

Karakteristik Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Polyester Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode *Water Retting*

Gede Himawan Putra, I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kebutuhan akan material logam semakin bertambah sehingga menimbulkan kelangkaan material yang tersedia di alam serta tidak dapat diperbaharui. Untuk itu banyak dilakukan penelitian dan pengembangan komposit yang diperkuat serat alam memiliki sifat mekanis sehingga dapat mengimbangi keunggulan material logam. Penelitian ini menggunakan bahan polyester jenis Yukalac 157 BQTN-EX. Serat alam yang digunakan berasal dari daun sisal. Daun sisal tersebut dilakukan proses ekstraksi dengan metode *water retting* untuk mendapatkan serat sisal. Setelah itu diberikan perlakuan NaOH dengan variasi 0%; 2,5%; 5%; dan 7,5% selama 2 jam. Serat sisal yang memperoleh kekuatan tarik serat tunggal tertinggi 581,86 MPa pada perlakuan NaOH 5% selama 2 jam. Komposit dicetak menggunakan teknik *hand lay up* variasi fraksi berat serat 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% orientasi serat acak dengan panjang serat 30 mm. Komposit dipotong mengacu pada standar ASTM D 638 untuk uji tarik dan uji lentur ASTM D790-02. Kekuatan tarik komposit polyester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata sebesar 28,73 MPa dan terendah 13,15 MPa pada fraksi berat serat 0%. Sedangkan untuk kekuatan lentur komposit tertinggi 94,10 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun sampai 36,50 MPa pada fraksi berat serat 10%.

Kata kunci : Serat sisal, serat tunggal, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

Abstract

The need for metal materials is increasing, causing a scarcity of materials that are available in nature and cannot be renewed. For this reason, a lot of research and development has been done on composite reinforced natural fiber that have mechanical properties that can compensate for the properties and advantages of metal materials. The material use in this research is a polyester type Yukalac 157 BQTN-EX. Natural fibers from *Agave Sisalana*. The *agave sisalana* were extract by the *water retting* method to obtain sisal fibers. After that, NaOH treatment was given with variations of 0%, 2.5%, 5%, and 7.5% for 2 hours. Sisal fibers obtained the highest tensile strength of single fiber 581.86 MPa at 5% NaOH treatment for 2 hours. Then composite molding was carried out using *hand lay-up* techniques with variations in fiber weight fraction 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% random fiber orientation with a fiber length of 30 mm. Composite cutting conforms to ASTM D 638 standards for tensile tests and bending tests ASTM D790-02. The highest tensile strength of composites polyester reinforced sisal fiber extracted by the *water retting* method occurred in the fiber weight fraction of 10% with an average value of 28.73 MPa and the lowest was 13.15 MPa at the fiber weight fraction of 0%. Meanwhile, the highest flexural strength of composite 94.10 MPa at 0% fiber weight fraction and decreased to 36.50 MPa at 10% fiber weight fraction.

Keywords : sisal fiber, single fiber, tensile strength, flexural strength.

1. Pendahuluan

Penggunaan material untuk kebutuhan industri masih banyak mengandalkan bahan material logam yang tidak dapat diperbaharui. Untuk itu banyak dilakukan penelitian dan pengembangan material baru. Belakangan ini berkembang komposit serat alam yang dapat mengimbangi keunggulan material logam. Komposit adalah penggabungan suatu material yang terdiri dari *matrix* dan *reinforcement*. Keunggulan komposit yaitu ringan, kuat, tahan terhadap korosi.

Belakangan ini serat alam termasuk sisal banyak dikembangkan sebagai penguat komposit. Rata-rata serat sisal mengandung 71% selulosa, 12% hemiselulosa, 10% pektin, dan 9% lignin [1]. Serat sisal yang berada pada daun sisal harus dilakukan pemisahan terlebih dahulu sebelum dapat dipergunakan sebagai penguat. Metode ekstraksi yang digunakan adalah *water retting*. Proses *water retting* adalah suatu proses yang dilakukan oleh micro-organisme untuk memisahkan atau membuat

busuk zat-zat perekat yang berada pada daun sisal, sehingga serat sisal mudah terpisah dan terurai satu dengan lainnya. Selanjutnya serat diberikan perlakuan alkali NaOH dengan variasi 2,5% ; 5% ; dan 7,5% selama 2 jam.

2. Dasar Teori

2.1. Serat Sisal

Serat sisal memiliki nama latin *Agave Sisalana* yang berfungsi sebagai penguat dalam komposit tersebut. Daun sisal dilakukan proses ekstraksi menggunakan metode *water retting* untuk mendapatkan serat sisal. Pengambilan daun sisal di Desa Dukuh, Kabupaten Karangasem yang hidup di daerah bebatuan dan kering.

2.2. Resin Poliester

Penggunaan resin pada penelitian ini yaitu menggunakan resin poliester jenis Yukalac 157 BQTN-EX. Adapun karakteristik dari resin ini sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Resin Yukalac 157 BQTN-EX [2 ; 3]

No.	Sifat	Nilai
1.	Densitas (ρ)	1,2 g/cm ³
2.	Kekuatan tarik (σ)	12,07 N/mm ²
3.	Modulus elastisitas (E)	1,18 x 10 ³ N/mm ²
4.	Kekuatan fleksural	94 N/mm ²
5.	Modulus fleksural	3,00 x 10 ³ N/mm ²
6.	Poisson ratio(v)	0,33

2.3. Perhitungan Fraksi Berat Serat

Untuk menentukan jumlah serat sisal menggunakan persamaan berikut :

$$FB = \frac{w_f}{w_c} \times 100 \quad (1)$$

$$w_c = w_f + w_r$$

$$w_r = V_{ce} \times \rho_r$$

$$V_{ce} = p \times \ell \times t$$

2.4. Perhitungan Perlakuan NaOH

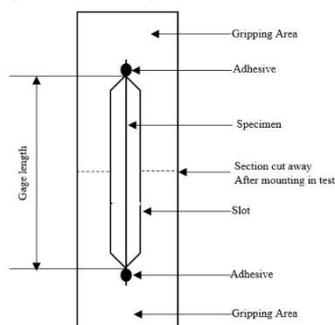
Untuk menghitung berat NaOH setiap variasi larutan NaOH yang dilarutkan dengan air suling (*Aquades*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$BN = \text{Persentase NaOH} \times w_a \quad (2)$$

$$w_a = \rho_a \times v_a$$

2.5. Uji Tarik Serat Tunggal

Uji tarik serat tunggal adalah pengujian mekanis yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik serat tunggal, yang mengacu pada ASTM C 1557-03. Seperti terlihat pada Gambar 1.



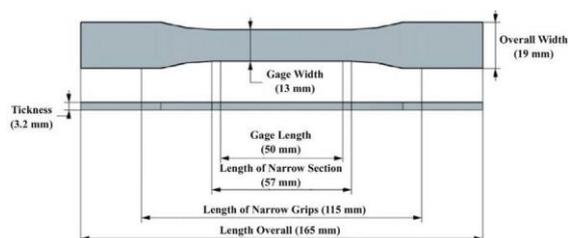
Gambar 1. Uji Tarik Serat Tunggal

Dari pengujian tarik serat tunggal didapat kekuatan serat tunggal :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}, E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (3)$$

2.6. Uji Tarik Komposit

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik komposit. Spesimen pengujian tarik mengacu standar ASTM D638 seperti pada Gambar 2.



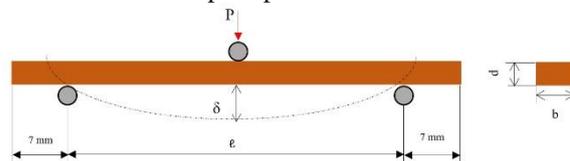
Gambar 2. Uji Tarik Komposit

Perhitungan tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas komposit :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}, \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}, E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (4)$$

2.7. Uji Lentur Komposit

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur komposit serta elastisitasnya. Spesimen pengujian bending mengacu standar ASTM D790-03 seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Uji Lentur Komposit

Perhitungan tegangan lentur, regangan lentur dan modulus elastisitas komposit :

$$\sigma_L = \frac{3Pl}{2bd^2}, \epsilon_L = \frac{6\delta d}{l^2}, E = \frac{l^3 m}{4bd^3} \quad (5)$$

2.8. Pengamatan Permukaan Patah Dengan Mikroskop Makro

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui jenis patahan pada permukaan komposit setelah pengujian tarik. Dilihat pada Gambar 4 terjadi overload di titik A yaitu putusya serat yang diakibatkan karena batas kekuatan serat dan ikatan antara serat yang kuat. Pada titik B terjadi pullout yaitu ikatan antara matriks dan serat tidak kuat sehingga serat terlepas dari ikatan matriks. Pada titik C terjadi delamination yang disebabkan karena tingginya tegangan interlaminalar. Pada titik D terjadi matrix flow yaitu karena matriks terlalu berlebihan sehingga terjadi pergeseran alur pada matriks.



Gambar 4. Mekanisme Kegagalan Pada Patahan

3. Metode Penelitian

3.1. Alat Penelitian

1. Alat Uji Tarik Serat Tunggal
2. Alat Uji Tarik Komposit
3. Alat Uji Lentur Komposit
4. Mikroskop
5. Lensa Perbesaran 40x dan 100x
6. Cetakan Kaca 25 x 20 x 0,3 cm
7. Timbangan Digital
8. Oven
9. Gelas Ukur 1 liter
10. Suntikan 5 ml

3.2. Bahan Penelitian

1. Resin Yukalac 157 BQTN-EX
2. Katalis MEKPO

3. Serat Sisal
4. NaOH
5. Gliserin

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Proses Pembuatan Serat Sisal

1. Siapkan daun sisal yang berada pada 3-5 daun dari yang paling bawah tanaman sisal.
2. Ekstraksi daun sisal dengan menggunakan metode water retting.
3. Masukkan daun – daun sisal yang sudah disiapkan ke dalam wadah yang berisi air.
4. Rendam selama 4 hingga 7 hari.
5. Setelah perendaman selesai daun – daun sisal yang telah mengalami ekstraksi dipisahkan serat dengan zat pengikatnya menggunakan sikat kawat.
6. Selanjutnya serat dibersihkan dan dikeringkan tanpa terkena sinar matahari.

3.3.2. Uji Tarik Serat Tunggal

1. Serat sisal diberi perlakuan NaOH dengan variasi 2,5% ; 5% ; dan 7,5% dalam waktu perendaman yang sama yaitu 2 jam.
2. Persiapkan specimen uji tarik serat tunggal yang mengacu standar ASTM C 1557-03.
3. Specimen uji tarik serat tunggal dibuat dengan kertas karton dan lem epoxy sebagai pengikat serat sisal dengan karton.
4. Setelah specimen uji tarik kering yaitu selama 24 jam maka proses selanjutnya adalah pemasangan karton untuk grip tujuannya agar serat sisal tidak lepas pada saat pengujian tarik.
5. Sebelum pengujian maka terlebih dahulu mengambil foto makro dan mengukur diameter serat sisal. Gunakan mikroskop dengan lensa pembesaran 40x yang tersambung ke komputer menggunakan aplikasi Future Winjoe untuk mengambil foto makro serat sisal dan menggunakan aplikasi ImageJ untuk mengetahui diameter serat sisal.
6. Kemudian pemasangan specimen ke alat uji tarik serat tunggal. Gunting bagian sisi kiri dan kanan karton. Set 0 pada dial gauge dan posisikan jarum ke 0 pada *analog force gauge* alat uji tarik.
7. Lakukan pengujian tarik serat tunggal.
8. Perhatikan setiap 0,2 mm pertambahan panjang serat pada *dial gauge* dan catat pembebanan yang terjadi.
9. Masukkan data pengujian kedalam tabel uji tarik serat tunggal. Hitung nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas lalu dibuat grafik antara tegangan dengan regangan.
10. Serat tunggal dengan kekuatan tarik tertinggi digunakan untuk membuat komposit.

3.3.3. Proses Pembuatan Komposit

1. Pemotongan serat yang sesuai dengan panjang yaitu 3 cm.

2. Menghitung berat Yukalac 157 BQTN-EX agar sesuai dengan berat komposit yang akan dicetak.
3. Mencampurkan Yukalac 157 BQTN-EX dengan 1% hardener MEKPO ke dalam gelas ukur (v/v).
4. Cetak kaca diberi gliserin agar resin tidak melekat pada cetakan, ratakan dengan tissue untuk menipiskan lapisan gliserin.
5. Campuran poliester, hardener, dan serat sisal sesuai hitungan dituangkan pada cetakan kaca.
6. Cetakan ditutup dengan kaca seberat 2,20 kg dan diberikan beban pemberat sekitar 5 kg selama 24 jam sehingga komposit ditekan dengan kekuatan sebesar $1,41 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$.
7. Keluarkan komposit dari cetakan dan masukkan kedalam oven dengan temperatur 65 °C selama 2 jam.
8. Potong specimen sesuai dengan standar ASTM D638 dan ASTM D790-03.

3.3.4. Uji Tarik Komposit

1. Panjang dan tebal specimen diukur terlebih dahulu sebelum diuji.
2. Persiapkan alat uji tarik komposit yang digunakan.
3. Pasang specimen dan pastikan terjepit dengan baik.
4. Mulai pengujian dengan alat uji tarik komposit.
5. Perhatikan pertambahan panjang yang akan patah, hentikan alat uji tarik ketika sudah patah, catat pertambahan panjang dan beban tarik maksimum.

3.3.5. Uji Lentur Komposit

1. Ukur tebal specimen uji lentur menggunakan jangka sorong.
2. Persiapkan alat uji lentur komposit.
3. Menentukan titik tumpuan dan titik tengah dengan memberikan tanda garis.
4. Meletakkan specimen yang akan diuji.
5. Putar handle sampai beban menyentuh specimen dan *load indicator* menunjukan angka nol.
6. Catat hasil besar beban yang diberikan pada tiap putaran 0,1 mm yang ditentukan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Tarik Serat Tunggal

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Tanpa Perlakuan

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
TP 1	84,93	18,8	0,45
TP 2	82,44	16,40	0,50
TP 3	86,47	17,60	0,49
TP 4	76,46	15,60	0,49
TP 5	81,46	21,60	0,38
TP 6	70,00	14,00	0,50
TP 7	74,15	14,80	0,50
RATA -RATA	79,42	16,97	0,47

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Perlakuan 2,5% NaOH

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
A 1	476,00	9,20	5,17
A 2	313,60	6,00	5,23
A 3	110,25	5,20	2,12
A 4	220,50	8,40	2,63
A 5	147,00	6,00	2,45
A 6	316,62	11,20	2,83
A 7	206,89	5,20	3,98
RATA - RATA	255,84	14,68	3,49

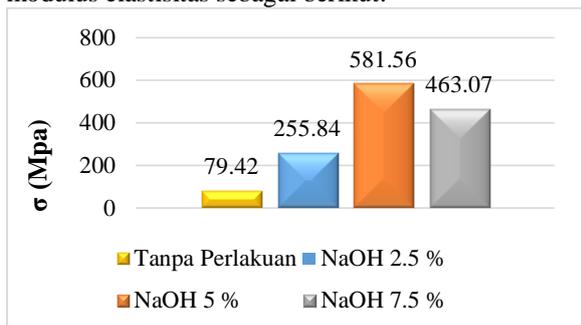
Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Perlakuan 5% NaOH

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
B 1	402,89	10,40	3,87
B 2	450,80	7,20	6,26
B 3	1.078,00	11,20	9,63
B 4	364,00	8,00	4,6
B 5	921,20	11,60	7,94
B 6	490,00	8,00	6,13
B 7	364,00	8,00	4,55
RATA -RATA	581,56	9,2	6,14

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Uji Tarik Serat Sisal Perlakuan 5% NaOH

Kode Spesimen	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
C 1	352,80	12,00	2,94
C 2	274,40	9,20	2,98
C 3	313,60	6,40	4,90
C 4	571,67	9,60	5,95
C 5	710,50	8,80	8,07
C 6	406,00	9,20	4,41
C 7	612,50	8,00	7,66
RATA -RATA	463,07	16,28	5,27

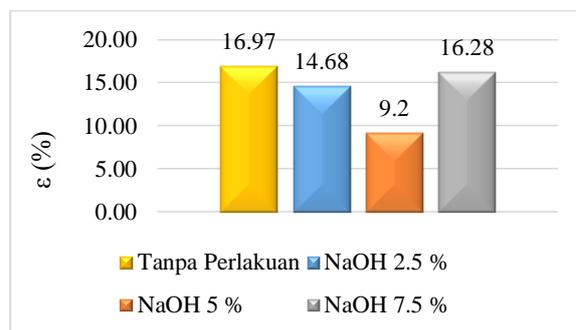
Berdasarkan data diatas, dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas sebagai berikut:



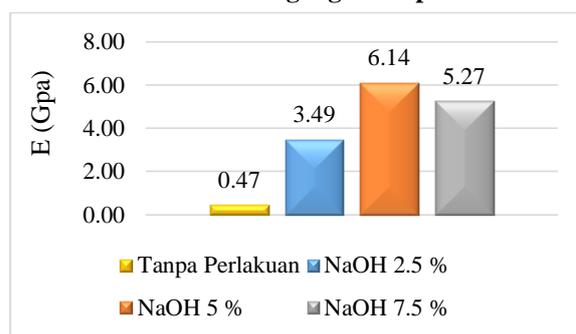
Gambar 5. Grafik Tegangan Tiap Perlakuan

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa serat sisal tanpa perlakuan mempunyai nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 79,42 MPa dengan nilai rata-rata regangan sebesar 16,97% sedangkan untuk serat dengan perlakuan NaOH 2,5% selama 2 jam memiliki nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 255,84 MPa dengan nilai rata-rata regangan sebesar 14,68%, serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman selama 2 jam memiliki kekuatan tarik rata-rata 581,56 MPa dan regangan rata-rata 9,2 %, perlakuan NaOH 7,5% perendaman selama 2 jam pada serat

memiliki kekuatan tarik rata-rata 463,07 MPa dan regangan rata-rata 16,28%.



Gambar 6. Grafik Regangan Tiap Perlakuan



Gambar 7. Grafik Modulus Elastisitas Tiap Perlakuan

Dari data di atas di dapat kekuatan tarik rata-rata tertinggi pada spesimen dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 581,56 MPa dan terendah pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 79,42 MPa dan regangan rata-rata maksimal terdapat pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 16,97 % dan terendah pada spesimen dengan perlakuan NaOH 5 % selama 2 jam sebesar 9,2 %. Kekuatan tarik serat dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam lebih besar, ini terjadi karena lignin dan kotoran yang menempel pada permukaan serat terdegradasi oleh proses alkalisasi yang menyebabkan penyusutan diameter serat. Kemudian terjadi penurunan kekuatan tarik serat dengan perlakuan NaOH 7,5% selama 2 jam, ini dikarenakan semakin banyak NaOH serat menjadi rapuh karena putusny rantai selulosa dalam serat sehingga menyebabkan kekuatan tarik serat menurun.

Pada Gambar 6 dapat dilihat regangan maksimum serat tanpa perlakuan lebih besar dari pada serat dengan perlakuan 5% NaOH. Serat tanpa perlakuan meregang sebesar 16,97 % sedangkan serat dengan perlakuan 5% NaOH 2 jam meregang sebesar 9,2 %. Hal tersebut terjadi karena serat tanpa perlakuan mengalami patahan yang murni akibat saling terkelupasnya permukaan serat dan patahan yang terjadi pada serat dengan perlakuan 5% NaOH.

Pada Gambar 7 modulus elastisitas terendah terdapat pada serat tanpa perlakuan yaitu sebesar 0,47 GPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh serat dengan perlakuan NaOH 5% perendaman 2 jam sebesar 6,14 GPa. Serat dengan

perlakuan NaOH 5% selama 2 jam memiliki modulus elastisitas yang lebih besar dikarenakan tegangan tarik dari serat juga besar. Hal ini sesuai dengan hukum *Hooke* bahwa modulus elastisitas berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan regangan.

4.2. Uji Tarik Komposit

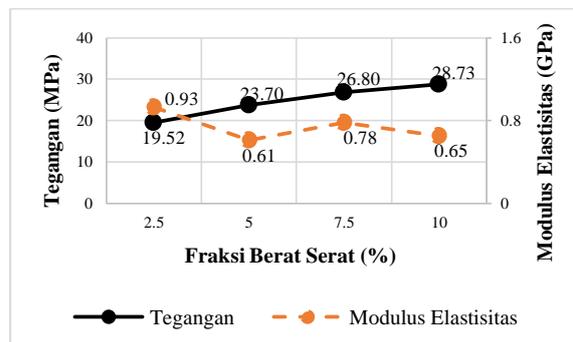
Setelah melakukan pengujian, didapatkan hasil dari kekuatan tarik komposit berupa tegangan maksimum, regangan maksimum dan modulus elastisitas komposit poliester diperkuat serat sisal yang ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Kekuatan Tarik Komposit

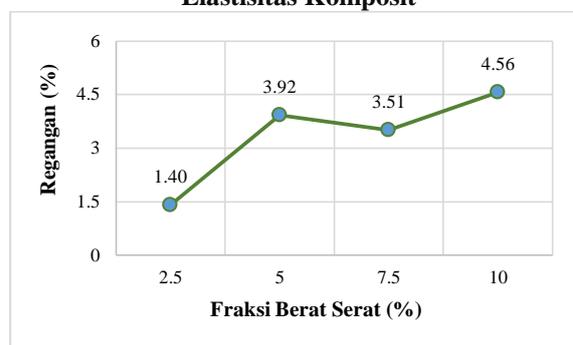
Pengujian Tarik Komposit							
Fraksi Berat Serat 0%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T0 1	0,5	48,00	470,40	39,00	12,06	0,88	1,38
T0 2	0,7	53,00	519,40	39,00	13,32	1,23	1,08
T0 3	0,6	56,00	548,80	39,00	14,07	1,05	1,34
Rata-Rata					13,15	1,05	1,26
Fraksi Berat Serat 2,5%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T25 1	1,3	79,00	774,20	39,00	19,85	2,28	0,87
T25 2	1,2	82,00	803,60	39,00	20,61	2,11	0,98
T25 3	1,6	72,00	705,60	39,00	18,09	2,81	0,64
Rata-Rata					19,52	1,40	0,93
Fraksi Berat Serat 5%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T5 1	2,1	100,00	980,00	39,00	25,13	3,68	0,68
T5 2	2,5	98,00	960,40	39,00	24,63	4,39	0,56
T5 3	2,1	85,00	833,00	39,00	21,36	3,68	0,58
Rata-Rata					23,70	3,92	0,61
Fraksi Berat Serat 7,5%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T75 1	1,7	119,00	1166,20	39,00	29,90	2,98	1,00
T75 2	1,9	84,00	823,20	39,00	21,11	3,33	0,63
T75 3	2,4	117,00	1146,60	39,00	29,40	4,21	0,70
Rata-Rata					26,80	3,51	0,78
Fraksi Berat Serat 10%							
Lo = 57 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 13 mm							
Kode Spesimen	ΔL (mm)	m (kg)	P (N)	A (mm ²)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
T10 1	2,1	110,00	1078,00	39,00	27,64	3,68	0,75
T10 2	3,4	121,00	1185,80	39,00	30,41	5,96	0,51
T10 3	2,3	112,00	1097,60	39,00	28,14	4,04	0,70
Rata-Rata					28,73	4,56	0,65

Berdasarkan data diatas terdapat grafik hubungan antara tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas komposit terhadap fraksi berat serat. Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya fraksi berat serat maka kekuatan tarik komposit meningkat. Nilai rata – rata kekuatan tarik tertinggi komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* ada pada fraksi berat serat 10% sebesar 28,73 MPa. Sedangkan nilai rata – rata kekuatan tarik terendah ada pada fraksi berat serat 0% sebesar 13,15 MPa. Pada 2,5% meningkat dengan rata-rata kekuatannya sebesar 19,52 MPa. Kekuatan tarik pada fraksi berat serat 5% meningkat dengan rata-rata kekuatannya sebesar

23,70 MPa. Kemudian fraksi berat serat 7,5% memiliki kekuatan tarik sebesar 26,80 MPa.



Gambar 8. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Tegangan Tarik dan Modulus Elastisitas Komposit



Gambar 9. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Tarik Komposit

Kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* meningkat secara linier sejalan dengan meningkatnya fraksi berat serat karena semakin banyak serat berfungsi sebagai penguat, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Hal ini menunjukkan bahwa serat sisal yang diberi perlakuan NaOH 5% perendaman selama 2 jam mempengaruhi sifat tarik komposit dimana bersihnya permukaan serat dari *lignin* maka ikatan *interface* serat dan matriks menjadi kuat sehingga kekuatan tarik komposit menjadi tinggi dari keadaan awal 13,15 MPa menjadi 28,73 MPa.

Dalam Tabel 4.6 terlihat fraksi berat serat 0% memiliki regangan rata-rata sebesar 1,05%. Regangan rata-rata pada 2,5% sebesar 1,40%. Kemudian fraksi berat serat 5% regangan meningkat dengan nilai rata-rata sebesar 3,92%. Terjadi penurunan regangan pada fraksi berat serat 7,5% dengan nilai rata-rata sebesar 3,51%. Ini dikarenakan tidak terdapat *pullout* sehingga beban yang diberikan dapat ditahan oleh serat dan matriks menghasilkan tegangan yang tinggi sehingga regangan serat lebih pendek, maka regangan komposit menjadi rendah [4]. Nilai rata-rata regangan tertinggi pada fraksi berat serat 10% sebesar 4,56%.

4.3. Uji Lentur Komposit

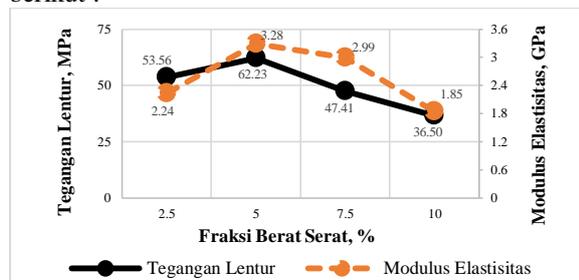
Setelah melakukan pengujian lentur komposit, didapatkan hasil berupa tegangan lentur, regangan

lentur dan modulus elastisitas komposit poliester diperkuat serat sisal yang ditampilkan pada Tabel 7.

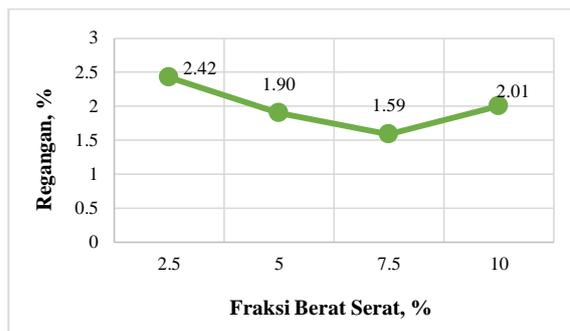
Tabel 7. Perhitungan Kekuatan Lentur Komposit

Penguujian Lentur Komposit						
Fraksi Berat Serat 0%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L0 1	2,60	15,66	153,47	96,67	2,03	4,759
L0 2	3,00	15,01	147,10	92,66	2,34	3,954
L0 3	3,00	15,06	147,59	92,97	2,34	3,967
Rata -Rata				94,10	2,24	4,226
Fraksi Berat Serat 2,5%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L25 1	3,40	7,93	77,71	48,95	2,66	1,843
L25 2	2,90	10,94	107,21	67,54	2,27	2,981
L25 3	3,00	7,16	70,17	44,20	1,95	2,263
Rata -Rata				53,56	2,29	2,362
Fraksi Berat Serat 5%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L5 1	1,80	7,50	73,50	46,30	1,41	3,292
L5 2	2,90	11,16	109,37	68,89	2,27	3,041
L5 3	2,60	11,58	113,48	71,49	2,03	3,519
Rata -Rata				62,23	1,90	3,284
Fraksi Berat Serat 7,5%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L75 1	2,10	6,46	63,31	39,88	1,64	2,431
L75 2	2,00	7,79	76,34	48,09	1,56	3,078
L75 3	2,00	8,79	86,14	54,26	1,56	3,473
Rata -Rata				47,41	1,59	2,994
Fraksi Berat Serat 10%						
Panjang Spesimen = 62 mm, Tebal = 3 mm, Lebar = 12,7 mm, Jarak Tumpuan = 48 mm.						
Kode Spesimen	□ (mm)	m (kg)	P (N)	σL (MPa)	εL (%)	E (GPa)
L10 1	2,50	6,08	59,58	37,53	1,95	1,922
L10 2	2,10	5,45	53,41	33,64	1,64	2,051
L10 3	3,10	6,21	60,86	38,34	2,42	1,583
Rata -Rata				36,50	2,01	1,852

Berdasarkan data diatas terdapat grafik hubungan antara tegangan lentur, regangan lentur dan modulus elastisitas terhadap fraksi berat serat sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Kekuatan Lentur



Gambar 11. Grafik Hubungan Fraksi Berat Serat Terhadap Regangan Lentur Komposit

Pada Tabel 7 kekuatan lentur tertinggi komposit poliester yang diperkuat serat sisal diekstraksi dengan metode *water retting* ada pada fraksi berat serat 0% dengan nilai rata-rata sebesar 94,10 MPa. Sementara kekuatan lentur terendah ada pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata sebesar 36,50 MPa. Pada fraksi berat 2,5% dengan nilai sebesar 53,56 MPa. Dimana pada fraksi berat serat 5% dan 7,5% masing-masing memiliki nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 62,23 MPa dan 47,41 MPa.

Kekuatan lentur komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode *water retting* berfluktuasi dan cenderung menurun dengan bertambahnya fraksi berat serat, seperti pada Gambar 10. Menurunnya kekuatan lentur disebabkan oleh arah dari serat, interaksi antara serat dan matriks serta adanya gelembung udara yang terperangkap saat pencetakan komposit [5].

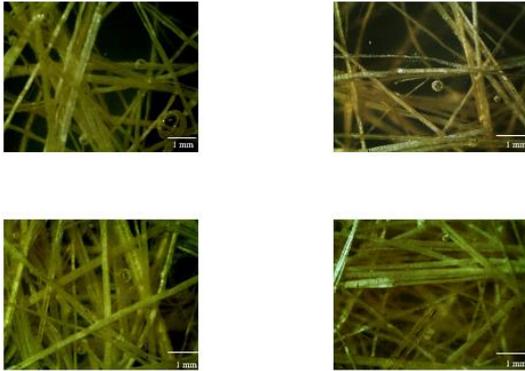
Pada Gambar 11 terlihat nilai regangan rata-rata tertinggi ada pada fraksi berat serat 2,5% dengan nilai 2,42%. Sedangkan nilai regangan terendah ada pada fraksi berat serat 7,5% dengan nilai regangan rata-rata sebesar 1,59%. Pada fraksi berat serat 0% memiliki nilai 2,24%. Dan pada fraksi berat serat 5% dan 10% masing-masing nilai regangan rata-ratanya sebesar 1,90% dan 2,01%.

4.4. Pengamatan Makro

4.4.1. Void

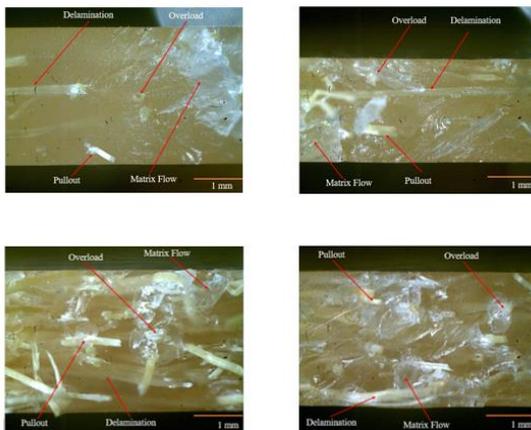
Spesimen pengujian dilakukan pengamatan makro untuk mengetahui adanya void. Sewaktu pencetakan komposit yang kurang hati – hati dapat menimbulkan rongga-rongga udara yang menyebabkan munculnya *void*. *Void* dapat menurunkan kekuatan sifat mekanik yang dimiliki oleh komposit tersebut karena *void* merupakan cacat pada material [6].

Pada fraksi berat serat 2,5% menunjukkan adanya *void* pada spesimen uji tarik dengan sebanyak 7 *void* dengan jumlah luas area sebesar 3,68%. Kemudian pada fraksi berat serat 5% terdapat 2 *void* dengan jumlah luas area sebesar 0,43%. Pada fraksi berat serat 7,5% terdapat 4 *void* dengan total luasan area sebesar 0,94%. Luas area *void* terkecil terdapat pada fraksi berat serat 10% sebanyak 1 *void* yaitu 0,14%.



Gambar 12. Foto Makro Void

4.4.2. Patahan



Gambar 13. Foto Makro Patahan

Pada patahan dari spesimen uji tarik dengan fraksi berat serat 2,5% terdapat *matrix flow* dengan luas area sekitar 35%. Ini dikarenakan kurangnya serat pada komposit sehingga nilai kekuatan tarik menjadi lebih rendah. Pada patahan komposit fraksi berat serat 5% terdapat *matriks flow* dengan luasan 30,88%. Selain *matrix flow* terdapat juga *delamination* dan *overload* pada patahan tersebut. Pada fraksi berat serat 7,5% terjadi patahan dengan luas area *matrix flow* sebesar 25,68%. Selain itu terdapat patahan berupa *pullout*, serta didominasi dengan patahan *delamination* dan *overload*. Kekuatan tarik tertinggi ada pada fraksi berat serat 10%, terlihat pada patahan *matrix flow* memiliki luas sekitar 23,53% dengan patahan *overload* dan *delamination* yang paling dominan sedangkan patahan *pullout* terlihat sedikit.

4.5. Pengamatan Mikro

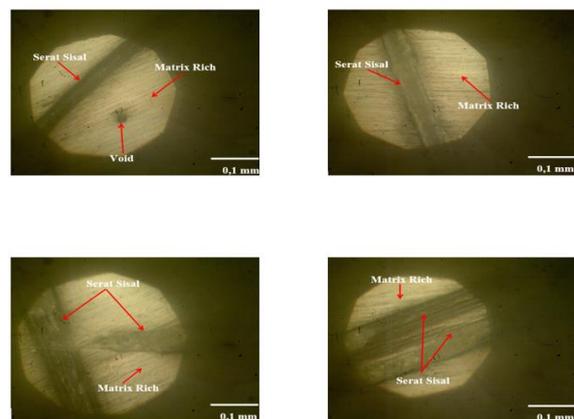
Setelah permukaan komposit dipoles dengan autosol dan kain bludru dilakukan proses pengamatan mikrostruktur menggunakan alat uji foto mikro perbesaran lensa 40x dan 100x yang dihubungkan ke komputer menggunakan aplikasi *Future Winjoe*. Dibawah ini merupakan hasil dari foto mikro komposit.

Hasil foto mikro menunjukkan bahwa komposit terdapat serat sisal, beberapa *void* dan *matrix rich* yaitu kekosongan serat di daerah matriks sehingga mengakibatkan komposit menjadi rapuh dan mudah

patah pada saat menerima beban. Ini disebabkan karena kurang banyaknya serat yang digunakan dan juga karena sebaran/distribusi serat dalam komposit tidak merata, sehingga pada saat pencetakan serat berkumpul secara terpisah, sehingga ruang kosong tanpa ikatan matriks dan serat masih banyak ditemui [7].



Gambar 14. Hasil Foto Mikro Perbesaran 40x



Gambar 15. Hasil Foto Mikro Perbesaran 100x

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik rata-rata serat tunggal sisal yang diekstraksi dengan metode water retting sebesar 79,42 MPa setelah diberi perlakuan alkali NaOH 5% selama 2 jam memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 581,56 MPa atau terjadi peningkatan sebesar 632,25%.
2. Kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode water retting tertinggi terjadi pada fraksi berat serat 10% dengan nilai rata-rata sebesar 28,73 MPa dan terendah 13,15 MPa pada fraksi berat serat 0% atau terjadi peningkatan 118,48%.
3. Kekuatan lentur komposit poliester berpenguat serat sisal yang diekstraksi dengan metode water retting tertinggi 94,10 MPa terjadi pada fraksi berat serat 0% dan menurun sampai 36,50 MPa

pada fraksi berat serat 10% atau terjadi penurunan sebesar 61,21%.

Saran

Adapun saran yang didapat setelah melakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Penambahan variasi NaOH dan lama perendaman serat agar mendapatkan hasil yang terbaik.
2. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar mampu membuat komposit variasi fraksi berat serat yang tinggi untuk mengetahui karakterisasi komposit yang lebih optimal.
3. Komposit yang dibuat menggunakan teknik *hand lay up* diperlukan ketelitian agar tidak terbentuknya gelembung udara yang terperangkap saat mencetak komposit yang dapat mempengaruhi kekuatan pada komposit.

Daftar Pustaka

- [1] Sahu, P., Gupta, M. K., 2017, *Sisal (Agave Sisalana) Fiber And Its Polymer-Based Composites*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, pp. 1–22.
- [2] Nurmaulita, 2010, *Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa dengan Resin Polyester Karakteristik Papan Lembaran*, Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [3] Gapsari, F., dan Setyarini, P. H., 2010, *Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu*, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.1 No. 2, Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- [4] Nesimnasi, J. J. S., Boimau, K., Pell, Y. M., 2015, *Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) pada Serat Agave Cantula terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester*, LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, Vol. 02 No. 01, pp. 29-38.
- [5] Yusoff, M.Z.M., Salit, M.S., 2010, *Mechanical Properties of Short Random Oil Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites*, *Sains Malaysiana*, Vol. 39 No.1, pp. 87-92
- [6] Bahtiar, M., Sutjahjono, H., Dwilaksana D., 2014, *Analisa Variasi Fraksi Volume Filler Terhadap Sifat Mekanik Komposit Laminat Matriks Polyester Berpenguat Serat Sisal*, Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa.
- [7] Astika, I M. dan Dwijana, I G. K., 2014, *Karakteristik Sifat Tarik Dan Mode Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Tapis Kelapa*, Jurnal Dinamika Teknik Mesin, Vol. 4 No. 2, ISSN: 2088-088X



Gede Himawan Putra menyelesaikan program studi sarjana Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program studi sarjana dengan judul penelitian *Karakteristik Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Berpenguat Serat Sisal Yang Diekstraksi Dengan Metode Water Retting*. Topik penelitian yang diminati adalah rekayasa manufaktur, material dan komposit.