

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Kekuatan tekan dari beberapa penelitian tentang pemanfaatan dan optimasi serat kapas telah dilakukan, antara lain yang telah diteliti oleh Harsi (2015). Bahwa harga kekuatan tekan berdasarkan standar ASTM D695 rata-rata komposit serat kapas/gelas dengan campuran matrik *epoxy* dan penyusunannya serat searah yaitu tanpa perlakuan, karna diambil dari kemasan yang terdapat di pasaran khususnya pada variasi fraksi volume 20%:10% dan 0%:30% yakni dengan harga berturut-turut sebesar 37,74 MPa dan 47,53 MPa, disini menunjukkan harga kekuatan tekan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan harga kekuatan tekan dari sampel kayu mahoni yang di gunakan sebagai pembanding yaitu sebesar 36,78 MPa. Berdasarkan uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa karakteristik sifat mekanik dari komposit serat *hybrid* kapas/gelas ini bisa digunakan sebagai bahan alternatif pengaganti kayu, khususnya kayu mahoni.

Abdi (2017) mengkaji tentang pemanfaatan limbah kapas puntung rokok menjadi papan komposit bermatrik *polyester* dengan diberi perlakuan NaOH sebanyak 2% dan direndam selama 15 menit. Dengan kesimpulan nilai tertinggi kekuatan bending komposit terdapat pada variasi 70 % Filler : 30% *polyester* dengan Modulus Of Repture (MOR) sebesar 76 N/m² Modulus Elastisitas sebesar 4790.5 N/m². Dan Jenis patahan yang terjadi pada komposit adalah patah getas yang ditunjukkan dengan nilai *deformasi* yang kecil. Dengan kandungan komposisi antara *filler* dan matrik *polyester* mempengaruhi kekuatan *bending* material papan komposit terhadap matrik *polyester*, maka nilai kekuatan *bending* komposit akan semakin tinggi.

Inaray (2017) mengkaji tentang pengaruh penambahan serat kapas terhadap kekuatan tekan resin komposit *flowable*. Penelitian diawali dengan memasukkan serat ke dalam desikator selama 24 jam, diperoleh nilai kekuatan tekan resin komposit *flowable* dengan penambahan serat kapas (266,177 ± 1,593),

lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tekan resin komposit *flowable* tanpa penambahan serat kapas ($249,614 \pm 1,306$).

2.2 Komposit

Dalam dunia industri perkembangan kemajuan ilmu teknologi melaju sangat cepat. Sebagai contohnya dalam dunia transportasi otomotif, penerbangan dan perkapalan merupakan aplikasi yang memerlukan bahan material yang bertahan karat, ringan, dan kuat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut saat ini diperlukan bahan komposit sebagai pengganti bahan konvensional di bidang-bidang tersebut.

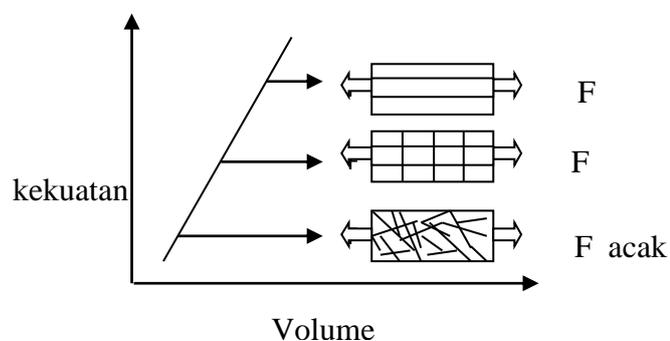
Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level *makroskopik* selagi membentuk komponen tunggal. Kata komposit berasal dari kata “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Dikarenakan karakteristik material pembentuknya berlainan maka akan diperoleh suatu material baru yang lebih baik dari material pembentuknya. Yang membedakan komposit dengan paduan atau *alloy* adalah penggabungan secara *makroskopis* yang penggabungan unsur-unsurnya secara *mikroskopis* sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya (Jones, 1995). Keunggulan yang dimiliki komposit dibandingkan dengan material lain adalah memiliki kekuatan dan kekakuannya spesifik yang lebih tinggi dibandingkan dengan material lain seperti baja, aluminium, beton, dan lain-lain (Matthews, 2000).

Komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Komposit juga dapat dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material, baik logam, organik ataupun inorganik. Kombinasi material di dalam komposit tidak terbatas, namun unsur pokok dari bentuknya terbatas. Unsur pokok dalam komposit adalah serat, partikel, lamina atau lapisan, *flake*, *filler*, dan matrik. Matrik adalah unsur pokok tubuh komposit yang menjadi bagian penutup dan pengikat struktur komposit. Serat, partikel, lamina (lapisan), *flake*, *filler* dan matriks merupakan unsur pokok struktur karena unsur tersebut menentukan struktur internal komposit (Schwartz, 1984)

2.2.1 Komposit Serat Alami

Banyak jenis serat baik serat alam maupun serat sintetis. Serat alam yang utama adalah kapas, wol, sutera dan rami, sedangkan serat sintetis adalah rayon, *polyester*, akril, dan nilon. Komposit dengan penguat serat sangat efektif, karena bahan dalam bentuk serat jauh lebih kuat dan kaku dibanding bahan yang sama dalam bentuk padat. Kekuatan serat terletak pada ukurannya yang sangat kecil. Ukuran yang kecil tersebut menghilangkan cacat-cacat dan ke tidak sempurnaan kristal yang biasa terdapat pada bahan berbentuk padatan besar, sehingga serat menyerupai kristal tunggal yang tanpa cacat, dengan demikian kekuatannya sangat besar (Harsi, 2015).

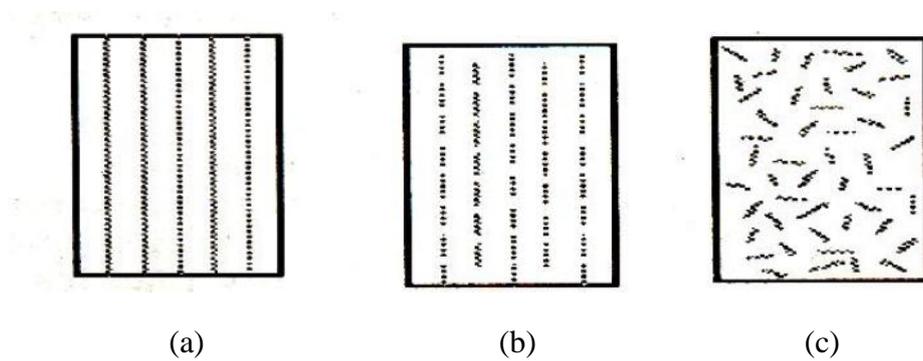
Dalam jenis serat dibagi menjadi dua yaitu serat alam dan serat sintetis. Yang pertama Serat alam adalah serat yang berasal dari alam, biasanya berupa serat organik dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat alam yang sudah dimanfaatkan diantaranya adalah: kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, nanas dan serat kenaf atau goni. Kelemahan serat ini salah satunya terletak pada ukuran serat yang tidak seragam. Faktor usia sangat mempengaruhi kekuatan serat. Yang kedua Serat sintetis adalah serat yang terbuat dari bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain: serat gelas, serat karbon, kevlar, nilon dan lain-lainnya. Beberapa kelebihan serat sintetis adalah sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama di sepanjang serat. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat hubungan antara kekuatan pada komposit dengan orientasi seratnya.



Gambar 2.1. Grafik hubungan antara kekuatan dan susunan serat pada komposit (Schwartz, 1984)

Arah serat juga menentukan kekuatan dari komposit yang diperkuat dengan serat. Secara umum arah serat pada komposit berpenguat serat dapat dibagi menjadi 3, seperti di tunjukkan pada Gambar 2.2 yaitu:

1. Serat panjang dengan arah yang sama, gambar (a)
2. Serat pendek dengan arah yang sama, gambar (b)
3. Serat pendek dengan arah acak, gambar (c)



Gambar 2.2. Jenis-jenis orientasi serat pada komposit berpenguat serat.

Komposisi kimia bervariasi pada tiap tanaman bahkan pada berbagai bagian didalam tanaman yang sama. Komposisi kimia juga bervariasi dalam tanaman tergantung pada lokasi geografis, umur, iklim dan kondisi tanah yang berbeda. Komposisi dari beberapa serat yang umum digunakan, di tunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Serat Alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air (%)
Enceng gondok	64-51	15,61	7,69	92,6
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut kelapa	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3- 4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Sun hemp	70-78	18 -19	4-5	10-11
Cotton	90	6	-	7

Sumber: Suryanto, (2014)

Tabel 2.2 Sifat-sifat Mekanik Beberapa Serat Alam

Klasifikasi	Jenis Fiber	Kekuatan Tekan (MPA)	Modulus Elastis (GPA)	Perpanjangan Putus (%)
Kulit pohon	Flax	343 - 100	27 - 100	1,6 - 3,2
	Rami	187 - 73	3 - 55	1,4 - 3,1
	Kenaf	295 - 30	22 - 53	3,7 - 6,9
	Hemp	380 - 110	3 - 90	1,3 - 4,7
Daun	Abaka	980 - 000	72	2,5 - 12
	Sisal	468 - 55	9,0 - 28,0	1,9 - 4,5
Biji/buah	Sabut	106 - 70	3,0 - 6,0	15,0 - 47,0
	Kapas	287 - 97	5,5 - 12,6	2,0 - 10,0
Tangkai/rumput	Jerami	NA	NA	NA
	Bambu	NA	NA	NA
	Tebu	20 - 90	2,7 - 17,0	0,9
Kayu	Kayu gugur	7.500	NA	NA

Sumber : Bachtiar, (2008)

Masing-masing komponen penyusun serat memiliki kekuatan sendiri. Serat-serat alam cukup baik untuk menguatkan polimer (termoset dan juga termoplastik) karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi dengan densitas yang rendah (Tabel 2.2). di atas.

2.2.2 Serat Kapas dan Komposisi Serat kapas

Serat kapas adalah serat halus yang menyelubungi biji beberapa jenis *Gossypium* (biasa disebut "pohon"/tanaman kapas), tumbuhan 'semak' yang berasal dari daerah tropika dan subtropika (Gambar 2.3). Serat kapas menjadi bahan penting dalam industri tekstil. Serat itu dapat dipintal menjadi benang dan ditenun menjadi kain. Produk tekstil dari serat kapas biasa disebut sebagai katun (benang maupun kainnya). Serat kapas merupakan produk yang berharga karena hanya sekitar 10% dari berat kotor (bruto) produk hilang dalam pemrosesan. Selulosa ini tersusun sedemikian rupa sehingga memberikan kapas kekuatan, daya tahan (*durabilitas*),

dan daya serap yang unik namun disukai orang. Tekstil yang terbuat dari kapas (katun) bersifat menghangatkan di kala dingin dan menyejukkan di kala panas karna menyerap keringat.



Gambar 2.3 Pohon kapas dan Serat Kapas

Kapas mengandung selulosa sehingga sifat kimia cenderung sama dengan sifat kimia selulosa. Kapas tahan terhadap kondisi penyimpanan, pengolahan dan pemakaian normal dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi serat kapas (Ioelovic, 2008)

Susunan	Persen terhadap berat kering (%)
Selulosa	94
Pektat	1,2
Protein	1,3
Lilin	0,6
Debu	1,2
Pigmen dan zat-zat lain	1,7

Kapas memiliki sifat fisik dan mutu kapas tersendiri (USDA, 2005), yaitu akan diraikan sebagai berikut :

A. Sifat fisik kapas

1. kapas memiliki warna yaitu kapas putih kekuningan atau warna krem namun ada juga warnanya yang keabu-abuan.

2. kapas memiliki sifat kekuatan serat kapas lebih kuat pada saat basah dari pada dalam keadaan kering. Hal ini dikarenakan pada saat kering distribusi beban kerja tidak merata sepanjang serat karena seratnya terpuntir dan pada saat basah kapas akan menggelembung dan berbentuk silinder sehingga distribusi lebih merata dan kekuatannya menjadi naik.
3. kapas mempunyai sifat mulur kapas memiliki mulur yang baik namun kapas kurang mulur dibandingkan wol dan sutra.
4. kapas memiliki sifat Keliatan yang dimaksud keliatan adalah kemampuan suatu benda dalam menerima kerja yang mana sifat ini penting bagi serat untuk diproses dalam tahapan – tahapan proses tekstil. Serat kapas memiliki keliatan yang cukup tinggi.
5. Sifat Moisture Regain adalah kemampuan serat dalam menyerap air dan moisture regain serat kapas pada keadaan standar adalah 7 – 8,5%

B. Mutu kapas ditentukan oleh tiga faktor yaitu :

1. *Grade* kapas

Grade kapas ditentukan oleh warna, kotoran dan persiapan kapas.

2. Warna

Pada umumnya kapas berwarna putih namun tidak begitu putih dan bervariasi. Biasanya kapas berwarna kekuningan dan ada juga keabuan. *Grade* kapas yang tinggi adalah kapas yang lebih cerah dan warna kapas yang suram menjadikan *gradenya* rendah.

3. Kotoran

Kotoran kapas berupa daun – daun, ranting, biji, pecahan biji, rumput, minyak, pasir dan debu.

4. Persiapan Kapas

Persiapan kapas adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan derajat kebaikan hasil pemisahan kapas dari bijinya dan banyaknya nep yang dikandung oleh kapas. Nep adalah kelompok serat yang menggumpal. Nep akan menimbulkan titik putih pada kain. Karena nep tidak bias diuraikan sehingga neps ini susah untuk menyerap zat warna

5. Panjang serat

Panjang serat kapas sangat penting karena sangat berpengaruh pada kehalusan dan kekuatan hasil benang. Pengukuran serat kapas dapat dilakukan menggunakan alat dan oleh orang yang sudah berpengalaman dibidang kapas yang dinamakan *cotton classer*.

6. Karakteristik kapas

Selain grade dan panjang kapas, faktor yang paling penting dalam perdagangan kapas adalah karakter dari kapas, seperti kedewasaan serat dan kehalusan serat, kekuatan serat kapas, kerataan panjang serat dan sifat gesekan benang.

2.2.3 Perlakuan Serat

Serat memiliki sifat alami yaitu *hydrophilic*, artinya suka terhadap air. Sedangkan polimer bersifat *hydrophobic*. Penelitian tentang efek perlakuan alkali terhadap morfologi permukaan serat alam selulosa menunjukkan bahwa kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hydrophilic* serat dapat memberikan ikatan *interfacial* dengan matriks secara optimal (Hartanto, 2009).

Perlakuan alkali pada serat akan memberikan dua efek terhadap serat yaitu (1) meningkatkan kekasaran permukaan serat sehingga akan menghasilkan *interlocking* (saling mengunci) yang lebih baik, (2) akan meningkatkan jumlah selulosa yang terlepas (Mohanty, 2005).

Perlakuan NaOH ini bertujuan untuk melarutkan lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat, lignin, dan kotoran lainnya. Dengan hilangnya lapisan lilin ini maka ikatan antara serat dan matriks menjadi lebih kuat, sehingga kekuatan tarik komposit menjadi lebih tinggi. Namun demikian, perlakuan NaOH yang lebih lama dapat menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa. Padahal, selulosa itu sendiri sebagai unsur utama pendukung kekuatan serat. Akibatnya, serat yang dikenai perlakuan alkali terlalu lama mengalami penurunan kekuatan yang signifikan. Jenis kegagalan ini sering disebut dengan istilah "*singel fiber pull out*". Pada kondisi kegagalan ini, matriks dan serat sebenarnya masih mampu

menahan beban dan meregang yang lebih besar. Namun, berhubung ikatan antara serat dan matrik gagal, maka komposit pun mengalami kegagalan lebih awal. Besarnya regangan dan tegangan ketika gagal juga menjadi lebih rendah. Dengan memberikan perlakuan NaOH, maka ikatan antara serat dan matrik menjadi lebih kuat sehingga kegagalan dapat terjadi secara bersama-sama. Besarnya tegangan dan regangan yang terjadi akan mengalami peningkatan. Jika perlakuan NaOH terlalu lama maka serat mengalami degradasi kekuatan. Reaksi antara serat dengan NaOH ialah :



2.3 Matriks

Secara umum matriks ialah bahan yang akan diperkuat dengan serat. Matriks bersifat cair dengan viskositas yang rendah, yang akan mengeras setelah terjadinya proses polimerisasi. Matriks berfungsi sebagai pengikat (*bounding*) antara serat yang satu dengan yang lainnya, dan menghasilkan ikatan yang kuat sehingga terbentuk material komposit yang padu, yaitu material yang memiliki kekuatan pengikat (*bond strength*) yang tinggi (Hartanto,2009).

Hartanto (2009) pada bahan komposit matriks mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut :

- a. Matriks memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
- b. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat.
- c. Memberikan sifat tertentu, misalnya *ductility*, *toughness*, dan *electrical insulation*.

Pemilihan matriks harus didasarkan pada kemampuan *elongisasi* saat patah yang lebih besar dibandingkan dengan *filler*. Selain itu juga perlu diperhatikan berat jenis, viskositas, kemampuan membasahi *filler*, tekanan dan suhu *curing*, penyusutan, dan *voids*. *Voids* (kekosongan) yang terjadi pada matriks sangatlah berbahaya, karena pada bagian tersebut serat tidak didukung oleh matriks, sedangkan serat selalu akan mentransfer tegangan ke matriks. Hal seperti ini menjadi penyebab munculnya retak, sehingga komposit akan gagal lebih awal.

Kekuatan komposit terkait dengan void adalah berbanding terbalik yaitu semakin banyak *void* maka komposit semakin rapuh dan apabila sedikit void komposit semakin kuat. Matriks yang umum dipakai ialah resin *thermosetting*, yaitu material yang tidak bisa menjadi lunak kembali bila dilakukan pemanasan ulang walaupun di atas temperatur pembentuknya. Bila panas terus diberikan material akan terurai menjadi karbon (hangus), dengan kata lain material tidak dapat kembali ke bentuk semula.

2.3.1 Poliester

Unsaturated Polyester Resin berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah (Gambar 2.4), dapat mengeras pada suhu ruang dengan menggunakan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan. Salah satu *Unsaturated Polyester Resin* adalah tipe Yukallac 138 BQTN-FR yaitu *Halogenated Unsaturated Polyester Resin* yang khusus dikembangkan untuk FRP tahan api. Yukallac 157 BQTN-FR merupakan resin yang mengandung *thixotropic agent*, tanpa *wax* dan bersifat mencegah/mengurangi timbulnya pembakaran sehingga waktu untuk mulai terbakar lebih lama, memperlambat penyebaran api dan berhenti terbakar bila dijauhkan dari sumber api. Dengan spesifikasi sifat yang demikian maka resin ini baik digunakan sebagai bahan dinding panel dengan tahan api.



Gambar 2.4. Resin Poliester

Dalam pembuatan sebuah komposit, matriks berfungsi sebagai pengikat bahan penguat, dan juga sebagai pelindung partikel dari kerusakan akibat faktor lingkungan. Pada penelitian ini matriks yang digunakan ialah *Unsaturated Polyester Resin* seri Yukalac 138 BQTN-EX yang memiliki spesifikasi sebagaimana pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi *Unsaturated Polyester Resin Yukalac 138 BTQN-EX* (Nurmaulita, 2010)

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat Jenis	-	1,215	25 ⁰ C
Kekerasan	-	40	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	o C	70	-
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
(suhu ruang)	%	0,466	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	-

2.4 Katalis

Katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan matriks sehingga matriks dapat berikatan dengan serat dalam komposit (Gambar 2.5). Waktu yang dibutuhkan matriks untuk berubah menjadi plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan. Semakin banyak katalis yang ditambahkan pada matriks maka makin cepat pula proses pengeringannya, tetapi apabila kelebihan katalis material yang dihasilkan akan getas atau matriks bisa terbakar. Penambahan katalis yang baik yaitu 1% dari volume matriks. Bila terjadi reaksi akan timbul panas antara 60°C – 90°C. Panas ini cukup untuk mereaksikan matriks sehingga diperoleh kekuatan dan bentuk plastik yang maksimal sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan. Penelitian ini menggunakan katalis *metil ethyl katon peroxide* (MEKPO) yang berbentuk cair dan bewarna bening.

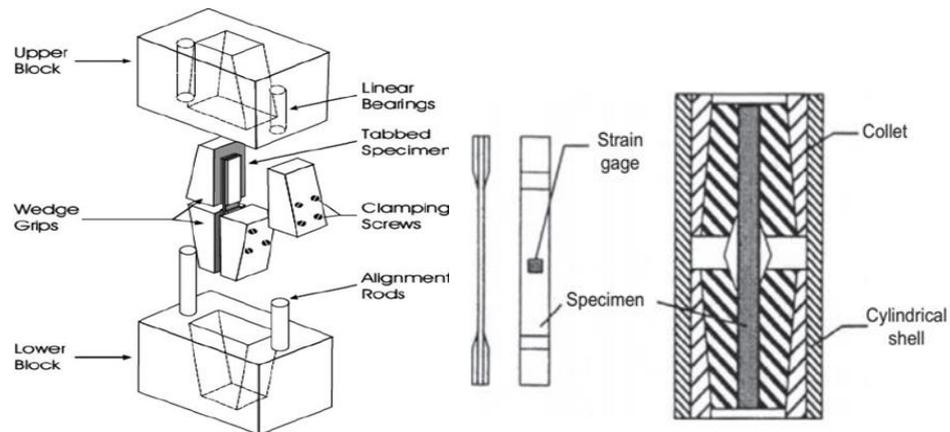


Gambar 2.5. Katalis

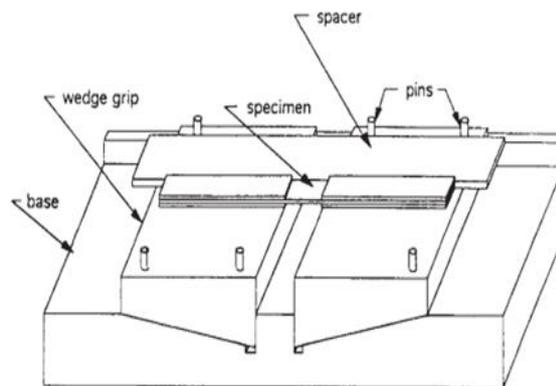
2.5 Pengujian Tekan

Uji tekan adalah salah satu uji mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tekan. Uji tekan ini memiliki kinerja yang bagus dan berkualitas untuk mengetahui kekuatan benda. Suatu material akan ditekan dan saat pengujian ini material akan rusak. Prosesnya material akan ditaruh diatas landasan dan ditekan dari atas. Dengan melakukan uji tekan dapat diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap gaya tekan.

Dalam pengujian tekan material komposit salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kegagalan pada pengujian tekan mengacu pada ASTM D-3410 Metode ini mempunyai bentuk spesimen yang relatif pendek. Panjang ukurnya sangat ditentukan oleh jaminan bahwa spesimen benar-benar mengalami pembebanan tekan, bukan tekuk, sehingga sangat tergantung pada ukuran tebal spesimennya. Dalam ASTM D-3410 Dikenal dua model penjepitan spesimen, yakni model *Celanese* dan model IITRI (*Illinois Institute of Technology Research Institute*) yang dikembangkan oleh dua badan pengujian yang berbeda. Pada pengujian tekan model IITRI spesimen uji yang identik dengan model penjepit dan di tunjukkan pada Gambar 2.6. Strain gage dipasang pada spesimen, yaitu dimuat di antara potongan bergerigi yang dibatasi oleh basis baja padat. Untuk letak model penjepit *celanese* pada ASTM D-3410 letak geometri spesimen di tunjukkan pada Gambar 2.7. Dari pengujian tekan dapat diperoleh data tentang kuat tekan, modulus elastisitas Young dan angka perbandingan Poisson.

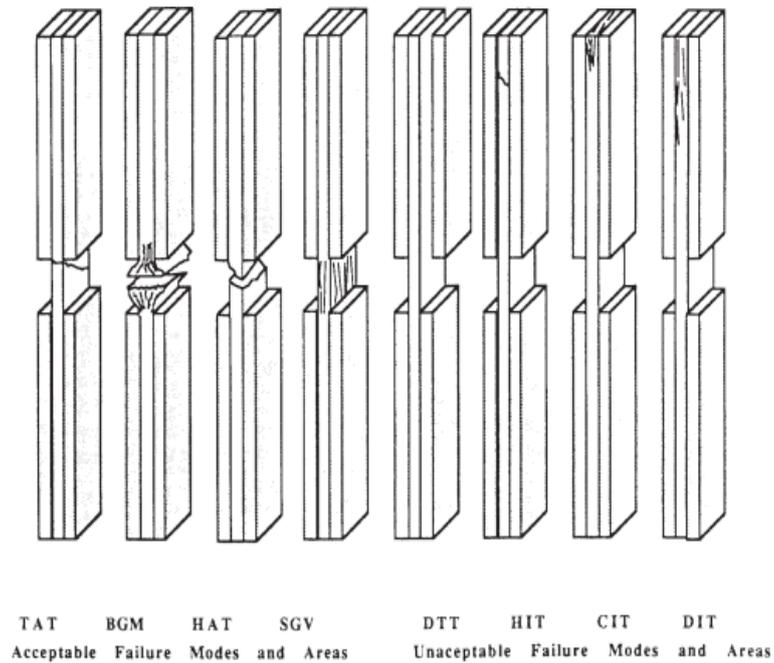


Gambar 2.6. Modifikasi Grip untuk Uji Kompresi IITRI (Stab 1997)



Gambar 2.7. Tes Celanese Perlengkapan dan Spesimen (ASTM D 3410-75).

Besarnya gaya tekan yang diperlukan untuk menghitung besarnya tegangan tekan, dan modulus elastisitas diperoleh dari rekaman mesin uji melalui pendeteksi *load-cell*. Besarnya regangan, modulus elastisitas, dan angka perbandingan Poisson dihitung berdasar pada nilai rata-rata data yang diberikan oleh kedua *strain gage*. Sedangkan moda gagalnya dapat diperoleh dengan menganalisis foto mikro penampang patahannya. Karena itu, maka penampang patahan yang akan dijadikan sampel harus dijaga agar tidak rusak karena gerakan lanjutan kepala silang setelah kegagalan terjadi. Standar ASTM D 3410 juga memberikan kriteria tempat dan moda patahan yang dapat diterima dan yang tak dapat diterima.



Gambar 2.8 Tipe mode kegagalan pada pengujian tekan berdasar ASTM D 3410

First Character	
failure Mode	Code
Angled	A
Brooming	B
end-Crushing	Code
Delam-crushung	D
Euer bucking	E
Hrough-thickness	H
kink bans	K
Laterai	L
Multi- Mode	M _(xyz)
long- splitting	S
transverse shear	T
eXplosive	X
Other	O

Second Character	
Failure Area	Code
Inside Grip/tab	I
At grip/tab	A
Gage	G
Multiple Areas	M
Tab adhesive	T
Various	V
Unknow	U

Third Character	
Failure Loation	code
Bottom	B
Top	T
Left	L
Right	R
Middle	M
Various	V
Uknnow	U

Untuk membaca kode mode gagal pada Gambar 2.8. di atas dapat dicontohkan sebagai berikut :

1. Kode S.G.V
 - S = Long Splitting
 - G = Gage
 - V = Various

Yaitu terjadi perpecahan yang panjang pada daerah gage yang di khususkan untuk terjadinya mode gagal.

2. Kode = B.G.M

B = Brooming

G = Gage

M = Middle

Yaitu mode gagal yang terjadi putus pada tengah gage dan berbentuk sapu di area perputusan.

Dilihat pada Gambar 2.8 di atas terdapat beberapa macam mode kegagalan, area kegagalan yang paling diinginkan adalah bagian tengah pengukur karena pengaruh penjepitan / tabbing minimal di wilayah ini. Jika kegagalan terdapat pada area grip penjepit maka tidak diterima karena yang diinginkan kegagalan pada area bagian tengah pengukur. Pada beberapa pengujian area kegagalan yang sering terjadi pada bagian *gage leght* di mulai dari area *gripping* pengaruh pada pemasangan *tab* pada daerah ini. Karena panjang *gage leght* yang pendek dari spesimen dalam metode pengujian ini sangat besar kemungkinan lokasi kegagalan berada pada daerah grip. Jika kegagalan pada daerah grip terjadi lebih dari (> 50 %) dari jumlah sampel spesimen uji pada pegangan atau antar muka *tab* maka perlu dilakukan pengecekan kembali. Beberapa faktor yang perlu dilakukan pengecekan adalah pada faktor *tab aligment*, bahan pengikat tab, tipe grip, tekanan pada grip, kegagalan apapun pada area *tab alignment*, tab bahan, perekat tab, tipe grip, dan grip pressure, dan grip tidak dapat diterima. Dalam pengujian perhitungan tegangan di rumuskan sebagai berikut :

a. Tegangan

Besarnya tegangan tekan dari material komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (ASTM D3410).

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan : σ = tegangan tekan (MPa)

A = luas penampang (mm²)

P = beban tekan maksimum (N)

b. Regangan

Besarnya regangan tekan dapat dihitung dengan persamaan seperti dibawah ini yang menyatakan ϵ merupakan regangan yang dinyatakan dalam mm/mm, bilangan tak berdimensi atau sering dinyatakan dalam persen (ASTM D3410).

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan: ϵ = regangan
 Δl = defleksi (mm)
 l_0 = panjang awal (mm)

c. Modulus

Besarnya *modulus elastisitas* dapat dihitung dengan persamaan (ASTM D3410) :

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

Keterangan E = modulus elastisitas (GPa)
 $\Delta \sigma$ = perubahan tegangan tekan pada rentang pengamatan (MPa)
 $\Delta \epsilon$ = perubahan regangan pada rentangan pengamatan (mm/mm)