

## **Pengaruh Perlakuan Alkali NaOH terhadap Kekuatan Tarik dan Lentur pada Buku Bambu Betung**

Hamimatun Niswah Akhyar<sup>1</sup> dan Badaruddin<sup>2</sup>  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung<sup>1,2</sup>  
Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia  
e-mail: hamimah1129@gmail.com<sup>1</sup>, mbruddin@eng.unila.ac.id<sup>2</sup>

### **ABSTRACT**

*Betung bamboo is one of the natural fibers that has good strength, fast stem growth, lightweight, and environmentally friendly. This study used alkali NaOH treatment to increase the mechanical strength of betung bamboo nodes, specimens were soaked in NaOH solution with concentrations of 5%, 10% and 15% for 2 hours to be compared with specimens without alkali NaOH treatment. After immersion, the specimens were dried in a furnace for 2 hours at a temperature of 60° to reduce the water content. The tensile test of the betung bamboo node was carried out according to the ASTM D638 standard and the flexural test was carried out according to the ASTM D790 standard using the MTS Landmark 100 kN at room temperature. The optimal maximum stress value is found in the specimen with 5% NaOH alkali treatment, which is 148.95 Mpa, the most optimal MOE and MOR values are found in the specimen with 5% NaOH alkali treatment, which is 229.23 MPa and 10286.06 MPa. The SEM Fractography test showed that the surface of the specimen with 5% NaOH treatment looked cleaner and rougher due to the reduction of hemicellulose and lignin that coated the surface of the betung bamboo node fibers.*

**Keywords:** Alkali treatment, betung bamboo node.

### **ABSTRAK**

Bambu betung merupakan salah satu serat alam yang sudah banyak digunakan sebagai furnitur, kerajinan tangan dan bahan bangunan, bambu betung ini ramah lingkungan, ringan, memiliki kekuatan yang baik dan memiliki pertumbuhan batang yang cepat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh perlakuan alkali NaOH terhadap spesimen bagian buku bambu betung. Penelitian ini menggunakan perlakuan alkali NaOH untuk meningkatkan kekuatan mekanik buku bambu betung, spesimen di rendam dengan larutan NaOH dengan kadar konsentrasi 5%, 10% dan 15% selama 2 jam yang akan dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan alkali NaOH. Setelah dilakukannya perendaman spesimen dikeringkan di *furnace* selama 2 jam dengan temperatur 60° untuk mengurangi kadar air pada buku bambu betung. Pengujian tarik buku bambu betung dilakukan sesuai standar ASTM D638 dan pengujian lentur dilakukan sesuai standar ASTM D790 menggunakan MTS Landmark 100 kN pada temperatur ruangan. Nilai tegangan maksimum rata-rata paling optimal terdapat pada spesimen dengan perlakuan alkali NaOH 5% yaitu sebesar 148.95 Mpa, nilai MOE dan MOR paling optimal terdapat pada spesimen dengan perlakuan alkali NaOH 5% sebesar 229.23 MPa dan 10286.06 MPa. Uji Fraktografi SEM menunjukkan permukaan spesimen dengan perlakuan NaOH 5% terlihat lebih bersih dan kasar karena pengurangan hemiselulosa dan lignin yang melapisi permukaan serat buku bambu betung tersebut.

**Kata Kunci :** Buku bambu betung, perlakuan alkali.

### **PENDAHULUAN**

Bambu mudah ditemukan dan merupakan tanaman serba guna, karena semua bagian dari bambu memiliki kegunaannya masing-masing dalam kehidupan sehari-hari. Bambu merupakan salah satu tanaman yang memiliki kandungan *lignoselulosa*, umumnya tanaman-tanaman yang mengandung *lignoselulosa* adalah kayu, bambu dll. *Lignoselulosa* adalah komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan yang terdiri dari 3 polimer yaitu *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin*. Laju pertumbuhan bambu yang cepat ini dapat memenuhi ketersediaan bambu dengan cepat pula, daur tebang dari bambu yaitu sekitar 3-4 tahun sudah bisa dipanen, bambu juga merupakan salah satu dari banyak tanaman yang baik untuk lingkungan [1].

Salah satu bambu yang sering digunakan adalah bambu betung, bambu betung ini memiliki batang yang berdiameter besar, kuat, dinding tebal, dan ringan. Karena keunggulannya, bambu betung digunakan dalam konstruksi dengan perlakuan pengawetan sebelumnya [2]. Informasi tentang sifat-sifat dari bambu betung perlu diketahui sebelum digunakan untuk mencegah kecacatan material yang bisa berakibat fatal.

Maka dari itu, dilakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk menganalisa pengaruh perlakuan alkali dengan variasi kadar konsentrasi larutan NaOH terhadap kekuatan tarik dan lentur pada buku bambu betung. Spesimen yang akan digunakan adalah bambu betung pada bagian buku (nodia). Secara umum nodia mempunyai kapasitas memikul bahan yang tidak efektif baik dari segi kekuatan ataupun deformasi. Meskipun demikian adanya nodia pada batang bambu mencegah adanya tekuk lokal yang sangat penting dalam perancangan bambu sebagai elemen tekan.

Menurut Prasajo dkk [3] tentang pengaruh alkalisasi terhadap kompatibilitas serat sabut kelapa (*coco nucifera*) dengan matriks polyester dengan variasi konsentrasi larutan NaOH 2%, 5% dan 8% yang direndam selama 2 jam. Menurut hasil penelitian diketahui bahwa serat sabut kelapa dengan konsentrasi larutan NaOH 5% memiliki kekuatan tarik yang paling optimal. Meningkatnya kekuatan tarik pada serat sabut kelapa disebabkan meningkatnya *wettability* (kemampuan untuk basah) diantar serat dan matriks karena kekasaran permukaan yang baik pula pada permukaan serat sehingga *interfacial bonding* yang terjadi baik.

Maryanti [4] melakukan penelitian mengenai pengaruh alkalisasi serat kelapa/poliester terhadap kekuatan tarik, nilai kekuatan tarik komposit serat kelapa-poliester tertinggi terletak pada komposit dengan serat yang diberi perlakuan alkali NaOH 5% yaitu bernilai 97,356 Mpa. Menurut Shao dkk [5] kuat tarik dan kuat geser dari bambu moso tanpa nodia lebih tinggi sekitar 30 % daripada bambu dengan nodia. Sebaliknya, kekuatan lentur hampir sama antara bambu moso tanpa nodia maupun dengan nodia. Studi yang dilakukan oleh Anokye dkk [6] menunjukkan bahwa sifat lentur kayu bambu laminasi dengan nodia meningkat dengan meningkatkan jarak node.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Bambu Betung

Struktur anatomi bambu berkaitan erat dengan sifat fisik dan mekanik bambu. Bambu memiliki ciri-ciri pertumbuhan tunggal yang sangat cepat tanpa diikuti pertumbuhan sekunder, dan pada batang bambu terdapat ruas. Semua sel pada ruas mengarah pada sumbu aksial dan kulit bagian luarnya terbentuk dari satu lapis sel epidermis sedangkan kulit bagian dalamnya terbentuk dari sklerenkim. Struktur anatomi batang bambu terdiri dari 50% sel parenkim, 40% serabut dan 10% pembuluh. Berikut adalah sifat-sifat fisik dan mekanik dari bambu betung :

Tabel. 1 Sifat-sifat fisik bambu betung [7]

Sifat Fisik	Buku Bambu Betung		
	Pangkal(%)	Tengah(%)	Ujung(%)
Kadar Air Segar	94.65	90.65	67.62
Kadar Air Kering Udara	12.64	12.42	12.22
Berat Jenis Segar	0.63	0.61	0.69
Berat Jenis Kering Udara	0.65	0.69	0.71
Berat Jenis Kering Tanur	0.67	0.72	0.75

Tabel.2 Sifat-sifat mekanik bambu betung [8]

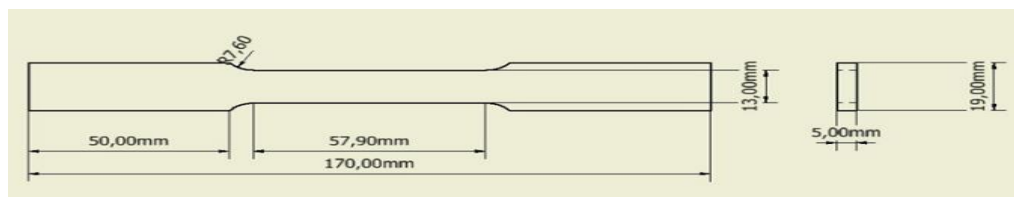
Sifat Mekanik	MPa
Kuat Lentur	134,972
Kuat Tarik Sejajar Serat	228
Kuat Tekan Sejajar Serat	49,206
Kuat Tekan Tegak Lurus Serat	24,185
Kuat Geser Sejajar Serat	9,505
Modulus Elastisitas Lentur	12888,477

### Perlakuan Alkali NaOH

Perlakuan alkali NaOH adalah metode yang sering digunakan untuk menghilangkan kandungan lignin dan minyak dipermukaan serat. Bertujuan untuk memodifikasi permukaan serat supaya terbentuk ikatan antar serat yang lebih kuat. Perlakuan alkali NaOH juga merupakan salah satu perlakuan pengawetan kimia bambu betung untuk mengawetkan bambu betung agar tahan lebih lama artinya dalam penggunaannya bambu seringkali terdegradasi oleh faktor abiotik seperti retak, kelembaban dan variasi dimensi. Hal ini menyebabkan umur pakai dari bambu menjadi pendek [9].

## METODE

Bahan yang digunakan untuk spesimen pada penelitian ini menggunakan bambu betung yang diambil pada bagian buku-buku (nodia). Bambu betung yang diperlukan memiliki spesifikasi panjang tiap ruas 40-50 cm dengan diameter berkisar 12-15 cm dengan tebal dinding 2 cm. Setelah itu buku bambu akan dibentuk sesuai dengan standar spesimen pengujian uji tarik dibentuk sesuai dengan Standar ASTM D638 (Gambar 1.). Dimensi dan ukuran spesimen untuk pengujian lentur dibuat sesuai dengan standar ASTM D790 (Gambar 2.).



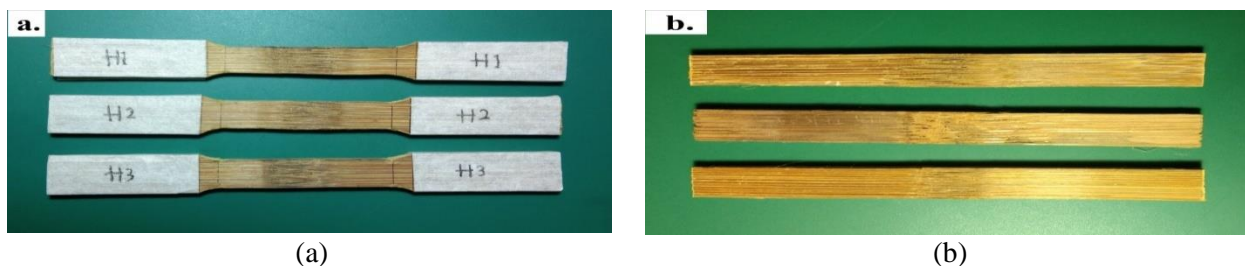
Gambar 1. Standar uji tarik sesuai ASTM D638.



Gambar 2. Standar uji lentur sesuai ASTM D790.

Spesimen yang telah dibentuk akan dilanjutkan dengan proses alkalisasi untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Proses perlakuan *alkali* NaOH pada spesimen bambu betung menggunakan tiga variasi kadar persentase dari larutan NaOH dengan konsentrasi 5%, 10% dan 15% dengan lama perendaman selama 2 jam. Setelah proses perendaman spesimen dibilas dengan aquades untuk menghilangkan kandungan *alkali* NaOH yang masih menempel pada spesimen, kemudian ditiriskan dan dikeringkan pada *furnace* dengan suhu 60 °C selama 2 jam.

Spesimen uji yang telah disiapkan sesuai akan dibedakan berdasarkan tanpa perlakuan dan perlakuan dengan variasi kadar NaOH. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian lentur untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen setelah diberi perlakuan alkali NaOH menggunakan mesin MTS *Landmark* 100Kn. Pada pengujian tarik, spesimen bambu betung akan ditarik dengan kecepatan konstan 3.5 mm/menit sampai mengalami kegagalan. Sedangkan pengujian lentur spesimen bambu betung akan diberi beban dengan *rate* 2.5 mm/min sampai spesimen mengalami kegagalan.

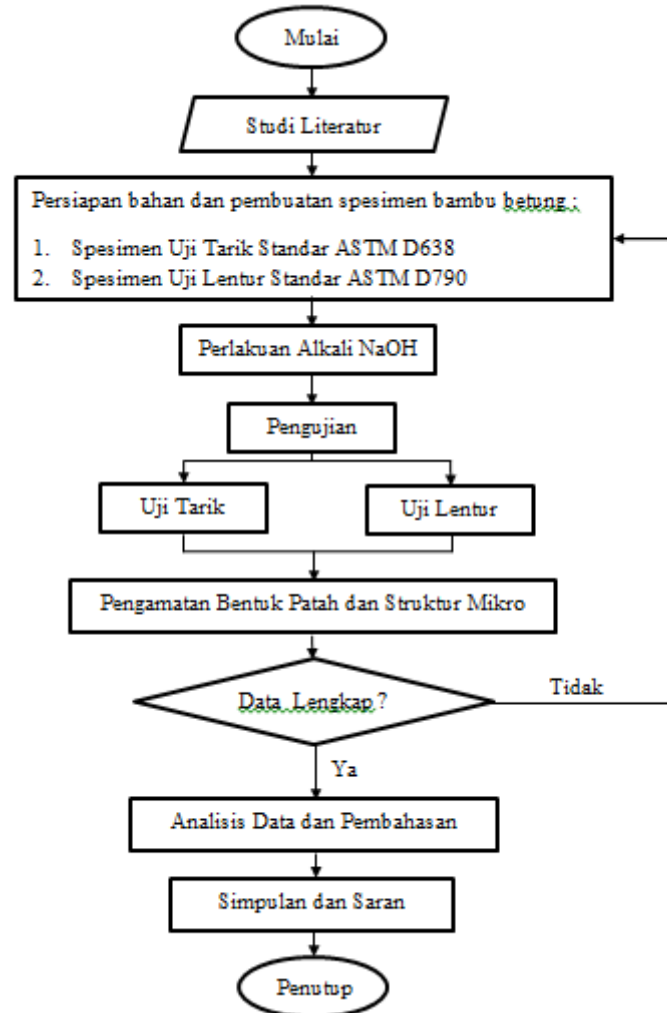


Gambar 3. Spesimen uji tarik buku bambu betung (a) uji tarik, (b) uji lentur.

Spesimen yang telah diuji akan dilakukan pengamatan bentuk retak dan kegagalan hasil pengujian diambil menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran sebesar 50X dengan titik observasi pada daerah *gage length* dan daerah dengan buku bambu betung untuk uji tarik, sedangkan untuk uji lentur titik

observasinya adalah daerah yang mengalami *bending*. Fraktografi SEM dilakukan untuk mengetahui jenis perpatahan yang terjadi pada buku bambu betung dan morfologi untuk mengetahui kondisi permukaan buku bambu betung setelah diberi perlakuan alkalisasi NaOH.

Berikut adalah diagram alur yang menunjukkan alur penelitian ini:



Gambar 4. Diagram alur penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut data Tabel 3 dan 4 dapat diketahui nilai tegangan maksimum pada buku bambu betung yang diberi perlakuan alkalisasi NaOH mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena kadar hemiselulosa dan lignin pada permukaan serat buku bambu betung berkurang, dengan berkurangnya kadar hemiselulosa dan lignin ini akan meningkatkan sifat mekanik dari buku bambu betung [10]. Salih dkk [11] melakukan penelitian terhadap serat tunggal bambu, dari penelitian ini diketahui bahwa jika konsentrasi larutan alkali NaOH yang kecil dapat menurunkan sifat tarik sedangkan konsentrasi larutan alkali NaOH yang tinggi akan dengan mudah mengikis serat dan akan mempengaruhi sifat tarik dari bambu. Menurut Taures [12] selulosa merupakan komponen yang menentukan serat, dan memiliki sifat yang tidak larut dalam pelarut organik dan air, hemiselulosa merupakan komponen yang mengisi ruang antar serat dan matriks dari selulosa, sedangkan lignin memiliki karakter yang menyerupai lilin, hidrofobik dan mudah larut dalam larutan alkali encer.

Tabel 3. Data hasil uji tarik

Kadar NaOH	Tegangan Maksimum (MPa)	Standar Deviasi
------------	-------------------------	-----------------

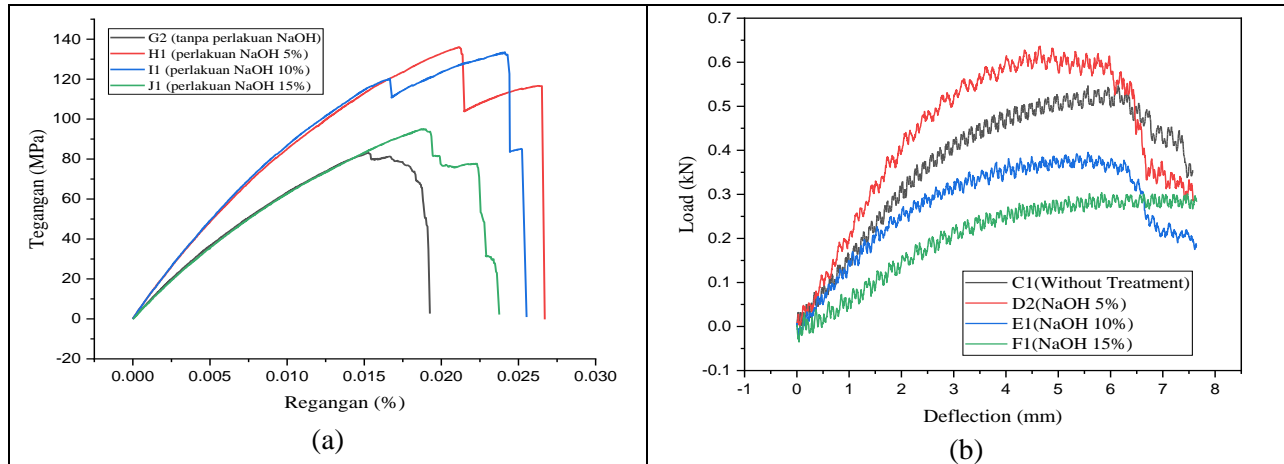
(%)	$\sigma$	Rata-rata	
0	145.76	119.37	45.85
	83.18		
	129.19		
5	136.08	148.95	17.32
	150.32		
	160.46		
10	133.55	126.8	16.33
	133.39		
	113.46		
15	95.12	101.56	19.35
	117.28		
	92.29		

Tabel 4. Data hasil uji lentur

Kadar NaOH (%)	Defleksi (mm)	Beban Maksimum (kN)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Standar Deviasi
0	7.57	0.54	218.83	8189.63	0.37
	7.57	0.09	37.64	1653.07	
	7.06	0.56	224.43	10595.07	
Rata-rata	7.4	0.39	160.3	6812.59	
5	7.57	0.62	251.87	11708.09	0.14
	7.57	0.63	254.67	11187.76	
	7.57	0.45	181.16	7962.35	
Rata-rata	7.57	0.56	229.23	10286.06	
10	7.56	0.32	130.56	5708.82	0.14
	7.56	0.49	199.35	8708.98	
	7.57	0.3	121.63	5301.39	
Rata-rata	7.56	0.37	150.51	6573.06	
15	7.56	0.27	110.2	4810.1	0.08
	7.57	0.31	125.55	5483.29	
	7.56	0.39	158.2	6899.15	
Rata-rata	7.56	0.32	131.31	5730.84	

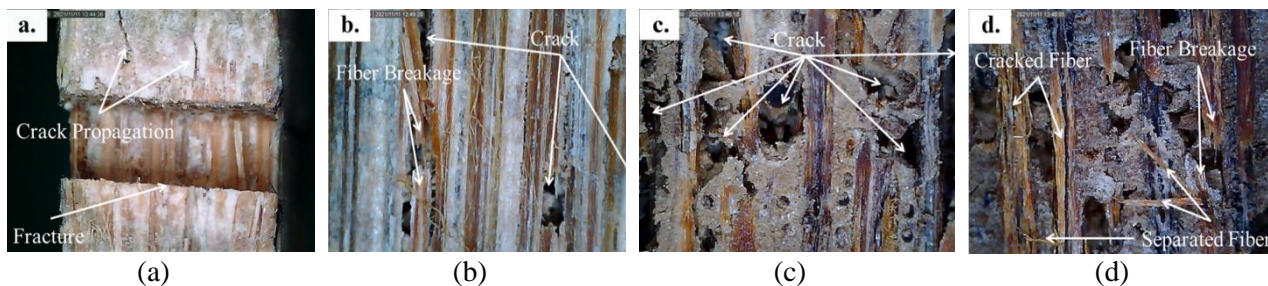
Dari Gambar 5 dapat dilihat perbedaan nilai tegangan maksimum spesimen yang tidak diberi perlakuan dan spesimen yang diberi perlakuan NaOH 5%,10% dan 15%. Pada spesimen dengan perlakuan NaOH 10% dan 15% kadar selulosa ikut berkurang atau serat dipermukaan spesimen mengalami rusak karena besarnya kadar konsentrasi NaOH saat diberikan perlakuan alkalisasi yang menyebabkan penurunan nilai tegangan maksimum. Sifat tarik dari serat bambu dipengaruhi oleh

kepadatan ikatan pembuluh, jumlah ikatan pembuluh menentukan sifat mekanik bambu, semakin padat ikatan pembuluh maka akan semakin tinggi kekuatan tarik dari bambu tersebut. Nilai kekuatan bambu betung akan meningkat sebanding dengan kepadatan bambu, dan spesimen dengan nodia (buku) memiliki kekuatan tekan yang lebih baik daripada spesimen dengan ruas saja, hal ini diakibatkan oleh perilaku nodia yang terlalu kaku [13].



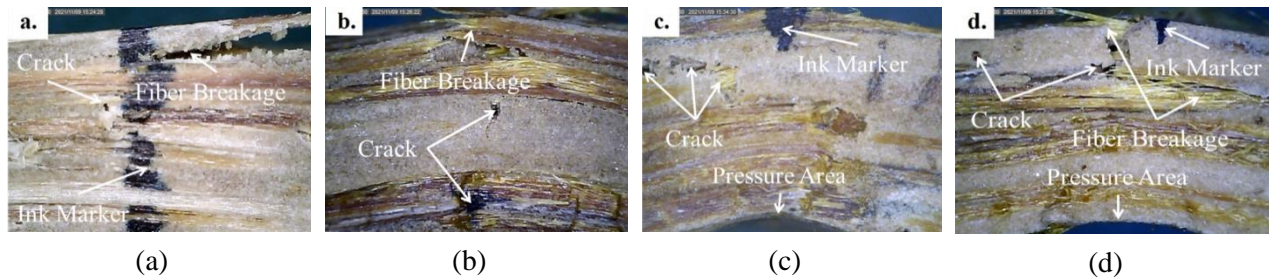
Gambar 5. Kurva (a) tegangan-regangan hasil uji tarik bambu betung, (b) beban terhadap defleksi hasil uji lentur bambu betung.

Gambar 6 menunjukkan perbedaan permukaan antara spesimen tanpa perlakuan NaOH, spesimen dengan perlakuan NaOH 5%, 10% dan 15%. Menurut Chen [14] retakan dimulai dari sel parenkim yang berada diantara ikatan serat, hal ini disebabkan oleh kekuatan antar sel yang lemah. Seiring tegangan yang terus bertambah, slip terjadi diantara ikatan serat dan sel parenkim, diikuti oleh retakan-retakan di area sel yang berkekuatan lemah, seperti di area antara serat bambu dan antara sel parenkim, yang berujung dengan tertariknya serat bambu dari sel parenkim.



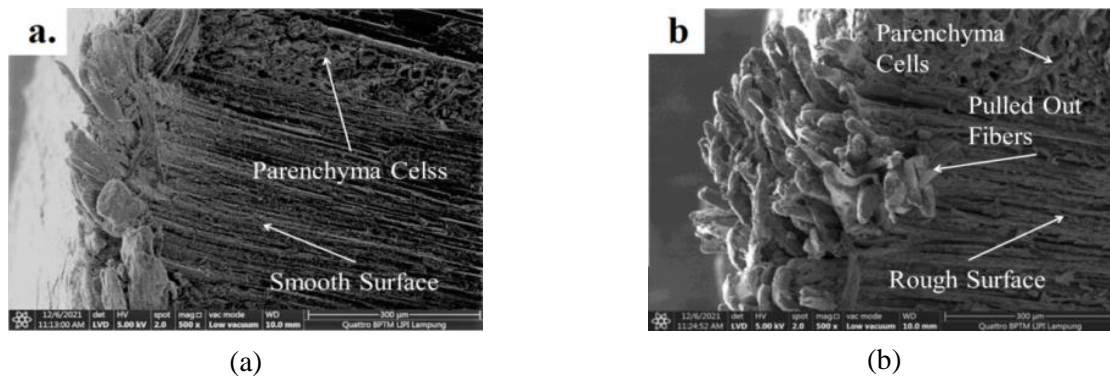
Gambar 6. Bentuk retakan dan putus serat buku bambu betung hasil uji tarik dengan mikroskop digital perbesaran 50X (a) tanpa perlakuan (b) NaOH 5% (c) NaOH 10% (d) NaOH 15%.

Pada gambar 7 dapat dilihat bentuk patahan terjadi pada serat bagian dalam dari buku bambu betung dan merambat ke serat bagian permukaan, yang menyebabkan putus-serat di permukaan buku bambu betung. Patahan lebih cenderung terjadi pada bagian buku bambu betung karena bentuk serat buku bambu betung ini tidak beraturan. Patahan yang cenderung terjadi pada buku bambu betung ini juga dapat terjadi karena rendahnya densitas dan rendahnya kekuatan serat pada bagian buku bambu betung [15]. Menurut Xuan [16] dengan adanya buku bambu betung ini akan mengurangi kekuatan seluruh struktur yang akan mempengaruhi kekuatan lentur dari buku bambu betung. Sebelumnya telah diketahui bahwa sifat tarik dari buku bambu betung dipengaruhi oleh kepadatan dari ikatan pembuluh.



Gambar 7. Bentuk bending spesimen pengujian lentur buku bambu betung dengan mikroskop digital perbesaran 50X (a) tanpa perlakuan (b) NaOH 5% (c) NaOH 10% (d) NaOH 15%.

Gambar 8 (a) menunjukkan bentuk permukaan spesimen buku bambu betung yang halus, hal ini karena tidak ada perlakuan alkali yang diberikan kepada spesimen. Jadi, permukaan spesimen masih dipenuhi oleh lignin, selulosa dan hemiselulosa yang menandakan bahwa bambu betung merupakan salah satu dari serat alami yang ada. Dan tampak sel parenkim, sel parenkim merupakan salah satu jaringan dasar dalam tumbuhan bambu, sel parenkim ini terletak diantara serat-serat bambu. Gambar 8 (b) menunjukkan permukaan yang lebih kasar dan bersih, hal ini disebabkan oleh zat lignin dan hemiselulosa yang terlepas saat dilakukannya perlakuan alkalisasi NaOH terhadap spesimen buku bambu betung. Hal ini selaras dengan teori alkalisasi NaOH yang berfungsi untuk mengurangi kadar lignin pada material yang menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih baik.



Gambar 8. Hasil uji fraktografi SEM pada permukaan buku bambu betung dengan perbesaran 500X (a) tanpa perlakuan NaOH (b) dengan perlakuan NaOH 5%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian yang diperoleh dapat diketahui bahwa variasi kadar konsentrasi NaOH mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan lentur buku bambu betung. Pada perlakuan alkalisasi NaOH 5% memiliki nilai kekuatan tarik maksimum tertinggi yaitu sebesar 148.95 MPa. Nilai rata-rata MOR dan MOE yang paling tinggi juga terdapat pada spesimen dengan perlakuan alkalisasi NaOH 5% yaitu sebesar 229.23 MPa dan 10286.06 MPa. Perubahan permukaan serat pada buku bambu betung yang mengalami perlakuan alkali (NaOH) terlihat lebih bersih dan kasar karena pengurangan hemiselulosa dan lignin yang melapisi permukaan serat buku bambu betung tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Leelatanon, S. Srivaro, N. Matan, "Compressive strength and ductility of short concrete columns reinforced by bamboo," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 32, no. 4, p. 419, Juli 2010.
- [2] S.R. Sutardi, N. Nadjib, M. Muslich, Jasni, I.M. Sulastiningsih, S. Komaryati, S. Suprati, Abdurrahman, E. Basri, *Informasi Sifat Dasar dan Kemungkinan Penggunaan Sepuluh Jenis Bambu*, Bogor : IPB Press, 2015. [Online] Available : <https://adoc.pub/10-jenis-bambu-informasi-sifat-dasar-dan-kemungkinan-nan-pen.html>

- [3] Prasojo, Sugeng, S.M.B. Respati, dan Purwanto, Helmy, “Pengaruh Alkalisasi Terhadap Kompatibilitas Serat Sabut Kelapa (*Coco Nucifera*) dengan Matriks Polyester,” *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*, vol 2, no.2, p. 25-34, 2017.
- [4] B. Maryanti, A. A. Sonief dan S. Wahyudi “Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 2, p. 123-129, Mei 2011.
- [5] Z. P. Shao, L. Zhou, Y. M. Liu, Z. M. Wu, dan C. Arnaud, “Differences In Structure And Strength Between Internode And Node Sections Of Moso Bamboo,” *Journal of Tropical Forest Science*, vol.22, no. 2, p. 133–138, April 2010.
- [6] R. Anokye, E. S. Bakar, J. Ratnasingam, A. C. C. Yong, dan N. N. Bakar, “The Effect of Nodes and Resin on The Mechanical Prperties of Laminated Bamboo Timber Produced from *Gigantochloa Scortechinii*,” *Construction and Building Materials*, vol. 105, p. 285-290, Februari 2016.
- [7] F. T. Wulandari, “Karateristik dan Sifat Fisik Bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*. Backer) di Kawasan Hutan Kemasyarakatan (HKM) Desa Aik Bual Provinsi Nusa Tenggara Barat,” *Jurnal Kehutanan*, vol.15, no. 1, p. 44-49, Juli 2019.
- [8] I. S. Irawati, dan A. Saputra, “Analisis Statistik Sifat Mekanika Bambu Petung,” *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa dan Budidaya Bambu I Yogyakarta*, p. 60-65, Januari 2012.
- [9] A. R. Fattah, H. Ardhyanta, “Pengaruh bahan kimia dan perendaman terhadap kekuatan tarik bambu betung (*dendrocalamus asper*) sebagai perlakuan pengwetan kimia,” *Jurnal Teknik Pomits*, vol.1, no. 1, p. 1-6, 2013.
- [10] S. Behera, N. Prasad, dan S. Kumar, “Study of Mechanical Properties of Bamboo fibers before and after Alkali Treatment,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 7, p. 5251–5255, 2018.
- [11] A. A. Salih, R. Zulkifli, C. H. Azhari, “Tensile properties and microstructure of single-cellulosic bamboo fiber strips after alkali treatment,” *Fibers.*, vol. 8, no. 26, p. 1-10. April 2020.
- [12] M. F. Taures, “Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Pada Permukaan Serat Sisal Terhadap Peningkatan Kekuatan Ikatan *Interface* Komposit Serat Sisal – Epoxy,” *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, Indonesia, 2018.
- [13] O.,I. Kenneth, U. O. Uzodimma, “Evaluation Of The Compressive Strength Of Bamboo Culms Under Node And Internode Conditions,” *Saudi Journal Of Civil Engineering* ,vol. 5, no.8, p. 257, September 2021.
- [14] H. Chen, H. Cheng, G. Wang, Z. Yu, S. Q. Shi, “Tensile Properties of Bamboo in Different Sizes,” *Japan Wood Research Society*, vol.61, p.558, Oktober 2015.
- [15] R. Anokye, E. S. Bakar, J. Ratnasingam, A. C. C. Yong, N. N. Bakar, “The Effect of Nodes and Resin on The Mechanical Prperties of Laminated Bamboo Timber Produced from *Gigantochloa Scortechinii*,” *Construction and Building Materials*, vol.105, p.285-290, Desember 2015.
- [16] Y. Xuan, H. Li, Z. Bei, Z. Xiong, R. Lorenzo, I. Corbi, O. Corbi, “Nodes Effect on the Bending Performance of Laminated Bamboo Lumber Unit,” *Journal Of Renewable Materials*, vol. 9, no. 6, p. 1143-1156, Januari 2021.