

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Krzysik dan Youngest (1991), Menyatakan bahwa komposit dapat dibuat dari berbagai macam serat pertanian, sampah kertas, dan sampah plastik. Komposit memiliki jangkauan yang luas sifatnya dan dapat digunakan pada berbagai macam kebutuhan dan produk unggulan, contohnya produk unggulan sebagai pelapis tembok, penyekat, pintu, lantai, kontruksi dan material kotak pengemas, karton serta palet.

Teknologi material komposit dengan menggunakan serat alam sebagai penguat telah banyak dikembangkan untuk dapat menggantikan serat sintetis. Hal ini disebabkan karena serat alam mempunyai banyak keunggulan, diantaranya; harga murah, mampu meredam suara, ramah lingkungan, dan kemampuan mekanik yang tinggi. Penggunaan serat alam mampu mengurangi berat sampai 80% (Schuh, 1999).

Veda dkk (2016), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi matrik terhadap kekuatan tarik dari komposit berpenguat dengan menggunakan proses resin *infusion*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material komposit ditinjau dari kekuatan tariknya berdasarkan jenis matrik yang digunakan. Pengujian yang dilakukan menggunakan standar ASTM D638-03. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 312,8 MPa untuk serat waru dengan matrik *bisphenol*, 277,8 MPa untuk serat waru dengan matrik *epoxy*, 261,6 MPa untuk serat waru dengan matrik *ripoxy*, dan 232,8 untuk serat waru dengan matrik *polyester*.

Yusuf dkk (2016), melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan *vacuum* terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur pada biokomposit serat purun tikus. Variasi tekanan yang digunakan adalah 76 cmHg, 46 cmHg, 26 cmHg, dan 6 cmHg. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai kekuatan tarik 41,6 MPa dengan kekuatan bending 89,4 MPa, namun masih ditemukan banyak void pada permukaan. Pada tekanan 46 cmHg diperoleh nilai kekuatan tarik 46 MPa dengan kekuatan bending 106 MPa, permukaan struktur terlihat lebih baik daripada sebelumnya walaupun masih ditemukan void. Pada tekanan 26 cmHg didapatkan kekuatan tarik 54,7 MPa dengan kekuatan bending 243 MPa, struktur permukaan membaik bahkan tidak ditemukan void dalam komposit. Sedangkan pada tekanan 6 cmHg didapatkan kekuatan tarik 49,6 MPa dengan kekuatan bending 236 MPa, penurunan kekuatan tarik dan

bending pada tekanan ini disebabkan karena jalannya aliran resin yang terlalu cepat sehingga mengakibatkan beberapa bagian dari serat terlepas dan matrik tidak mengikat secara baik.

Ferry dkk (2014), pernah meneliti tentang sifat fisis dan mekanis akibat temperatur pada komposit serat batang pisang yang seratnya dicuci dengan cairan kimia K(OH) dengan penguat resin repoksi. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk mengetahui kekuatan tarik komposit serat batang pisang akibat perubahan temperatur saat pengujian. Serat batang pisang di rendam menggunakan cairan kimia K(OH) 5% selama 1 jam yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan komposit yang bermatrik *vinylester repoxy*. Bahan pembuat komposit yang digunakan adalah serat batang pisang, menggunakan resin *vinylester repoxy* R-802 (*phenolic*), katalis MEKPO, promotor dan perlakuan alkali menggunakan cairan kalium hidroksida K(OH). Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay up* dan cetakan komposit menggunakan kertas karton dengan tebal 3 mm. Pengujian tarik komposit menggunakan alat uji tarik dengan kapasitas 2 ton dengan standar ASTM D-3039. Dari hasil penelitian diperoleh kekuatan tarik rata-rata pada komposit temperatur ruang 29°C sebesar 26,8 MPa, kekuatan komposit pada temperatur uji 35°C sebesar 37,098 MPa, kekuatan komposit pada temperatur uji 45°C sebesar 24,294 MPa, kekuatan tarik komposit pada temperatur uji 55°C sebesar 17,748 MPa.

Febriko dkk (2017), Melakukan penelitian tentang pengaruh variasi matrik pada proses pembuatan komposit berserat pohon waru dengan menggunakan metode *vacuum bagging*. Pengujian yang dilakukan menggunakan standar ASTM D638-03. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 248,8 MPa untuk serat waru dengan matrik *bisphenol*, 305,29 MPa untuk serat waru dengan matrik *epoxy*, 235,34 MPa untuk serat waru dengan matrik *ripoxy*, dan 266,8 MPa untuk serat waru dengan matrik *polyester*.

2.2 Material Komposit

2.2.1 Pengertian Komposit

Komposit berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara *mikroskopis* dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996). Definisi lain yaitu, menurut (Schwartz, 1984), komposit merupakan suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua

atau lebih unsur-unsur utamanya yang secara makro berbeda didalam bentuk dan atau komposisi material pada dasarnya tidak dapat dipisahkan.

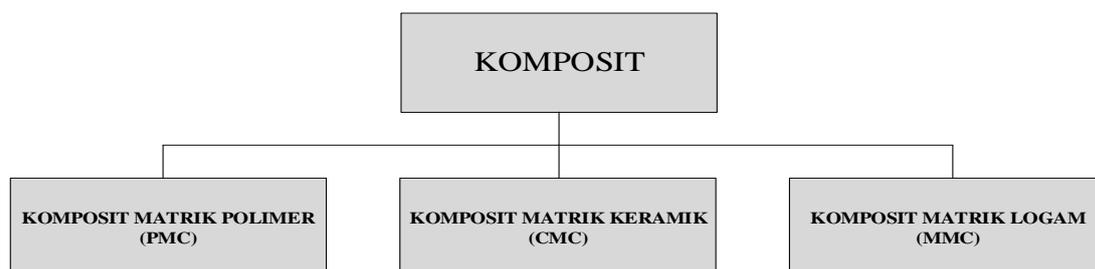
Komposit sendiri terbagi menjadi 2 bagian utama:

1. Matrik

Jones (1999:5) dalam bukunya yang berjudul *Mechanic of Composite Materials* menjelaskan fungsi utama dari matrik pada komposit adalah sebagai berikut:

- a. Material *Matrix* merekatkan serat-serat pada komponen komposit dan menyampaikan gaya yang diterima oleh material menuju serat, sehingga *Matrix* merupakan salah satu komponen pendukung dalam penentuan bentuk dan kekakuan material komposit.
- b. Material *Matrix* mencegah atau memperlambat terjadinya *crack* dengan cara mengisolasi serat-serat, sehingga masing-masing serat dapat bekerja secara terpisah dalam menahan gaya.
- c. Material *Matrix* melindungi serat terhadap gangguan kimiawi dan mekanis (*wear resistance*).
- d. Material *Matrix* mempengaruhi karakteristik material komposit secara keseluruhan, seperti keuletan, ketangguhan, dan kekuatan tariknya.

Matrik biasanya memiliki karakteristik densitas kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah dari serat penguat. Dengan adanya penggabungan antara serat dan matriks akan di dapatkan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi tetapi masih mempunyai densitas yang rendah. Secara umum matrik dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok, yaitu: polimer (*Polymer Matrix Composite*), logam (*Metal Matrix Composite*), dan keramik (*Ceramic Matrix Composite*).



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit secara umum

Sumber: Nurul Nayiroh, Teknologi Material Komposit (2015)

1. Komposit Matrik Polimer (PMC)

Polimer merupakan matrik yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Matrik polimer terbagi 2 yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaannya polimer termoplastik adalah

polimer yang apabila didinginkan akan menjadi keras dan akan meleleh pada suhu tertentu serta mempunyai sifat reversibel (dapat kembali sifat awalnya), Sedangkan polimer termoset adalah polimer yang memiliki sifat irreversibel (tidak dapat mengikuti perubahan suhu), apabila polimer tersebut telah dikeraskan maka polimer tidak dapat dilunakkan kembali. Dapat disimpulkan bahwa polimer termoplastik dapat didaur ulang sedangkan polimer termoset tidak dapat didaur ulang.

2. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites*–MMC)

Metal Matrix composites adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Material MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *Continuous Filamen* MMC yang digunakan dalam aplikasi *aerospace*. (Nayiroh). Kelebihan MMC dibandingkan dengan PMC:

- a. Transfer tegangan dan regangan yang baik
- b. Ketahanan terhadap temperature tinggi
- c. Tidak menyerap kelembapan
- d. Tidak mudah terbakar
- e. Kekuatan tekan dan geser yang baik
- f. Ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik

Kekurangan MMC:

- a. Biayanya mahal
- b. Standarisasi material dan proses yang sedikit

3. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites*–CMC)

CMC merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai *reinforcement* dan 1 fasa sebagai matrik, dimana matriknya terbuat dari keramik. *Reinforcement* yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, karbit, dan nitrid. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan proses DIMOX, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matrik keramik disekeliling daerah *filler* (penguat).

Matrik yang sering digunakan pada CMC adalah:

- a. Gelas anorganik
- b. Keramik gelas
- c. Alumina
- d. Silikon Nitrida

Keuntungan dari CMC:

- a. Dimensinya stabil bahkan lebih stabil daripada logam

- b. Sangat tangguh , bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari *cast iron*
- c. Mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus
- d. Unsur kimianya stabil pada temperatur tinggi
- e. Tahan pada temperatur tinggi
- f. Kekuatan dan ketangguhan tinggi, dan ketahanan korosi tinggi

Kerugian dari CMC:

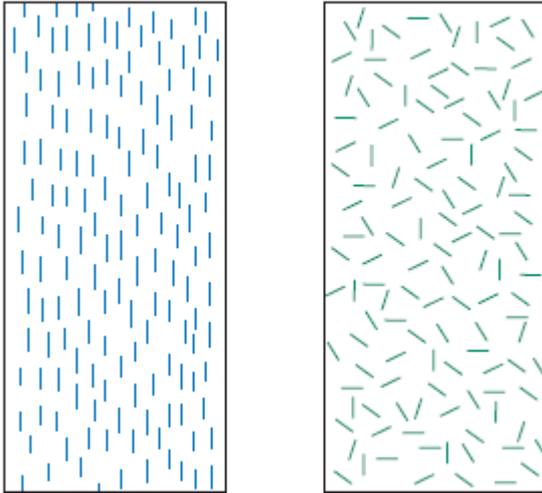
- a. Sulit untuk diproduksi dalam jumlah besar
- b. Relatif mahal dan *non-cot effective*
- c. Hanya untuk aplikasi tertentu

2. *Fiber* (Serat)

Serat adalah salah satu jenis komponen penguat (*reinforcement*) yang akan berikatan pada komponen pengikat (*matrix*). Komponen ini berfungsi sebagai penentu kekuatan dan kekakuan dari suatu material komposit. Hal ini dikarenakan fungsi utama dari komponen penguat adalah sebagai penahan beban dari suatu material. Pada material komposit, serat menahan beban sekitar 70%-90% dari total beban yang diterima oleh komposit (Mazumdar, 2002), ada dua hal yang membuat serat dapat menahan gaya yaitu:

- a. Perlekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*interfacial bonding*) yang baik dan kuat sehingga tidak mudah terjadi pelepasan antara matriks dan serat (*debonding*).
- b. Kelangsingan (*aspect ratio*) yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

Arah serat penguat menentukan kekuatan komposit dan mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan ke dalam matriks semakin cermat penataannya, semakin banyak penguat dapat dimasukkan. Hal tersebut menentukan kekuatan optimum yang dapat diterima komposit (Surdia, 2003).



Gambar 2.2 Susunan serat acak (kanan) dan teratur (kiri)

Sumber: Callister (2007)

Serat acak dan teratur memiliki perbedaan pada *short fiber reinforced*, pada reaksi serat saat menahan beban, arah serat yang teratur memiliki kelebihan dapat menahan beban lebih besar bila beban yang diterima searah dengan arah seratnya apabila dibandingkan dengan serat acak, tetapi lebih lemah jika mendapat beban tegak lurus dengan arah serat. Keuntungan pada serat acak yaitu serat acak memiliki kemampuan menahan beban dari arah manapun karena penempatan seratnya yang acak.

Beberapa syarat untuk dapat memperkuat matriks antara lain:

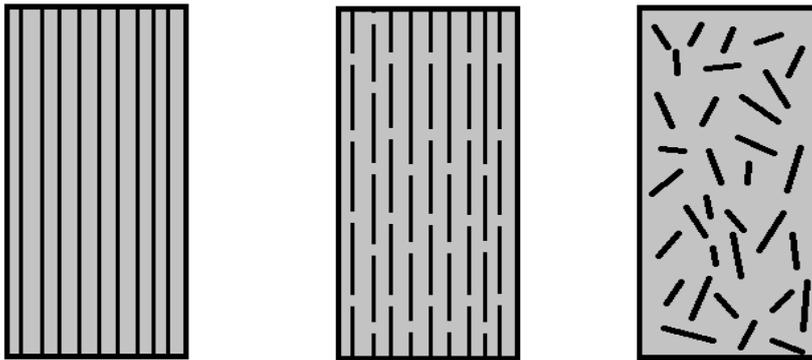
- a. Mempunyai modulus elastisitas yang tinggi.
- b. Mampu menerima perubahan gaya dari matriks dan mampu menerima gaya yang bekerja padanya.
- c. Perbedaan kekuatan diameter serat harus relatif sama.
- d. Kekuatan lentur yang tinggi.

2.2.2 Klasifikasi Komposit

Klasifikasi dari komposit, dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Material Serat Komposit (*Fibrous composites materials*)

Terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matrik dan serat. Komposit serat berorientasi adalah dimana serat yang berfungsi sebagai penguat tersusun secara rapi dan terarah. Skema penyusunan serat dapat dibagi menjadi tiga.



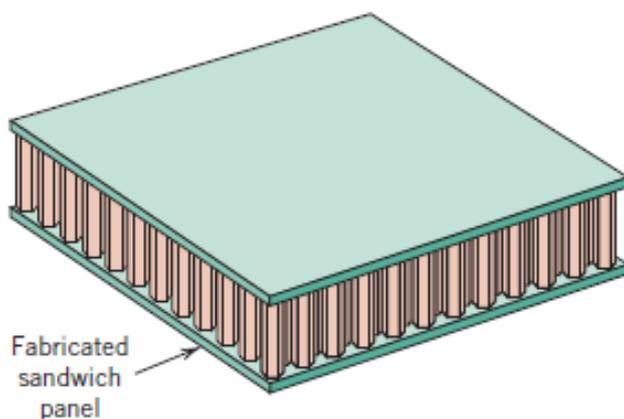
Gambar 2.3 Skema penyusunan serat (a) Serat berturut, (b) Serat terputus, (c) Serat acak terputus

Sumber: Dokumen pribadi

2. Material Komposit Berlapis

Terdiri dari dua atau lebih lapisan material yang berbeda dan digabung secara bersama-sama. *Laminated composite* dibentuk dari berbagai lapisan-lapisan dengan berbagai macam arah penyusutan serat yang ditentukan disebut lamina, yang termasuk komposit berlapis yaitu:

- a. *Bimetals*
- b. *Cladmetlas*
- c. *Laminated Glass*
- d. *Plastic-Based Laminates*



Gambar 2.4 Komposit laminat (*laminated composite*)

Sumber: Callister, W. D., *Material Science and Engineering, 7nd edition* (2007)

3. Material Komposit Partikel

Terdiri dari satu atau lebih partikel yang tersuspensi di dalam matrik dari matrik lainnya. Partikel logam dan non-logam dapat digunakan sebagai matrik.

Empat kombinasi yang digunakan sebagai matrik komposit partikel:

- a. Material komposit partikel non-logam di dalam matrik non-logam.
- b. Material komposit partikel logam di dalam matrik non-logam.

coastal cottonwood dalam bahasa Inggris. Tumbuhan daerah tropis berbatang sedang ini dapat tumbuh pada berbagai kondisi tanah, di daerah yang subur, batangnya lurus, namun pada tanah yang kurang subur batangnya cenderung tumbuh membengkok, serta percabangan dan daun-daunnya lebih lebar.



Gambar 2.7 Batang pohon waru
Sumber: dutarimba

2.4 Polimer dan Polimerisasi

Polimer (*poly*=banyak dan *mer*=bagian) adalah suatu molekul besar atau makro molekul yang dibentuk atas susunan ulang dari molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia. Suatu polimer akan terbentuk bila seratus atau seribu molekul kecil atau monomer saling berikatan dalam suatu rantai polimer atau membentuk tiga dimensi jaringan. Jika monomer memiliki jenis yang sama disebut homopolimer, dan jika monomer memiliki jenis yang berbeda akan menghasilkan kopolimer.

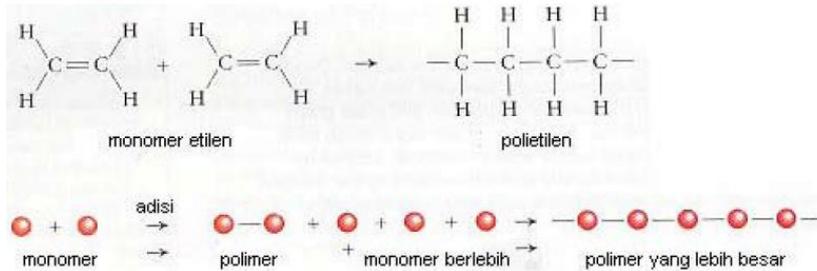
Polimer merupakan gabungan dari beberapa monomer yang membentuk sebuah rantai polimer. Bila rantai tersebut dikelompokkan bersama-sama dalam suatu pola dan orientasi yang acak disebut amorf, jika penggabungannya teratur disebut kristalin. Sifat-sifat umum yang dimiliki bahan-bahan polimer adalah:

1. Kemampuan cetaknya cukup baik, artinya pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan berbagai cara, diantaranya: dengan penyuntikan, penekanan, ekstruksi.
2. Produk yang ringan dan kuat dapat dibuat.
3. Baik sekali ketahanannya terhadap air dan zat kimia.
4. Banyak diantaranya polimer bersifat isolasi listrik yang baik dan mudah termuati listrik secara elektrostatik.
5. Kurang tahan terhadap panas.
6. Kekerasan permukaannya sangat kurang.

Pada polimer terjadi proses reaksi kimia monomer untuk membentuk rantai polimer, dan proses ini disebut polimerisasi. Ada dua jenis reaksi polimer, yaitu:

1. Polimer Adisi

Reaksi pembentukan polimer dari monomer-monomernya tetrafluoroetilen inilah yang disebut polimerisasi adisi. Perhatikan pada Gambar 2.8 menunjukkan pada monomer etilena memiliki ikatan rangkap dua, sedangkan setelah terjadi proses pembentukan menjadi polietilen tidak ada ikatan rangkap dua.



Gambar 2.8 Struktur monomer etilen dan polietilen

Sumber: Arifatun Anifah, Kimia Dasar (2009)

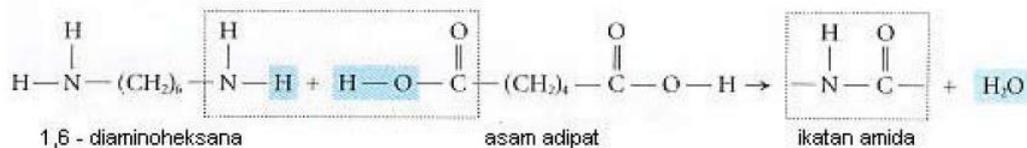
Monomer etilen mengalami reaksi polimerisasi adisi dan membentuk polietilen yang biasa digunakan sebagai tas plastik, pembungkus makanan, dan botol. Pasangan elektron yang lebih dari ikatan rangkap dua pada monomer etilen dipakai untuk membentuk ikatan baru agar dapat menjadi monomer yang lain.

Menurut reaksi ini, monomer-monomer yang mempunyai ikatan rangkap dua akan membentuk ikatan baru dengan monomer yang lain, sehingga akan terbentuk rantai polimer. Produk yang terbentuk dari reaksi polimerisasi adisi ini mengandung semua atom dari monomer awal. Dari Gambar 2.9, dapat terlihat polimerisasi adisi terjadi saat polimer yang terbentuk karena reaksi polimerisasi disertai dengan pemutusan ikatan rangkap monomer yang diikuti oleh adisi monomer-monomernya, sehingga membentuk ikatan tunggal. Dalam reaksi polimer adisi ini tidak disertai terbentuknya molekul kecil seperti H₂O atau NH₃.

2. Polimer Kondensasi

Polimer kondensasi terjadi akibat dari reaksi antara gugus fungsi monomer yang sama jenis atau monomer yang beda jenisnya. Dalam polimerisasi kondensasi terkadang disertai terbentuknya molekul kecil seperti H₂O atau NH₃. Dalam reaksi ini, monomer-monomer bereaksi secara adisi untuk membentuk rantai, tapi setiap ikatan baru akan terbentuk bersamaan dengan terbentuknya molekul kecil dari atom-atom monomer.

Pada reaksi semacam ini, tiap monomer harus mempunyai dua gugus fungsional agar bisa menambahkan ikatan baru pada unit monomer lainnya untuk menjadi rantai polimer.



Gambar 2.9 Polimerisasi kondensasi pada ikatan amida

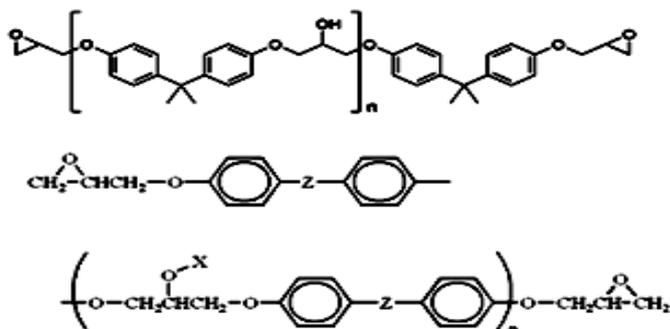
Sumber: Arifatun Anifah, Kimia Dasar (2009)

Proses kondensasi suatu atom hidrogen dari ujung monomer bergabung dengan gugus OH dari ujung monomer yang lain dan membentuk air. Pada Gambar 2.9, terjadi kondensasi pada dua monomer yang berbeda yaitu 1,6-diaminoheksana dan asam adipat yang umum digunakan untuk membuat jenis *nylon*. *Nylon* diberi nama menurut jumlah atom karbon pada unit monomer. Dalam Gambar 2.9, ada enam karbon pada tiap monomer, maka jenis nylon ini disebut nylon 66.

2.5 Matrik

2.5.1 Epoksi

Resin Epoksi terdiri dari 2 bagian penyusun, diantaranya: Epoksi A resin dan Epoksi B *hardener*. Resin epoksi ini memiliki bentuk berupa cairan yang sangat kental serta padat. Penggunaan dari resin ini dengan cara menggabungkan atau mencampurkan antara resin dan *hardener* yang akan menghasilkan reaksi antara resin dan *hardener* yang bertujuan untuk membentuk polimer *crosslink*, sehingga akan terjadi pengerasan resin epoksi. *Curing time* yang terjadi pada resin ini tergantung dari penggunaan *hardener*. Struktur kimia serta spesifikasi dari resin epoksi A dan B dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan Tabel 2.4 - 2.5.



Gambar 2.10 Struktur kimia resin epoksi A dan B

Sumber: Clayton, *Epoxy Resins: Chemistry and Technology* (1987)

Tabel 2.1
Spesifikasi Resin Epoksi (*Eposchon*)

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
Viskositas (at 25 °C)	16000 - 20000	mPa.s
Epoksi <i>equivalent</i>	184 - 204	g/equiv
<i>Hydrolyzable chlorine content</i>	< 0,05	%
<i>Colour according to the Gardner scale</i>	12-15	

Sumber: PT. Justus Kimia Raya, *Data sheet* (2003)

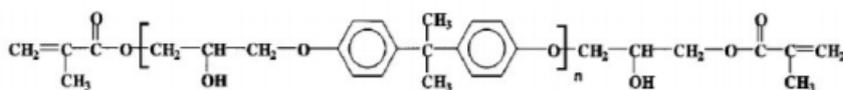
Tabel 2.2
Spesifikasi Hardener Epoksi (*Eposchon*)

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
Kekuatan tarik	410	kgf/cm ²
Kekuatan fleksural	810	kgf/cm ²
Kekuatan tekan	740	kgf/cm ²
Kekuatan geser adesif	160	kgf/cm ²

Sumber: PT. Justus Kimia Raya, *Data sheet Epoksi (Eposchon)* (2003)

2.5.2 Ripoxy

Resin *riproxy* (R-802 EX) adalah jenis resin vinil ester. Sifat utama dari resin ini adalah tahan terhadap korosi dan reaksi asam kimia. Resin *riproxy* memiliki kemampuan yang tidak baik dalam ikatan terhadap beberapa jenis serat. *Ripoxy* dalam proses penggunaannya ditambahkan 2 jenis cairan kimia, antara lain: (MEKPO atau *cumene hyroperoxide*) dan promotor (*cobalt naphthenate* atau *promoter D*). Resin *Ripoxy* R-802 memiliki sifat inflammable, hal ini dikarenakan struktur kimianya telah memiliki kandungan *manomer styrene* yang termasuk dalam kategori *class 3-3* oleh *Intergovernmental Maritime Consultative Organization*



Gambar 2.11 Struktur kimia resin ripoksi

Sumber: Changwoon, *Molecular dynamics simulation of vinyl ester resin* (2013)

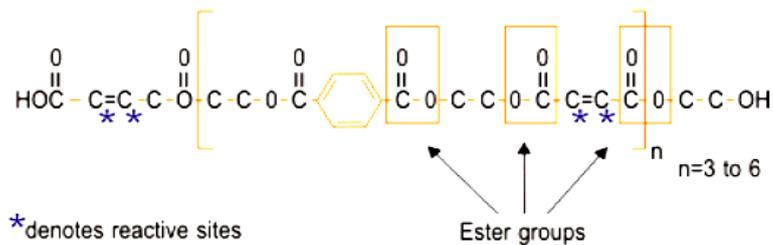
Tabel 2.3
Spesifikasi Resin Ripoxy (R-802)

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan	Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
<i>Specific gravity</i>	1,134	g/cm ³ (25 °C)	<i>Compress strength</i>	108-118	MPa
<i>Heat distorcion temperature</i>	100	°C	<i>Charpy impact</i>	4900-7900	J/m ²
<i>Tensile Strength</i>	69-89	MPa	<i>Barcol Hardness</i>	35	
<i>Flexural Strength</i>	120-150	MPa	<i>Elongation</i>	6	%
<i>Flexural Modulus</i>	2,7-3,1	GPa	<i>Curing shrinkage</i>	7,5-8,5	%

Sumber: Showa, *Data sheet Ripoxy (R-802)* (2005)

2.5.3 Polyester BTQN 157

Resin poliester termasuk salah satu polimer termoset. *Curing*/ pengerasan yang terjadi pada resin poliester dilakukan dengan menambahkan suatu peroksida atau katalis. Reaksi dari penggabungan resin poliester dan katalis akan menghasilkan reaksi ikat silang secara radikal bebas dari poliester dengan manomer reaktif yang ditambahkan dalam resin poliester tersebut.



Gambar 2.12 Struktur kimia resin poliester

Sumber: Bramantyo, Pengaruh Konsentrasi Serat Rami Terhadap Sifat Material Komposit *Poliester* Serat Alam (2008)

Tabel 2.4

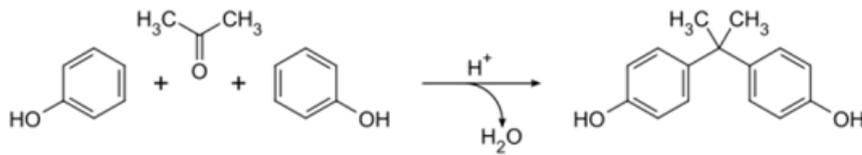
Spesifikasi Resin Poliester Yukalac BTQN 157

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
Berat jenis	1,4	gr/cm ³
Kekerasan	40	-
Suhu distorsi panas	70	⁰ C
Penyerapan air (suhu ruang)	0,188	% (24 jam)
	0,446	% (7 hari)
Kekuatan Fleksural	9,4	Kg/mm ²
Modulus Fleksural	300	Kg/mm ²
Kekuatan tarik	5,8	Kg/mm ²
Modulus elastisitas	300	Kg/mm ²
Elongasi	2,4	%

Sumber: PT. Justus Kimia Raya, *Data sheet Polyester Yukalac BTQN 157* (2015)

2.5.4 Bisphenol

Bisphenol A tidak di temukan secara natural di alam namun direkayasa oleh manusia. Dibuat pertama kali oleh Alexander Dianin. 4, 4'-(*propane-2, 2'*-diyl) *diphenol*, atau biasa disebut bisphenol A (BPA). Didapat dari proses penyatuan secara kondensasi antara aseton dan 2 phenol yang setara yang membutuhkan reaksi asam tinggi sebagai katalis. Sangat efisien dan produk sisanya adalah air.



Gambar 2.13 Kondensasi bisfenol A

Sumber: Mia Monte, *School of Ramiro de Maeztu Lecture* (2013)

Tabel 2.5

Spesifikasi Resin *Bisphenol A* (LP-1Q-EX)

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
<i>Tensile Strength</i>	88	Mpa
<i>Tensile Modulus</i>	3,2	Gpa
<i>Tensile Elongation</i>	6,2	%
<i>Flexural Strength</i>	153	Mpa
<i>Flexural Modulus</i>	3,5	Gpa

Sumber: PT. Justus Kimia Raya, data *sheet Bisphenol A* (LP-1Q-EX) (2016)

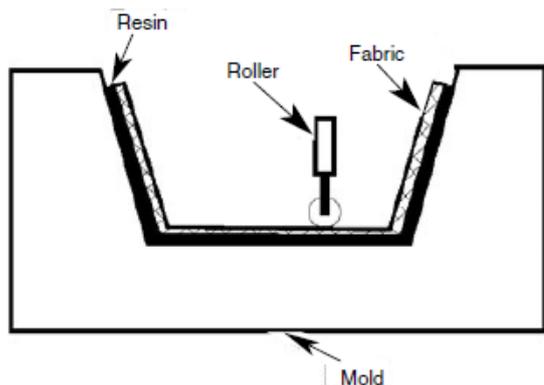
2.6 Metode Manufaktur Komposit

Pada zaman yang semakin maju dan modern ini, kemajuan teknologi juga mempengaruhi berkembangnya metode manufaktur komposit. Pada dasarnya metode manufaktur komposit terbagi menjadi dua proses, cetakan terbuka (*open-mold process*) dan cetakan tertutup (*close-mold process*).

2.6.1 Proses Cetakan Terbuka/ *Open-Mold Process*

1. *Hand Lay Up/ Contact Molding*

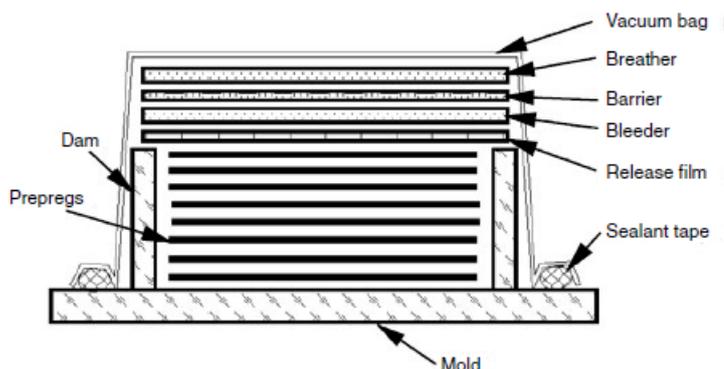
Hand lay-up adalah metode yang paling sederhana dan merupakan salah satu proses dengan metode cetakan terbuka dari proses fabrikasi komposit. Adapun proses dari pembuatan dengan metode ini adalah dengan cara menuangkan resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajuan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar.



Gambar 2.14 Hand lay up
Sumber: Mazumdar (2002)

2. Vacuum bag

Proses *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari *hand lay-up*, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada dalam wadah/tempat dimana komposit akan dilakukan proses pencetakan. Dengan divakumkan udara dalam wadah maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan kearah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit akan dapat diminimalkan. Metode vakum memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik, dan kontrol yang lebih antara lapisan dan resin.

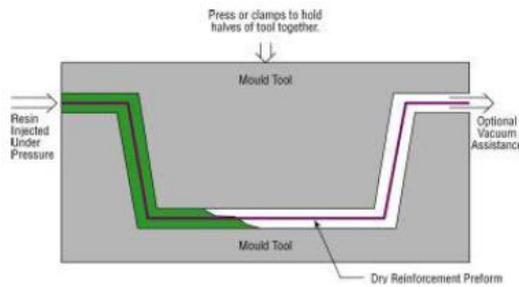


Gambar 2.15 Vacuum bag
Sumber: Mazumdar (2002)

3. Pressure bag

Pressure bag memiliki kesamaan dengan metode *vacuum bag*, perbedaannya adalah metode ini tidak memakai pompa vakum tetapi menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis ini yang akan berkontak

pada komposit yang akan dilakukan proses. Besar tekanan yang di berikan pada proses ini adalah sebesar 30 sampai 50 psi.

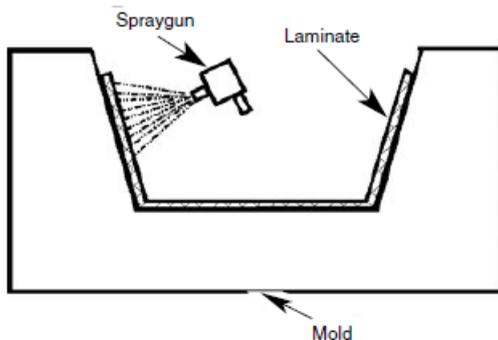


Gambar 2.16 Pressure bag

Sumber: R. Hari Setyanto, Review (2012)

4. Spray-up

Spray-up merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks dan lebih ekonomis dari *hand lay-up*. Proses *spray-up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fiber*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan wadah tempat pencetakan *spray-up* telah disiapkan sebelumnya. Setelah itu proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar. Teknologi ini menghasilkan struktur kekuatan yang rendah, yang biasanya tidak termasuk pada produk akhir. *Spray-up* ini juga digunakan secara terbatas untuk mendapatkan *fiberglass splash* dari alat transfer.

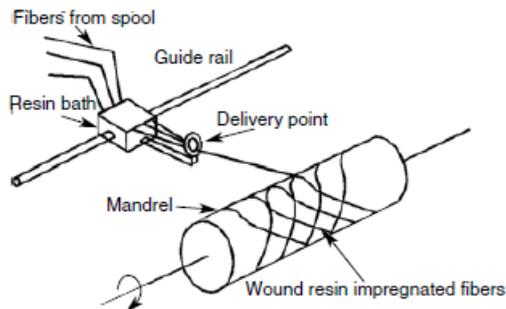


Gambar 2.17 Spray up

Sumber: Mazumdar (2002)

5. Filament Winding

Fiber tipe roving atau *single strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin, kemudian *fiber* tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang, sehingga cara ini didapatkan lapisan serat dan sesuai dengan yang diinginkan.

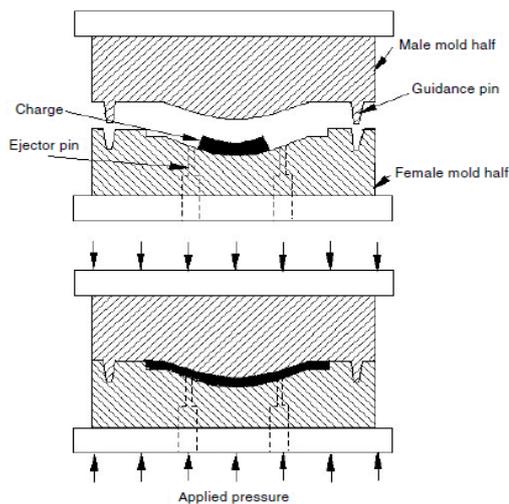


Gambar 2.18 Filament winding
Sumber: Mazumdar (2002)

2.6.2 Proses Cetakan Tertutup/ *Closed Mold Processes*

1. Proses Cetakan Tekan (*Compression Molding*)

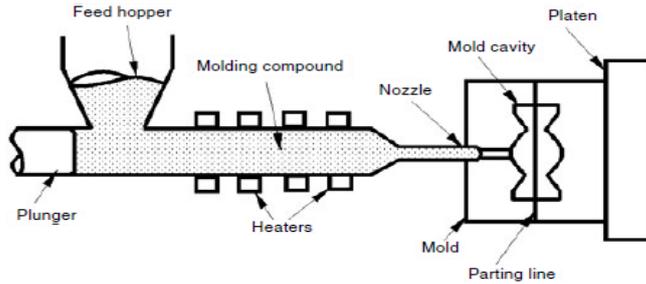
Proses cetakan ini menggunakan *hydraulic* sebagai penekannya. Serat yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan.



Gambar 2.19 Compression molding
Sumber: Mazumdar (2002)

2. *Injection Molding*

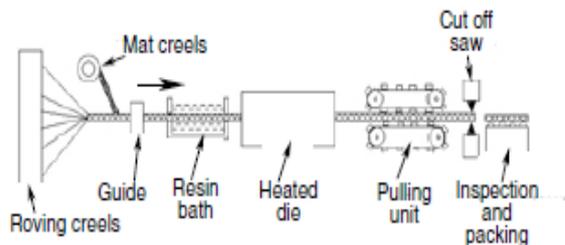
Metode *injection molding* juga dikenal sebagai reaksi pencetakan cairan atau pelapisan tekanan tinggi. *Fiber* dan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperatur dijaga supaya tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta *fiber* akan mengalir ke bagian bawah, kemudian injeksi dilakukan oleh mandrel ke arah *nozle* menuju cetakan.



Gambar 2.20 Injection molding
Sumber: Mazumdar (2002)

3. Continuous Pultrusion

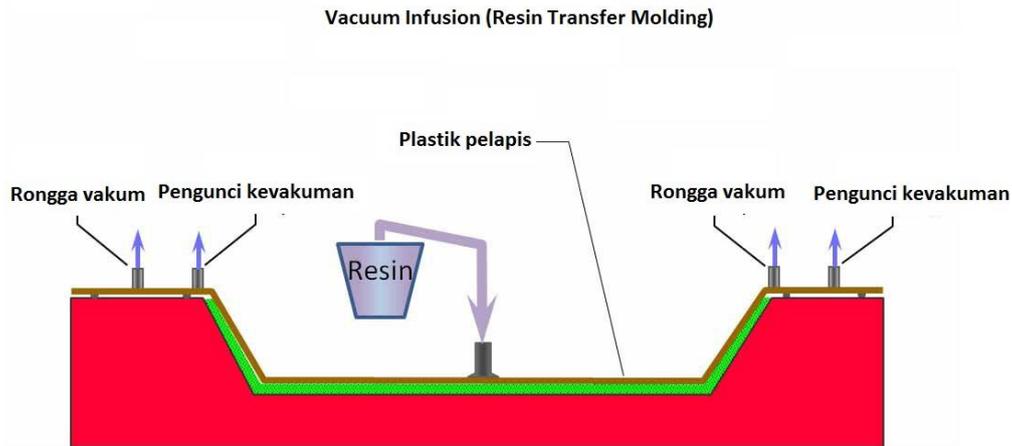
Fiber jenis *roving* dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dituangkan ke cetakan pra cetak dan diawetkan (*cure*), kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Atau juga bisa disebut sebagai penarikan serat dari suatu jaring atau *creel* melalui bak resin, kemudian dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut ialah mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengeraskan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan.



Gambar 2.21 Continuous pultrusion
Sumber: Mazumdar (2002)

4. Resin Transfer Molding (RTM)

Resin Transfer Molding (RTM) atau biasa disebut *resin infusion* adalah metode pembuatan komposit dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matrik sudah terbentuk, *vacuum* akan menghisap sisa-sisa resin yang tertinggal sehingga lembaran komposit yang terbentuk memiliki ketebalan yang sama.



Gambar 2.22 Resin transfer molding
 Sumber: Mazumdar (2002)

2.7 Pengertian Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Dalam menjalankan fungsinya tersebut, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa mejadi energi kinetik dan tekanan pada fluida.

Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu (kapasitas) dan energi angkat (*head*) dari pompa.

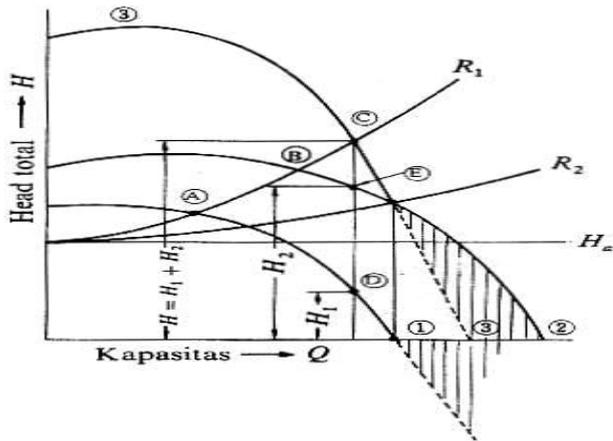
2.7.1 Karakteristik Instalasi Pompa Seri dan *Parallel*

1. Pompa Seri

Instalasi pompa yang disusun seri bertujuan untuk memperoleh fluida dengan nilai *head* tekanan yang sangat tinggi dengan kapasistas fluida yang rendah. Grafik pada *Gambar 2.19* menunjukkan bahwa *head* total yang tinggi pada pompayang tersusun seri diperoleh dengan menjumlahkan *head* pompa 1 dengan *head* pompa 2.

$$H_{\text{total}} = H_1 + H_2 \quad (2-1)$$

Sumber: Sularso (2000)



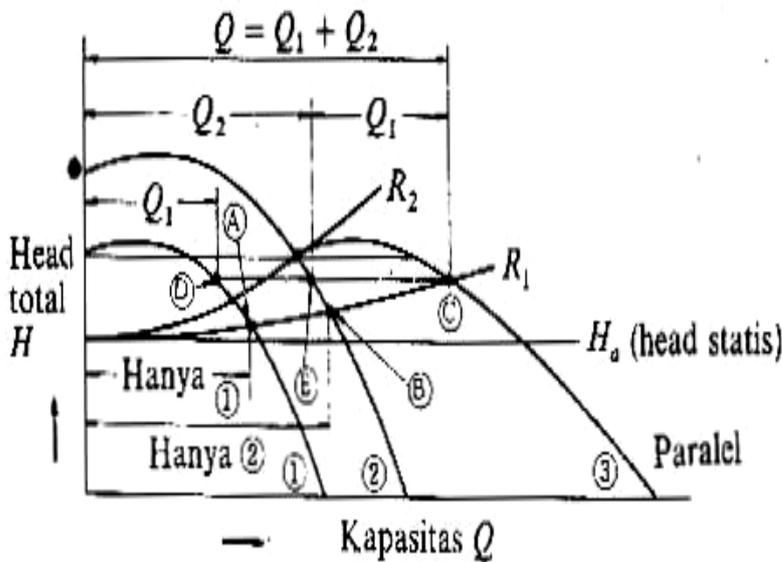
Gambar 2.23 Operasi seri dari pompa dengan karakteristik berbeda
 Sumber: Sularso (2000)

2. Pompa *Parallel*

Instalasi pompa yang disusun secara *parallel* bertujuan untuk memperoleh fluida dengan kapasitas yang tinggi namun head tekanan yang diperoleh rendah. Pada Gambar 2.20 didapatkan kapasitas (Q) aliran yang tinggi diperoleh dengan menjumlahkan kapasitas aliran pompa 1 (Q₁) dengan kapasitas aliran pompa 2 (Q₂).

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 \tag{2-2}$$

Sumber: Sularso (2000)



Gambar 2.24 Operasi *parallel* dari pompa dengan karakteristik berbeda
 Sumber: Sularso (2000)

2.7.2 Pengertian Kavitasasi

Kavitasasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Sehingga fluida dapat menguap ketika

tekanannya cukup rendah pada temperatur fluida tersebut. Dalam hal ini temperatur fluida lebih besar dari temperatur jenuhnya.

Mekanisme dari kavitasi ini adalah berawal dari kecepatan air yang tinggi sehingga tekanannya rendah dan menyebabkan titik didihnya menurun karena fluida mencapai titik didihnya maka menguap dan timbul gelembung-gelembung.

Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun di dalam pipa. Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan yang berkecepatan tinggi di dalam aliran, sangat rawan terhadap terjadinya kavitasi. Pada pompa misalnya, bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah sisi isapnya. Kavitasi akan timbul jika tekanan isapnya terlalu rendah.

2.8 Uji Tarik

Uji tarik digunakan untuk memperoleh informasi dari kekuatan bahan dan sebagai uji spesifikasi bahan. Pada uji tarik spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara kontinyu. Sedangkan kekuatan tarik merupakan kekuatan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum bahan sebelum patah.

2.8.1 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan regangan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Tegangan tarik merupakan distribusi gaya tarik persatuan luas bahan, dirumuskan:

$$\sigma_T = \frac{F}{A} \quad (2-3)$$

Dimana:

σ_T = Tegangan tarik (MPa)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang(mm²)

2. Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal, dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2-4)$$

Dimana:

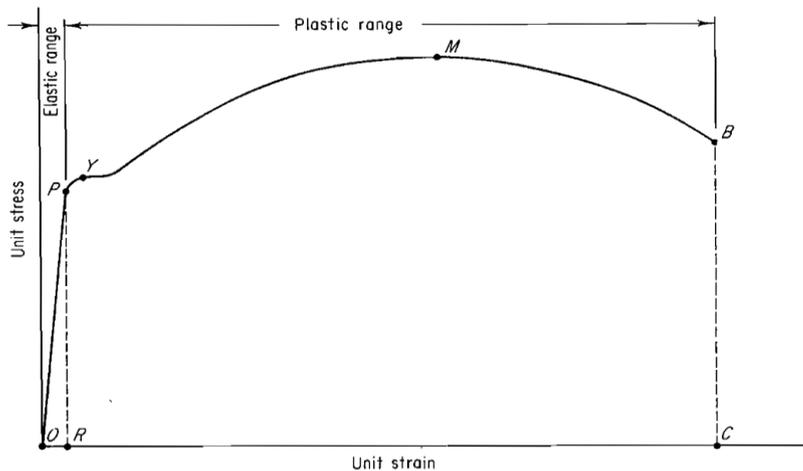
ε = Regangan (%)

l_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Untuk hampir semua bahan material tahap uji tarik hubungan antara beban atau gaya yang diberikan pada bahan percobaan berbanding lurus terhadap perubahan panjang bahan tersebut, ini disebut daerah linier.

- Hubungan antara regangan dan tegangan juga dapat diketahui dengan jelas dari grafik tegangan–regangan yang berdasarkan hasil uji tarik sebagai berikut:



Gambar 2.25 Hubungan tegangan dengan regangan

Sumber: Avner S.H., *Introduction to Physical Metallurgy* (1974)

Istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan melihat hasil uji tarik diatas. Asumsikan bahwa kita melakukan uji tarik mulai titik 0 sampai B sesuai dengan arah panah dalam *Gambar*.

- Daerah Elastis (*Elastic Range*)

Dalam *Gambar* diatas dinyatakan dengan daerah pada titik 0 sampai dengan R. Daerah terjadinya deformasi elastis, yang dimana kenaikan tegangan dan regangan berbanding lurus sehingga membentuk kurva yang linier atau nilai perubahan tegangan dan regangan sama.

- Batas proporsional (*P*)

Titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek biasanya, batas proporsional sama dengan batas elastis, yang mana merupakan batas dari keseimbangan antara penambahan tegangan dan regangan.

- Tegangan luluh (*Yield Stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing, peralihan deformasi elastis ke plastis.

7. Daerah plastis

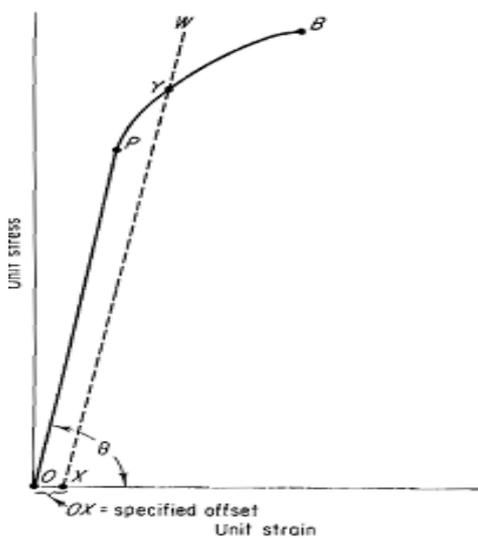
Daerah dimana terjadinya deformasi plastis yang terjadi setelah *yield strength* sampai *fracture*. Kenaikan tegangan regangan merupakan fungsi *polynomial* sampai titik *ultimate strength*, kemudian putus sampai *fracture*.

8. *Ultimate Tensile Strength (M)*

Titik terjadinya tegangan regangan tertinggi yang dapat dicapai material atau spesimen. Pada saat titik *Ultimate (M)*, spesimen mengalami *necking* (pengecilan penampang) dengan diikuti penurunan tegangan, tapi panjangnya tetap bertambah sampai akhirnya putus.

9. *Fracture (B)*

Titik dimana terjadinya patahan pada spesimen.

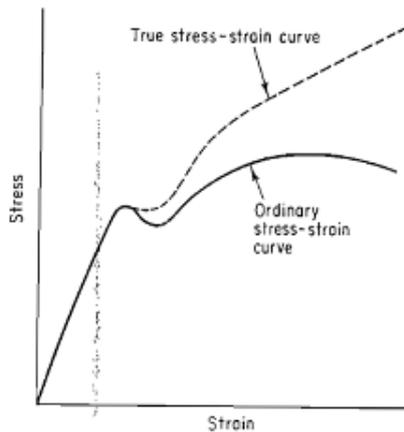


Gambar 2.26 Metode *offset*

Sumber: Avner S.H., *Introduction to Physical Metallurgy* (1974)

Pada Gambar 2.26, ditunjukkan dengan titik *B*, merupakan besar tegangan dimana bahan yang di uji putus atau patah.

Apabila suatu proses material dihasilkan dengan tegangan-regangan yang tidak memperlihatkan titik luluh/ *yield*, maka mencarinya dengan metode *offset*, yaitu menarik garis lurus sejajar dengan diagram tegangan dimulai dari titik 0 regangan yang digunakan sebagai acuan dengan jarak 0,2% dari regangan maksimum. Perpotongan garis *offset* dengan kurva tegangan regangan itulah tegangan *yield* dari bahan tersebut.



Gambar 2.27 Hubungan tegangan regangan rekayasa dan sejati
 Sumber: Avner S.H., *Introduction to Physical Metallurgy* (1974)

Kurva tegangan regangan pada Gambar 2.27 menunjukkan perbedaan tegangan regangan rekayasa dengan sejati. Tegangan regangan rekayasa dari hasil pengukuran benda uji tarik, sedangkan tegangan regangan sejati dapat dihitung dengan membagi gaya (F) dengan penampang awal benda kerja (A_0).

2.8.2 Elastisitas dan Plastisitas

1. Elastisitas

Kemampuan suatu material untuk kembali kebentuk atau ukuran semula saat tegangan yang diberikan dihilangkan.

2. Kekakuan

Merupakan kemampuan bahan menerima beban atau ketegangan tanpa menyebabkan perubahan bentuk (deformasi atau defleksi).

3. Resilient

Merupakan kemampuan menyerap energi tanpa terjadi deformasi plastis. Biasanya dinyatakan dalam *modulus resilient* (energi yang diserap untuk meregangkan satu satuan volume bahan sampai batas plastis).

4. Plastisitas

Kemampuan suatu material untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (permanen) tanpa mengalami patah dan dinyatakan dalam presentase perpanjangan atau presentase pengurangan luas penampang. Keuletan menunjukkan kemampuan logam untuk dibentuk tanpa mengalami patah, sehingga penting untuk proses pembentukan logam. Di samping itu untuk logam yang memiliki kualitas tinggi, kerusakan dapat diketahui secara dini dengan melihat deformasi yang mendahului bahan tersebut patah. Sifat mekanik daerah plastis.

5. Keuletan

Merupakan kemampuan suatu material untuk berdeformasi plastis tanpa mengalami patah dan dinyatakan dalam presentase perpanjangan atau presentase pengurangan luas penampang. Keuletan menunjukkan kemampuan logam untuk dibentuk tanpa mengalami patah/retak, sehingga penting untuk proses pembentukan logam. Di samping itu untuk logam yang memiliki kualitas tinggi, kerusakan dapat diketahui secara dini dengan melihat deformasi yang mendahului bahan tersebut retak/patah.

6. Ketangguhan

Ketangguhan dinyatakan dalam *modulus* ketangguhan (banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan bahan persatuan volume) dan sangat sulit untuk diukur karena dipengaruhi oleh cacat, bentuk, ukuran bahan, dan kondisi pembebanan.

7. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik merupakan kekuatan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum bahan sebelum patah.

2.9 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka dengan menggunakan *parallel vacuum* dapat meningkatkan debit dan tidak menyebabkan perbedaan tekanan yang besar di daerah *in* dan *out*, jika pada daerah *in* dan *out* terdapat perbedaan tekanan yang cukup besar maka dapat menyebabkan kavitasi. Terjadinya kavitasi dapat menyebabkan pembentukan void, yang kemudian akan terjebak didalam produk dan dapat menyebabkan pemerataan beban pada produk ketika diuji menjadi tidak sempurna yang dapat menyebabkan *debonding*. Selain itu, dengan meningkatnya debit maka waktu untuk memindahkan resin akan lebih cepat sehingga hal ini dapat mengatasi permasalahan waktu pengerasan resin yang cepat.

Oleh karena itu, dengan menggunakan *parallel vacuum* kita dapat mencegah kekurangan resin pada produk, mengurangi *debonding* pada produk dan dapat meningkatkan kekuatan tarik produk.

