

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut penelitian Khoirul Huda (2016) melakukan pengujian tarik dan impak dengan serat berpenguat fiberglass. Hasil pengujian tarik pada spesimen uji komposit 3 lapis fiberglass wr 200 dan acak. Untuk spesimen 1 diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 36,45 MPa, untuk spesimen 2 memiliki nilai sebesar 56,54 MPa, untuk spesimen 3 memiliki nilai sebesar 53,41 MPa, dan untuk spesimen 4 memiliki nilai sebesar 54,68 MPa. Sementara untuk Hasil pengujian impak pada spesimen uji komposit 3 lapis serat anyam dan acak. Untuk spesimen 1 diperoleh nilai kekuatan impak sebesar 0,030 Joule/mm², untuk spesimen 2 memiliki nilai sebesar 0,050 Joule/mm², untuk spesimen 3 memiliki nilai sebesar 0,060 Joule/mm², dan untuk spesimen 4 memiliki nilai sebesar 0,053 Joule/mm².

Menurut penelitian Yosep Dwi Nugroho (2016) melakukan pengujian tarik komposit dengan penguat serat glass acak dengan variasi lapisan yaitu: 2 lapis, 4 lapis, dan 5 lapis. Hasil pada pengujian Tarik pada serat glass 2 lapis kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 40,47 MPa.

Menurut penelitian Feriawan Yudhanto, dkk (2016) melakukan pengujian pada serat fiberglass woven roving 3 lapis kekuatan tertinggi yang dihasilkan oleh serat fiberglass yaitu 133Mpa.

Menurut penelitian Rahmat Firman Septiyanto, dkk (2016) melakukan perbandingan serat jute dan serat fiberglass dengan menggunakan masing-masing serat 3 lapis serat jute dan 3 lapis serat fiberglass, kekuatan tarik serat fiberglass sebesar 123,77 Mpa sedangkan serat jute sebesar 45,961 Mpa.

Menurut penelitian Wendy Triadji Nugroho, 2015 melakukan pengujian dengan menggunakan serat tiga macam pola WR 400, WR 200, dan serabut. kekuatan tarik dari bahan fiber pola WR 200 di peroleh data nilai kekuatan tertinggi untuk bahan fiber berpolah serat WR 200 di peroleh saat pengujian ke 3 sebesar 106 N sedangkan nilai terendah didapat pada pengujian ke 4 dengan nilai mencapai sebesar 41 Newton.

2.2 Komposit

Komposit dalam pengertian yaitu bahan yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda. Kata *Composite* berasal dari kata kerja “*to compose*” yang artinya menggabung atau menyusun. Secara ringkasnya Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda (Muhajir, 2016). Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Defnisi lain menurut Matthews, dkk, (1993) komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua kombinasi atau lebih material pembentuk melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanis dari masing-masing material pembentuknya berbeda, sehingga membuat leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang diinginkan dengan cara mengatur komposisi pada material pembentuknya (Saputra, 2016).

Material komposit terdiri dari dua penyusun dalam pembuatan suatu material komposit (Basyarahil, 2017) yaitu:

1. Penguat

Penguat adalah material yang ditempatkan di dalam matriks pada komposit dan harus memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dari matriksnya. Penguat tidak selalu berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit dan memberikan efek penguatan, tetapi juga digunakan untuk mengubah sifat-sifat fisik seperti sifat tahan aus, keterhantaran termal dll. Serat-serat penguat dapat dibuat dari logam, keramik, dan polimer yang diubah menjadi serat yang disebut kevlar atau serat grafit yang disebut dengan serat karbon. Serat yang ditanam dalam matriks akan meningkatkan modulus matriks. Ikatan yang kuat sepanjang serat memberikan modulus yang sangat tinggi.

2. Matriks

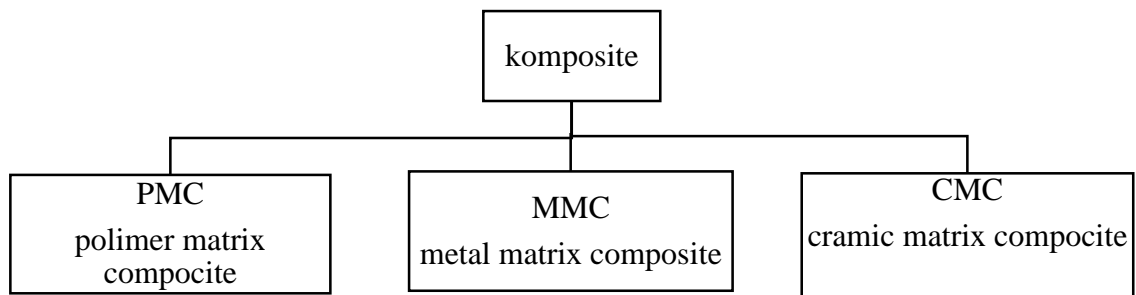
Matriks adalah fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat secara bersamaan. Karakteristik yang

dimiliki matriks umumnya adalah ulet, serta memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah dibanding seratnya. Matriks ini juga mempunyai fungsi yaitu:

- a. Matriks melindungi lapisan serat dari kerusakan mekanik, misalnya korosi dan juga dari kondisi lingkungan.
- b. Matriks mengikat serat, menjaga agar tetap sejajar dengan arah tegangan. Beban yang diberikan terhadap komposit akan didistribusikan ke serat, memungkinkan komposit untuk menerima tekanan, lentur, maupun gaya gesek. Kemampuan komposit untuk menerima berbagai beban tergantung pada matriks sebagai media penransfer beban, dan juga efisiensi dari transfer beban juga berkaitan dengan kualitas dari ikatan antara matriks dan fiber.
- c. Matriks memiliki beberapa sifat seperti kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik.

2.3 Klarifikasi Komposit

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat diklasifikasikan seperti pada gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Klarifikasi komposit berdasarkan jenis matrik (Basyarahil, 2017).

a. Polymer Matrix Composite (PMC)

Komposit jenis ini menggunakan polimer sebagai matriksnya, dengan menggunakan serat sebagai penguatnya.

b. Metal Matrix Composite (MMC)

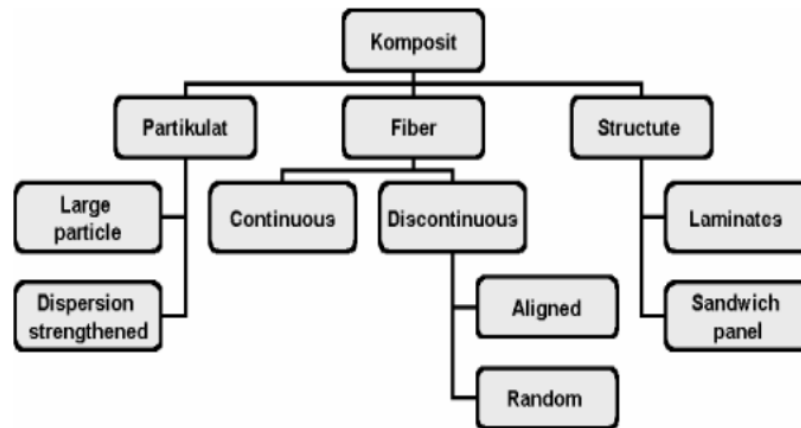
Komposit jenis ini menggunakan logam yang ulet sebagai matriksnya. Material ini dimanfaatkan pada temperatur yang lebih tinggi. Beberapa keuntungannya dibanding PMC yaitu temperatur operasinya yang lebih tinggi dan tidak mudah terbakar.

c. Ceramic Matrix Composite (CMC)

Komposit jenis ini menggunakan keramik sebagai matriksnya. Secara spesifik tahan terhadap oksidasi dan juga kerusakan pada temperatur tinggi. Jenis komposit ini sangat cocok untuk digunakan pada temperatur tinggi dan juga untuk aplikasi yang mengalami tekanan berat, seperti komponen mobil dan juga turbin gas.

Selain itu, komposit juga dapat dibedakan berdasarkan jenis penguatnya pada

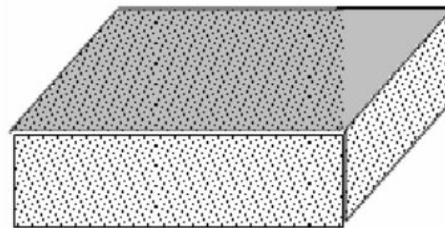
Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Klarifikasi komposit berdasarkan jenis penguat (Basyarahil, 2017).

a. *Particulate Composite* (komposit partikel)

Menggunakan penguat dalam bentuk partikel. Peran dalam komposit partikel adalah untuk membagi beban agar tersebar merata dalam material dan menghambat terjadinya deformasi plastic matrik di sela-sela partikel.



Gambar 2.3 Particulate Composite (huda, 2016)

b. *Fiber Komposite* (komposit serat)

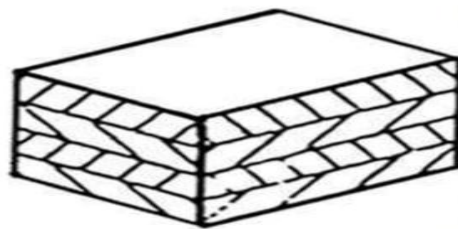
Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi atau rendahnya kekuatan dari komposit sangat bergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang diterima pada komposit mulanya diterima dahulu oleh matrik kemudian akan di teruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban yang diterima sampai mencapai beban maksimum. oleh karenanya serat harus memiliki tegang Tarik dan modulus elastis yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

c. *Struktural Composite* (struktur komposit)

Komposit jenis ini biasanya terdiri dari material homogen dimana sifatnya tak hanya bergantung pada sebagian besar materialnya saja, namun juga bergantung pada desain geometri dari struktur elemen. pada jenis ini dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

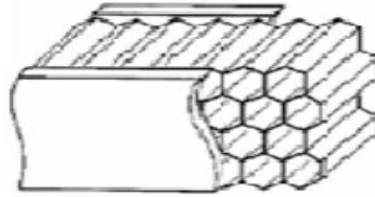
1. *Laminar Composite*

Laminar composites Terdiri dari *two-dimensional sheet* yang memiliki arah *high-strength*. Lapisan ditumpuk dan kemudian ditempel secara bersamaan sehingga orientasi arah *high-strength* nya bervariasi.



Gambar 2.4 Laminar Composites (huda, 2016)

2. *Sandwich Panel*



Gambar 2.5 Sandwich Panels (Basyarahil, 2017)

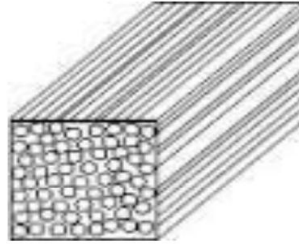
Sandwich panel terdiri dari 2 lembar luar yang kuat, atau wajah, dipisahkan oleh lapisan bahan yang kurang padat, atau inti, yang memiliki kekakuan yang lebih rendah dan kekuatan yang lebih rendah. Bagian wajah menanggung sebagian besar tekanan dan juga *bending stress* yang melintang (Basyarahil, 2017).

2.4 Tipe Komposit Serat

Untuk memperoleh komposit yang kuat harus dapat menempatkan serat dengan benar. Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu :

1. *Continuous Fibre Composite*

Mempunyai serat panjang dan lurus, membentuk laminar diantara matriknya. Jenis komposit ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.



Gambar 2.6 Continuous Fiber Composite (huda, 2016)

2. *Woven Fibre Composite*

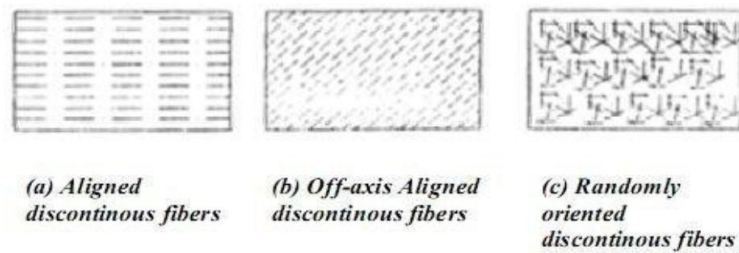
Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat serat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah.

3. *Discontinuous Fibre Composite*

Discontinuous Fibre Composite adalah tipe komposit dengan serat pendek.

Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3 :

- a. Aligned discontinuous fiber
- b. Off-axis aligned discontinuous fiber
- c. Randomly oriented discontinuous fiber



Gambar 2.7 Tipe Discontinuous fiber (huda, 2016)

4. *Hybrid Fibre Composite*

Hybrid Fibre Composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

2.5 Metode Pembuatan Komposit

Terdapat beberapa macam metode pembuatan komposit diantaranya yaitu *hand lay up*, *spray up*, *press mould*, *vaccum infusion* dll, dari semua metode pembuatan komposit tersebut terdapat kelebihan pada masing-masing metode.

Dalam pembuatan sudu kincir angin savonius ini metode yang digunakan yaitu *hand lay up* penggunaan metode ini dikarenakan harga yang lebih murah, membutuhkan peralatan yang lebih sedikit, mengatur ketebalan, serta mudah mengatur komposisi serat.

2.6 Resin

Resin adalah bahan yang sering dan sudah biasa dipakai sebagai matrik pengikat dalam pembuatan suatu komposit, karena itu harga resin relatif lebih murah. Dan didalam proses pengerjaan dengan menggunakan bahan resin ini termasuk mudah, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan pada saat proses pengeringan. Sementara proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu kamar atau dapat dilakukan dengan sinar ultra violet. Selain dapat sebagai matrik pengikat serat yang bagus resin juga memiliki sifat karakteristik sebagai berikut (Nugroho, 2016) :

a. Tahan Terhadap Panas

Resin ini mempunyai berbagai variasi tergantung pada penggunaannya. Bahan resin dapat mengalami sifat gel (*gel time*) di suhu 25°C dan biasa bereaksi di suhu 80°C. Dan bahan dapat dipertahankan sampai suhu 70°C.

b. Tahan terhadap bahan kimia

Bahan resin memiliki sifat tahan terhadap pengaruh korosi bahan-bahan kimia. Kalau dibandingkan dengan bahan yang terbuat dari logam seperti baja dan besi cair, resin memiliki keunggulan yaitu tahan terhadap air laut, *hydrochloric acid*.

c. Bahan komposit memiliki kemampuan dapat menahan beban kejut dan memiliki sifat tahan terhadap korosi. Resin biasa mengalami proses pengeringan dengan bantuan peroksida organik (*katalis*) pada suhu kamar.

2.7 Katalis

Katalis merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada matrik resin yang bertujuan untuk proses pembekuan matrik. Katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan resin dan serat dalam komposit. Waktu yang dibutuhkan resin untuk berubah menjadi plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan. Semakin banyak katalis yang ditambahkan maka makin cepat pula proses curingnya. Tetapi apabila pemberian katalis berlebihan maka akan menghasilkan material yang getas ataupun resin bisa terbakar (Sari & Sinarep , 2011).

2.8 Fiber (Serat)

Serat adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan yang utuh. Serat memiliki berbagai bentuk penampang berbentuk bulat, segitiga, dan heksagonal serat sendiri terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintesis. Serat yang disusun secara teratur akan menghasilkan sifat mekanik yang baik, dikarenakan gaya yang bekerja pada komposit akan searah (memiliki ikatan antara matrik dengan serat yang cukup baik), ini berpengaruh pada penyebaran gaya yang bekerja pada komposit (Saputra, 2016).

2.8.1 Serat Fiberglass

Fiberglass (serat kaca) merupakan bahan yang tidak muda terbakar Komposisi serat fiberglass sendiri berupa sebagian besar yaitu SiO₂ (silica) dan sisa yang lainnya berupa oksida Aluminium (Al), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na), besi

(Fe), boron (B) dan kalium (K). Serat fiberglass sendiri merupakan bahan yang banyak dipakai dalam pembuatan komposit polimer, dalam penelitian ini serat fiberglass yang digunakan yaitu serat acak dan *woven roving* 200gr.



Gambar 2.8 Serat acak dan serat *woven roving* 200gr

Serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain (huda 2016) :

1. Serat E-glass

Serat E-glass merupakan salah satu jenis serat yang dikembangkan sebagai penyekat atau bahan isolasi. Serat jenis ini memiliki kemampuan bentuk yang baik.

2. Serat C-glass

Serat C-glass merupakan jenis serat gelas yang memiliki kemampuan tahan tinggi terhadap korosi.

3. Serat S-glass

Serat S-glass merupakan jenis serat gelas yang memiliki sifat kaku yang tinggi.

Table 2.1 Sifat-sifat serat gelas (huda 2016)

No	Jenis serat		
	E-glass	C-glass	S-glass
1.	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2.	Kekuatannya tinggi	Kekuatang yang lebih rendah dari E-glass	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3.	Kekuatannya tinggi	Harga lebih mahal dari E-glass	Harga lebih mahal dari E-glass

Table 2.2 Komposit kimia senyawa serat gelas (huda 2016)

	Serat E-glass	Serat C-glass	Serat S-glass
SiO ₂	55.2	65.0	65.0
Al ₂ O ₃	8.0	4.0	25.0
CaO	18.7	14.0	-
MgO	4.6	3.0	10.0

NaO2	0.3	8.5	0.3
K2O	0.2	-	-
B2O3	7.3	5.0	-

Keterangan :

SiO₂ = Silica

K₂O = Kalium Oksida

NaO₂ = Natrium Oksida

CaO = Calsium Oksida

Al₂O₃ = Alumina

BaO = Boron Oksida

B₂O₃ = Boron Oksida

MgO = Magnesium Oksida

Fe₂O₃ = Besi Oksida

2.9 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material logam dan paduannya, komposit, keramik dan polimer. Pengujian ini sangat sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian dan studi mengenai kekuatan material.

Benda uji disiapkan khusus sesuai dengan ukuran dan bentuknya sesuai standard dan jenis material uji. Untuk bend uji dengan penampang persegi empat maka $A_0 = \text{lebar} \times \text{tebal}$, diujung benda uji dijepit pada ujung-ujungnya pada mesin uji tarik universal dengan beban aksial dikenakan pada benda uji dengan sistem pembebanan mekanis ataupun hidrolik. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan

pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami oleh benda uji. Hasil dari pengujian menunjukkan kurva tegangan-regangangan. Tegangan yang digunakan adalah tegangan maksimum dan dapat diperoleh dengan membagi beban (P) dengan luas penampang mula (A) dari benda uji.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots 2.1$$

F= merupakan gaya tarik maksimum (N) ; A₀= luas penampang mula (lebar × tebal spesimen).

Renggangangan yang digunakan adalah renggangangan linier rata-rata yang diperoleh dengan membagi perubahan panjang ukur (ΔL) dengan panjang mula (L₀) benda uji. Renggangangan dapat dihitung dengan rumus.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \text{ (dalam hasil persen)} \dots\dots\dots 2.2$$

Bentuk kurva tegangan-regangangan suatu material komposit tergantung pada jenis penyusun komposit maupun kadungan fraksi volume serat, matrik, dan void. Deformasi plastik pada komposit pada umumnya terjadi disebabkan sifat bahan yang cenderung getas. Saat material uji ditarik dalam keadaan terbebani, maka akan timbul regangan (*strain*) atau perpanjangan (*elongation*).

Informasi penting yang didapat dari kurva regangan-tegangan suatu material adalah parameter kekuatan (kekuatan tarik dan kekuatan saat luluh / *yield strength*) dan juga parameter yang dapat dilihat yaitu keliatan dari suatu material (elongation dan contraction).

Untuk material getas/rapuh/tidak liat tegangan luluh dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma_y = \frac{P(\text{offset regangan})}{A_0}, \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots 2.3$$

Untuk beberapa material logam non-ferro seperti alumunium dan juga komposit, nilai yied point sukar diteliti. Oleh karena itu, kekuatan mulurnya biasanya ditetapkan dengan metode pergeseran. Metode ini berupa penarikan garis sejajar ke garis singgung awal kurva tegangan-regangan. Garis ini dimulai dari pergeseran sembarang besarnya 0,2%. P offset regangan 0,002, artinya pada saat pembebanan ditiadakan maka benda uji akan bertambah panjang 0,2%.

Tegangan maksimum mulai terjadi deformasi plastik secara local sehingga penampang lintangnya menurun, sehingga sesaat setelah terjadinya deformasi plastik benda uji mengalami patahan pada titik patah.

Tegangan patahan (*break stress*), adalah tegangan yang diterima benda uji hingga putus (terjadi deformasi plastik). Adanya titik luluh, titik maksimum dan titik patahan dari sebuah hasil uji tarik berupa grafik tegangan-reggangan. Pada umumnya komposit

memiliki hasil dengan bentuk kurva naik tajam dan lalu putus tiba-tiba sehingga tidak menemukan adanya tegangan luluh. Karena pada komposit material cenderung bersifat plastik dan tidak dapat kembali ke bentuk semula (elastis). Standar yang digunakan adalah ASTM (*American Standard Testing Material*).

Tegangan patahan dapat ditentukan dengan membagi beban patahan dengan luas penampang benda uji mula-mula.

$$\sigma_{break} = \frac{P_{break}}{A_0}, \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots 2.4$$

Modulus elastisitas (E), merupakan ukuran kekakuan suatu material, semakin besar modulus elastisitasnya maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi akibat hasil pembebanan. Modulus elastisitas untuk material komposit sulit ditentukan karena material komposit cenderung getas/ *brittle*.

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon}, \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots 2.5$$

Beberapa istilah pada pengujian tarik :

1. Tegangan (*stress*) adalah gaya per satuan luas
2. Regangan (*strain*) adalah besaran deformasi plastik per satuan panjang
3. Kekuatan (*strength*) adalah ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan.

4. Keuletan (*ductility*) dikaitkan dengan besar rengg-an permanen sebelum perpatahan.
5. Ketangguhan (*toughness*) dikaitkan dengan jumlah energi yang diserap bahan sampai terjadi patahan.

2.10 Pengujian impak

Pengujian impak merupakan salah satu jenis uji mekanik untuk menyelidiki jumlah energi yang mampu diserap oleh bahan sampai terjadi akibat beban yang ditumbukan. Pengujian impak dapat dilakukan dengan menggunakan dengan dua metode yaitu impak *charpy* dan impak *izot*. Jenis beban impak yang diterapkan sebaiknya jenis beban kecil, karena kekuatan impak komposit juga relatif lebih rendah daripada bahan logam. Untuk pengujian impak komposit dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *metode flat impact method* (impak depan) dan *edge impact method* (impak samping). Pengujian impak dari samping akan menghasilkan kekuatan impak yang lebih rendah dibandingkan dengan pengujian impak depan. Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya energi yang diserap oleh komposit pada pengujian impak *Charpy* adalah (ASTM D5942-96) :

$$W (ENERGI_{\text{serap}}) = GR [Cos \beta - Cos \alpha] \dots \dots \dots 2.6$$

Dengan catatan G : berat pendulum dan R : lengan pendulum

Dari hasil perhitungan energi terserap tersebut diatas besarnya kekuatan impak dapat dihitung dengan persama (ASTM D 5942-96) :

$$\alpha_{iU} = \frac{W}{h \times b} \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan catatan : α_{iU} = kekuatan impact (j/mm²); W = energi yang diserap spesimen (J); h = tebal spesimen (mm); b = lebar spesimen (mm).

Hillger (1998) mengemukakan bahwa ada beberapa macam tipe kerusakan pada pegujian impact yang dapat dideteksi seperti retak, delaminasi pada *skin*, *debonding* antara *skin* dan *core* serta kerusakan didalam *core*. Luas kerusakan impact pada struktur komposit *sandwich* dipengaruhi oleh *core* lapisan material, ukuran, massa, kecepatan pendulum dan kemampuan dari material yang diujikan untuk menyerap beban kejut. Pada struktur *sandwich* dengan *core foam*, delaminasi dapat dideteksi pada area yang terkena oleh pendulum alat uji impact yang berapa diantara *skin* dan *core* (feriawan, 2017).

2.11 Kincir Angin

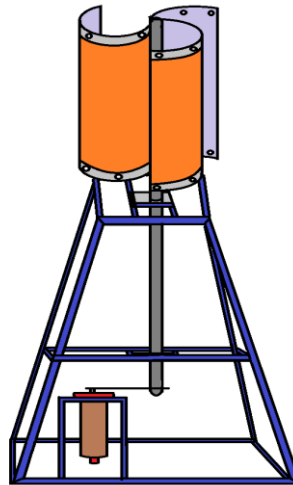
Kincir angin adalah mesin yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Dulunya kincir angin dibuat hanya untuk menyediakan kebutuhan para petani dalam melakukan pekerjaan seperti menggiling padi, aliran irigasi, dll. Dan pada masa sekarang ini kincir angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik di masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya dari alam yaitu angin.

Kincir angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Kincir angin memiliki fungsi untuk mengkonversikan energi dari energi kinetik menjadi energi mekanik dengan berupa putaran poros. Pada putaran poros tersebut dapat digunakan untuk beberapa hal seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan energi listrik.

Kincir angin dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu turbin kincir angin dengan sumbu mendatar atau *Horizontal Axis Wind Turbine* (HWAT) dan turbin angin dengan sumbu vertical atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).

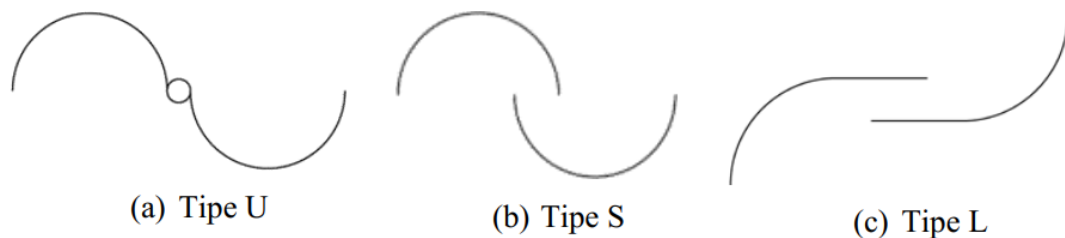
2.12 Kincir Angin Savonius

Kincir angin *savonius* merupakan kincir angina dengan jenis sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*). Kincir angin *savonius* ini dahulunya ditemukan oleh sarjana asal firlandia yaitu S.J. Savonius pada tahun 1922 dan dahulu bentuk kincir angin *savonius* berbentuk S jika dilihat dari atas. Kincir angin jenis ini bergerak lebih perlahan dibandingkan dengan kincir angin dengan sumbu *horizontal* tetapi menghasilkan torsi yang besar.



Gambar 2.9 kincir angin *savonius*

Pada bekembangannya kincir angin *savonius* pada sekarang ini lebih banyak mengalami perubahan baik itu pada bagian bentuk. Pada bentuk turbin angin *savonius* dapat dilihat pada gambar 2.18 di bawah ini



Gambar 2.10 Tipe turbin angin *savonius* (Rachmawati, 2010)

Sementara bentuk turbin yang akan digunakan didalam penelitian ini menggunakan turbin bentuk tipe U.

Beberapa kelebihan dari *Vertical Axis Wind Turbin* yaitu:

- Memiliki bentuk sudu yang sederhana.
- Kerja pada aliran turbin lebih baik.
- Memiliki torsi yang tinggi sehingga bekerja lebih baik pada angin dengan kecepatan rendah.
- Memiliki keleluasaan menempatkan dinamo.
- Tidak perlu merubah arah posisi jika angin berubah arah.
- Tidak terlalu memerlukan Menara terlalu tinggi ataupun besar.
- Memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah HAWT.

Beberapa kekurangan yang dimiliki *Vertical Axis Wind Turbin* yaitu:

- Kecepatan angin pada bagian bawah yang rendah.
- Tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang.
- Mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- Memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi HAWT.

2.13 Sudu (*Blade*)

Sudu adalah suatu penampang yang berfungsi sebagai penampung aliran udara yang dibuat untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada saat tertentu yang dimanfaatkan oleh turbin angin. Hasil dari gaya dorong tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan torsi. Besar kecil gaya angkat yang terjadi dapat berubah-ubah tergantung pada bentuk sudu dan kondisi operasinya.

Sudu dapat menghasilkan gaya dorong yang digunakan untuk membuat agar turbin angin tetap berputar, agar dapat menghasilkan gaya dorong maka sudu perlu berputar terus menerus. Bentuk dari sudu dapat menentukan hasil gaya dorong pada saat ditembak dengan suatu aliran udara (*Airfoil*). Pada rotor kincir angin dapat terdiri dari satu atau lebih sudu-sudu yang melekat pada poros turbin (pusat dari sudu) (Dharma & Masherni, 2016).