

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Komposit

Komposit adalah suatu material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda dimana satu material sebagai pengisi (*Matrix*) dan lainnya sebagai fasa penguat (*Reinforcement*). Komposit biasanya tersusun dari dua bahan dasar yaitu serat dan matrik. Serat biasanya bersifat lentur, mempunyai kekuatan tarik yang baik, namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak, elastis dan bersifat mengikat jika sudah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang berbeda sifat ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai sifat yang berbeda dari sifat partikel penyusunnya (Gibson, 1994).

Kata komposit dalam pengertian bahan berarti komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda, atau dicampur secara makroskopis. *Composite* berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung, jadi komposit dapat didefinisikan sebagai bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu *reinforcement* dan *matrix*. *Reinforcement* biasanya adalah serat (*fiber*) sebagai bahan penguat dan pengisi sedangkan *matrix* adalah bahan yang digunakan untuk mengikat serat. Serat yang digunakan pada komposit bisa berasal dari gelas, alam ataupun karbon. Matrik yang digunakan biasa dari bahan polimer yang mudah dibentuk.

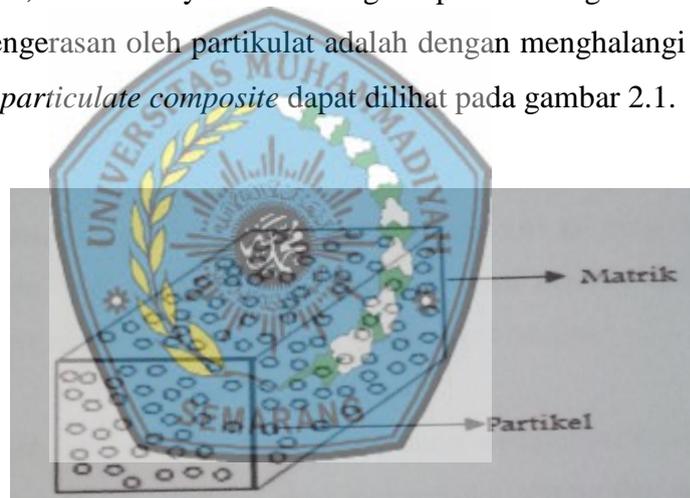
Jones (1999) berpendapat bahwa komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material dalam skala *macroscopic* untuk membentuk material baru yang lebih bernilai. Penggabungan kedua material yang berbeda sifat tersebut diharapkan mampu menghasilkan material yang lebih berkualitas dari material sebelumnya. Unsur komposit terdiri atas penguat dan matrik. Menurut Schwartz (1984) Komposit merupakan sistem material yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang berbeda dimana komposisinya tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

2.2. Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Penguatnya

Hartanto, (2009) dalam penelitiannya menyampaikan bahwa secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu komposit serat (*Fibrous Composites*), komposit partikel (*Particulate Composites*), komposit lapis (*Laminates Composites*).

1. *Particulate composite*

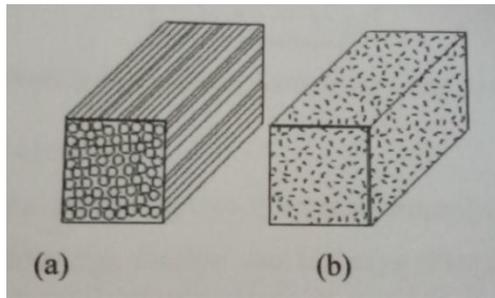
Particulate composite merupakan komposit yang diisi oleh *reinforcement* berbentuk partikel atau serbuk. Komposit jenis ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material, kekuatannya lebih seragam pada berbagai arah, dan cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi. Skema *particulate composite* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Particulate Composite* (Gibson, 1994)

2. *Fibre composite*

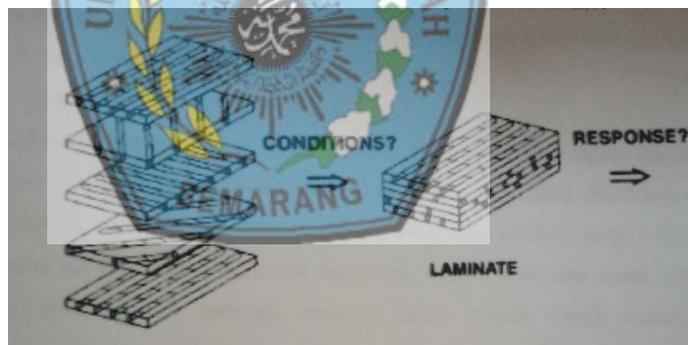
Fibre composite merupakan komposit yang penyusunnya adalah serat. Serat dalam komposit jenis ini berfungsi sebagai penopang kekuatan komposit, sehingga tinggi dan rendahnya kekuatan komposit bergantung dari serat yang digunakan. Tegangan yang didapat oleh komposit awalnya diterima matrik dan kemudian diteruskan oleh serat. *Fiber* yang digunakan dalam *Fibre composite* harus memiliki syarat, yaitu mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulk (matrik) namun harus lebih kuat dari bulk, dan harus memiliki *tensile strength* yang tinggi. Skema *fibre composite* dapat dilihat pada gambar 2.2.



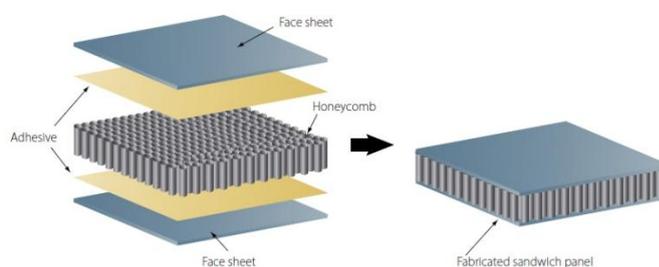
Gambar 2.2 *Fiber Composites: (a) Unidirection Fiber Composite, (b) Random Fiber Composite (Gibson, 1994)*

3. *Structural composite*

Structural composite merupakan komposit struktural yang dibentuk oleh *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk berupa lembaran - lembaran. Berdasarkan strukturnya, komposit jenis ini dapat dibagi menjadi dua yaitu *laminata structural*, dan *sandwich structural*. Skema *laminata structural* dapat dilihat pada gambar 2.3 dan *sandwich structural* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 *Laminata Structural (Jones, 1999)*



Gambar 2.4 *Sandwich Structural*

(http://avstop.com/ac/Aviation_Maintenance_Technician_Handbook_General/5-34.html)

2.3. Komposit Serat (*Fibre composite*)

Komposit serat merupakan komposit yang terdiri dari *fiber* atau serat di dalam matrik. Serat yang panjang mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibanding serat yang berbentuk curah (*bulk*). Serat panjang mempunyai struktur kristal tersusun sepanjang sumbu serat dan cacat internal pada serat lebih sedikit dari pada material dalam bentuk curah sehingga serat panjang merupakan serat yang memiliki struktur lebih baik. Matrik merupakan bahan pengikat atau penyatu serat dalam material komposisi. Arah dan penempatan serat disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan menjadi beberapa bagian diantaranya yaitu:

1. ***Unidirectional continous fiber composite (satu arah)***, komposit jenis ini serat disusun dengan arah serat yang sama. Kekuatan terbesar dari komposit ini yaitu searah seratnya (Widodo B. 2008).

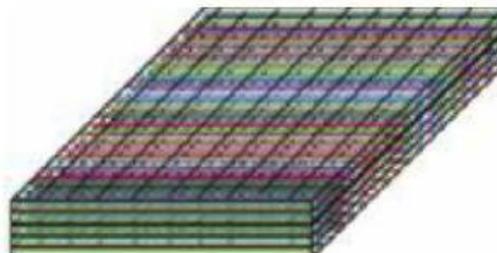
Unidirectional continous fiber composite (Komposit yang diperkuat dengan serat panjang dan lurus).



Gambar 2.5 *Continous Fiber Composite* (Gibson, 1994)

2. ***Random/woven fiber composite***, komposit jenis ini disusun dari serat yang dianyam.

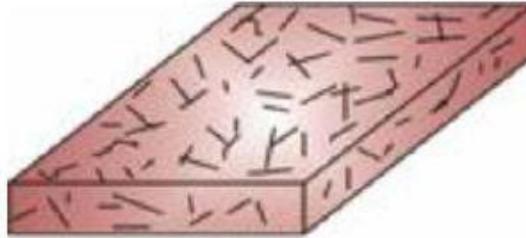
Woven fiber composite (Komposit yang diperkuat dengan serat anyaman).



Gambar 2.6 *Woven Fiber Composite* (Gibson, 1994)

3. *Chopped fiber composite*, komposit jenis ini disusun dari serat yang pendek dan disebar secara acak keseluruh matriknya.

Chopped fiber composite (Komposit yang diperkuat serat pendek dan acak).



Gambar 2.7 *Chopped Fiber Composite* (Gibson, 1994)

4. *Hybrid composite*, komposit jenis ini disusun dari serat yang acak dan lurus.

Hybrid composite (Komposit yang diperkuat serat kontinyu dan serat acak).



Gambar 2.8 *Hybrid Composite* (Gibson, 1994)

2.4. Jenis Serat Penguat pada Komposit

1. Serat Gelas (*Glass Fiber*)

Serat gelas atau biasa juga disebut *glass fiber* merupakan kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan garis tengah sekitar 0,005 mm - 0,01 mm. Serat ini dapat dipintal menjadi benang atau ditenun menjadi kain, yang kemudian diresapi dengan resin sehingga menjadi bahan yang kuat dan tahan korosi untuk digunakan sebagai bangunan kapal dan badan mobil. Serat gelas juga dimanfaatkan sebagai agen penguat untuk banyak produk plastik. Bahan komposit yang dihasilkan dikenal sebagai plastik diperkuat gelas (*glass-reinforced plastic*, GRP) atau epoxy diperkuat glass - fiber (GRE), disebut "*fiberglass*" dalam penggunaan umumnya (https://id.wikipedia.org/wiki/Kaca_serat).

2. Serat Karbon (*Carbon Fiber*)

Serat karbon atau *carbon fiber* merupakan serat yang biasa dimanfaatkan sebagai penguat komposit. Industri penerbangan dan kelautan lebih sering menggunakan serat karbon, karena melihat dari berat jenis bahan yang dianggap lebih penting daripada biaya pembuatan komponen. Keuntungan dari serat karbon yaitu berat jenis rendah dari serat gelas, biaya lebih rendah, kekuatan tarik dan tekan yang tinggi, adapun kerugian dari serat ini yaitu ketahanan benturan yang rendah dan konduktivitas yang tinggi, sehingga mesin listrik mudah korslet bila tidak dilindungi. Serat karbon mampu memberikan kinerja yang lebih bagus sebagai hasil kombinasi sinergis konduktivitas listrik dan sifat mekanis yang tinggi, seiring dengan penurunan berat secara keseluruhan menjadi lebih ringan (Arti D.K., 2014).

3. Serat Alam (*Natural Fiber*)

Serat alam banyak dipakai dalam berbagai sektor industri seperti tekstil, produksi kertas, *automotif*, dan dalam material komposit. Terkait dengan penggunaan serat alam sebagai penguat dalam komposit, serat alam mempunyai keuntungan yaitu densitas rendah, harga rendah, kekuatan spesifik dan modulusnya yang tinggi, melimpah di banyak negara, emisi polusi yang lebih rendah dan dapat di daur ulang (Joshi., 2009). Serat alam merupakan kelompok serat yang dihasilkan dari tumbuhan, binatang dan mineral. Contoh dari sumber serat alam tersebut diantaranya adalah serat nanas (*Ananas Comosus*), kapas (*cotton*), kapuk, rami kasar (*flax*), goni (*jute*), rami halus (*hemp*) sisal serat buah lontar dan *mesokarp* kelapa.

2.5. Serat Nanas

Salah satu alternatif tanaman penghasil serat adalah nanas (*Ananas Comosus*). Selama ini nanas hanya dimanfaatkan buahnya sebagai sumber bahan pangan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), rata-rata produksi nanas di Indonesia adalah 1,5 juta ton/hari. Jika dilihat dari banyaknya perkembangan produksi nanas per tahun, maka memungkinkan meningkatnya limbah serat daun

nanas. Serat daun nanas memiliki kekuatan tarik hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan *fiber glass* (Srihastuti, 2015).

Serat Nanas merupakan serat yang diambil dari daun nanas, memiliki selulosa ataupun non selulosa. Kebanyakan daun nanas dikembalikan ke lahan untuk digunakan sebagai pupuk. Tanaman nanas dewasa mampu memproduksi 70 – 80 lembar daun atau 3 –5 kg dengan kadar air 85 %. Setelah panen bagian yang berpotensi menjadi limbah yaitu daun 90 %, tunas batang 9 % dan batang 1 %. Serat nanas terdiri atas selulosa dan non selulosa yang didapat melalui penghilangan lapisan luar daun secara mekanik. Lapisan bagian luar daun berupa pelepah yang tersusun dari sel kambium, zat pewarna yaitu klorofil, xanthophyl dan carotene yang merupakan komponen kompleks dari jenis tanin, serta lignin yang terdapat di bagian tengah daun. Selain itu lignin terdapat pada lamela dari serat dan dinding sel serat. (<https://fullerena.blogspot.com/2011/04/pengertian-dan-manfaat-serat-nanas.html>). Serat ini didapat dari daun nanas seperti gambar 2.9.



Gambar 2.9 Daun Nanas

(<https://manfaat.co.id/manfaat-daun-nanas>)

2.6. Bagian Utama Komposit

2.6.1. Reinforcement

Salah satu bagian utama komposit yaitu *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat (*fiber*) merupakan suatu jenis bahan berupa potongan – potongan komponen

yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekuatan, kekakuan dan sifat – sifat mekanis lainnya. Orientasi dan kandungan serat dapat menentukan kekuatan mekanis dari komposit. Perbandingan antara serat dan matriks juga sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan. Serat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

1. Serat alami contoh serat daun nanas, serat kabut kelapa, enceng gondok, pandan.
2. Serat sintetis (serat buatan manusia) seperti contoh fiber glass, carbon, nylon, graphite dan aluminium.

Berbagai jenis serat banyak tersedia untuk kebutuhan komposit dan jumlahnya hampir meningkat. Kekakuan spesifik yang tinggi (kekakuan dibagi oleh berat jenisnya) dan kekuatan spesifik yang tinggi (kekuatan dibagi oleh berat jenisnya) serat – serat tersebut yang disebut *advanced composit* (Chawla., 1897).

2.6.2. Matriks

Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagaian atau fraksi volume terbesar (*dominan*). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Mentransfer tegangan ke serat secara merata.
2. Melindungi serat dari gesekan mekanik.
3. Memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
4. Melindungi dari lingkungan yang merugikan.
5. Tetap stabil setelah proses manufaktur.

Sifat – sifat matrik (Ellyawan, 2008):

1. Sifat mekanis yang baik.
2. Kekuatan ikatan yang baik.
3. Ketangguhan yang baik.
4. Tahan terhadap temperature.

Gibson (1994) menjelaskan matrik dalam struktur komposit dapat dibedakan menjadi komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composites – PMC*). Material ini merupakan material komposit yang sering digunakan, biasa

disebut polimer berpenguat *serat* (*FRP – Fibre Reinforced Polymer or Plastics*). Bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (*Kevlar*) sebagai penguatnya. Komposit ini bersifat:

1. Biaya produksi lebih rendah.
2. Ketangguhan baik.
3. Dapat dibuat dengan produksi lebih maksimal.
4. Siklus pabrikan lebih efisien.
5. Tahan simpan.
6. Lebih ringan.
7. Kemampuan mengikuti bentuk.

Diharjo dan Hartanto (2009) menjelaskan pada bahan komposit matrik mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut:

1. Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
2. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsure utamanya yaitu serat.
3. Memberikan sifat tertentu misalnya *ductility*, *toughness* dan *electrical insulation*.

Pemilihan matrik sangat penting sebagai bahan pengikat serat dan matrik harus mampu menghasilkan ikatan mekanik dengan serbuk atau serat pengisinya sehingga reaksi tidak diinginkan tidak terjadi pada *interface*. Selain itu hal yang harus diperhatikan ialah berat jenis, *viskositas*, kemampuan membasahi serbuk, tekanan dan suhu serta penyusutan dan *void* saat *curing* (Ishlah, 2017).

Void adalah kekosongan yang terjadi pada saat fiber atau bahan pengisi tidak didukung oleh matrik, dimana fiber sebagai pengisinya selalu menransfer tegangan ke matrik, hal seperti ini yang menjadi penyebab terjadinya crack, sehingga komposit yang dibuat tidak akan maksimal dalam kegunaan yang diharapkan dalam pembuatan komposit itu sendiri. Komposit yang mempunyai kelonggaran udara akan memiliki banyak kekurangan dalam hasil spesimen yang akan digunakan.

2.7. Polimer

Polimer merupakan suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer. Apabila monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer. Polimer alam yang telah kita kenal antara lain : karet alam, selulosa, protein dan sejenisnya. Awalnya manusia menggunakan polimer alam hanya untuk membuat perkakas dan senjata, tetapi keadaan ini hanya bertahan hingga akhir abad-19 dan selanjutnya manusia mulai memodifikasi polimer menjadi plastik. Nitreselulosa adalah plastik yang pertama kali dibuat secara komersil. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting dibidang pertanian, tekstil, elektronika, kemasan kosmetik, transportasi, furniture, konstruksi, mainan anak – anak dan produk – produk industri lainnya.

Secara umum plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu: plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* merupakan plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Contoh plastik *thermoplast* antara lain : PE, PS, ABS, nylon, PP, SAN, PET, *Polyacetal* (POM), BPT, PC dll. Sedangkan plastik *thermoset* merupakan plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Contoh plastik *thermoset* adalah : PU (*Poly Urethane*), MF (*Melamine Formaldehyde*), UF (*Urea Formaldehyde*), *polyester*, epoksi dll.

2.7.1. Jenis Polimer Berdasarkan Sifat Terhadap Suhu

Plastik atau polimer berdasarkan sifat – sifat terhadap suhu dibagi menjadi 2, yaitu:

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic secara umum digunakan sebagai bahan penguat plastik. Plastik jenis ini memiliki ikatan linear antara monomer – monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya relatif rendah. Plastik jenis *thermoplastic* merupakan plastik yang dapat dilunakan berulang kali (*recycle*) dengan

menggunakan panas. *Thermoplastic* adalah plastik yang akan menjadi keras apabila didinginkan. *Thermoplastic* akan meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversible*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Sifat – sifat *thermoplastic* adalah densitas antara 1,06 sampai 1,42 kg/m³, selain itu *thermoplastic* mempunyai ketahanan sampai temperature 260°C, tahan terhadap korosi dan mudah dibentuk. Contoh dari plastik jenis *thermoplastic* adalah sebagai berikut:

- a) **Resin *Polyethylene* (PE):** polietilen dibuat melalui polimerisasi gas etilen. Menurut sifat polietilen mempunyai berat molekul yang tinggi dan terbakar bila dinyalakan. Polietilen adalah polimer yang memiliki sifat listrik yang baik, sehingga banyak dipakai sebagai bahan isolasi untuk radar, TV dan berbagai alat komunikasi. Contoh lain yaitu pipa saluran, botol plastik, mainan, drum, bahan cetakan, ember, isolasi kawat kabel dan kantong plastik.
- b) **Resin *Polystyrene* (PS):** resin ini memiliki monomer stiren yang dibuat dari *benzene* dan *etilen* yang dipolimerisasikan oleh panas, cahaya dan katalis. Resin ini tidak memiliki warna yang khas dan merupakan resin transparan. Resin ini memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada *polyethylene* dan *polypropylene* dan sedikit menyerap air tetapi strukturnya rapuh serta memiliki ketahanan panas dan kimia yang rendah. Contoh: sol sepatu, isolator, penggaris, dan gantungan baju.
- c) **Resin *Polypropylene* (PP):** polipropilen memiliki massa jenis yang rendah dan termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer. Resin ini memiliki kekuatan lentur, kekuatan tarik dan kekuatannya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan polietilen. Plastik polietilen banyak digunakan dalam produksi peralatan kamar mandi, peralatan meja, keranjang, mainan dan sebagainya.
- d) **Resin *Polyamide* (Nylon):** nilon memiliki ketahanan terhadap reaksi kimia dan melting pointnya 260°C. Plastik yang tangguh, berstruktur kristalin dan memiliki sifat listrik yang baik tetapi memiliki kestabilan dimensi yang rendah jika dibandingkan dengan jenis resin yang lain. Aplikasi nilon banyak sekali digunakan dalam industri peralatan automotif.

- e) **Resin Polyvinyl Chloride (PVC):** pipa air, pipa plastic, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastic, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.
- f) **Resin Polysufones Polisulfones** mempunyai penampakan yang transparan. Material ini memiliki ketangguhan dan ketahanan panas yang baik. Mempunyai ketahanan kekakuan yang baik sampai temperature 174°C. Penggunaan dari material ini adalah sebagai komponen elektronik seperti konektor, komponen TV, peralatan kedokteran dan bahan pipa tahan karat.

2. *Thermosetting*

Thermoset merupakan salah satu jenis plastik yang sering dipakai dalam pembuatan komposit dengan penguat serat maupun serbuk. *Thermoset* tidak mampu mengikuti perubahan suhu (*irreversible*). Bersifat permanen atau tetap pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan), bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat didaurulang kembali. Jika rusak atau pecah maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakan *thermoset* melainkan akan membentuk arang dan teruarai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel seperti jenis – jenis melamin. Plastik jenis *thermoset* tidak dapat didaur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat *thermoplastic*. Contoh plastik *thermoset* adalah bakelit yang meliputi: peralatan fotografi, asbak, steker, fitting lampu, radio dan masih banyak lainnya. Kelebihan penggunaan *thermoset* sebagai matriks yaitu:

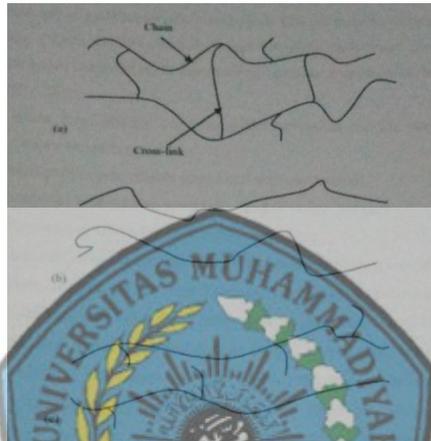
- a. Mengikat serat dengan baik dan mudah.
- b. Memiliki viskositas relatif rendah.
- c. Tahan korosi.
- d. Memiliki kekakuan yang baik.

Contoh plastik jenis *thermoset* antara lain sebagai berikut:

a) *Polyester*

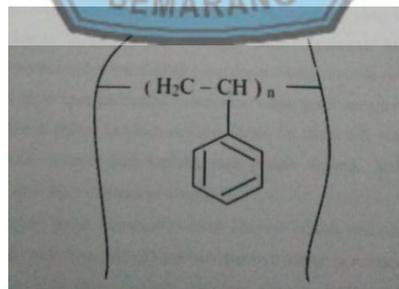
Polyester adalah resin cair dengan *viskositas* relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas pada waktu

pembuatan seperti resin *thermoset* lainnya, sehingga tidak memerlukan penekanan saat pencetakan (Saito, 1993). Resin jenis ini banyak dimanfaatkan untuk konstruksi sebagai bahan komposit. Susunan rantai polimer dapat dilihat pada gambar 2.10 (Matthews dan Rawlings, 1994) menunjukkan bahwa ikatan molekul pada matrik *polyester* yang terbentuk merupakan *cross-link* polimer sehingga sifatnya menjadi kaku (*rigid & stiff*). *Cross link* pada resin polyester ditunjukkan pada gambar 2.11(Matthews dan Rawlings, 1994).



Gambar 2.10 Susunan Rantai Polimer

(Matthew dan Rawlings, 1994) (a) *cross-link*, (b) *linear*, (c) bercabang



Gambar 2.11 Cross-Link pada Resin Polyester

(Matthew dan Rawlings, 1994)

Menurut Saito (1993) Resin *polyester* dapat diproses dengan beberapa metode, antara lain metode *open handy lay-up*, metode *spray-up* khususnya untuk volume material yang kecil dan metode pengecoran (*casting*). Proses pendinginan resin ini dapat terjadi pada temperature ruang dengan atau tanpa

dipengaruhi tekanan. Syarat dari bahan yang digunakan untuk matrik komposit adalah:

1. Resin yang dipakai perlu memiliki viskositas rendah, dapat sesuai dengan penguat.
2. Mempunyai penyusutan yang kecil saat pencetakan.
3. Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat.
4. Mempunyai sifat yang baik untuk diawetkan.

Bentuk fisik *Polyester* tak jenuh (*thermoset*) adalah resin dalam pelarut tak jenuh (contoh : stiren) dan hardenernya adalah *perokside*, juga dapat diberi *extender/ filler* serbuk. Penggunaan utama untuk membuat komposit *fiberglass*, karet , logam dan kayu (Hartono, 1980).

b) Fenol

Resin fenol merupakan jenis *thermoset* pertama yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Memiliki sifat kestabilan dimensi yang baik, ketahan kimia yang baik, rambatan patahan yang lambat, dan emisi racun yang rendah pada saat terbakar. Material ini banyak digunakan sebagai peralatan otomotif dan beberapa peralatan elektronik.

c) Epoksi

Resin ini banyak digunakan untuk aplikasi rekayasa karena mempunyai sifat – sifat yang lebih unggul dibandingkan dnegan resin lainnya, antara lain tahan terhadap bahan kimia, kekuatan tarik tinggi, stabilitas ukuran yang baik, ketahan *thermal* yang tinggi dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu.

Perbandingn sifat – sifat matrik *thermoset* ditunjukkan pada tabel 2.1 (Matthews dan Rawlings, 1994).

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat – sifat Matrik *Thermoset* (Matthews dan Rawlings, 1994).

	Epoksi	Poliester	Fenol
Massa Jenis (Mg/m^3)	1.1 – 1.4	1.1 – 1.5	1.3
Modulus Young (Gpa)	2.1 – 6.0	1.3 – 4.5	4.4
Kekuatan Tarik (Mpa)	35 – 90	45 – 85	50 – 60

d) Resin Poly Urethane (PU)

Resin *poly urethane* merupakan polimer yang tersusun dari sebuah rantai unit organik yang dihubungkan oleh tautan uretana. Polimer *poly urethane* dibentuk oleh reaksi sebuah monomer yang mengandung setidaknya dua gugus fungsional *isosianat* dengan monomer lainnya yang mengandung setidaknya dua gugus alkohol didorong dengan katalis. Resin jenis ini baik dalam ketahanan abrasi, ketahanan pelarut, ketahanan minyak dan kuat. Resin jenis ini banyak dimanfaatkan secara luas untuk zat perekat, plastik busa, bahan elastis, serat elastis dan kulit sintetis.

e) Resin Urea Formaldehyde (UF)

Resin jenis ini adalah resin *thermoset* yang didapat melalui reaksi urea dan formalin, dimana urea dan *formaldehyde* (37% formalin) beraksi dalam alkali netral dan lunak. Resin jenis ini banyak dimanfaatkan untuk barang – barang kecil yang diperlukan sehari – hari seperti alat – alat listrik, pelindung cahaya, soket, kancing, tuutp wadah, kotak, baki dan mangkuk.

f) Resin Melamine Formaldehyde (MF)

Resin ini lebih unggul dalam berbagai sifat dibandingkan dengan resin urea. Barang – barang dari cetakan melamine *formaldehyde* dapat diberi warna secara bebas. Resin ini kuat terhadap air mendidih, ketahanan panas, ketahanan terhadap isolasi listrik dan ketahanan busur listrik. Resin jenis ini banyak dimanfaatkan sebagai peralatan makan, bagian komponen listrik dan mekanik.

2.7.2. Sifat - sifat Polimer

Sifat – sifat bahan polimer secara umum adalah sebagai berikut :

1) Kelenturan dan Kekakuan

Sifat ini berhubungan dengan kekuatan tarik, tekan dan ketahanan terhadap patahan. Kekuatan tarik menunjukkan sifat polimer terhadap adanya kekuatan tekan dan tarikan menunjukkan sifat kebalikan dari kekuatan tarik. Suatu polimer ada yang mempunyai hanya kekuatan tarik saja atau tekan saja atau kekuatan tarik dan tekan sekaligus. Polimer yang mempunyai salah satu dari kekuatan tersebut dikatakan memiliki sifat lentur. Contohnya adalah *polietilena* untuk pembuatan

plastik. Selain itu sifat ketahanan polimer terhadap patahan menunjukkan ketahanan apabila polimer tersebut ditekuk. Suatu polimer yang kaku akan patah apabila ditekuk, sifat ini disebut kekakuan. Contoh, PVC (*polivinilklorida*) untuk pembuatan pipa, memiliki sifat yang kaku.

2) Degradabilitas

Polimer buatan (sintetis) dapat dirancang untuk tahan dan bisa menyerupai bahan berupa gelas ataupun logam. Namun, polimer buatan tersebut dapat menimbulkan masalah karena bersifat tidak dapat terurai. Dibutuhkan pengolahan secara khusus dan juga biaya yang tidak kecil untuk menangani hal tersebut. Oleh sebab itu, diusahakan membuat polimer yang dapat terdegradasi sehingga tidak merusak lingkungan. Bahan polimer yang dapat terdegradasi banyak digunakan untuk bidang farmasi, pertanian, dan kedokteran.

3) Kekuatan Terhadap Panas

Polimer yang bersifat tahan terhadap panas merupakan polimer aromatik. Polimer aromatik yang tahan terhadap temperatur tinggi dikembangkan untuk keperluan industri penerbangan. Suatu polimer yang dianggap tahan panas harus bisa bertahan dan tidak terdekomposisi pada temperatur 400°C. Contoh polimer yang tahan panas yaitu poli (*p*-fenilena) dengan suhu dekomposisi 660 °C.

Polimer aromatic mempunyai sifat tahan terhadap panas sedangkan polimer alifatik justru berubah cepat apabila dipanaskan. Polimer jenis thermoplas akan melunak ketika dipanaskan dan akan kembali padat ketika didinginkan sehingga dapat didaur ulang. Polimer jenis thermosett tidak dapat didaur ulang karena tidak dapat dipanaskan kembali atau akan menjadi hangus ketika dipanaskan kembali.

4) Kekristalan

Kekristalan berhubungan pada sifat keteraturan susunan molekul dalam suatu zat. Ada 3 bentuk kekristalan suatu polimer, yaitu *amorf* (tidak berbentuk), semikristal, dan kristal. Secara umum polimer memiliki bentuk *amorf* dan semikristal. Hal ini dikarenakan ukuran molekulnya yang sangat besar sehingga susunan molekulnya sangat tidak teratur. Sifat kekristalan ini memengaruhi sifat

konduktivitas thermal polimer. Polimer *amorf* lebih lunak dan lebih konduktif dibandingkan polimer yang berupa polimer Kristal.

5) Konduktivitas listrik

Polimer merupakan isolator (bahan isolasi) yang baik. Akan tetapi, polimer yang konduktif telah banyak dibuat untuk kepentingan dunia industri. Polimer konduktif merupakan polimer – polimer yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang sama dengan konduktivitas logam – logam. Salah satu contoh pemanfaatan polimer konduktif adalah pada penggunaan polielektrolit untuk bahan baterai padat. Polielektrolit adalah polimer padatan yang terbentuk dari polimer. Struktur suatu *Polielektrolit* adalah *amorf* (tidak berbentuk). Contoh: *Polielektrolit* ialah *Polifosfazona* dan *Polietilenaoksia*.

2.8. Komposit Matrik Polimer

Komposit matrik polimer adalah komposit yang tersusun dari polimer (resin) dan dikombinasikan dengan serat sebagai penguatnya. Komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composite* – PMC) memiliki keuntungan yaitu lebih ringan, *stiffnes* spesifik tinggi dan *strength* spesifik tinggi. Munif (2016) menjelaskan polimer *polyester* memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a) Polyester memiliki ketahanan panas kira-kira 110-140°C.
- b) Jika dibandingkan dengan resin termoset lainnya, suhu deformasi termal *polyester* lebih rendah, karena *polyester* banyak mengandung monomer stiren.
- c) Dalam larutan stiren, *polyester* mudah mengembang.
- d) Lemah terhadap alkali, tetapi relatif tahan terhadap asam kecuali asam pengoksid.
- e) Tahan terhadap cuaca, khususnya terhadap kelembaban dan sinar *Ultraviolet*.

Menurut Putradi G.I. (2011) dalam penelitian komposit menggunakan *polyester* dengan tipe *Yukalac 157 BQTN-EX* mudah didapat karena banyak dijual di toko – toko kimia dan harganya relative murah. Spesifikasi resin *Yukalac BQTN-EX 157* ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi UPR Yukalac BQTN-EX 157 (Putradi G.I, 2011)

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat Jenis	gr/cm ³	1.215	25°C
Kekerasan	-	40	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	°C	70	-
Penyerapan air	%	0.188	1 Hari
(suhu ruangan)	%	0.446	7 Hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9.4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm ²	300	-
Daya Rentang	Kg/mm ²	5.5	-
Modulus Rentang	Kg/mm ²	300	-
Elongasi	%	2.1	-

2.9. Lignin

Lignin merupakan salah satu komponen penyusun tanaman. Lignin terdapat pada batang, berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya, sehingga suatu pohon bisa berdiri tegak. Lignin adalah *polimer* yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit *fenilpropan*. Walaupun tersusun atas karbon, hydrogen dan oksigen, lignin bukanlah suatu karbohidrat dan bahkan tidak ada hubungannya dengan golongan senyawa tersebut. Sebaliknya, lignin pada dasarnya adalah suatu fenol. Lignin sangat stabil dan sukar dipisahkan dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam karenanya susunan lignin didalam tumbuhan tidak menentu (Setiawan, 2017).

Lignin adalah polimer alam yang terdapat dalam tumbuhan. Lignin memiliki struktur yang beranekaragam tergantung dari jenis tanamannya. Umumnya lignin merupakan senyawa polimer tiga dimensi yang terdiri dari unit fenil propana yang diikat dengan gugus C-O-C dan C-C. Sumber utama lignin adalah tanaman kayu atau non kayu yang berfungsi sebagai pelindung dan pemberi kekuatan pada tanaman sehingga mampu menahan tekanan mekanis. Lignin memiliki banyak manfaat sehingga berpotensi besar jika diaplikasikan dalam berbagai industri. Lignin dapat digunakan sebagai bahan pengisi karet,

sebagai bahan baku vanilin, bahan perekat, disulfonasi menjadi lignosulfonat dan sebagainya (Lubis, 2007).

Lignin berada di dalam dinding sel dan terdapat diantara sel - sel. Lignin berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel bersama-sama. Dalam dinding sel, lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berguna untuk memberi ketegaran pada sel. Lignin juga berpengaruh dalam memperkecil perubahan dimensi sehubungan dengan perubahan kandungan air kayu dan juga dikatakan bahwa lignin mempertinggi sifat racun kayu tahan terhadap serangan cendawan dan serangga. Keterangan yang diberikan oleh lignin merupakan factor penentu sifat-sifat kayu. Lignin bersifat termoplastik artinya lignin akan menjadi lunak dan dapat dibentuk pada suhu yang lebih tinggi dan keras kembali apabila menjadi dingin (*reversible*). Sifat termoplastik lignin tersebut menjadi pedoman pembuatan papan keras (*hardboard*) dan lain-lain pada produk kayu yang dimampatkan (Setiawan, 2017).

2.10. Perlakuan NaOH

Natrium hidroksida (NaOH) adalah larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Berdasarkan teori *Arrhenius* basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH⁻ dan ion positif. Larutan basa mempunyai rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin (seperti sabun). Sifat licin terhadap kulit itu dinamakan sifat kaustik basa. Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk serpihan, pelet, butiran ataupun larutan jenuh 50%, bersifat lembab cair, secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas, sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan serta larut dalam etanol dan methanol (Setiawan, 2017).

Menurut Witono dkk, (2013) serat alam yang digunakan sebagai penguat pada komposit harus dilakukan perlakuan kimia untuk meningkatkan ketangguhan serat alam tersebut. Metode perlakuan serat atau perlakuan kimia tertentu ini berfungsi untuk meningkatkan kekakuan, kekuatan, dan ikatan serat.

Menurut Amin M dan Samsudi R (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Serat Rambut Manusia” menjelaskan bahwa ada pengaruh lamanya waktu perendaman serat rambut manusia di dalam larutan 5% NaOH yaitu meningkatnya nilai tegangan tarik. Hasil penelitian menunjukkan nilai tegangan tarik optimum yaitu pada perendaman serat rambut selama 60 menit dengan nilai 28.862 Mpa. Serat rambut manusia perlu dilakukan perlakuan alkali NaOH dengan tujuan untuk meningkatkan gaya ikatan serat dengan matrik. Komposit dengan serat yang tidak melalui perlakuan alkali menunjukkan *mechanical bonding* yang rendah, hal ini terlihat dari serat yang tercabut keluar. Sedangkan serat dengan perlakuan alkali selama 60 menit menunjukkan patahan *splitting in multiple area* yang berarti komposit memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Lamanya waktu perendaman serat kedalam larutan NaOH sangat berpengaruh pada tingkatan kekuatan *fracture* pada spesimen, karena semakin lama waktu yang digunakan dalam perendaman larutan NaOH justru akan membuat serat menjadi rapuh dan rusak.

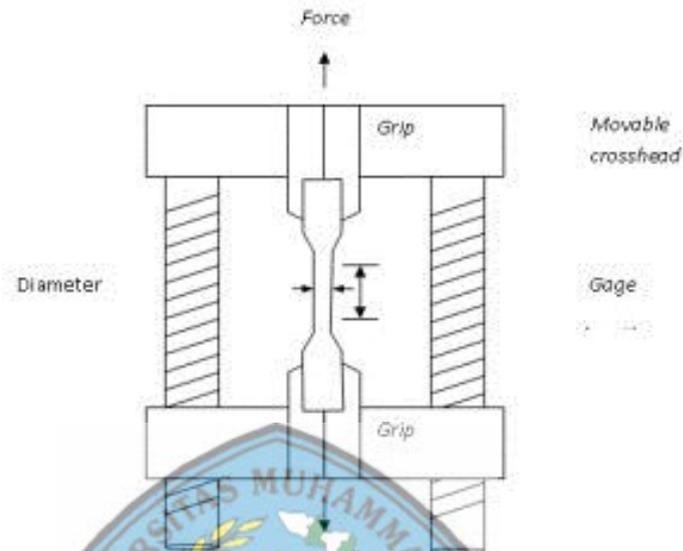
Wijoyo dkk., (2011) mengemukakan dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui optimasi kekuatan tarik komposit berpenguat serat nanas bahwa hasil penelitian pada komposit serat nanas (*Ananas comosus L. Merr*), spesimen uji tarik serat tunggal dibuat berdasarkan standart JIS K-7601 adalah menunjukkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 1058,660 MPa pada perlakuan perendaman larutan alkali 30% selama 2 jam. Hasil pengamatan penampang patahan menunjukkan fenomena patahan fiber pull-out (tercabut) yang berarti dapat direkomendasikan sebagai bahan komposit serat alam.

2.11. Pengujian Mekanik

2.11.1 Pengujian Tarik

Uji tarik merupakan suatu cara atau metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (Askeland, 1985). Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik sangat penting untuk desain produk dan rekayasa teknik karena menghasilkan data

kekuatan material. Pengujian tarik berfungsi untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Skema pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 2.12.



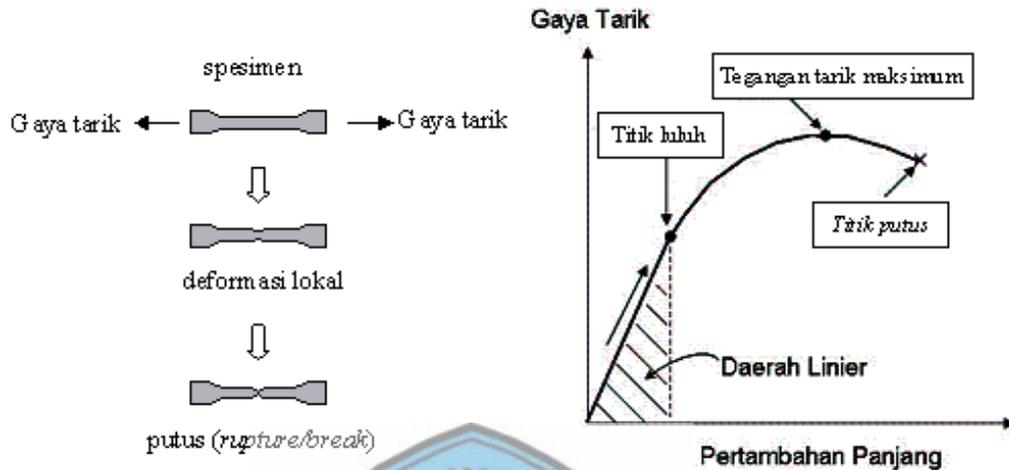
Gambar 2.12 Skema Pengujian Tarik

<https://sersasih.files.wordpress.com/2011/07/untitled.jpg>

Kekuatan tarik merupakan tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan atau material ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik merupakan kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength*) adalah salah satu sifat penting suatu bahan. Kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik disebut dengan kekuatan tarik. Hal ini dapat diukur dari beban atau gaya maksimum dibagi dengan luas penampang bahan uji dan memiliki satuan Mega Pascal (MPa), N/mm^2 , psi (Supardi, 1994).

Metode pengujian ini dirancang untuk mendapatkan data properti tarik untuk control dan spesifikasi bahan plastik. Data berfungsi untuk karakterisasi kualitatif dan untuk penelitian dan pengembangan. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui gambaran – gambaran tentang sifat dan keadaan dari suatu material atau bahan. Pengujian tarik dilakukan dengan menambah beban secara perlahan – lahan sehingga akan terjadi penambahan panjang yang sebanding

dengan gaya yang bekerja, kesebandingan ini terus memanjang sampai titik *proportionality limit*. Hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kurva Uji Tarik dan Skema Spesimen

<http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam/>

Pertambahan panjang ini akan terus berlangsung hingga mencapai titik maksimum ketahanan benda uji, kemudian benda uji akan mendapatkan sifat – sifat mekanik diantaranya:

1. Sifat mekanik di daerah elastis
 - a) Kekuatan elastisitas merupakan kemampuan batang dalam menerima beban atau tegangan tanpa berakibat derfomasi plastis (perubahan bentuk yang permanen).
 - b) Kekakuan (*Stiffnes*) merupakan sifat suatu batang yang memiliki kekakuan tinggi bila mendapat beban maka akan mengalami derfomasi.
2. Sifat mekanik di daerah plastis
 - a) Kekauan Tarik (*Tensile Stength*) merupakan kemampuan untuk menerima beban kekuatan tarik maksimum ditunjukkan sebagai tegangan maksimum.

- b) Keuletan (*Ductility*) merupakan kemampuan untuk deformasi tanpa terjadi patahan, besarnya tegangan dapat diukur setelah batang uji putus, ditunjukkan dalam bentuk garik elastis pada grafik tegangan dan regangan.
- c) Ketangguhan (*Toughnees*) merupakan kemampuan untuk menyerap energi tanpa mengakibatkan derfomasi, dapat diukur dengan besarnya energi yang ddibutuhkan untuk mematahkan benda uji, ketangguhan dinyatakan dengan modulus ketangguhan yaitu banyaknya energi yang dibutuhkan untuk memutuskan benda uji, ditunjukkan sebagai keseluruhan luasan dibawah kurva tegangan dan regangan.

Hitung persen elongasi pada saat titik luluh, apabila spesimen memberikan hasil beban saat luluh yang lebih besar dari pada beban putus. Jika tidak, hitung persen perpanjangan pada putus. Lakukan ini dengan membaca ekstensi pada beban yang berlaku tercapai. Bagi elongasi yang tercapai dengan panjang gage asli dan kalikan dengan 100. Catat persen perpanjangan saat titik luluh atau persen perpanjangan putus dengan dua angka signifikan. Kekuatan tarik komposit dipengaruhi beberapa hal antara lain yaitu:

- 1) Temperatur

Jika temperatur naik maka kekuatan tariknya akan turun.

- 2) Kelembaban

Pengaruh kelembaban dapat mengakibatkan bertambahnya *absorbi* air, akibatnya akan menaikkan regangan patah. Sedangkan tegangan patah dan modulus elastisitasnya menurun.

- 3) Laju Tegangan

Jika laju tegangan kecil, maka perpanjangan bertambah dan mengakibatkan kurva tegangan-regangan menjadi landai, modulus elastisitasnya rendah. Sedangkan jika laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat, tetapi regangannya mengecil. Untuk mengetahui besarnya tegangan dapat dihitung dengan persamaan 2.1:

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

Keterangan:

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya (N)

A₀ = Luas penampang patahan (mm²)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibanding dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis proporsional pada grafik tegangan regangan. Nilai regangan dapat ditentukan dengan persamaan 2.2

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

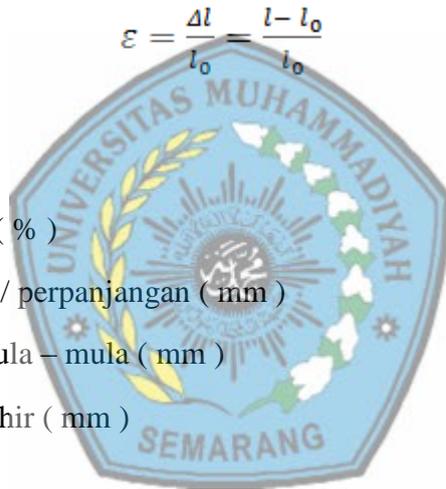
Keterangan :

ε = Regangan (%)

Δl = Deformasi / perpanjangan (mm)

l_0 = Panjang mula – mula (mm)

l = Panjang akhir (mm)



Besarnya modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan 2.3 :

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

Keterangan :

E = Modulus elastisitas (N/mm²)

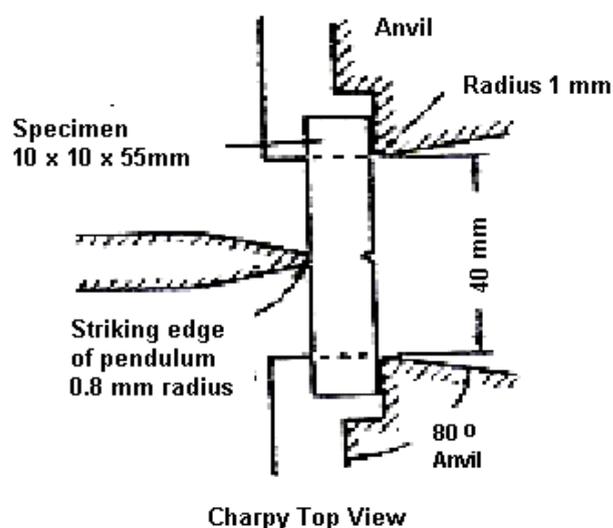
σ = Tegangan (N/mm²)

ε = Regangan (%)

2.11.2 Pengujian Impact

Uji impact merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan suatu spesimen bila diberikan beban secara tiba - tiba melalui tumbukan. Ketangguhan merupakan ukuran suatu energi yang dibutuhkan untuk merusak atau mematahkan suatu bahan yang diukur dari luas daerah dibawah kurva tegangan - regangan. Suatu bahan bisa saja memiliki kekuatan tarik yang tinggi namun tidak memenuhi syarat untuk kondisi pembebanan kejut. Suatu paduan memiliki parameter ketangguhan terhadap perpatahan yang diartikan sebagai kombinasi tegangan kritis dan panjang retak. Prinsip pengujian impact ini yaitu menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban mempunyai energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum akan diserap sebagian oleh spesimen hingga specimen tersebut patah. (<http://teknikmesin.org/pengertian-pengujian-impak/>)

Pengujian *Impact* bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap oleh suatu material sampai material tersebut patah atau rusak. Metode pengujian *impact* terdiri dari dua teknik yaitu *impact charpy* dan izod. Skema pengujian *impact charpy* ditunjukkan pada gambar 2.14.

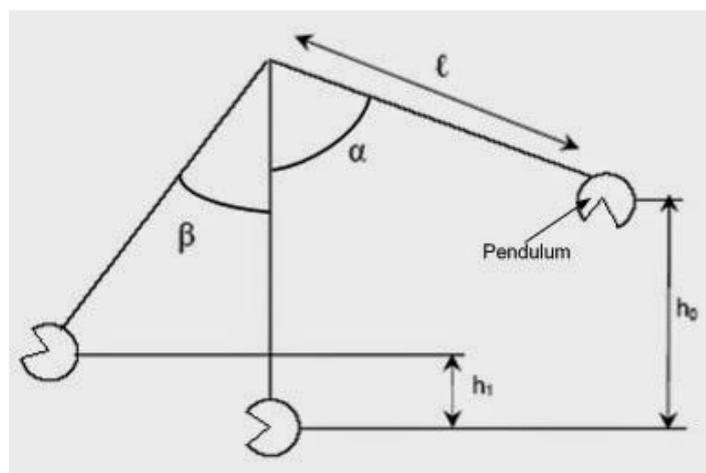


Gambar 2.14 Skema Pengujian Impact

(<http://myamieprep.blogspot.com/2011/03/charpy-and-izod-tests.html>)

Pada mesin pengujian *impact charpy*, pengujian masih menggunakan (*notch toughness*) atau disebut juga sebagai takik untuk pengukuran energi *impact*. Spesimen *charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takik V yang dibuat melalui proses permesinan. Pada pengujian *impact charpy*, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan Joule dan dibaca langsung pada skala (*deal*) sesuai petunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin pengujian (Yuwono, 2009).

Spesimen diletakan pada alat pencekam yang berada pada posisi dasar alat uji *impact* saat proses dimana pisau pendulum yang menghantam benda spesimen dan mematahkan atau merusak spesimen takik yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk pukulan *impact* dengan kecepatan tinggi. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.15 palu pendulum akan terus berayun hingga yang paling tertinggi maksimum " h_0 ", yang rendah dari pada " h_1 ". Energi yang diserap dihitung dari perbedaan h_0 dan h_1 ($mgh_0 - mgh_1$) adalah ukuran dari *impact*. Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertical sebelum dibenturkan disebut α dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertical setelah membentur specimen disebut β , panjang lengan ayunan adalah ℓ dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka kekuatan impak benda uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.



Gambar 2.15 Skema Perhitungan Energi Impact

(<http://teknikdesaindanmanufaktur.blogspot.com/2014/10/laporan-uji-bahan-impact-test.html>)

$$E \text{ serap} = \text{Energi awal} - \text{Energi yang tersisa} \quad (2.4)$$

$$m.g.h_0 - m.g.h_1$$

$$= m.g (\ell.\cos \beta) - (\ell.\cos \alpha)$$

$$E \text{ serap} = m.g. \ell (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana :

E serap = Energi serap (Joule)

m = Berat pendulum (Kg)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

ℓ = Panjang lengan (m)

α = Sudut pendulum sebelum ayunan

β = Sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

