

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengaruh Kandungan Serat Rami Terhadap Sifat Tarik Komposit Rami – UPRs

5.1.1. Sifat Tarik Komposit Rami – UPRs

Tabel 5.1. Sifat tarik komposit hasil eksperimen.

Fraksi Volume Serat, %	Teg. Tarik, MPa	Modulus Elastisitas, GPa
26.7	178.11	21.50
37.36	159.21	24.81
46.93	159.75	36.11
54.10	205.36	47.88
67.47	194.36	42.28

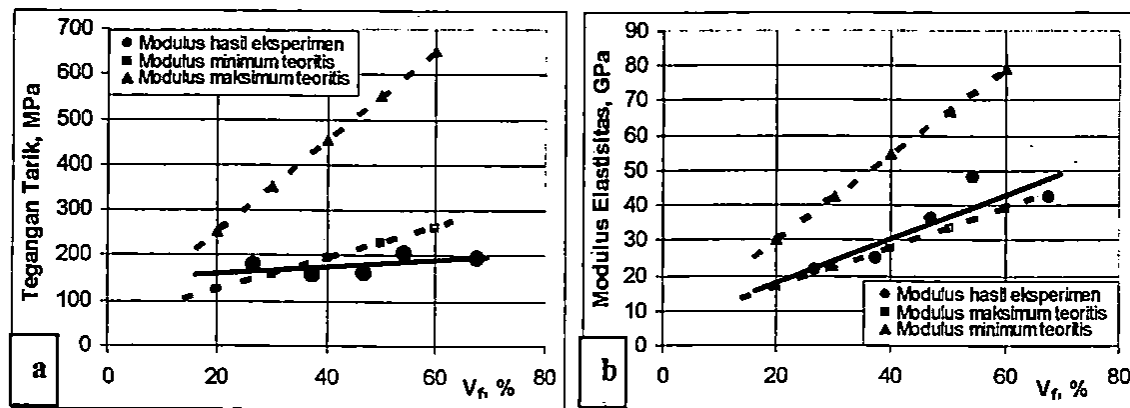
Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 5.1, kekuatan tarik dan modulus tertinggi komposit rami-UPRs adalah 205.36 MPa 47.88 GPa pada $V_f = 54.10\%$. Pada $V_f = 64.47\%$, sifat tarik komposit tersebut turun menjadi 194.36 MPa dan 42.28 GPa. Penurunan sifat tarik ini dapat disebabkan oleh terlalu banyaknya kandungan serat sehingga muncul indikasi penurunan kualitas rekatan serat dan matrik. Alasan ini juga didukung oleh faktor manufaktur yang menunjukkan bahwa pada $V_f = 64.47\%$ terjadi kesulitan proses pembuatan komposit. Dimensi komposit hasil cetakan selalu lebih tebal dari yang direncanakan. Uraian tersebut mengindikasikan bahwa sifat tarik komposit tersebut optimum pada V_f sekitar 50-60%.

Tabel 5.2. Sifat tarik komposit hasil teoritis.

V_f , %	Tegangan Tarik		Modulus elastisitas	
	min (MPa)	mak (MPa)	Min (GPa)	Mak (Gpa)
20	124	254	17	30
30	159	354	22	42
40	193	453	28	55
50	228	553	34	67
60	262	652	39	79

Catatan: tegangan dan modulus tarik serat rami dan poliester mengacu pada literatur (Mueller dan Krobjilobsky, 1999).

Analisis verifikasi kekuatan tarik hasil eksperimen dengan kekuatan tarik teoritis berdasarkan aturan ROM ditunjukkan pada gambar 5.1a. Secara umum, kekuatan tarik komposit hasil eksperimen memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dari komposit rami-UPRs teoritis. Kekuatan tarik yang lebih rendah tampak lebih jelas pada V_f sekitar 40%. Namun, penyimpangan kekuatan tarik tersebut masih berada pada batas kewajaran. Pada umumnya, sifat mekanis eksperimen biasanya lebih rendah dari hasil analisis teoritis.



Gambar 5.1. Kurva tegangan dan modulus tarik komposit rami-UPRs terhadap V_f .

Lebih rendahnya kekuatan tarik hasil eksperimen ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kesulitan akurasi perhitungan V_f , penyimpangan orientasi serat yang tidak lurus 0° , distribusi serat yang kurang merata, sifat mekanis serat alam rami yang tidak merata di sepanjang serat, dan kurang kuatnya ikatan serat dan matrik. Rendahnya kekuatan rekatan serat dan matrik dapat disebabkan oleh adanya lignin dan kotoran lain dipermukaan serat atau keberadaan air bebas di luar sel selulosa rami.

Secara umum, komposit hasil eksperimen memiliki harga modulus elastisitas yang lebih besar dari hasil analisis teoritis modulus terendah dengan ROM, seperti pada gambar 5.1b. Modulus tertinggi (47.88 GPa) terjadi pada $V_f = 54.10\%$, sedangkan pada $V_f = 64.47\%$ harga modulus elastisitasnya lebih rendah, yaitu 42.28 GPa. Modulus elastisitas sebesar 47.88 GPa ini dapat dianggap sebagai modulus tertinggi hasil eksperimen. Trend peningkatan harga modulus elastisitas terhadap penambahan V_f memiliki kemiripan dengan kekuatan tariknya.

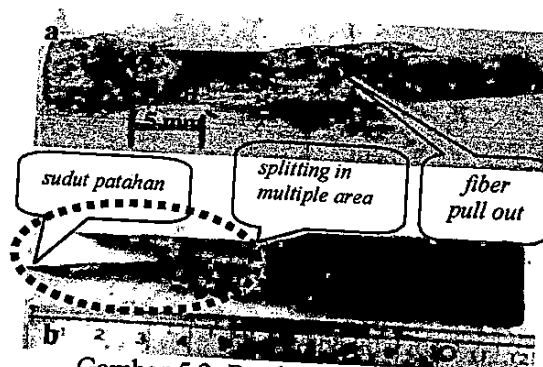
Analisis verifikasi hasil eksperimen dengan hasil riset sebelumnya yang dihasilkan oleh Diharjo dkk (2005) menunjukkan bahwa bahan komposit rami-UPRs memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah (205.36 MPa pada $V_f = 54.10\%$) dibanding bahan komposit kenaf-UPRs (216.8 MPa pada $V_f = 51.91\%$). Perbedaan kekuatan tarik tersebut dapat dikatakan tidak signifikan, karena selisih kekuatannya relatif kecil. Dengan demikian, kedua komposit tersebut dapat dikatakan memiliki kemiripan kekuatan tarik.

Sebaliknya, modulus elastisitas komposit rami-UPRs justru memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan komposit kenaf-UPRs yang diteliti oleh Diharjo (2005). Komposit rami UPRs memiliki modulus 47.88 Gpa pada $V_f = 54.10\%$, sedangkan bahan komposit kenaf-UPRs mempunyai modulus elastisitas 26.79 Gpa pada $V_f = 51.91\%$. Secara teoritis, sifat tarik serat homogenik luas terhadap sifat tarik bahan komposit

berpenguat serat kontinyu dengan orientasi 0° . Modulus tarik komposit yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh rendahnya regangan serat.

5.1.2. Identifikasi Penampang Patahan

Mengacu pada standar ASTM D 3039 tentang jenis-jenis patahan, maka patahan spesimen uji dapat diklasifikasikan sebagai jenis patahan banyak (*splitting in multiple area*), seperti pada gambar 5.2. Komposit yang memiliki patahan jenis ini termasuk komposit yang memiliki sifat tarik tinggi. Kegagalan seolah-olah akan terjadi secara bersama-sama pada semua bagian spesimen. Akibatnya, perpatahan terjadi pada area yang luas di permukaan spesimen. Secara umum, semakin runcing sudut patahan spesimen maka kekuatan komposit tersebut juga semakin tinggi.



Gambar 5.2. Patahan spesimen uji.

Penampang permukaan patahan masih menunjukkan adanya dominasi gagal *fiber pull out*. Dengan demikian, kekuatan komposit ini dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kompatibilitas ikatan antara serat dan matrik. Hal ini dapat dikembangkan dengan melakukan pembersihan lignin dan kotoran lain di permukaan serat menggunakan perlakuan kimia serat atau dengan penambahan *coupling agent*.

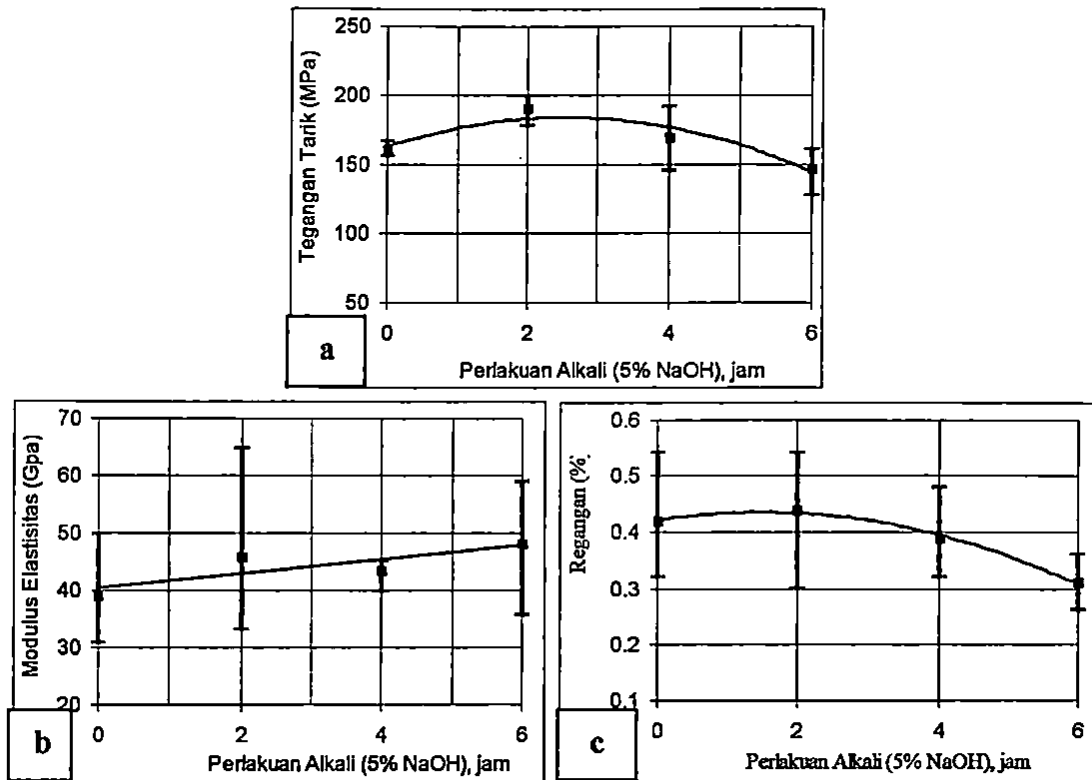
5.2. Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Tarik Komposit Rami – UPRs

5.2.1. Sifat Tarik Komposit Rami-UPRs

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 5.3, kekuatan dan regangan tarik yang paling optimum dimiliki oleh bahan komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan alkali 2 jam. Modulus elastisitas komposit semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu perlakuan alkali serat rami.

Tabel 5.3: Sifat tarik komposit rami-UPRs.

Perlakuan Alkali (5% NaOH)	Tegangan, MPa	Regangan, %	Modulus, GPa
0 jam	160.298	0.42	39.179
2 jam	190.270	0.44	45.795
4 jam	169.253	0.39	43.427
6 jam	147.099	0.31	48.166



Gambar 5.3. Kurva hubungan tegangan, modulus dan regangan vs perlakuan alkali (5% NaOH) serat.

Komposit rami-UPRs memiliki kekuatan tarik tertinggi pada perlakuan 5% NaOH serat selama 2 jam, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3a. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan 5% NaOH tersebut merupakan perlakuan yang paling efektif untuk meningkatkan kekuatan komposit berpenguat serat rami. Pada komposit yang diperkuat dengan serat tanpa perlakuan, maka ikatan (*mechanical bonding*) antara serat dan UPRs menjadi tidak sempurna karena terhalang oleh adanya lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat. Perlakuan NaOH ini bertujuan untuk melarutkan lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat, seperti lignin, hemiselulosa, dan kotoran lainnya. Dengan hilangnya lapisan lilin ini maka ikatan antara serat dan matrik menjadi lebih kuat, sehingga kekuatan tarik komposit menjadi lebih tinggi. Namun, perlakuan NaOH yang lebih lama dapat menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa. Padahal, selulosa itu sendiri

alkali terlalu lama mengalami degradasi kekuatan yang signifikan. Sebagai akibatnya, komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan alkali yang lebih lama memiliki kekuatan yang lebih rendah.

Regangan bahan komposit berpenguat serat rami juga menunjukkan adanya optimasi perlakuan 5% NaOH serat. Gambar 5.3c menunjukkan bahwa perlakuan NaOH selama 2 jam merupakan perlakuan yang paling optimum. Pada komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan, kegagalan didominasi oleh lepasnya ikatan antara serat dengan matrik yang diakibatkan oleh tegangan geser di permukaan serat. Kegagalan tersebut didominasi oleh lepasnya ikatan serat dan matrik. Jenis kegagalan ini sering disebut dengan istilah "*fiber pull out*". Pada kondisi kegagalan ini, matrik 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 serat, 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.

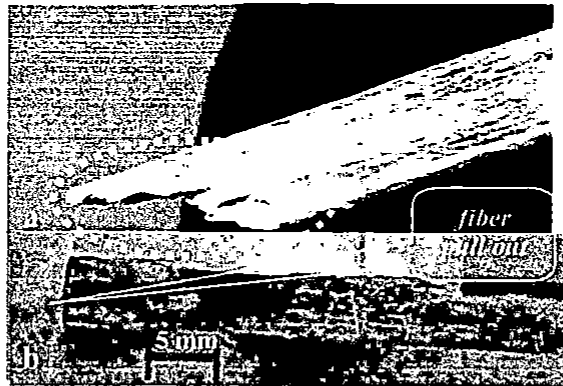
Berdasarkan uraian di atas, jika perlakuan NaOH terlalu lama maka serat mengalami degradasi kekuatan. Besarnya tegangan dan regangan yang mampu ditahan oleh komposit menjadi menurun.

Berhubung perlakuan NaOH serat memberikan karakteristik kurva tegangan dan regangan yang mirip, maka modulus elastisitasnya pun akan memiliki trend perubahan. Gambar 5.3b menunjukkan bahwa modulus elastisitas bahan komposit rami -UPRs mengalami peningkatan seiring dengan penambahan waktu perlakuan NaOH serat. Peningkatan ini dipengaruhi oleh penurunan kurva regangan yang lebih tajam dibanding penurunan kurva tegangan (khusus pada perlakuan NaOH lebih dari 2 jam), seperti ditunjukkan pada gambar 5.3c. Penurunan tersebut didominasi oleh efek degradasi sifat mekanis serat yang disertai oleh semakin sempurnanya ikatan antara serat dengan matrik. Dengan demikian, perlakuan NaOH serat yang lebih lama menurunkan elastisitas serat. Bahkan perlakuan tersebut dapat menyebabkan serat menjadi rapuh.

5.2.2. Identifikasi Penampang Patahan

Mengacu pada standar ASTM D-3039 tentang jenis-jenis patahan, maka patahan komposit berpenguat serat rami tanpa perlakuan dan dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam dapat diidentifikasi sebagai jenis patahan banyak (*splitting in multiple area*)

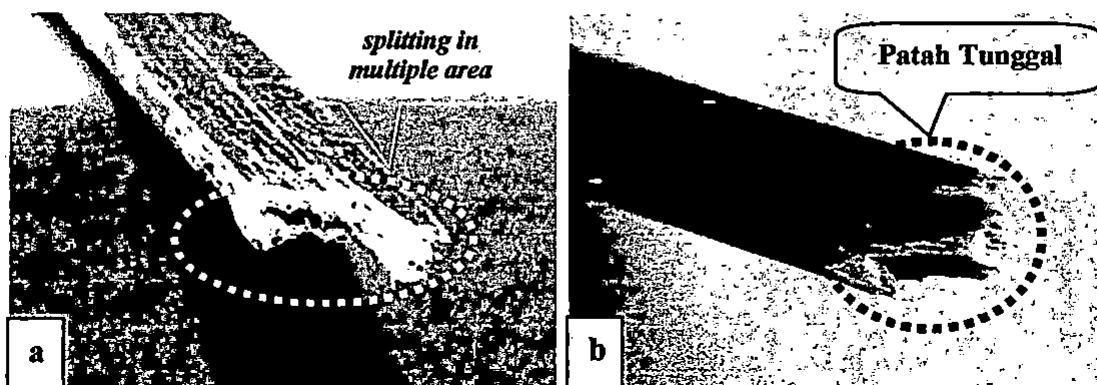
seperti pada gambar 5.4 dan gambar 5.5a. Kegagalan terjadi pada area yang luas di permukaan spesimen. Umumnya, komposit yang memiliki patahan jenis ini memiliki kekuatan tarik tinggi. Pengamatan penampang patahan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan menunjukkan adanya dominasi mekanisme patahan *fiber pull out*.



Gambar 5.4. Patahan komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan.

Pada permukaan patahan komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam, perilaku kegagalan *fiber pull out* masih tampak dalam jumlah sedikit, seperti pada gambar 5.5a. Perilaku kegagalan *fiber pull out* sudah tidak tampak lagi pada komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan NaOH selama 6 jam, seperti pada gambar 5.5b. Jenis patahan pada komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan 5% NaOH selama 6 jam sudah mendekati jenis patahan tunggal.

Berdasarkan analisis ini maka dapat dikatakan bahwa kompatibilitas ikatan antara serat rami dan matrik unsaturated polyester memiliki harga optimum jika serat dikenai perlakuan 5% NaOH selama 2 jam.



Gambar 5.5. Patahan komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan 5% NaOH

5.3. Komparasi dengan Riset Sebelumnya

Analisis komparasi hasil eksperimen dengan hasil riset sebelumnya yang dihasilkan oleh Diharjo dkk (2005) menunjukkan bahwa bahan komposit rami-UPRs (tanpa perlakuan) memiliki kekuatan tarik (160.298 MPa pada $V_f \approx 35\%$) yang hampir sama dengan bahan komposit kenaf-UPRs (120.1 MPa pada $V_f = 29\%$ dan 162.4 MPa pada $V_f = 45\%$). Jika dilakukan analisis regresi linier pada komposit kenaf-UPRs, maka tegangan tarik komposit rami-UPRs pada $V_f \approx 35\%$ lebih tinggi dibandingkan dengan komposit kenaf UPRs. Perbedaan kekuatan tarik tersebut dapat dikatakan tidak signifikan. Faktor-faktor lain yang menjadikan ketidakakuratan kekuatan komposit serat kontinyu adalah kesulitan mengatur serat kontinyu tetap lurus selama proses pencetakan. Dengan mengabaikan faktor tersebut di atas, maka kekuatan tarik komposit serat rami-UPRs lebih tinggi dibanding komposit kenaf-UPRs.

Sebaliknya, modulus elastisitas komposit rami-UPRs justru memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan komposit kenaf-UPRs yang diteliti oleh Diharjo (2005). Komposit rami UPRs memiliki modulus 39.179 GPa pada $V_f \approx 35\%$, sedangkan bahan komposit kenaf-UPRs mempunyai modulus elastisitas 16.05 Gpa pada $V_f = 29\%$ dan 15.58 GPa $V_f = 45\%$. Secara teoritis, sifat tarik serat berpengaruh dominan terhadap sifat tarik bahan komposit yang diperkuat serat kontinyu dengan orientasi 0° . Modulus elastisitas komposit yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh rendahnya regangan serat.

Berdasarkan hasil analisis tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat rami sebagai penguat bahan komposit memiliki potensi yang cukup besar untuk diaplikasikan.