II. KAJIAN PUSTAKA

A. Serat Ijuk

Serat merupakan salah satu material rancang bangun paling tua. Jute, *flax*, dan hemp telah digunakan untuk menghasilkan produk seperti tali tambang, jaring, *cordage*, *water hose* dan *containe*r sejak dahulu kala. Serat tumbuhan dan binatang masih banyak digunakan untuk *felt*s, kertas, sikat tau kain tebal.

Serat atau *fiber* dalam bahan komposit berperan sebagai bahan utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan atau diameter serat yang mendekati kistal maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono & Diharjo K, 2000).

Selain itu serat atau *fiber* juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlah yang nantinya akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dan sebagainya. Fungsi utama dari serat adalah : (a) Sebagai pembawa beban yaitu dalam struktur komposit 70%-90% beban dibawa oleh serat. (b) Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit. (c) Memberikan insulasi kelistrikan (konduktivitas) pada komposit, tetapi ini tergantung dari serat yang digunakan.

Tabel 1. Sifat mekanik dari bebarapa jenis serat (Dieter H. Mueller)

	Cotton	Flax	Jute	Kenaf	E-glass	Ramie	Sisal
Diameter (mm)	-	11-33	200	200	5-25	40-80	50-200
Panjang (mm)	10-60	10-40	1-5	2-6	-	60-260	1-5
Kekuatan Tarik (MPa)	330-585	345-1035	393-773	930	1800	400-1050	511-635
Modulus Elastisitas (GPa)	4,5-12,6	27,6 – 45	26,5	53	69-73	61,5	9,4-15,8
Massa Jenis (gr/cm^3)	1,5-1,54	1,43-1,52	1,44-1,5	1,5	2,5	1,5-1,6	1,16-1,5
Regangan Maksimum (%)	1,0- 8,0	2,7-3,2	1,5-1,8	1,6	2,5-3	3,6-3,8	2-2,5
Spesifik Kekuatan Tarik (km)	39,2	73,8	52,5	63,2	73,4	71,4	43,2
Spesifik Kekakuan (km)	0,85	3,21	1,8	3,6	2,98	4,18	1,07

Serat sebagai penguat dalam stuktur komposit harus memenuhi persyaratan fungsional yaitu (a) modulus elastisitas yang tinggi, (b) Kekuatan patah yang tinggi, (c) Kekuatan yang seragam di antara serat, (d) Stabil selama proses produksi, (e) Diameter serat yang seragam.[Schwartz,1984].

Serat ijuk adalah serat alam yang mungkin hanya sebagian orang yang mengetahui kalau serat ini sangatlah istimewa dibandingkan serta alam lainnya. Serat berwarna hitam yang dihasilkan dari pohon aren memiliki banyak keistimewaan diantaranya : (a) Tahan lama hingga ratusan bahkan ribuan tahun lebih, yaitu ditemukannya fakta benda purbakala yang diperkirakan peninggalan abad ke 8 yang telah dipublikasikan di Koran kompas edisi Jumat 24 Juli 2009 yang berisi ditemukan pasak-pasak kayu yang lapuk tetapi tali pengikat yang terbuat dari ijuk berwarna hitam masih relatif kuat. Hal ini membuktikan serat ijuk mampu bertahan hingga ribuan tahun dan tidak mudah terurai. (b) Tahan terhadap asam dan garam air laut, dimana serat ijuk merupakan salah satu serat yang tahan terhadap asam dan garam air laut. Salah satu bentuk pengolahan dari serat ijuk adalah tali ijuk yang telah digunakan oleh nenek moyang kita untuk pengikat berbagai peralatan nelayan di laut. (c) Mencegah penembusan rayap tanah yaitu serat ijuk dari pohon aren sering digunakan sebagai bahan pembungkus pangkal kayu-kayu bangunan yang ditanam dalam tanah untuk memperlambat pelapukan kayu dan mencegah serangan rayap.[Kartini, 2002]

Gambar 1. Serat Ijuk

B. Serat Alam dan Sintesis

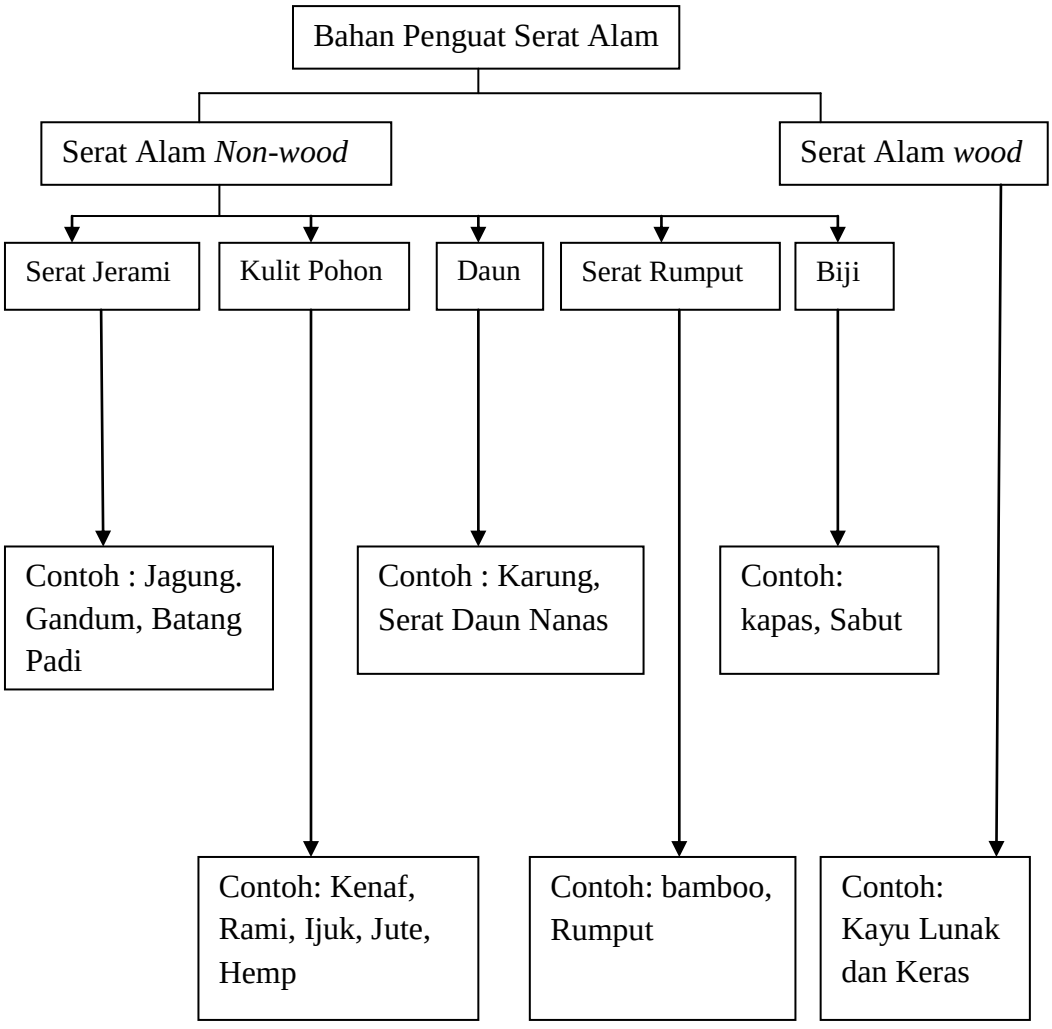
Serat alam dan sintesis banyak jenis klasifikasinya. Serat alam yang sering digunakan adalah serat pisang, kapas, wol, serat nanas, serat rami, dan serat sabut kelapa , sedangkan serat sintesis diantaranya nilon, akril, dan rayon.

Tabel 2. Klasifikasi serat/ serat Tekstil [Surdia,dkk 1999]

NO	Serat	Jenis
1.	Serat kimia atau serat buatan	Serat regenerasi
		Serat sintesis
		Serat anorganik
2.	Serat alam	Serat tumbuhan
		Serat binatang
		Serat galian atau asbes

Serat alam adalah serat yang banyak diperoleh di alam sekitar yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti serat pelepah pisang, bambu, rosella, nanas, kelapa,

ijuk, dan lain-lain. Saat ini, serat alam mulai mendapatkan perhatian serius dari para ahli material komposit karena, (a) Serat alam memiliki kekuatan spesifik yang tinggi karena serat alam memiliki masa jenis yang rendah. (b) Serat alam mudah diperoleh dan merupakan sumber daya alam yang dapat diolah kembali, harganya relatif murah, dan tidak beracun. Serat alam seperti ijuk, sabut kelapa, sisal, jerami, nanas dan lain-lain merupakan hasil alam yang banyak tumbuh di Indonesia. Skema klasifikasi jenis serat alam.



Gambar 2. Klasifikasi Jenis Serat Alam

Macam- macam jenis serat diantaranya

1. *Serat asbestos*, serat ini dibagi menjadi 2, yaitu :(a). *Crhysotile asbestos* (serat asbestos putih) mempunyai rumus kimia $3MgO.2SiO_2.H_2O$ dan merupakan mineral yang tersedia cukup banyak di alam. Serat ini mempunyai diameter minimum 0,001 m. Ditinjau dari segi kekuatannya cukup baik, tetapi serat ini jarang tersedia di pasaran umum sehingga menjadikan kurang banyak digunakan sebagai bahan tambahnya. *Crhysotile asbestos* mempunyai rumus kimia Na_2O, Fe_2O_3,$3FeO.8SiO_2.H_2O$. Serat ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi sekitar 3500 Mpa dan cukup banyak di Kanada, Afrika Selatan dan Rusia. (b) Hambatan jarang dipakainya serat ini adalah sulit didapatkan di setiap Negara sehingga harganya relatif mahal, disamping itu beberapa tahun belakangan ini banyak pendapat tentang bahaya serat ini terhadap kesehatan manusia, serat ini dianggap sebagai salah satu penyebab penyakit kanker (*karsirorganik*).

2. Serat Kaca

   Serat ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, sehingga penambahan serat kaca pada beton akan meningkatkan kuat lentur beton. Tetapi permukaan serat kaca yang licin mengakibatkan daya lekat terhadap bahan ikatnya menjadi lemah dan serat ini kurang tahan terhadap sifat alkali semen sehingga dalam jangka waktu lama serat akan rusak. Serat ini banyak digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit. Fungsi utama dari serat ini adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi

rendahnya kekuatan komposit sangat bergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada kompsit mulanya diterima oleh matriks yng diteruskan serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, serat haruslah mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi daripada matriks penyusun komposit.

Aplikasi dari serat gelas yang terkenal misalnya otomotif dan bodi kapal, pipa plastik, kotak penyimpanan, dan industry dasar. Tabel 3. Sifat mekanik Serat Gelas.

Serat	Massa Jenis (g/cm^3)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Panjang Putus
E-Glass	2.5	2000-3500	70	2.5
S-Glass	2.5	4570	86	2.8

3. Serat baja (*steel fiber*)

Serat baja mempunyai banyak kelebihan diantaranya : mempunyai kuat tarik dan modulus elastisitas yang cukup tinggi, tidak mengalami perubahan bentuk akibat pengaruh sifat alkali semen. Penambahan serat baja pada beton akan menaikkan kuat tarik, kuat lentur, dan kuat impak. Sedangkan kelemahan serat baja adalah apabila serat baja tidak terlindung dalam beton akan mudah terjadi karat (korosi), adanya kecenderungan serat baja tidak menyebar secara merata dalam adukan dan serat baja hasil produki pabrik harganya cukup mahal.

4. Serat karbon

Serat karbon mempunyai beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap lingkungan agresif, stail pada suhu yang tinggi, tahan terhadap abrasi, relatif kaku dan lebih tahan lama. Tetapi penyebaran serat karbon dalam adukan beton lebih sulit dibandingkan dengan serat jenis lain.

5.Serat *polypropylene*

Serat *polypropylene* dalam kehidupan sehari-hari dikenal sebagai tali rafia. Serat *polypropylene* mempunyai sifat tahan terhadap serangan kimia, permukannya tidak basah sehingga mencegah terjadinya penggumpalan serat selama pengadukan. Serat *polypropylene* mempunyai titik leleh 165^0 C dan mampu digunakan pada suhu lebih dari 100^0C untuk jangka waktu yang pendek.

6. Serat *polyethylene*

Serat *polyethylene* dalam kehidupan sehari-hari dikenal sebagai tali tambang plastic. Serat *polyethylene* ini hampir sama dengan serat *polyethylene* hanya bentuknya berupa serat tunggal.

7. Serat Alami

Ada bermacam-macam serat alami antara lain; abaca, sisal, jute, ramie, ijuk, serat sabut kelapa, pisang, dan lain-lain. Serat ijuk yaitu berwarna hitam dan liat yang terdapat pada bagian pangkal pelepah daun pohon aren. Pohon aren menghasilkan ijuk pada 4-5 tahun terakhir. Serat ijuk yang memuaskan diperoleh dari pohon yang sudah tua, tetapi sebelum tandan (bakal) buah muncul (sekitar umur 4 tahun), karena saat tandan bakal buah muncul ijuk menjadi kecil-kecil dan jelek. [Evi,2008]

Adapun beberapa perbedaan antara serat alam dan serat sintesis, yaitu (a).Kehomogenan dimana serat sintesis memiliki sifat yang lebih homogen dibandingkan dengan serat alam, hal ini dikarenakan serat sintesis dibuat dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya, sedangkan serat alam memang sudah tersedia di alam yang mudah diperoleh di alam. (b). Pengaruh terhadap lingkungan, dimana serat alam lebih bersifat ramah terhadap lingkungan dibandingkan serat sintesis. Hal ini dikarenakan serat alam berasal dari alam sehingga mudah terurai. Pada umumnya serat sintesis sering digunakan masyarakat karena serat sintesis memiliki ukuran kekuatan tertentu dan lebih homogen sehingga mudah untuk diaplikasikan untuk suatu material.

(c). Kekuatan, yaitu pada umumnya serat sintesis mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan serat alam. Hal ini dikarenakan serat sintesis mempunyai spesifikasi kekuatan tertentu setelah dilakukan proses produksi, sedangkan serat alam memiliki kekuatan yang hanya tergantung dari yang tersedia di alam sehingga mampu menyesuaikan untuk menggunakannya pada keperluan tertentu. (d). Kemampuan untuk diolah atau diproses dimana Serat sintesis memiliki kemampuan untuk diproses yang lebih tinggi dibandingkan serat alam, karena serat sintesis telah diproduksi oleh pabrik atau industri sehingga dirancang agar dapat diproses lagi untuk keperluan pembuatan material tertentu. (e) Harga, yaitu Serat sintesis memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan serat alam., karena serat alam mudah diperoleh dan tersedia di alam sedangkan serat sintesis harus melewati proses produksi yang memerlukan biaya.[anonym, 2009]

C. Perlakuan Serat

Perlakuan serat merupakan perlakuan yang diberikan terhadap serat untuk meningkatkan ikatan antara *fiber* dan matriks sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik komposit seperti kekuatan tarik, kekuatan bending, dan modulus elastik. Adapun perlakuan serat, diantaranya

1. Perlakuan serat sintesis
   a. *Glass fiber* (serat kaca) yaitu dengan tujuan meningkatkan kekuatan fiber dan matriks melalui ikatan fisik dan kimia untuk melindungi permukaan serat dari kelembapan dan fluida reaktif. Salah satu contoh perlakuan serat gelas adalah perlakuan permukaan serat dengan menggunakan silane dalam larutan, dimana silane dilarutkan ke dalam air, dan terjadi hidrolisis :

      $$R' - Si\ (OR)_3 + 3\ H2O\ R'\text{-}\ Si\ (OH)_3 + 3HOR$$

      Sebelum dimasukkan ke dalam lautan silane, permukaan serat harus dibersihkan dan dipanaskan sampai temperature 340^0 C selama 15-20 jam.
   b. *Carbon fiber,* yaitu bertujuan untuk meningkatkan ikatan dengan matriks serta meningkatkan *surface* area dengan menciptakan *micropore* (lubang-lubang kecil) sehingga jumlah *contact point* dari ikatan *fiber*-matriks lebih banyak. Perlakuan serat karbon terdiri atas 2 tipe, yaitu (a). Oksidatif, menghasilkan kelompok fungsional asam seperti *carboxylic, phenolic* dan *hydroxylic* pada permukaan serat kabon. Dengan menggunakan oksigen atau yang mengandung gas dengan melalui fase oksidasi yang dipanaskan sampai temperature

250^0C, (b). Non Oksidatif dimana serat dilapisi dengan polimer organic yang memiliki kemampuan bereaksi dengan matriks resin. Contoh polimer *coating* adalah *stryrene-maleicanhydride copolymer* dan *polyamides*, dan lain-lain.

c. *Kevlar Fiber* yaitu serat polimer yang sangat kuat dan dapat meningktkan *toughness* dari material komposit. Kevlar dapat digunakan sebagai serat dari produk komposit untuk struktur ringan yang handal, misalnya bagian kritis dari struktur pesawat terbang. Sebenarnya, material komposit bukanlah pengguaan asli dari Kevlar. Kevlar dikembangkan untuk pengganti baja pada ban radial dan untuk membuat rompi, helm antipeluru. Perlakuan ini bertujuan meningkatkan ikatan *fiber*-matriks. Terdapat 2 metode untuk meningkatkan ikatan Kevlar 49 dengan epoxy : (a). *filament surface oxidation* atau *plasma etching* dengan mengurangi kekuatan serat tetapi cenderung meningkatkan kekuatan aksial komposit yang tergantung pada kekuatan *interfacial fiber*-matriks. (b) *Formation of reactive groups* seperti amina (NH^2) pada permukaan serat dimana membentuk ikatan kovalen dengan *epoxide* group pada bidang permukaan.

2. Perlakuan serat alam, yaitu bertujuan untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matriks dengan cara menghilangkan lapisan pada serat alam yaitu berupa selulosa, hemilulosa, dan lignin.

a. Serat kelapa sawit, dimana diberikan perlakuan alkali yang direndam dengan NaOH selama 2 jam memiliki kekuatan tarik paling tinggi dibandingkan perendaman NaOH 0, 4, 6, dan 8 jam.
b. Serat rami, yaitu (a) Perlakuan perendaman serat. Serat rami yang masih mengandung lignin dan kotoran tersebut dibersihkan dengan menggunakan air. Serat yang sudah bersih direndam di dalam larutan alkali 5% NaOH dengan variasi waktu perendaman 0,2,4, dan 6 jam. Selanjutnya serat dinetralkan dari efek NaOH dengan perendaman menggunakan air bersih. Setelah pH rendaman netral pH= 7, serat ditiriskan hingga kering tanpa sinar matahari.

   Bahan matrik yang digunakan adalah *unsurated polyester (*UPRS) 157 BQTN. Hardener yang dipakai adalah MEKPO *(metal etil keton peroksida*) dengan kadar 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan untuk fraksi volume serat sekitar 35%. (b). Pengaruh variasi volume serat. Jumlah masing-masing sampel uji sebanyak 6 buah dengan fraksi volume serat (10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%). Serat rami yang digunakan berupa serat kontinyu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak volume serat maka kekuatan tarik dan *modulus elastic* komposit semakin tinggi. Perbandingan antara komposit yang ditarik secara longitudional memiliki kekuatan tarik dan *modulus elastic* yang lebih tinggi dibandingkan secara transversal.
c. Serat pandan dan batang pisang, dimana serat batang pisang dan pandan dicelupkan pada larutan *polipropilena* dengan kosentrasi

10%, 20%, dan 30% berat selama 30 menit. Lalu dibiarkan kering dalam udara terbuka, setelah kering dimasukkan ke dalam *hot press* pada temperature 170^0C. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit serat pandan lebih tinggi dibanding komposit serat batang pisang. [anonym .2011]

D. Metode Pengekstrakan Serat Ijuk

Pada umunya metode pengekstrakan serat ijuk dari pohon aren hanya dilakukan secara manual yaitu ijuk dihasilkan dari pohon aren yang telah berumur lebih dari 4-5 tahun sampai dengan tongkol-tongkol bunganya keluar. Pohon yang masih muda produksi ijuknya kecil. Demikian pula pohon yang mulai berbunga kualitas dan hasil ijuknya tidak baik.

Tahap awal pengekstrakannya yaitu dengan memotong pangkal pelepah-pelepah daun, kemudian ijuk yang bentuknya berupa lempengan anyaman ijuk itu lepas dengan menggunakan parang dari tempat ijuk itu menempel. Lempengan- lempengan anyaman ijuk yang baru dilepas dari pohon aren masih mengandung lidi-lidi ijuk. Lidi-lidi ijuk dapat dipisahkan dari serat-serat ijuk dengan menggunakan tangan. Untuk membersihkan serat ijuk dari berbagai kotoran dan ukuran serat ijuk yang besar, digunakan sisir kawat.

Dalam proses produksinya, serat ijuk dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu (a). Proses secara manual merupakan suatu proses produksi yang dalam seluruh rangkaiannya hanya menggunakan tenaga manusia dan peralatan yang

digunakan adalah peralatan yang seadanya (*konvesional*). Dalam proses ini semua dilakukan dengan manual tanpa tersentuh oleh automasi sedikit pun, semua rangkaian proses mulai dari proses pertama sampai proses *finishing* semuanya dilakukan dengan tenaga manusia. (b) Proses secara *automatic* yaitu satu rangkaian proses produksi yang di dalam prosesnya sudah menggunakan peralatan yang canggih (*automatic*) bahkan ada yang sudah menggunakan robot dalam rangkaian prosesnya, dan tenaga manusia hanya digunakan saat proses *setting machine* saja. (c) Proses secara *semiautomatis* yaitu proses yang paling banyak digunakan di dunia industri, cara ini adalah gabungan antara cara manual dan automatis.[anonym, 2012].

Sedangkan pada pengekstrakan serat nanas dari daunnya (*fiber sxtraction)* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: (a) Proses secara manual (*water retting and scrapping*). *Water retting* adalah proses yang dilakukan oleh *mico-organisme (bacterial action)* untuk memisahkan zat-zat perekat (*gunny substance*) yang berada di sekitar serat daun nanas, sehingga serat akan mudah terpisah dan terurai stu dengan lainnya. Proses *water retting* dilakukan dengan cara memasukkan daun-daun nanas ke dalam air dengan waktu tertentu.. karena *water retting* pada dasarnya adalah proses *micro-organisme*, maka beberapa factor sangat berpengaruh terhadap keberhasilan proses ini antara lain kondisi pH air, temperature, cahaya, perubahan kondisi lingkungan, *macro nutrients*, jenis bakteri yang ada dalam air, dan lamanya waktu proses. Daun-daun nanas yang telah mengalami proses *water retting* kemudian dilakukan dengan proses pengikisan atau pengerokan *(scraping*) dengan menggunakan plat atau pisau

yang tidak tajam untuk menghilangkan zat-zat yang masih menempel atau tersisa pada serat, sehingga serat-serat daun nanas akan lebih terurai satu dengan lainnya. Serat-serat tersebut dicuci dan dikeringkan. Karena dilakukan secara manual dengan tangan, proses *water retting* dan terutama pada proses s*crapping* diperlukan keahlian dan kesabaran seseorang dalam mengerjakannya. Dalam penelitian menunjukkan proses *water retting* ini akan menghasilkan warna serat daun nanas yang berwarna kecoklat-coklatan akibat adanya proses *micro-organisme* yang tumbuh padas serat tersebut, yang pada umumnya dikenal dengan istilah *rust* atau karat. [Kirby, 1963]. (b) Proses dengan peralatan mesin decorticator. Mesin *decorticator* terdiri dari suatu silinder atau drum yang dapat berputar pada prosesnya. Pada permukaan silinder terpasang beberapa plat atau jarum-jarum halus (*blades)* yang akan menimbulkan proses permukulan (*beating action)* serat daun nanas pada saat silinder berputar. [Doraiswarny dkk, 1993]. Gerakan perputaran silinder dapat dilakukan dengan secara manual (tenaga manusia) atau menggunakan motor listrik. Saat silinder berputar, daun-daun nanas sambil dipegang dengan tangan, disuapkan diantara silinder dan pasangan rol dan plat penyuap. Karena daun-daun nanas yang disuapkan mengalami proses pengelupasan, pemukulan, dan penarikan (*crushing, beating, and pulling action)* yang dilakukan oleh plat-plat atau jarum- jarum halus (*blades)* yang terpasang pada permukaan silinder selama berputar, maka kulit daun ataupun zat- zat perekat *(gunny substance)* yang terdapat di sekitar serat akan terpisah dengan seratnya. Pada setengah proses *decorticasi* dari daun nanas yang telah selesai, kemudian dengan pelan, dan kemudian ditarik kembali. [Mohtar dkk, 2007].

E. Pengaruh Kimia Terhadap Karakteristik Serat

Dampak bahan kimia terhadap serat sangatlah besar, diantaranya adalah sifat-sifat tarik dari serat rami yang telah dieksplorasi. Perlakuan kimia menunjukkan peningkatan kekuatan tarik pada serat mono filamen serat rami yang telah diberikan perlakuan alkali NaOH 15% menunjukkan gaya 0,049 N dan 0,098 N. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekuatan tarik serat rami meningkat 4-18% dari pada serat rami yang tidak mendapat perlakuan sedangkan modulus elastisitas serat yang diberi perlakuan kimia menurun. Hal ini disebabkan karena regangan patah meningkat secara drastis dari 0,045-0,072 , dimana peningkatan dua atau tiga kali lebih tinggi dari pada serat yang tidak diberi perlakuan kimia. [Goda, dkk.2005]

Tabel 4. Peningkatan tegangan dan regangan pada serat rami yang mendapat perlakuan dan tidak mendapat perlakuan kimia. [Goda, dkk.2005].

Gaya terbaca (N)	Diameter Serat (mm)	Gaya Patah (N)	Kekuatan tarik (N/mm^2)	Regangan Patah (%)
Kondisi I (Tanpa Perlakuan NaOH)				
0	0,049	0,252	151	0,45
0,049	0,046	0,434	306	0,061
0,098	0,044	0,562	441	0,065
Kondisi II (Dengan Perlakuan NaOH)				
0	0,031	550	550	0,068
0,049	0,028	661	661	0,072
0,098	0,026	606	606	0,072

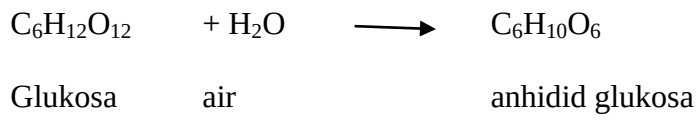
F. Komposisi Kimia Serat Ijuk

Ijuk yang dihasilkan pohon aren mempunyai sifat fisik diantaranya : berupa helaian benang (serat) berwarna hitam, berdiameter kurang dari 0,5 mm, bersifat kaku dan ulet (tidak mudah putus). Selama ini pemanfaatan ijuk belum terlalu banyak yaitu diantaranya sebagai bahan pembuat sapu dan tali tambang.

Komposisi bahan penyusun dalam serat pada tanaman diantaranya

a. Selulosa

Selulosa merupakan suatu senyawa karbohidrat yang dapat ditemukan secara melimpah di alam ini. Selulosa terdapat di dalam dinding sel tumbuhan. Selulosa tersusun atas unit-unit glukosa yang berasal dari proses fotosintesis tumbuhan. Kemudian dalam suatu proses yang kompleks, glukosa mengalami modifikasi secara kimia dengan dipindahkannya satu molekul air dari setiap unit sehingga terbentuklah anhidrid glukosa.

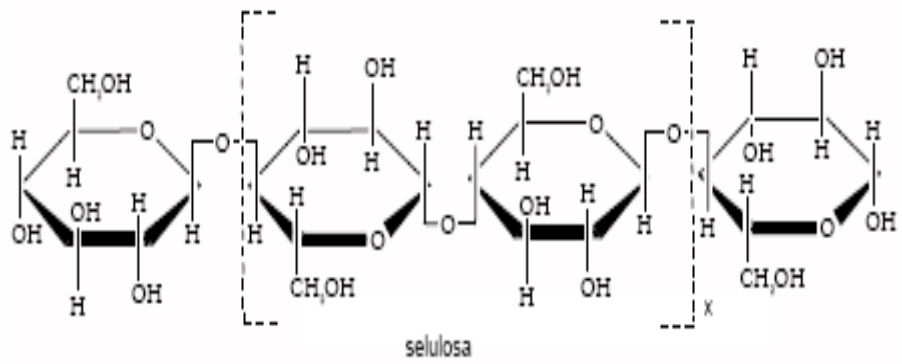


Selulosa adalah suatu polimer yang terdiri dari unit-unit anhidrid glukosa yang saling bersambungan ujung-ujungnya secara bersama-sama. Dengan eliminasi bersama air membentuk rantai panjang yang dikenal dengan selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n (derajat polimerisasi) sekitar 500-10000.

Tabel 5. Kandungan selulosa dalam berbagai bahan tumbuhan.

Bahan Tanaman	Selulosa (%)
Kapas	95-99
Rami	80-90
Bambu	40-50
Kayu	40-50
Lumut	25-30
Ekor Kuda	25-30
Bakteria	20-30

Tinjauan bidang glukosa pada selulosa terlihat dibawah gambar berikut ini



Gambar 3. Rumus Kimia Selulosa

Molekul- molekul selulosa seluruhnya terbentuk linier dan mempunyai kecenderungan membentuk ikatan-ikatan hydrogen intra dan intermolekul. Sehingga berkas-berkas selulosa membentuk agregat bersama-sama dalam bentuk mikrofibril, daerah yang teratur (kristalin) diselingi dengan daerah yang tidak teratur (amorf).

Mikrofibril ini membentuk fibril-fibril dan akhirnya terbentuklah serat-serat selulosa. Karena strukturnya yang berserat dan ikatan-ikatan hydrogen yang kuat menyebabkan selulosa mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak larut dalam kebanyakan pelarut. Meskipun selulosa merupakan karbohidrat tetapi selulosa bukanlah sumber makanan bagi manusia atau hewan.

b. Hemiselulosa

Disamping selulosa dalam jaringan tanaman terdapat sejumlah polisakarida yang disebut poliosa atau hemilulosa. Hemilulosa semula diduga merupakan senyawa antara dalam biosintesis selulosa. Namun saat ini telah diketahui bahwa hemiselulosa termasuk dalam kelompok polisakarida heterogen yang dibentuk melalui jalan biosintesis yang berbeda dari selulosa. Hemiselulosa berbeda dari selulosa karena komposisinya terdiri dari berbagai unit gula, rantai molekul yang lebih pendek, dan percabangan rantai molekul.

Seperti halnya selulosa, hemiselulosa berfungsi sebagai bahan pendukung dalam dinding-dinding sel. Hemiselulosa mudah dihidrolisis oleh asam menjadi komponen-komponen monomernya seperti D-glukosa, D-monosa, D-xilosa, L-arabinosa dan lainnya. Kebanyakan hemilulosa mempunyai derajat polimerisasi hanya 200, yang artinya derajat polimerisasi umumnya kurang dari 200.

c. Lignin

Lignin adalah salah satu komponen penyusun tanaman. Pada batang tanaman, lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnnya sehingga suatu pohon bisa berdiri tegak.

Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit fenilpropan. Meskipun 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 sangatlah stabil dan sukar dipisahkan dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam karenanya susunan lignin di dalam tumbuhan tidak menentu.

Lignin tedapat diantara sel-sel dan di dalam dinding sel. Di antara sel-sel, lignin berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel bersama-sama. Dalam dinding sel, lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberi ketegangan pada sel. Lignin juga berpengaruh terhadap 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 faktor penentu sifat-sifat kayu.

Lignin merupakan bahan yang tidak berwarna. Apabila lignin terkena udara, terutama dengan sinar matahari, maka bersama dengan karbohidrat-karbohdrat tertentu lama-kelamaan lignin cenderung menjadi kuning. Masa

yang besar dan kekuatannya rendah karena serat-serat lignin kaku memiliki ikatan antar serat yang lemah.

Lignin bersifat termoplastik yang artinya lignin akan menjadi lunak dan dapat dibentuk pada suhu yang lebih tinggi dan keras kembali apabila menjadi lignin. Sifat termoplastik inilah yang menjadi pedoman pembuatan papan keras (*hardboard*) dan lain-lain pada produk kayu yang dimampatkan.

d. Kadar Abu

Senyawa anorganik dalam tumbuh-tumbuhan dianalisis sebagai abu dengan cara bahan yang akan diuji dibakar pada suhu tertentu. Komponen utama abu tumbuhan adalah kalium, kalsium, dan magnesium. Kesalahan dalam menentukan kandungan abu kemungkinan disebabkan hilangnya sejumlah garam ammonia dan logam klorida dan juga disebabkan kurang efisiennya oksida terhadap karbonat-karbonat dari logam-logam alkali tanah.

Tabel 6. Komposisi kimia Serat Kapas [anonym,2006]

No	Komposisi kimia	Serat kapas
1	Alpa selulosa	94
2	Pentose	-
3	Lignin	-
4	Pectin	0,9
5	Lemak dan wax	0,6
6	Abu	1,2
7	Zat lain-lain (protein, asam)	1,3

Tabel 7. Kandungan kimia Eceng gondok Segar [Hesty, 2009]

Senyawa Kimia	Persentase (%)
Air	92,6
Abu	0,44
Serat kasar	2,09
Karbohidrat	0,17
Lemak	0,35
Protein	0,16
Fosfor sebagai P_2O_5	0,52
Kalium sebagai K_2O	0,42
Klorida	0,26
Alkanoid	2,22

Tabel 8. Kandungan dari tangkai eceng gondok kering,

Senyawa kimia	Persentase %
Selulosa	64,51
Pentose	15,61
Lignin	7,69
Silica	5,56
Abu	12

Tabel 9. Sifat-sifat fisik dan kimia beberapa serat alam

Sifat-sifat	Jute	Pisang	Sisal	nanas	Sabut kelapa
Masa jenis (gram/cm^3)	1,3	1,35	1,45	1,44	1,15
Sudut Micro-Fibrillar (^{0})	8,1	11	10-22	14-18	30-49
Selulosa/ lignin %	61/12	65/5	67/12	81/12	43/45
Modulus Elastisitas (Gn/m^2)	-	8-20	9-16	34-82	4-6
Kekenyalan (MN/m^2)	440-553	529-754	568-640	413-1627	131-175
Elongasi %	1-1,2	1-3,5	3-7	0,8-1,6	15-40

G. Hasil- hasil Penelitian Serat Ijuk

Penelitian Evi Cristhiani tentang modifikasi serat ijuk dengan radiasi sinar γ(Co-60) suatu studi untuk perisai radiasi nuklir. Modifikasi serat ijuk digunakan sebagai penguat pada papan komposit serat ijuk dengan matriks resin polyester tak jenuh dan perbedaan lama radiasi menyebabkan perubahan derajat kristalinitas serat ijuk. Serat ijuk yang dipilih berdiameter antara 0,1-1 mm dengan direndam dengan alkohol yang kemudian disoklatisasi dengan larutan NaOH 0,5 M selama 1 jam.

Serat ijuk yang telah dibersihkan lalu dibagi empat bagian, satu bagian sebagai pembanding dan tiga bagian lagi diradiasi dengan sinar γ dari sumber radioaktif Co-60 dengan aktivitas 74 kBq, masing-masing selama satu minggu, dua minggu, dan tiga minggu. Kemudian kempat bagian masing-masing dianalisa pola difraksinya dengan XRD dicetak menjadi papan komposit dengan arah acak $0/90^0$ dengan fraksi berat 20%, 40%, dan 60%. Pencetakan dilakukan dengan ukuran 20× 20 cm dan untuk mendapatkan ketebalan sampel 2,5 mm ditekan dengan tekanan 50 kN/cm^2 selama 2 jam dengan suhu 60^0C.

Pengukuran koefisien serapan masing-masing papan komposit dilakukan dengan radiasi β dari unsur radioaktif Sr-90 dengan aktiitas 74 kbq, dan radiasi γ Co-60 dengan aktivitas 74 kBq. Dari hasil peneliian ini diperoleh orientasi serat yang berbeda dan modifikasi serat ijuk pada papan komposit tidak mempengruhi daya serapnya terhadap radiasi nuklir sinar βdan sinar. Fraksi berat serat mempengaruhi koefisien serapan papan ijuk terhadap sinar β dan sinar γ dengan fraksi berat 40% koefisien serapan papan ijuk terhdap sinar β lebih tinggi daripada aluminium.

Tabel 10. Koefisien serapan papan komposit serat ijuk terhadap sinar β dan sinar γ.

Jenis radiasi Nukleus Nuklir	Koefisien Serapan (cm^2/gr)			Penyerap Al(cm^2/gr)
	Fraksi Berat			
	20 %	40%	60%	
Sinar β	0,36	0,62	0,85	0,53
Sianr γ	0,023	0,041	0,053	

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Mulyadi (tesis,1990) bahwa serat ijuk dapat dipakai sebagai periasi radiasi neutron, mengingat banyaknya kandungan atom karbon yang terdapat dalam bahan serat alam ini, yaitu lebih dari 50% sehingga dapat menyerap radiasi neutron.

Penelitian Wiryawan Sarjono P tentang pengaruh penambahan serat ijuk pada kuat tarik campuran semen-pasir dan kemungkinan aplikaisnya. Pada penelitian ini, digunakan benda uji yaitu msing-masing jenis adukan berupa 5 silinder uji tekan, 5 silinder uji tarik belah dan 3 benda uji impak. Perbandingan volume adukan adalah 1:11 (semen+pasir) sedang serat ijuk yang digunakan adalah dengan panjang 2,5 cm. Penambahan serat ijuk msing-masing jenis adukan sebanyak (1-5%) dari berat semen. Kode yang digunakan pada benda uji adalah BI-0 untuk adukan tanpa ijuk, BI-1 untuk adukan ijuk 1%, BI-2 untuk adukan ijuk 2%, BI-3 untuk adukan dengan ijuk 3%, BI-4% untuk adukan dengan 4% dan BI-5 untuk adukan ijuk 5%.

Tabel 11. Kuat tarik Belah campuran semen-pasir-Ijuk

No	Kode Campuran	Kuat Tarik MPa	Peningkatan %
1	BI-0	0,807	-
2	BI-1	0,865	7,18
3	BI-2	0,932	15,49
4	BI-3	1,048	29,80
5	BI-4	1,088	34,81
6	BI-5	0,850	5,31

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan serat ijuk sebanyak (1-5%) pada campuran semen-pasir mampu meningkatkan (a) Kuat tarik belah dengan peningkatan kuat tarik tertinggi dicapai oleh penambahan ijuk sebanyak 4% yaitu sebesar 34,81% (b) kuat desak dengan peningkatan kuat desak tertinggi dicapai oleh penambahan ijuk sebanyak 4% sebesar 9,8 % .

Tabel 12. Kuat Desak Campuran Semen-Pasir-Ijuk

No	Kode Campuran	Kuat Desak Mpa	Peningkatan %
1	BI-0	7,440	-
2	BI-1	8,073	8,51
3	BI-2	8,094	8,79
4	BI-3	8,104	8,93
5	BI-4	8,174	9,86
6	BI-5	7,584	1,93

H. Aplikasi Komposit Serat Alam

Aplikasi komposit serat alam pada bidang automotive ditunjukkan pada tabel 13. Aplikasi Komposit serat alam

Aplikasi	Komposisi	keterangan
Tutup Mesin	Polyester + serat rami	Serat Pendek Tersusun
Tutup Transmisi	Polyester + serat rami	Serat Pendek Tersusun
Bamper	Polyester + serat rami	Serat Pendek Tersusun
Sparkbort	Polyester + serat rami	Serat Pendek Tersusun
Roda	Karet + Kawat + Serat kapas	Serat Pendek Tersusun
Panel Pintu	Polyester + serat rami	Serat Pendek Tersusun

I. Sifat-Sifat Material Serat

Material serat memiliki sifat-sifat yang tidak jauh berbeda dari material teknik lainnya. Sifat- sifat tersebut diantaranya (a). Sifat mekanik, yaitu sifat dari bahan yang dikaitkan dengan kemampuan bahan tersebut menahan beban. Dalam praktek suatu bahan yang dibebani harus mampu menahan beban tersebut tanpa timbul kerusakan. (b). Sifat Fisik, yaitu kemampuan material untuk mengalami peristiwa fisika seperti titik lebur, daya hantar listrik dan panas. (c) Sifat Pengerjaan, merupakan kemampuan material untuk membentuk sifat-sifat baru akibat perlakuan khusus padanya. (d) Sifat teknologi, yaitu kemampuan material untuk diproses secara teknologi seperti dipress. (e) Sifat Kimia merupakan kemampuan material untuk mengalami peristiwa kimia.

J. Sifat-Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik merupakan suatu kemampuan material untuk menahan beban yang diberikan kepada material tersebut. (a) Kekuatan *(Strength*), merupakan kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami kepatahan, (b) Kekakuan *(Stiffness*) yaitu sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari suatu materi. Banyak material yang kaku memiliki kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari pemasangan, gravitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasiannya. (c) Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*) yaitu tidak cepat berkarat sehingga mempunyai massa umur pakai yang panjang, (d) Ketahanan gesek/ aus (*Wear Resistance*), (e) Berat (*Weight*) yaitu berat material yang berat dapat diubah menjadi ringan tanpa mengurangi unsur-

unsurnya. (f) Ketahanan lelah *(Fatigue Life*) merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang. Apabila suatu logam dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. (g) Meningkatkan konduktivitas panas yaitu menambah laju perambatan panas pada padatan dengan aliran panas yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. (h) Kekerasan atau *hardness* merupakan ketahanan suatu material untuk menahan kerusakan (*damage)* eksternal seperti goresan atau tekanan.(i) Keuletan dan kegetasan. Keuletan yaitu suatu sifat yang menggambarkan kemampuan material untuk menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan sedangkan kegetasan adalah sebagai terjadinya perpatahan akibat pembebanan tanpa didahului oleh perubahan bentuk. (j) Elastisitas dan plastisitas. Elastisitas merupakan kemampuan matrial untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban yang menyebabkan perubahan bentuk. Jika material dibebani melebihi batas elastiitasnya maka akan terjadi perubahan bentuk *(deformasi*) permanen. Plastisitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan [Yunus, 2008]

K. Perlakuan Alkali

Serat alami adalah *hydrophilic*, yaitu suka terhadap air berbeda dari polimer yang *hydrophilic*. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi

sehingga sifat alami *hydropholic* serat dapat memberikan ikatan interfacial dengan matrik secara optimal.

Perlakuan alkali (KOH, LiOH, NaOH) terhadap serat dilakukan untuk memisahkan lignin dan kontaminan yang terkandung di dalam serat, sehingga didapat serat yang lebih bersih. Reaksi dari perlakuan alkali terhadap serat adalah:

$$\text{Fiber} - \text{OH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Fiber} - \text{O}^{-}\text{NA}^{+} + \text{H}_2\text{O}$$

NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori *Arrhenius* basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH negative dan ion postif. Larutan basa memiliki rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin (seperti sabun). Sifat licin terhadap kulit itu disebut sifat kaustik basa.

Salah satu indikator yang dgunakan untuk menunjukkan kebasaan adalah lakmus merah. Bila lakmus merah dimasukan ke dalam larutan basa maka berubah menjadi biru.

Penelitian mengenal efek modifikasi kimia terhadap serat menyebutkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan kekuatan rekat antara serat dengan matrik. Kekuatan tarik disebutkan mengalami peningkatan sbesar 5%. Dibandingkan alkali lain seperti KOH dn LiOh, perlakuan alkali NaOH adalah yang paling baik. Penelitian menyatakan bahwa Na^{+} memiliki diameter partikel yang sangat kecil dimana dapat masuk ke pori terkecil serat dan masuk ke dalamnya sehingga dapat melepaskan minyak dan kontaminan lebih baik.

Hasil penelitian yang dilakukan diharjo tentang perlakuan alkali 5% NaOH pada komposit serat rami-poliester dengan volume fraksi serat sebesar 35%

dapat dinilai tegangan tarik yang optimum adalah 190,270 Mpa dan perpanjangan 0,44% untuk perlakuan alkali selama 2 jam dibandingkan dengan nilai tegangan tarik pada perlakuan 0 jam, 4 jam, dan 6 jam.

L. Kekuatan Tarik

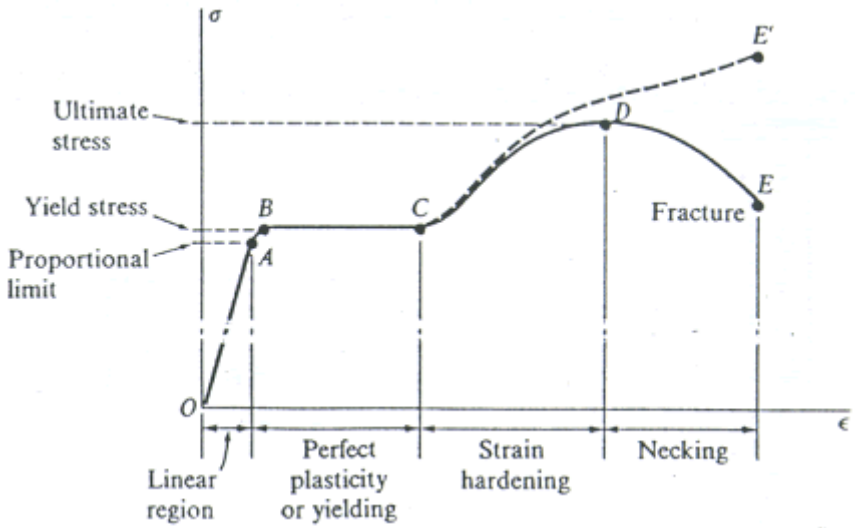
Kekuatan tarik merupakan kemampuan suatu bahan mendapat beban terhadap kekuatan tarik. Hal ini diukur dari beban atau gaya maksimum berbanding terbalik dengan luas penampang bahan uji yang memiliki satuan Mpa, N/mm^2, Kg/mm^2 atau $pound/inch^2$ [yunus, 2008]. Kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) adalah salah satu sifat penting suatu material. Tujuan uji tarik dilakukan yaitu untuk mengetahui bahan tersebut liat atau tidaknya dengan cara mengukur perpanjangannya [Supardi, 1994]. Salah satu contoh yaitu uji tarik serat nilon yang mempunyai diameter 0,5 mm.

Tabel 14. Pengujian Tarik Serat Nilon

Serat	Beban yang diberikan (Kg)	*Elongation* (%)
1	9,35	6,4
2	9,10	7,3
3	9,29	6,8
4	9,41	6,7
5	9,02	7,1
Rata- rata	9,23	6,8

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik. Hal ini diukur dari beban atau gaya maksimum berbanding terbalik dengan luas

penampang bahan uji, dan memiliki satuan Mpa, N/mm^2, Kg/mm^2, atau psi [djafrie,2000]. Uji tarik dilakukan dengan jalan memberikan beban pada kedua ujung spesimen secara perlahan-lahan ditingkatkan hingga spesimen uji tersebut putus. Dengan pengujian ini dapat diketahui kekuatan tarik, beban luluh atau mulur, modulus elastisitas *(modulus young*), tegangan, pengurangan luas penampang, dan pertambahan panjang. Setelah pengujian tarik selesai dan spesimen uji putus maka kita akan mendapatkan diagram atau grafik uji tarik yang menunjukkan hubungan beban atau gaya terhadap perpanjangan.



Gambar 4. Kurva tegangan-regangan.

Keterangan gambar :

1. Titik O – A

   (a). Garis lurus atau garis proporsional. (b) Daerah *elastic* yaitu modulus elastisitas (*modulus young*) adalah hubungan tegangan tarik dengan regangan yang merupakan garis batas proporsional. Untuk bahan yang getas pada umumnya tidak memperlihatkan batas luluh yang jelas, sehingga

digunakan metode *offset* (garis lurus) untuk menentukan kekuatan luluh material. Untuk menghitung *modulus elastisitas* digunakan rumus :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana: σ = tegangan (N/mm^2), ε = regangan (%), E = *Modulus elastisitas* (GPa).

2. Titik A

(a). Batas proporsional atau batas regangan.(b) tegangan tarik proporsional atau tegangan minimum. Tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja pada tiap satuan luas penampang suatu spesimen uji.

$$\sigma_{p\gamma 0} = \frac{F_{p\gamma 0}}{A_0} \text{..... (2)}$$

Dimana: $\sigma_{p\gamma 0}$= tegangan tarik proporsional (N/mm^2), $F_{p\gamma 0}$ = beban yang diberikan (N), A_0 = luas penampang mula-mula (mm^2)

3. Titik A-B

(a). Daerah mulur atau pertambahan panjang (*yield point)* atau batas aman.

$$\sigma_{\gamma p} = \frac{F_{\gamma p}}{A_0} \text{..... (3)}$$

Dimana : $\sigma_{\gamma p}$= tegangan tarik pada *yield point* (N/mm^2), $F_{\gamma p}$ = beban tarik pada *yield point* (N), Ao=Luas penampang awal

(b). Pengurangan luas penampang atau kontraksi yang terjadi pada spesimen uji dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\varphi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\ \% \text{ ... (4)}$$

Dimana : φ =Pengurangan luas penampang atau kontraksi (%), A_0 = luas penampang mula-mula (mm^2), A_1= luas penampang terkecil pada patahan (mm^2).

4. Titik B, dimana batas elastisitas dan setelah titik B dimulainya plastisitas.
5. Titik C, dimana tegangan tarik maksimum *(Peak Point)*

$$\sigma_{Maks} = \frac{F_{maks}}{A_0} \text{ ..... (5)}$$

Dimana : σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm^2), F_{maks} = beban tarik maksimum (N), A_0 =luas penampang mula-mula (mm^2).

6. Titik D
   a. Tegangan tarik patah atau putus

$$\sigma_{pth} = \frac{F_{pth}}{A_0} \text{ ..... (6)}$$

Dimana : σ_{pth} = Tegangan tarik saat patah (N/mm^2), F_{pth} = beban tarik, A_0 =luas penampang mula-mula (mm^2).

   b. Persentase perpanjangan setelah patah

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\ \% \quad \text{atau}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\ \% \text{ ..... (7)}$$

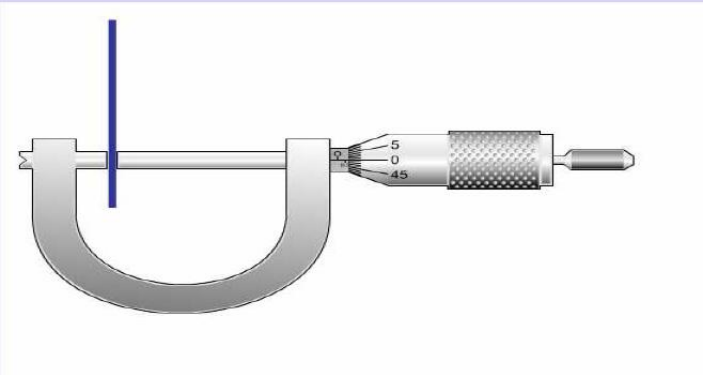
Dimana : ε = regangan (%), L_1 = panjang setelah patah (mm), L_0 = panjang mula-mula (mm), ΔL= pertambahan panjang (mm).

Spesimen uji untuk pengujian tarik selalu dibuat berdasarkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan diakui di dunia yaitu DIN, ASTM (*American Standar for Testing Material*), JIS (*Japan Industrial Standart*.)

Pada penelitian pengujian tarik pada serat ijuk ini menggunakan standar ASTM D 3379-75.

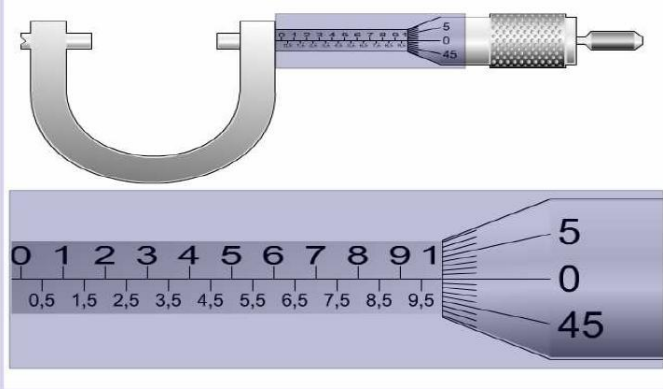
M. Mikrometer Sekrup

Micrometer memiliki ketelitian sepuluh kali lebih teliti daripada jangka sorong. Ketelitiannya sampai 0,01 mm. Micrometer terdiri dari: (a)Poros tetap, (b) poros geser atau putar, (c) skala utama, (d)skala nonius,(e) pemutar, dan (f) pengunci. Micrometer sekrup biasanya digunakan untuk mengukur ketebalan suatu benda misalnya tebal kertas yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Fungsi micrometer sekrup

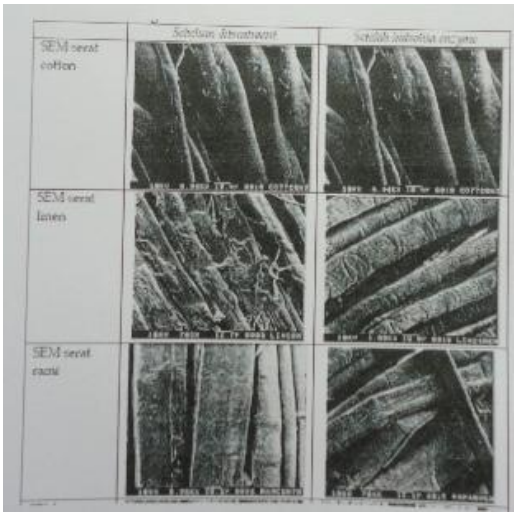
Sedangkan pada skala micrometer, dibagi menjadi dua jenis yaitu (a) skala utama, yang terdiri dari skala 1,2,3,4,5 mm dan seterusnya. Dan nilai tengah 1,5:2,5: 3,5:4,5:5,5 mm dan seterusnya.(b) skala putar , terdiri dari skala 1 sampai 50. Setiap skala putar berputar mundur 1 putaran maka skala utama bertambah 0,5 mm. sehingga 1 skala putar = 1/100 mm = 0,01 mm.



Gambar 6. Skala micrometer Sekrup.

N. Photo *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengamatan photo *scanning electron microscope* (SEM) merupakan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop electron. Permukaaan spesimen diambil gambarnya dan dari gambar ini diamati keadaan struktur spesimen.



Gambar 7. Contoh photo SEM

Photo *Scannig electron microscope* (SEM) fungsinya hampir sama seperti pengujian struktur mikro pada logam, yaitu untuk menganalisa besar serat, kekasaran serat dan arah serat. Contoh hasil uji atau photo scanning electron microscope pada beberapa serat seperti terlihat pada gambar 7.