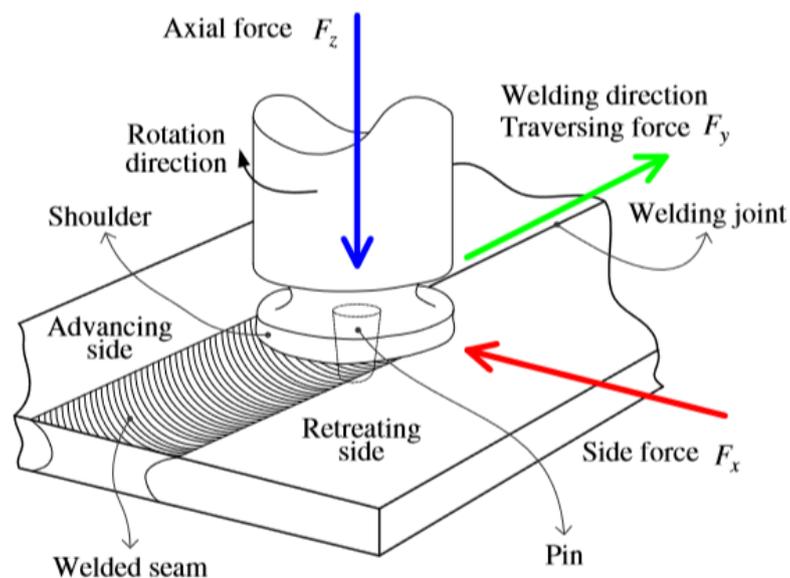
2.2.2 Friction Stir Welding

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu cabang pengelasan tekan dimana termasuk kedalam las gesek. FSW merupakan suatu metode pengelasan yang ditemukan oleh Wayne Thomas pada tahun 1991. Metode pengelasan *friction stir welding* adalah suatu proses pengelasan dimana penyambungan terjadi dalam keadaan padat (*solid state*) dan dalam proses tersebut tidak menghadirkan bahan tambahan. Input panas yang digunakan pada pengelasan FSW didapat dari gesekan antara *pin tool* yang berputar dengan kecepatan tertentu dengan specimen yang dilas.

Prinsip kerja dari proses pengelasan FSW sangat sederhana yakni dengan menggunakan sebuah tool yang terdiri dari *pin tool* dan *shoulder* yang diputar pada kecepatan putar tertentu sepanjang jalur pengelasan antar dua ujung material dengan jarak penerjunan yang disesuaikan seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Dalam pengelasan FSW, *tool* memiliki fungsi utama yaitu memanaskan material induk yang disambung dan mengaduk hasil pemanasan logam induk untuk menghasilkan sambungan. Kombinasi putaran dan gerak translasi *tool* FSW memungkinkan material yang terkena gesekan *tool* bergerak dari sisi depan *pin tool* sampai sisi belakang *pin tool*. *Pin tool* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua sisi material yang dilas.

Gesekan panas (*frictional heat*) pada FSW dihasilkan oleh gesekan antara *pin tool* dengan material benda kerja. Panas ini dibarengi dengan panas yang

dihasilkan dari proses pengadukan mekanik benda kerja (*mechanical mixing*) dimana akan menyebabkan material yang diaduk menjadi lunak tanpa melewati titik leburnya. *Tool* tersebut kemudian melakukan penetrasi pada *gap*/celah antara dua ujung lembaran material yang disambung seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Setelah penetrasi pada tingkat kedalaman penerjunan tertentu, *tool* bergerak sepanjang garis pengelasan antara dua material yang kan disambung. Benda kerja yang akan disambung sebelumnya harus dicekam dengan kuat agar tidak terjadi penggeseran benda kerja pada saat proses pengelasan berlangsung. Pergeseran benda kerja dapat terjadi karena besarnya gaya yang terjadi pada saat proses pengelasan.



Gambar 2.1 Proses FSW (Mendes, 2014)

Pada pengelasan *friction stir welding* (FSW) terdapat banyak parameter yang akan mempengaruhi hasil pengelasan pada proses penelitian. Berikut ini merupakan parameter atau batasan-batasan dalam pengelasan FSW :

a. Kecepatan translasi *tool* (*feed rate*)

Kecepatan translasi *tool* atau *feed rate* merupakan kecepatan rata-rata pemakanan atau penyambungan pada proses pengelasan dimana laju perpindahan tool berpengaruh besar terhadap heat input. Tinggi kecepatan

translasi yang tidak seimbang dengan kecepatan putaran tool akan dapat membelah material sehingga menghasilkan lasan yang bburuk.

b. Kecepatan putar *tool* (rpm)

Kecepatan putar merupakan parameter penting dalam pengelasan FSW karena perubahan-perubahan kecepatan akan mempengaruhi pengadukan serta panas yang dihasilkan ketika proses pengelasan berlangsung.

c. *Dept of plunge*

Dept of plunge (kedalaman pembedaman) adalah kedalaman shoulder tenggelam ke dalam material yang akan dilas. Sedangkan pada penelitian Mostafapour dan Azarsa. (2012) Nilai optimum pembedaman dalam tes eksperimental yang menghasilkan lasan berkualitas tinggi didapat 0,5 mm.

d. Kemiringan *tool*

Kemiringan alat memiliki efek besar pada proses pengelasan. Kisaran umum untuk kemiringan alat antara 2 dan 4 derajat, meskipun kecil, kemiringan dapat mempengaruhi seberapa mudah alat ini dapat bergerak melintasi garis pengelasan karena tekanan yang kurang dimasukkan ke arah jalur sambungan.

e. Rancangan *tool*

Rancangan tool meliputi jenis material, ukuran shoulder, dan ukuran pin yang dipakai. Material tool harus mempunyai kekuatan atau titik lebur yang lebih tinggi dari material yang dilas supaya ketika proses pengelasan berjalan material *tool* tidak cacat. Diameter *shoulder* yang lebih besar dari pin memungkinkan untuk mempertahankan material agar tidak keluar dari jalur pengelasan serta memberi efek penekanan pada hasil lasan. Sedangkan pin sebagai pengaduk material sekaligus menghasilkan panas pada material yang sedang dilas.

f. Dimensi material

Dimensi material seperti ketebalan spesimen, panjang jalur pengelasan akan mempengaruhi hasil akhir lasan, seperti misalnya semakin tebal spesimen maka akan menyimpan panas yang besar, hal ini berefek pada waktu pendinginan yang semakin lama.

Penerapan metode FSW di Indonesia tampaknya kurang begitu familier. Namun di negara-negara maju sudah banyak dan sudah lama mengaplikasikan metode FSW ini. Penerapan metode ini terutama pada industri manufaktur dan industri transportasi. Jenis sambungan yang digunakan adalah *butt joint*.

2.2.3 Polimer

Polimer adalah molekul yang besar (makromolekul) yang terbentuk dari perulangan atau penggabungan sejumlah unit molekul yang kecil (monomer). Polimer juga disebut sebagai senyawa makromolekul, yaitu molekul raksasa dengan rantai sangat panjang yang terbentuk dari gabungan molekul-molekul sederhana. Istilah makromolekul lebih menggaris bawahi struktur-struktur yang kompleks. Berkembang dari pangkal polimer alam sampai kini telah dikembangkan berbagai sistem polimer sintetik yang rumit dan kebanyakan berasal dari bahan baku turunan minyak bumi. Polimer memiliki sifat yang ringan, tahan korosi, cukup kuat, murah dan mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks. Dengan sifat demikian banyak produk dibuat dengan menggunakan material polimer sebagai pengganti bahan logam.

Berdasarkan sifat terhadap pemanasan atau sifat kekenyalannya tipe polimer dapat dibedakan antara lain :

1. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik yaitu polimer yang dapat melunak atau terplastisasi secara berulang-ulang akibat perlakuan pemanasan dan pendinginan. Contohnya; poliester, polietilen, polistiren, PVC dan lain-lain.

2. Polimer Termoset

Polimer Termoset adalah polimer yang pada awalnya berbentuk cairan kental namun dapat berubah menjadi kaku (rigid) ketika dikenai pemanasan lanjutan. Polimer termoset tidak dapat dikembalikan ke bentuk awal dengan perlakuan panas. Contohnya; resin melamin, resin epoksi, resin fenol dan lain sebagainya.

3. Elastomer

Elastomer adalah polimer yang elastis atau dapat meregang jika ditarik namun akan kembali ke posisi awal jika gaya tarik ditiadakan. Contohnya; karet alami yang memiliki daerah elastis non linear yang sangat besar.

Berdasarkan asalnya, polimer terdiri atas polimer alami, polimer semi sintetik dan polimer sintetik. Polimer alami adalah polimer yang tersedia di alam, seperti protein, selulosa, dan polisakarida. Polimer semi sintetik merupakan polimer alam yang dimodifikasi dengan metode kimiawi, misalnya metil selulosa dan ester. Sedangkan polimer sintetik adalah polimer buatan manusia, contohnya polietilen, PVC dan polistiren (pradipta, 2012).

Pengaplikasian polimer banyak terpakai pada kehidupan sehari-hari ataupun pada dunia industri, seperti sebagai pembungkus kelistrikan, plastik pembungkus sampai tas plastik. Dibawah ini merupakan beberapa sifat yang menjadi kelebihan bahan polimer :

- Produk yang ringan lagi kuat
- Mampu cetak yang baik
- Ketahanan air dan bahan kimia yang baik
- Lebih murah

Dengan sifat tersebut polimer sering dimanfaatkan dalam berbagai macam aplikasi di kehidupan sehari-hari, salah satu polimer yang sudah familier di kehidupan sehari-hari adalah *high density polyethylene* (HDPE).

High density polyethylene (HDPE) adalah polietilen termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Rantai molekul HDPE tersusun lebih teratur sehingga membutuhkan kekuatan tarik yang tinggi untuk memutuskan plastik jenis HDPE ini. Hal ini berkaitan juga bahwa HDPE dengan nilai densitas yang tinggi maka strukturnya tertutup atau susunan rantai polimernya lebih rapat.

Menurut Harper (1975) pada polietilen jenis *low density polyethylene* (LDPE) terdapat sedikit cabang pada rantai antara molekulnya yang menyebabkan plastik ini memiliki densitas yang rendah, dan HDPE memiliki jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibanding jenis LDPE. Dengan kata lain HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, buram dan keras serta tahan

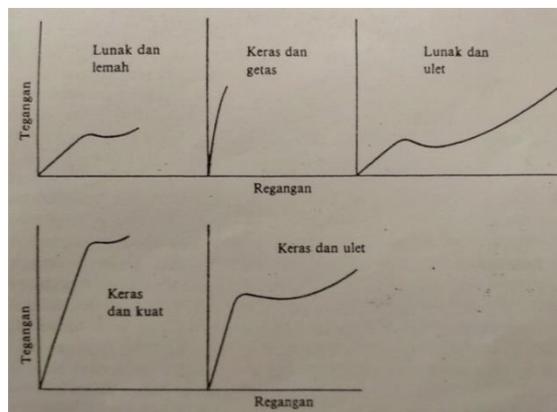
terhadap suhu tinggi. HDPE dicirikan dengan densitas yang melebihi atau sama dengan $0,941/\text{cm}^3$. HDPE memiliki derajat rendah dalam percabangannya dan mempunyai kekuatan antar molekul yang sangat tinggi serta memiliki kekuatan tarik yang tinggi, maka perlu dipertimbangkan terhadap sifat mekanik dari salah satu bahan polimer ini. Sifat-sifat mekanik bahan polimer terkenal dengan perilaku viskoelastisitasnya. Seperti mudah terjadinya pemelaran dan relaksasi, serta pada pengujian tarik (*tensile strenght*) sifatnya sangat dipengaruhi oleh laju pengujian tarik.

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat dasar dari suatu material. Hubungan tegangan dan regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup untuk berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur dan kelembaban. Nilai kekuatan tarik diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan σ adalah *tensile strength*, sedangkan F adalah gaya tarik dan A_0 merupakan luas penampang mula-mula. Tegangan bisa didefinisikan sebagai perubahan gaya terhadap luas penampang daerah yang dikenai gayatersebut.

Pada bahan termoplastik besaran nilai kekuatan tarik berubah dengan penyerahan molekul rantai dalam suatu material. Umumnya kekuatan tarik material polimer lebih rendah daripada bahan logam seperti baja. Gambar 2.2 memperlihatkan perlakuan tarikan dari bahan polimer dalam bentuk kurva tegangan dan regangan menurut karakteristiknya lunak atau keras ataupun kuat atau lemah serta getas atau ulet.



Gambar 2.2 Kelakuan bahan polimer pada pengujian tarik

Polimer juga mempunyai daya perpanjangan (elongasi) apabila diberi gaya tarik sesuai dengan sifat viskoelastisnya. Daya perpanjangan atau elongasi didapat dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan ε adalah daya elongasi, ΔL merupakan perubahan panjang dan L_0 adalah panjang awal suatu material. Regangan bisa diartikan sebagai perbandingan perubahan panjang benda terhadap panjang awal akibat suatu gaya dengan arah sejajar perubahan panjang tersebut. Perbandingan antara tegangan tarik (σ) dan regangan (ε) disebut juga modulus Young (E) seperti persamaan berikut ini :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2.3)$$

Modulus Young bahan polimer terletak pada daerah $0,1-21 \times 10^2 \text{ kgf/mm}^2$ yang jauh lebih rendah dari material baja yang senilai $200 \times 10^2 \text{ kgf/mm}^2$. Deformasi oleh penarikan sampai patah berbeda-beda tergantung pada jenis dan temperatur dari materialnya itu sendiri. Sifat mekanik film polimer sintesis dan biopolimer juga berbeda hal ini bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Beberapa Film Polimer Sintesis dan Biopolimer
(Sanjaya, 2011)

Bahan Film	Tensile strength (Mpa)	Elongasi (%)	Modulus Young (Mpa)
LDPE	10	620	166
HDPE	15 – 40	500	800
Plastik Pati Pisang-Gelatin	22,85	6,05	377,686
Pati Kulit Singkong Gliserol	12,12 – 43,22	1,27 – 2,6	465,99 – 3412,39

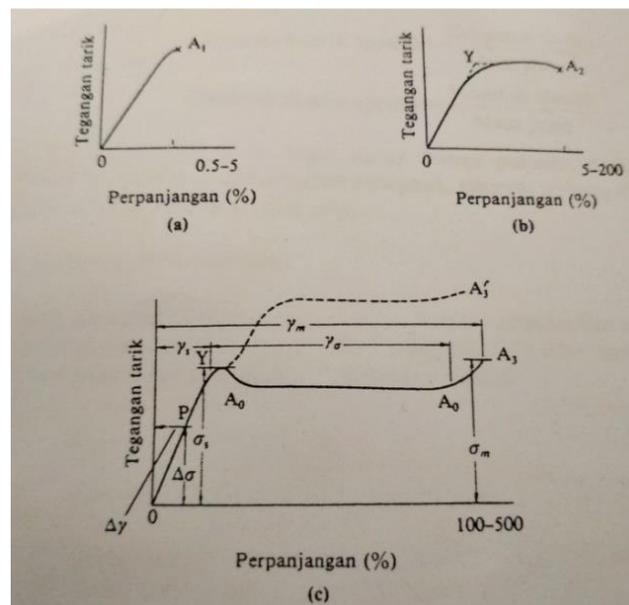
Dalam kaitannya dengan material HDPE, yang semakin meningkatnya perkembangan plastik rekayasa material ini telah menciptakan peningkatan permintaan untuk perlakuan penyambungan yang cepat, handal, produktivitas tinggi dan metode penyambungan yang efektif yang mirip dengan kasus logam

(Kalpakjian dan Schmid, 2003). Untuk polimer termoplastik seperti HDPE atau polipropilena pengelasan FSW adalah proses yang efisien untuk menghasilkan sambungan yang terus-menerus dengan cepat dan efisien (Shaafi dkk. 2012).

2.2.4 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari sebuah material. Hubungan tegangan dan tarikan memberikan nilai yang berubah tergantung pada temperatur, lembaban dan laju tegangan, karena pada bahan polimer sifat-sifat viskoelastik memiliki kekhasannya tersendiri. Pada bahan termoplastik kelakuan demikian sangat berubah dengan penyerahan molekul rantai dalam bahan. Umumnya kekuatan tarik dari bahan polimer lebih rendah daripada material logam seperti baja, duralumin dan sebagainya. Kekuatan tarik pada nilon 66 adalah 6,5- 8,4 kgf/mm² dan PVC 3,5-6,3 kgf/mm². Pada resin biasa seperti polistiren, polietilen dan polipropilen kekuatan tariknya sekitar 0,7-8,4 kgf/mm².

Gambar 2.2 menunjukkan kelakuan tarikan dari bahan polimer dalam bentuk kurva tegangan – regangan menurut kekhasannya lunak atau keras, lemah atau kuat, getas atau liat. Dilihat dari kelakuan mulurnya ada tiga jenis kurva tegangan – regangan sseperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kelakuan mulur dalam kurva tegangan-regangan.

Seperti ditunjukkan oleh garis OA_1 pada (a) laju perpanjangan sedikit rendah dan meningkat sampai 0,5- 2% pada saat patah menunjukkan hubungan lurus. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah fenol, urea, melamin, polister tak jenuh, epoksi dan resin stiren yang bersifat patah getas.

Pada jenis yang ditunjukkan pada (c), OY adalah lurus sampai titik mulur pada Y, tetapi setelah itu memberikan perpanjangan yang besar sekitar 100-1000%, dan sebelum patah tegangan tarik meningkat dengan cepat. Terkadang peningkatan terakhir ini tidak dapat teramati. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah polietilen, polipropilen, poliasetal dan yang lainnya yang terdiri dari molekul rantai.

Pada jenis (b) ada di antara (a) dan (c) yang tidak menunjukkan penurunan beban setelah titik mulur seperti yang ditunjukkan pada (c) tetapi hanya satu titik defleksi, yang berakibat patah ketika beban meningkat. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah resin ABS, asetat, resin fluoro dan lainnya.

Kelakuan bahan tersebut berlaku pada temperatur kamar (20°C). Kelakuan tersebut akan berubah apabila temperatur berubah. Resin termoset seperti resin fenol menunjukkan kelakuan semacam pada (a), walaupun temperatur berubah sampai batas tertentu, sedangkan resin termoplastik sering berubah dari kelakuan (a) ke (c) apabila temperatur meningkat.

Dari setiap gambar pada Gambar 2.3 konstanta perbandingan antara tegangan dan regangan pada bagian lurus OY merupakan modulus elastik Young. Modulus elastik yang pada bahan polimer terletak di daerah $0,1-21 \times 10^2 \text{ kgf/mm}^2$. Akan tetapi kalau molekul rantai cukup terarah seperti serat, maka harga tersebut menjadi lebih besar hampir menyamai logam. Deformasi oleh penarikan sampai patah berbeda tergantung pada jenis dan temperatur. Pada 20°C perpanjangannya ada pada daerah luas yaitu 0,5-700%. Kebanyakan dari plastik termoset kurang dari 5%. Pada resin termoplastik berkrystal kebanyakan menunjukkan tipe (c) dengan perpanjangan yang jelas.

2.2.5 Kekerasan

Kekerasan dapat diartikan sebagai kriteria untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang disebabkan objek lain. Ada tiga macam cara pengujian kekerasan yaitu ; pengujian penekanan, pengujian goresan dan pengujian resilience yang pada umumnya ditentukan dengan cara merusak.

Bahan polimer menunjukkan sifat kekerasan yang berbeda dibandingkan dengan logam karena sifat viskoelastiknya. Karena besarnya deformasi elastis dan pemulihan yang cepat, pada pengujian penekanan hasil kekerasan yang diperoleh lebih besar dari kekerasan seharusnya.

Pengujian kekerasan rockwell adalah salah satu pengujian kekerasan material yang banyak digunakan dikarenakan pengujian kekerasan dengan cara rockwell sederhana, cepat dan tidak memerlukan mikroskop dalam membaca atau mengukur jejak dan juga tidak merusak spesimen uji. Pengujian kekerasan rockwell dilakukan dengan cara menekan permukaan spesimen dengan suatu indenter. Ada dua jenis indenter yang digunakan pada pengujian kekerasan rockwell, yakni intan beerbentuk kerucut yang memiliki sudut puncak 120 derajat yang dibagian ujungnya dibulatkan dengan jari-jari 0,2 mm dan indenter bola baja yang dikeraskan atau bola tungsten karbida dengan diameter 1/16", 1/8", 1/4" dan 1/2". Indenter kerucut intan biasa digunakan untuk menguji material yang keras, sedangkan indenter bola baja digunakan pada pengujian material yang lebih lunak.

Pada pengujian kekerasan rockwell yang diukur adalah kedalaman jejak hasil penetasi indenter. dimana artinya, seberapa jauh indenter bergerak turun secara vertikal ketika melakukan penetrasi. Kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan dari penerapan dan pelepasan beban utama yang dipakai untuk menentukan harga kekerasan rockwell, maka sebagai berikut :

$$H_R = E - e \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : E = konstanta dengan nilai 100 untuk indenter intan dan 130 untuk indenter bola.

e = kedalaman penetrasi permanen karena pembebanan.

Dalam praktiknya angka kekerasan rockwell dapat dibaca langsung pada jam ukur atau ditampilkan pada layar jika menggunakan mesin pengujian rockwell digital.

2.2.6 Perekat

Perekat dipergunakan dalam berbagai segi kehidupan, dari industri sampai rumah tangga. Bidang-bidang konstruksi, kendaraan instrumentasi, alat listrik dan keperluan dirgantara serta militer sangat memerlukannya. Pembuatan kemasan kertas, pabrik sepatu sampai pengolahan kayu juga sangat membutuhkan perekat. Seiring dengan berkembangnya desain dan teknik pengembangan, sejak tahun 1970-an, teknologi perekat melonjak. Perekat lebih kuat, anekaguna serta awet, semakin penting untuk keperluan struktural dan non-struktural.

Perekat dipakai untuk mengikat bermacam komponen struktur tertentu secara efektif dan mudah. Dibandingkan dengan pemakaian teknik penyambungan lainnya mengakibatkan distorsi, korosi dan sebagainya. Teknik perekatan juga dipakai ketika hal ini dapat menekan biaya. Demikian juga jika keperluan, dimensi serta sifat komponen yang disambungkan mengharuskan penggunaannya. Tentu saja hal itu harus ditingkatkan juga, apakah proses dan peralatan perekatannya itu ekonomis untuk dilakukan. Terkadang diperlukan penggabungan teknik perekatan dan teknik penyambungan lainnya.

2.2.6.1 Jenis-Jenis Perekat

Sifat mekanis perekat banyak ditentukan oleh hakekat termoset atau termoplastik komponen perekatnya. Dikenal sebagai perekat termoplastik, perekat termoset dan perekat blend resin-karet.

1. Perekat Termoplastik

Perekat termoplastik dapat dilebur, dilarutkan, melunak bila dipanaskan serta mengalami creep (melaran) bila dikenai beban (stress). Tidak seperti termoset, perekat termoplastik tidak mengalami perubahan kimia saat terbentuknya ikatan. Ini hanya berguna dalam

pemakaian untuk beban ringan dalam merekatkan logam, plastik, gelas, keramik dan material berpori sedangkan kondisi kerjanya tidak ekstrim.

2. Perekat Termoset

Perekat termoset dimana terbentuknya ikatannya dibantu oleh panas, katalis atau gabungannya. Sifatnya bagus, tahan creep, memadai selaku perekat struktural berbeban berat serta tahan kondisi ekstrim panas, dingin, radiasi, lembaban, bahan kimia. Perekat termoset dapat berasal dari bahan alam atau sintetik.

3. Perekat *blend resin-karet*

Perekat *blend resin-karet* sangat lazim dipakai dan sifatnya merupakan gabungan sifat komponennya. Resin termoset blend karet baik untuk perekat struktural, pada logam atau material kaku lainnya. Contohnya : perekat fenolik-nitril dan fenolik-nitril.

2.2.6.2 Sifat Perekat

Walaupun bahan dasarnya sama, namun dapat berlainan sifatnya, akibat penambahan zat-zat lain dalam formulasi khususnya. Sifat perekat tidak hanya ditentukan oleh komposisi bahan kimianya namun juga oleh kondisi saat dibuat dan dipergunakan. Maka dari itu, apabila menangani perekat, perlu diingat bahwa sifat bakunya hanya sebagai acuan dasar saja. Komposisi dan kondisi perlu dioptimasi dan diperhitungkan. Lebih jauh perekat yang beredar dipasaran biasanya tidak murni, melainkan *blend* aneka perekat kompleks. Tidak jarang jenis karet dan resin saling digabungkan ditambah berbagai zat aditif lainnya.

2.2.6.3 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Perekat

Penggunaan perekat perlu dioptimalkan, karena ada keuntungan dan kerugiannya diantaranya :

1. Keuntungan

- Perekat mampu menyambung berbagai jenis bahan berbeda atau tidak sepadan modulus dan ketebalannya. Perekat juga memudahkan penyambungan dan fabrikasi bentuk-bentuk rumit saat cara lain mustahil untuk dilakukan.
- Perekat juga mudah dan cepat dialikasikan disamping dapat sekaligus menyambungkan banyak komponen.
- Karena perekat memiliki sifat elongasi (perpanjangan) memadai ia mampu menyerap *stress* memindahkan dan mendistribusikan *stress* tersebut secara merata.
- Sifat isolasi dan penambalan perekat cukup bagus tidak ada kebocoran, tahan lembab dan bahan kimia.

2. Kerugian

- Proses perekatannya kadang rumit supaya hasilnya baik.
- Kuat ikatan optimalnya tidak seketika tercapai sebagaimana pada teknik las. Begitu pula desain sambungannya tidak boleh sembarangan supaya *stress* patahan dan kelupasannya minimum.
- Perekat termoplastik jika dikenai *stress* berkepanjangan akan mengalami *creep* serta ketahanan jangka panjang pada kondisi ekstrim sering tidak diketahui kepastiannya.

Perekatpun kebanyakan berdaya hantar listrik dan termal kurang baik, kecuali bila diisi dengan *filler* tertentu.