

## Karakterisasi Hasil Perlakuan Kimia Alkali X%NaOH terhadap Topografi Permukaan, Kekuatan Tarik dan Model Patahan Serat Tunggal Rami (*Boehmeria nivea*)

E. Marsyahyo\*, R. Soekrisno\*\*, Heru S.B. Rochardjo\*\*, Jamasri\*\*

\* Mahasiswa Sekolah Pascasarjana Program Doktor Jurusan Teknik Mesin dan Industri  
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada., Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang, email: ramiejoss@yahoo.co.id

\*\* Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin dan Industri,  
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

### Abstract

*Ramie (Boehmeria Nivea) as a tropical plant, has been utilized widely in textile and paper products. In this preliminary study, ramie as one of tropical natural fiber abundant resources was examined to improve its strength for engineering composite material purposes. Among all natural plant fibers, ramie has better mechanical properties that must be optimized to achieve reinforcement functionality in composite material. Because of hydrophilic in nature, alkali treatment is always common used in modifying surface compatibility between the fiber and hydrophobic polymer matrix.*

*This paper will present the effect of 5-20% NaOH treatment to surface characteristic of the ramie single fiber. The ramie fiber surface is characterized quantitatively by performing BET (Brunauer Emmett Teller) surface area and X-Ray diffraction and SEM (Scanning Electron Microscopy) for fibers surface analysis qualitatively. BET surface area analyzer was used to determine surface area of treated fiber and the amount of its porosity. Scanning electron microscopy was used for analysis of surface morphologies of treated fibers qualitatively. Changing in chemical structure of ramie fiber examined by x-ray diffraction patterns. Mechanical properties especially tensile strength and fracture modes of ramie single fibers were also investigated. From the experiment result, it could be stated that ramie surface improved becoming smoother by increasing X%NaOH. Specific surface area was increased by adding X% NaOH. However, increasing X%NaOH could reduce tensile strength of single fibers. This paper would be a guidance to utilized ramie natural fiber as a reinforcement fibers material and a step toward biocomposites material*

*Keywords: ramie single fiber, alkali treatment, BET surface area, X-Ray diffraction, SEM micrography, fracture modes*

### 1. Pendahuluan

Pemanfaatan serat alam berbasis selulosa telah menyita perhatian para peneliti untuk menemukan keunggulan-keunggulan serat alam agar mampu bersaing dengan serat sintesis. Serat alam rami (*Boehmeria nivea*) memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai media penguatan pada resin polimer. Semua serat alam dari tanaman memiliki sifat hidrophilik yang sangat berlawanan dengan sifat hidrophobik polimer. Perlakuan alkali X% NaOH dimaksudkan untuk mengurangi sifat hidrophilik serat alam yang diharapkan akan memiliki kompatibilitas dengan bahan-bahan hidrophobik polimer. Selain itu, perlakuan alkali berfungsi membersihkan media ekstraktif dari serat alam seperti *lignin*, *pectin*, *wax* dan kotoran (impuritas) sehingga diperoleh serat dengan permukaan yang relatif memiliki topografi seragam. Secara kualitatif, topografi permukaan serat akibat perlakuan X%NaOH akan ditinjau melalui cara pengamatan hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sedangkan secara kuantitatif, karakteristik permukaan serat diamati dengan cara *Brunauer Emmett Teller (BET) surface area* yang akan memberikan informasi besar efektif luasan permukaan serat dan tingkat porositasnya [1]. Perubahan molekul kimia selulosa serat akibat perlakuan X%NaOH diamati perbedaan pola difraksi sinar X-ray dengan membandingkan hasil perlakuan dengan serat rujukan tanpa perlakuan (serat *green*). Karakterisasi permukaan serat ini akan digunakan untuk penelitian lanjut kompatibilitas serat rami dengan resin polimer sebagai alternatif cara pengembangan dan optimasi material teknik khususnya komposit penguatan serat alam selulosa.

### 2. Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan komposit polimer dengan penguatan serat alam selulosa saat ini menunjukkan perkembangan yang sangat pesat terutama untuk aplikasi struktural dan nonstruktural [2], [3]. Kekuatan ikatan interfacial serat dan matrik dapat dioptimalkan jika hubungan antara ikatan serat-matrik serta perilaku

mekanis dari komposit dipahami dengan baik. Kekuatan *interfacial* ditentukan oleh beberapa faktor mendasar yakni [4] :

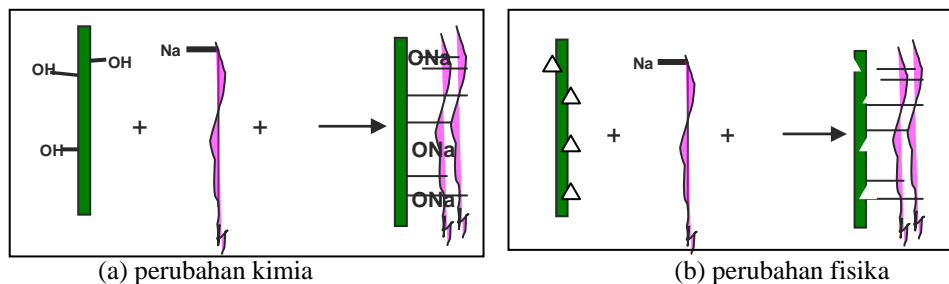
- Topologi kekasaran permukaan serat (*surface roughness*)
- Jenis serat dan model perpatahan (*fracture modes*)
- Kemampuan rekat serat-matrik (*adhesive bonding*)

Dalam penelitian awal pemanfaatan serat alam rami sebagai media penguatan komposit matrik thermoset [5], menunjukkan bahwa serat alam rami 'hijau' tanpa perlakuan mampu memberikan penguatan pada komposit matrik epoxy dengan fraksi volume minimal sekitar 40%. Sedangkan tinjauan serat tunggal, perlakuan alkali serat rami telah menunjukkan perilaku patahan getas namun semakin tinggi konsentrasi larutan alkali ternyata menurunkan kekuatan tarik serat tunggal [6]. Perlakuan alkali ditengarai tidak merubah struktur kimia serat secara signifikan tetapi lebih berdampak pada perilaku fisika yakni 'opening' atau pembukaan pori-pori dan membersihkan permukaan serat dari unsur ekstraktif atau impuritas yang dapat larut [7].

Hubungan antara perlakuan X% konsentrasi alkali dengan permukaan serat alam, khususnya rami, secara kualitatif dapat diuraikan sebagai berikut [7] dan [8]:

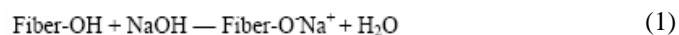
- Mereduksi kandungan air pada permukaan serat
- Membersihkan permukaan serat dari lignin, kotoran sisa dekortikator dan wax
- Delignifikasi dimana serat dalam bentuk ikatan antar serat (*bundles*) cenderung membuka (*opening*) terurai menjadi serat tunggal .

Perlakuan NaOH ini memberikan dua dampak langsung yakni perubahan kimia dan fisika permukaan serat. Gambar 1 menunjukkan mekanisme perubahan kimia dan fisika tersebut.



Gambar 1. Perubahan kimia dan fisika permukaan serat hasil perlakuan NaOH

Permukaan serat mengalami perubahan kimia yakni pertukaran ion H dari molekul selulosa dengan ion Na<sup>+</sup> sehingga mereduksi gugus hidroksil (OH) yang menghasilkan serat lebih hidrofobik. Sedangkan perubahan fisika pada permukaan serat adalah melarutnya impuritas (tanda segitiga) antara lain *lignin*, *wax* dan kotoran yang menghasilkan serat lebih halus dan pada skala mikro terjadi proses *opening* atau pembukaan pori-pori permukaan serat. Reaksi kimia antara permukaan serat dengan NaOH secara umum ditulis sebagai berikut [8]:



### 3. Landasan Teori

Sifat hidrophilik yang dimiliki oleh serat alam harus direduksi dengan cara pemanasan pada oven sehingga kandungan air dapat dioptimalkan serendah mungkin. Kandungan air serat optimal disebut *moisture content* (MC) dan dinyatakan dalam persen % [9].

$$\text{MC} = \frac{M_a - M_b}{M_a} \quad (2)$$

dengan: MC = *moisture content* serat, %, setelah kering tanur 110<sup>0</sup>C/jam  
M<sub>a</sub> = berat awal serat sebelum kering tanur, gr  
M<sub>b</sub> = berat serat setelah kering tanur, gr

Luasan permukaan serat dan volume porositas dapat dihitung melalui persamaan *Brunauer Emmett Teller* [1]:

$$W_m = 1/(s + i) \quad (3)$$

s: slope C-1/W<sub>m</sub>C  
i : intersepsi 1/ W<sub>m</sub>C

Sedangkan total luas permukaan spesifik dan volume pori-pori yang dimiliki serat dihitung berdasarkan jumlah uap nitrogen yang terserap permukaan serat pada tekanan relatif P/P<sub>0</sub> =1 dengan asumsi semua pori-pori terisi penuh cairan absorbate dengan persamaan:

$$A_s = N_A \cdot W_m \cdot a_{N_2} / M_{mol} \quad (4)$$

$$V_{liq} = P V_{ads} \cdot V_{mol} / R \cdot T \quad (5)$$

$A_s$  : luas permukaan serat

$N_A$  : bilangan Avogadro  $6,023 \cdot 10^{23}$

$M_{mol}$  : berat molekul nitrogen

$A_{N_2}$  : luas penampang molekul nitrogen =  $16,2 \text{ \AA}$

$V_{ads}$  : volume gas yang terserap serat

P, R T: standar tekanan dan temperatur ruang vakum

#### 4. Cara Penelitian

Bahan :

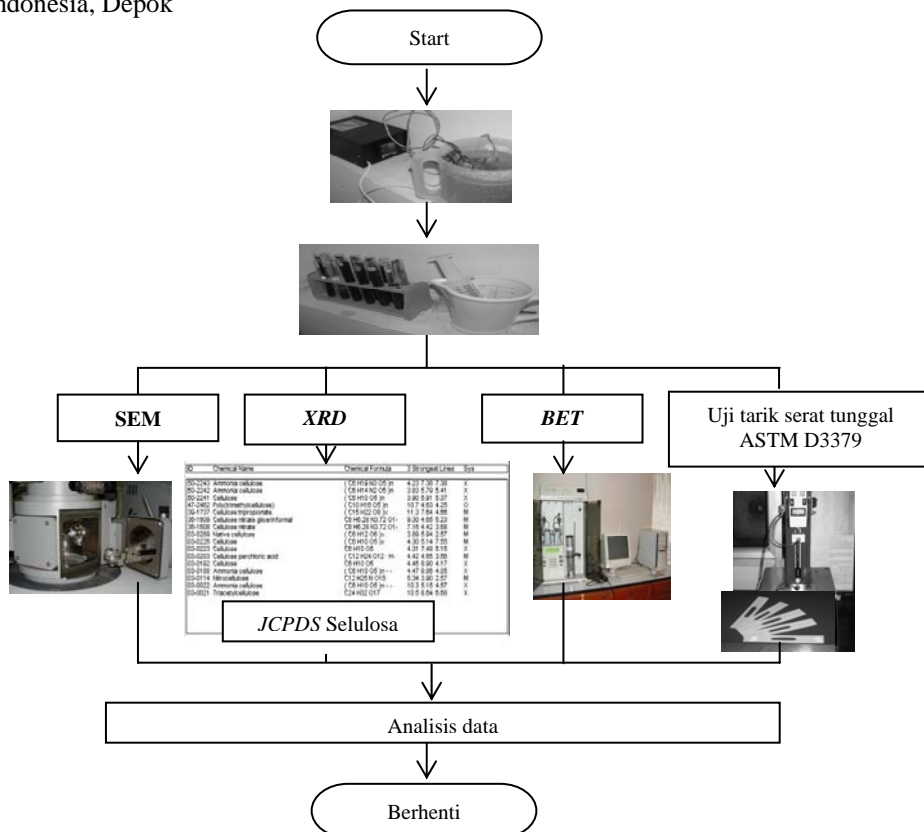
- serat rami klon Pujon X dari Koppontren Darussalam, Garut, dipanen bulan Mei 2005
- alkali padat NaOH
- air aqueos
- kertas lakmus

Alat:

- timbangan digital
- oven listrik
- mikroskop optik
- SEM
- X-Ray Diffraction
- BET Surface area

Cara pengujian:

- serat dimasak  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam dalam larutan alkali X% NaOH
- serat dicuci bersih dengan aqueos dan diangin-anginkan suhu kamar selama 2 jam
- oven pada suhu  $110^{\circ}$  selama 1 jam, hitung MC merujuk pada standar ASTM D629-99 *Quantitative Analysis of Textiles*
- Kondisi lingkungan pengujian diamati dengan higrometer yakni menunjukkan RH  $82 \pm 3$  dan suhu  $30 \pm 2$
- Uji BET surface area di Lab. Analisis dengan Instrumen, Jur. Teknik Kimia, FT, UGM, Jogjakarta
- Mesin SEM dengan pembesaran 1000X, milik Fakultas Teknik, Teknik Metalurgi, Universitas Indonesia, Depok

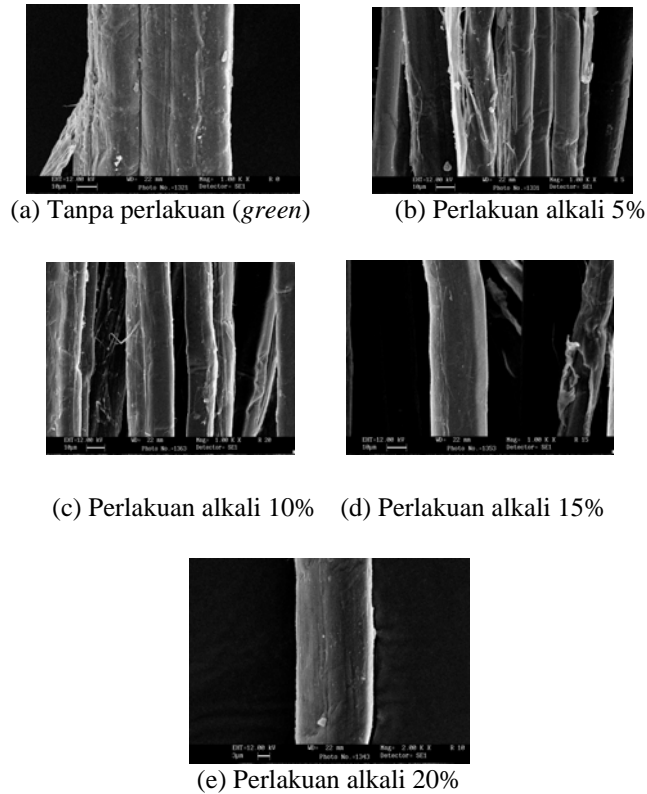


Gambar 2. Langkah Penelitian

## 5. Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Hasil foto SEM

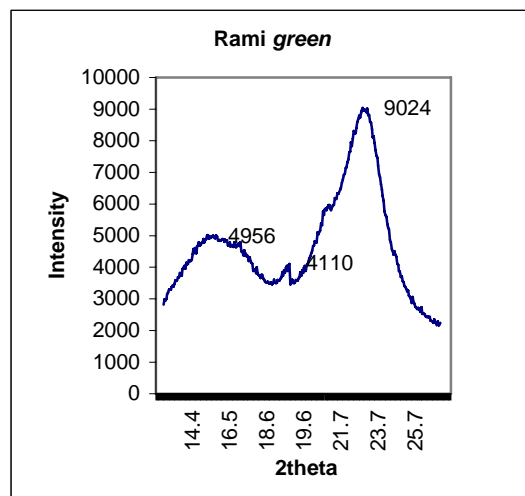
Hasil foto mikro SEM dapat langsung dianalisa melalui layar komputer. Morfologi permukaan serat diamati dengan SEM pada pembesaran 1000 X. Hasil perlakuan alkali X% NaOH mempengaruhi permukaan serat. Serat tanpa perlakuan (*green*) dalam bentuk *fiber bundle* (gambar a) mulai terurai menjadi serat tunggal (gambar b). Pada konsentrasi diatas 10% NaOH permukaan serat menjadi tampak bersih dan halus.. Serat dapat terurai dengan mudah menjadi serat tunggal disebabkan kandungan *lignin* sebagai perekat antar serat berkurang.



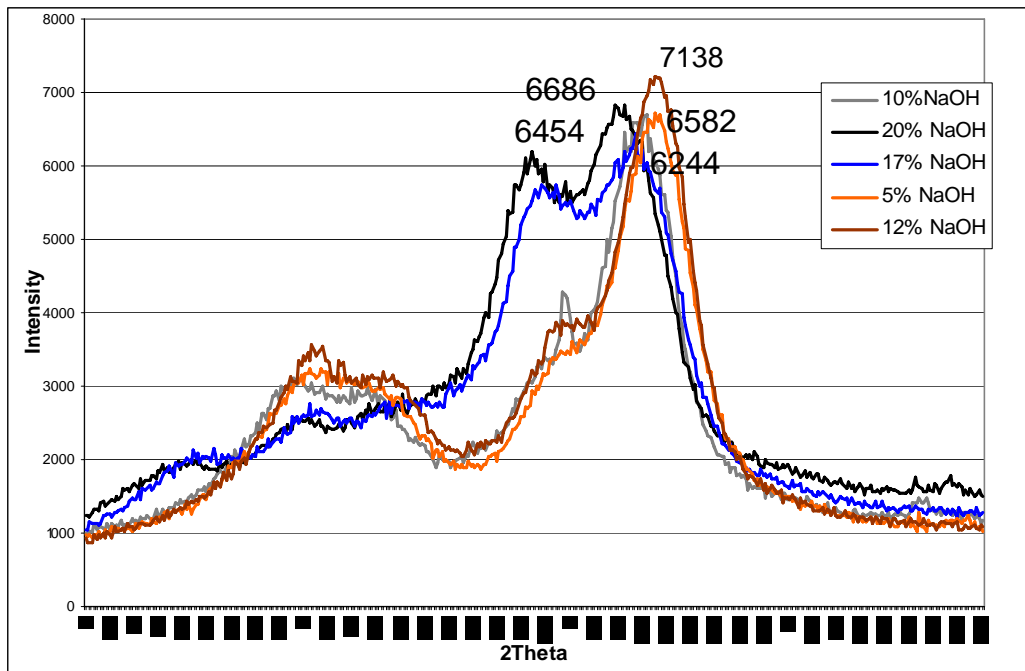
Gambar 3. Hasil SEM permukaan serat rami dengan perlakuan alkali X%

### 5.2 Hasil pola difraksi sinar X-ray

Untuk memastikan adanya perubahan kimia pada susunan molekul serat diuji dengan difraksi sinar X-ray. Pola difraksi dari serat tanpa perlakuan (*green*) sebagai rujukan terjadi perubahan-perubahan seperti ditunjukkan pada gambar 4 dan tabel 1.



(a) Pola difraksi serat tanpa perlakuan



(b) Pola difraksi serat dengan perlakuan X%NaOH

Gambar 4. Pola difraksi serat rami tanpa perlakuan (*green*) dan hasil perlakuan X% NaOH

Perubahan intensitas menunjukkan molekul-molekul dari senyawa selulosa mengalami perubahan. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi larutan NaOH, hilangnya lignin dan impuritas lain. Untuk memastikan perubahan tersebut tabel 1 menyimpulkan masing-masing intensitas puncak dari pola difraksi sinar X-ray dengan merujuk pada kartu JCPDS yang tersedia dengan kesalahan relatif yang menunjukkan tingkat ketelitian hasil analisis pola difraksi.

**Tabel 1. Hasil perhitungan *d-spacing* dan kesalahan relatif uji difraksi sinar X-ray**

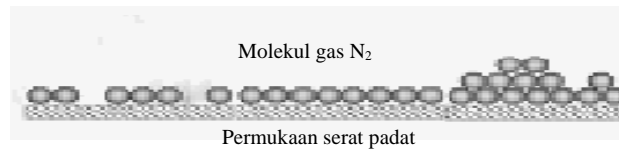
X% NaOH	2 Theta	Relative Intensity	d-spacing terukur	d-spacing JCPDS	Kesalahan relative, %	Keterangan hasil prediksi
0 ( <i>green</i> )	22,90	100	3,88636	3,8900	0,1%	Native C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	21,75	68	5,18752	5,9100	7,6%	Cocok
	21,20	42	5,08286	5,3700	9,9%	
5	22,90	100	3,88590	3,900	0,4%	[C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ] <sub>n</sub>
	15,60	31	5,66419	5,9060	4,1%	Cocok
	20,20	36	5,39251	5,3724	0,4%	
10	22,60	100	3,93457	3,9001	0,9%	[C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ] <sub>n</sub>
	14,80	39	5,98079	5,9060	1,3%	Cocok
	16,05	33	5,51770	5,3724	2,6%	
12	22,80	100	3,89629	2,57	34%	Native C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	20,80	45	4,26714	3,89	8,8%	Tidak cocok,
	15,30	41	5,78645	5,94	2,6%	
17	22,45	100	2,13280	2,57	17%	Native C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	22,00	86	4,03702	3,89	3,6%	Tidak Cocok,
	20,55	76	4,31848	5,94	27,3%	
20	22,15	100	4,01002	3,8900	3%	Native C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	20,15	77	4,40330	4,42	0,4%	Tidak cocok,
	20,95	66	4,23692	4,65	8,9%	

Tabel 1 merupakan hasil perbandingan *d-spacing* serbuk serat ramie dari pengukuran pola difraksi x-ray dengan kartu JCPDS. Dari spektrum puncak didapat intensitas tertinggi menunjukkan struktur kimia selulosa *native* dengan rumus kimia C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> dan pola [C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>]<sub>n</sub>. Susunan kimia [C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>]<sub>n</sub> merupakan gambaran dari ikatan molekul polisakarida atau *anhydro-glukosa* yang merupakan molekul utama penyusun selulosa. Perlakuan alkali dari konsentrasi larutan 0-20% NaOH tidak menghasilkan senyawa baru atau regenerasi selulosa tetapi merubah orientasi ikatan gugus OH pada permukaan serat saja. Sebagai informasi tambahan, susunan kristal daripada unit sel selulosa memiliki bentuk *triclinic* dan *monoclinic* yang sangat rumit [11]. Ketidacocokan (*unmatched*) antara *d-spacing* hasil terukur (untuk 12, 17 dan 20%NaOH) dengan kartu JCPDS

disebabkan serat mengalami delignifikasi dan degradasi lingkungan seperti jamur dan bakteri serta ekstraktif kurang bersih [11]. Karakterisasi dengan cara lain seperti Raman, NMR dan uji komposisi adalah suatu keharusan untuk mendapatkan karakter selulosa lebih akurat ditinjau dari sel biologi dan struktur kimia murni.

### 5.3 Hasil BET surface area

Sedangkan hasil analisa BET *surface area* memberikan informasi luasan permukaan spesifik dan volume porositas serat. Gambar 4 menunjukkan ilustrasi proses penyerapan gas nitrogen oleh permukaan serat saat diuji BET[10].



Gambar 5. Ilustrasi pelapisan gas nitrogen yang diserap permukaan serat kondisi isothermal

Metode perhitungan penyerapan gas dengan metode BET multipoint seperti pada gambar 5 yakni monolayer. Hasil karakterisasi BET *surface area* ditabelkan berikut ini:

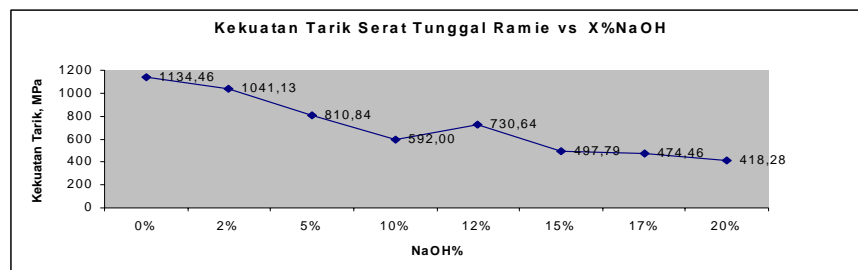
Tabel 2. Hasil uji BET luasan permukaan serat spesifik ( $A_s$ ) dan volume porositas serat spesifik ( $V_p$ )

Perlakuan X% NaOH	Diameter pori-pori, Angstrom	$A_s$ ( $m^2/gr$ )	$V_{p_{liq}}$ ( $mm^3/gr$ )
0	7,234	0,742	0,134
5	93,634	0,767	1,798
10	147,126	0,768	2,823
15	69,492	0,838	1,456
20	29,372	0,604	0,444

Semakin tinggi harga luasan spesifik ( $A_s$ ), serat memiliki topologi permukaan dengan tingkat kekasaran tinggi dimana terdapat penambahan besar luasan akibat distribusi pori-pori dalam skala *nano* oleh permukaan yang porous. Proses *opening* permukaan serat optimal ditunjukkan oleh hasil perlakuan 10%NaOH. Sedangkan serat tanpa perlakuan masih belum terjadi pembukaan serat akibat kadar lignin dan impuritas yang masih tinggi yakni serat masih dalam bentuk *bundle* dimana sisi-sisi permukaan serat masih saling rekat. Penyerapan nitrogen pada permukaan mikro porous hanya terjadi pada monolayer tipe I BET *surface area*. Dari pengamatan SEM dan perhitungan BET *surface area*, pengaruh konsentrasi X%NaOH berperan sebagai media pembersih dan pembuka pori-pori serat yang secara mekanis mempengaruhi morfologi permukaan serat, serat cenderung lebih halus dan bersih dari impuritas selain selulosa. Namun konsentrasi yang terlalu tinggi yakni 20%NaOH menyebabkan serat mengalami degradasi mekanis dimana sel-sel serat mudah terurai dan kekuatan serat menurun.

### 5.4 Hasil uji tarik dan model patahan serat tunggal

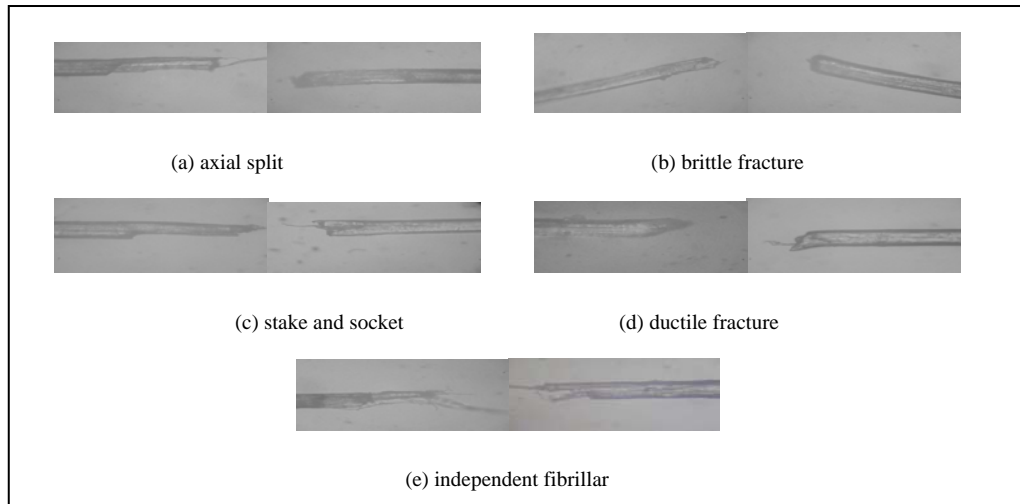
Meningkatnya konsentrasi NaOH dapat menurunkan kekuatan tarik serat tunggal. Penurunan kekuatan tarik dipengaruhi oleh proses opening yang berlebihan dan terurainya serat tunggal akibat pelarutan lignin sebagai pengikat antar serat. Larutan alkali dengan konsentrasi diatas 10% menyebabkan degradasi fisik serat. Model patahan serat tunggal akan memberikan informasi keunikan perilaku serat akibat beban tarik. Sifat ulet dan getas dapat diamati langsung dari bentuk patahan ujung serat. Semakin tinggi konsentrasi NaOH bentuk patahan serat cenderung getas. Meskipun demikian ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil kekuatan tarik serat yakni cacat alami pada masa pertumbuhan serat dan akibat jamur atau bakteri sehingga serat memiliki karakteristik permukaan dan mekanis yang relatif bervariasi.



Gambar 6. Penurunan kekuatan tarik serat tunggal akibat perlakuan X%NaOH

Menurut Brook dan Choudhury [12], model patahan serat dapat dikelompokkan dalam tiga bagian yakni (a) patahan beban tarik, (b) patahan beban fatik dan (c) patahan bentuk lain. Hasil uji tarik serat tunggal rami akibat perlakuan alkali menghasilkan jenis patahan antara lain: *brittle fracture*, *axial split*, *ductile fracture*, *stake and socket* dan *independent fibrillar*. Persentase kemunculan patahan serat yang memiliki jenis serat getas adalah sekitar 60%, sedangkan sisanya memiliki jenis ulet dan *independent fibrillar*. Patahan jenis *independent fibrillar* (berserabut mulai dari dinding serat hingga daerah *lumen* atau jaringan paling lunak) disebabkan serat memiliki irregularitas permukaan yang tinggi misalnya cacat selama masa pertumbuhan tanaman, pangkal daun, penanganan pasca panen, akibat jamur dan bakteri yang sulit dihindari. Kenyataannya bagian dinding serat terluar atau permukaan serat memiliki kekerasan yang paling tinggi dari struktur serat keseluruhan.

Foto makro model perpatahan serat rami akibat beban tarik dari pengaruh perlakuan alkali dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 7. Model patahan serat tunggal

## 6. Kesimpulan

1. Semakin tinggi konsentrasi larutan alkali X% NaOH menyebabkan serat mengalami perubahan pola difraksi yang berarti terjadi perubahan kimia susunan molekul selulosa, konsentrasi unsur Na dan terlepasnya impuritas yang menempel pada permukaan serat rami. Kemungkinan besar terjadi pertukaran ion H pada gugus OH dengan ion Na pada molekul NaOH. Untuk konsentrasi diatas 10% NaOH terjadi perubahan senyawa serat yang pola difraksinya tidak tercantum pada kartu rujukan JCPDS
2. Pengaruh penambahan konsentrasi hingga 20%NaOH menyebabkan penurunan kekuatan tarik serat akibat degradasi kimia yang menyebabkan serat mudah terurai dengan hilangnya kandungan lignin yang secara alami berfungsi sebagai media perekat antar serat. Kekuatan tarik menurun hingga mencapai 50% dari serat *green* dan perlakuan 20%NaOH yakni dari rata-rata 1134,46 MPa menjadi 418,28 MPa
3. Hasil foto SEM menunjukkan peningkatan konsentrasi larutan NaOH memberikan pengaruh permukaan serat menjadi lebih bersih, topografi lebih halus dan seragam.
4. Pada skala mikro hingga nano, permukaan serat mengalami *opening* yakni terbukanya pori-pori serat terutama pada perlakuan 10%NaOH.. Proses *opening* optimal dicapai jika distribusi pori-pori merata di permukaan serat yang berkaitan dengan besarnya luas permukaan spesifik ( $A_s$ ), volume spesifik ( $V_s$ ) dan diameter pori. Tingginya volume pori-pori spesifik menunjukkan serat mampu menampung penetrasi media resin yang diyakini dapat meningkatkan kekuatan geser *interfacial* serat-matrik.
5. Model patahan serat menunjukkan suatu keunikan dimana sifat mekanis serat dapat diamati apakah keras-getas (model *brittle* dan *axial split*), keras-ulet (model *ductile* dan *stake and socket*) dan model patahan lain yakni bentuk alami irregularitas serat dari pengaruh cacat pertumbuhan, serangan jamur dan bakteri yang muncul dari jenis patahan *independent fibrillar*. Pengamatan model patahan ini dapat diterapkan untuk memprediksi jenis kegagalan serat-matrik pada bahan komposit terutama *fiber failure strain* [12].

**Ucapan terimakasih:**

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ibu Aminah Musaddad, Ketua Koperasi Pondok Pesantren "Darussalam", Garut, yang telah memberikan dukungan bahan baku rami serta kesabaran beliau dalam membimbing peneliti memahami morfologi tanaman rami (*Boehmeria nivea*) sehingga terwujud laporan penelitian ini.

**Daftar pustaka:**

- [1] Bismarck, A., Askargorta, I.A., Springer, J., Lampke, T., Wielage, B., Stamboulis, A., Shenderovich, I., Limbach, H.H., 2002, *Surface Characterization of Flax, Hemp and Cellulose Fibers: surface Properties and the Water Uptake Behaviour*, Polymer Composites, vol.23, no.5, October 2002 [online]
- [2] Mueller, D.H., Krobjilowski A., 2003., "New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers", Journal of Industrial Textiles, , [Online]. vol. 33, no.2.
- [3] Rowell, R.M. Han, J.S. Rowell, J.S., 2000, "Characterization and Factors Effecting Fiber Properties," *Natural Polymers and Agrofibers Composites*, (book style), Editor: E.Fronlini, L.H.C Matasso, A.L. Leao, Brasil.
- [4] Eichhorn, S.J. Baillie, C.A. Zafeiropoulos, N Mwaikambo, L.Y..Ansell, M.P. Dufresne, A. Entwistle, K.M. Herrera Franco, P.J. Escamilla, G.C. Groom, L Hughes, M..Hill, C. Rials, T.G Wild., P.M., 2001, "Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites," *Journal of Material science*, [Online] vol.36.
- [5] Marsyahyo, E., Soekrisno, Rochardjo, H.S.B., Jamasri, Sutapa, J.P.G., 2005, *Preliminary Study of the Tensile Strength Tropical Natural Plant Fiber Reinforced Thermosetting Composites*, proc. paper of The 8th International Conference on Quality in Research 2005, Indonesia University 9-10 August 2005, Depok.
- [6] Marsyahyo, E., Soekrisno,, Jamasri, Rochardjo, H.S.B ., 2005, *Penelitian Awal Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik dan Model Perpatahan Serat Tunggal Ramie (Boehmeria Nivea)*, proc. Seminar nasional. Perkembangan Riset dan Teknologi Bidang Material dan Proses, Pusat Studi Ilmu Teknik, UGM, 18 Juli 2005, Jogjakarta
- [7] Panigrahi, S., Powell, T., Wang, B., Tabil, L.G., Crerar, W., Sokhansanj, S., 2003, *The Effect of Chemical Pretreatments on Flax Fibre Biocomposites*, Journal The Society for Eng. in Agricultural, Food, and Biological Systems, ASAE Meeting, Paper no. RRV03-0018
- [8] Mishra, S., Misra, M., Tripathy, S. S., Nayak, S. K., and Mohanty, A. k., 2002, *the Influence of Chemical Surface Treatment Modification on the Performance of Sisal-Polyester Biocomposites*, Polymer Composites, Vol. 23, No. 2, pp. 164-170.
- [9] \_\_\_\_\_, *ASTM D629-99 Quantitative Analysis of Textiles*. 2000, standard on disc vol. 07.01
- [10] Mihrayan, a., 2005, *Engineering in Native Cellulose for Pharmaceutical application*, laporan disertasi, Uppsala Univ., ISBN 91-554-6130-1
- [11] Atalla, R.H., 1999, *Cellulose: Comprehensive Natural Products Chemistry*, editor: Barton, S.d., Nakashi, K., Chon, O.M., vol.3, pp.529-596, pen. Elsevier
- [12] Brooks, C.R., Choudhury, A., 2002, *Failure Analysis of Engineering Materials*, pen. McGraw Hill, pp.293, NY