

**PENGARUH PENAMBAHAN *CROSSLINKER* TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERI-
EKSTRAK DAUN CINCAU (*Cyclea barbata*)**

***EFFECT OF ADDITIONAL *CROSSLINKER* ON CHARACTERISTICS
OF BACTERIAL CELLULOSE COMPOSITE OF GRASS JELLY
(*Cyclea barbata*) LEAF EXTRACT***

Ananda Putra, Annisa Salsabilla*

Departemen Kimia, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25131

*Corresponding author: salsabiilanisa13@gmail.com

ABSTRAK

Selulosa bakteri (SB) merupakan biopolimer unik yang digunakan dalam berbagai bidang seperti makanan, kosmetik, pembuatan kertas, dan biomedis. Pemanfaatan SB di bidang biomedis antara lain pembalut luka, sistem penghantaran obat yang dapat dikontrol, pemurnian darah, dan rekayasa jaringan. Selulosa bakteri diproduksi oleh bakteri *Acetobacter xylinum* dengan media pertumbuhan campuran dari air kelapa tua, sukrosa, dan urea. Selulosa bakteri yang dihasilkan dikompositkan dengan ekstrak daun cincau sehingga dihasilkan komposit selulosa bakteri-ekstrak daun cincau (KSB-EDC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *crosslinker* amilum jagung 1%, 2%, dan 3% terhadap sifat fisik dan mekanik dari komposit selulosa bakteri-ekstrak daun cincau yang telah direndam *crosslinker* (KSB-EDCC). Penambahan *crosslinker* dapat menurunkan persentase kadar air KSB-EDCC 3% dengan nilai 98,23%, KSB-EDC 99,27% dan SB 99,32%. Hasil uji kuat tarik terbaik adalah dengan penambahan *crosslinker* dengan konsentrasi 3% (KSB-EDCC) dengan nilai 72,08 MPa, KSB-EDC 44,91 MPa dan SB 41,97 MPa.

Kata kunci: selulosa bakteri; komposit; *crosslinker*; kandungan air; kuat tarik

ABSTRACT

Bacterial cellulose (BC) is a unique biopolymer used in various fields such as food, cosmetics, papermaking, and biomedicine. Utilization of BC in the biomedical field includes wound dressings, controlled drug delivery systems, blood purification, and tissue engineering. Bacterial cellulose is produced by *Acetobacter xylinum* bacteria with a mixed growth medium of aged coconut water, sucrose, and urea. The resulting bacterial cellulose was composited with grass jelly leaf extract to produce a bacterial cellulose composite of grass jelly leaf extract (BCC-GJLE). This study aimed to determine the effect of adding 1%, 2%, and 3% corn starch *crosslinker* to the physical and mechanical properties of the bacterial cellulose composite of grass jelly leaf extract that had been soaked in *crosslinker* (BCC-GJLEC). The addition of *crosslinker* can reduce the percentage of water content of BCC-GJLEC 3% with a value of 98.23%, BCC-GJLE 99.27% and BC 99.32%. The best tensile strength test result is the addition of *crosslinker* with a concentration of 3% (BCC-GJLEC) with a value of 72.08 MPa, BCC-GJLE 44.91 MPa and BC 41.97 MPa.

Keywords: bacterial cellulose; composite; *crosslinker*; water content; tensile strength

1. PENDAHULUAN

Selulosa adalah polisakarida yang terdiri dari rantai linier D-glukosa dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Tingkat polimerisasinya berkisar dari beberapa ratus hingga lebih dari sepuluh ribu, yang merupakan polimer organik paling melimpah di bumi (Sun et al., 2016). Sumber utama selulosa adalah serat tumbuhan (Heinze, 2015). Secara tradisional, selulosa diekstraksi dari biomassa lignoselulosa tanaman, tetapi juga dapat disintesis oleh beberapa bakteri, seperti *Gluconacetobacter*, *Acetobacter*, *Agrobacterium*, dan *Rhizobium*. Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri disebut selulosa bakteri (SB) (Ye et al., 2019). Keunggulan selulosa bakteri adalah selulosa yang dihasilkan lebih murni dibandingkan dengan selulosa tanaman yang mengandung pengotor dalam bentuk lignin dan hemiselulosa (Ullah et al., 2019).

Penghasil SB yang paling efisien adalah bakteri asam asetat gram-negatif, *Acetobacter xylinum*. Beberapa senyawa karbon dapat diubah menjadi selulosa dengan efisiensi 50% oleh *A. xylinum*. Suhu berperan penting dalam produksi SB. Kultur *A. xylinum* membutuhkan kondisi hangat dan statis dengan suhu diantara 20°C-30°C dan suhu ideal sekitar 23°C hingga 30°C (Aswini et al., 2020). Selulosa diproduksi dan membentuk pelikel tebal seperti kulit pada antarmuka udara-cairan. Selama pertumbuhan dan produksi selulosa, sel-sel bakteri menjadi terperangkap dalam pelikel (Heinze et al., 2018).

Aplikasi selulosa bakteri yang paling menarik adalah di bidang biomedis. SB digunakan sebagai bahan pembalut luka, kulit buatan, cangkok pembuluh darah, perancah untuk rekayasa jaringan, pembuluh darah buatan, bantalan medis dan implan gigi (Shah et al., 2013). SB memiliki sifat mekanik yang tinggi, tetapi adanya banyak pori-pori mengurangi kemampuan menahan tegangannya. Keterbatasan yang terkait dengan polimer murni dapat diatasi secara efektif dengan penggunaan komposit. Komposit SB menunjukkan sifat jauh lebih baik, yang mengarah ke aplikasi tambahan di bidang medis dan industri lainnya (Moniri et al., 2017).

Beberapa zat yang digunakan untuk komposit selulosa bakteri yaitu poli vinil alkohol, gelatin, kitosan, pati, alginat, dan asam akrilat. Selain menggunakan bahan kimia, bahan alam juga dapat digunakan sebagai komposit pada selulosa bakteri (Mohite et al., 2018). Pada penelitian ini bahan alam yang digunakan sebagai komposit SB adalah ekstrak daun cincau. Ekstrak daun *Cyclea barbata* mengandung senyawa antioksidan yang tinggi yaitu alkaloid, flavonoid, terpenoid, tanin, glukosida, saponin, dan antrakuinon (Noviyanti et al., 2020).

Penggabungan selulosa bakteri dan ekstrak daun cincau untuk menghasilkan komposit selulosa bakteri ekstrak daun cincau (KSB-EDC), SB bertindak sebagai perancah dan ekstrak daun cincau mengisi bagian dalam jaringannya yang disebut sebagai *filler*. Ikatan hidrogen adalah kekuatan konjugasi utama antara selulosa dan ekstrak daun cincau. Komposit yang lemah ini dapat diperkuat dengan zat pengikat silang (*crosslinker*) untuk mempolimerisasi matriks (Chang et al., 2012). *Crosslinker* yang ditambahkan dapat menguntungkan komposit SB yang dihasilkan dalam hal biokompatibilitas, perlekatan sel, dan pertumbuhan fibroblas yang membuka peluang baru dalam aplikasi seperti pembuluh darah buatan, pembalut luka, dan regenerasi jaringan (Tang et al., 2021).

Beberapa zat kimia yang telah digunakan sebagai *crosslinker* untuk selulosa yaitu epikloroidrin, epoksida (1,2,3,4-diepoksibutana), dikloroetana (Quero et al., 2011), formaldehida, dan dialdehida (Maitra & Shukla, 2014). Pada *crosslinking*, rantai polimer saling berhubungan oleh pengikat silang melalui interaksi ikatan ionik atau kovalen untuk membentuk jaringan tiga dimensi (Muthumeenal et al., 2017). *Crosslinker* yang biasa digunakan berasal dari bahan sintetis, namun *crosslinker* juga dapat berasal dari bahan alam. Keuntungannya mudah di dapat dan tidak membutuhkan biaya yang mahal.

Bahan yang digunakan sebagai *crosslinker* pada penelitian ini adalah amilum jagung. Jagung normal terdiri dari dua polimer besar, amilosa dan amilopektin. Amilosa mengandung unit glukosa yang terhubung secara linier dalam rantai dengan panjang yang berbeda dan amilopektin dengan percabangan yang substansial. Rumus kimia tepung jagung adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$, dan tepung jagung biasanya terdiri dari 27% amilosa dan 73% amilopektin. Namun, rasio amilosa/amilopektin ini sedikit berbeda tergantung varietas jagung, kondisi lingkungan dan tanah (Hamaker et al., 2019).

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *crosslinker* terhadap komposit selulosa bakteri-ekstrak daun cincau (*Cyclea barbata*) dengan variasi *crosslinker*

amilum jagung 1%, 2%, dan 3%. Penelitian bertujuan untuk melihat pengaruh *crosslinker* terhadap sifat fisik dan sifat mekanik dari komposit selulosa bakteri-ekstrak daun cincau (KSB-EDC), yang meliputi kandungan air dan kuat tarik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada Juli-September 2022 sesuai jadwal yang telah ditetapkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Fisika, Departemen Kimia, Universitas Negeri Padang.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas ukur, gelas beaker, batang pengaduk, labu ukur, labu erlenmeyer, cawan penguap, pipet tetes, pipet ukur, kaca arloji, corong kaca, wadah plastik, pisau, kompor, panci *stainless steel*, pengaduk, karet, gunting, setrika, kertas koran, aluminium foil, lampu UV, kotak UV, kain hitam, neraca analitik, shaker, blender, pH meter, oven, dan alat kuat tarik (CARSON *Tensile Strength Tester*). Adapun bahan yang digunakan yaitu air kelapa, starter *A. xylinum*, urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), NaOH, gula pasir, aquades, etanol 70%, dan daun cincau tua.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Preparasi Selulosa Bakteri (SB)

Air kelapa yang sudah disaring sebanyak 600 mL dituangkan ke dalam panci *stainless steel* yang berukuran 5 L. Kemudian, 60 gram gula pasir dan 6 gram urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ditambahkan ke dalam air kelapa, lalu dipanaskan hingga mendidih. Campuran yang telah panas diasamkan hingga mencapai pH 4-4,5 dengan penambahan CH_3COOH 25%. Campuran yang masih panas dituangkan ke dalam wadah fermentasi dan ditutup dengan kertas koran yang sudah dibersihkan, campuran didiamkan hingga mencapai suhu kamar ($\pm 28^\circ\text{C}$) dan ditambahkan starter *A. xylinum* sebanyak 10% dari volume total (± 60 mL) dengan cara aseptik. Fermentasi dilakukan hingga terbentuk SB dengan ketebalan ± 1 cm ($\pm$ selama 15 hari) dan SB siap dipanen.

2.3.2 Pencucian dan Pemurnian SB

SB yang dihasilkan setelah fermentasi dicuci dengan air mengalir lalu dimurnikan/ direndam dalam larutan NaOH 2% selama 24 jam. SB yang telah direndam dicuci kembali menggunakan air mengalir dan disimpan. Penyimpanan SB dilakukan dengan cara merendam SB dalam air dan airnya diganti 1x sehari.

2.3.3 Pembuatan Ekstrak Daun Cincau (EDC)

Daun cincau yang digunakan adalah daun cincau tua, yang berwarna hijau tua. Daun dicuci dan dibersihkan terlebih dahulu. Perbandingan daun dan air sebanyak 1 : 20. 50 gram, daun cincau diblender menggunakan 1000 gram air selama 5 menit sehingga dihasilkan ekstrak daun cincau. EDC disaring menggunakan kain penyaring. Filtrat yang dihasilkan digunakan sebagai filler untuk preparasi KSB-EDC.

2.3.4 Preparasi KSB-EDC

Selulosa bakteri yang telah disimpan selanjutnya dipotong dengan ukuran $2 \times 2 \times 1$ cm dan $15 \times 2 \times 1$ cm. SB direndam dalam 400 mL EDC pada wadah plastik selama 4 hari menggunakan sinar UV. Selama proses perendaman, dilakukan proses pengadukan menggunakan shaker. Sampel hasil perendaman dibersihkan seluruh permukaannya menggunakan tisu agar sisa-sisa senyawa kimia yang terdapat pada permukaan sampel menghilang.

2.3.5 Perendaman KSB-EDC dalam *Crosslinker*

Komposit yang dihasilkan dibagi menjadi 6 bagian dan direndam dalam, larutan amilum jagung 1%, 2%, dan 3%. Perendaman dilakukan selama 3 hari menggunakan sinar UV dan dishaker. KSB-EDC yang sudah direndam dibersihkan permukaannya dengan tisu dan dilakukan uji karakterisasinya.

2.4 Karakterisasi KSB-EDC

2.4.1 Kandungan Air (*Water Content*)

KSB-EDC yang dihasilkan selanjutnya dibersihkan dengan tisu dan ditimbang berat awalnya (W_b) menggunakan neraca analitik. Sampel diletakkan diatas tisu dan dipress menggunakan kaca. Sampel yang telah ditekan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 150°C hingga sampel kering dan ditimbang kembali berat keringnya (W_k) sampai konstan. Penentuan kandungan air ini juga dapat dilakukan pada SB dengan cara yang sama seperti pada KSB-EDC.

Kandungan air dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Wc(\%) = \frac{W_b - W_k}{W_b} \times 100\% \quad (1)$$

Ket :

W_c = Kandungan air (*water content*)

W_b = Berat basah

W_k = Berat kering (Fijałkowski et al., 2017)

2.4.2 Kuat Tarik

Sampel KSB-EDC yang digunakan yaitu berukuran $15 \times 2 \times 1$ cm. Sampel KSB-EDC ditekan menggunakan kaca sampai berbentuk tipis dan lembab. Sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C . Setelah kering, sampel diletakkan diantara sample clamp pada Tensile Strength, yang dioperasikan dengan cara sampel ditarik hingga putus. Pada alat monitor akan terlihat besarnya nilai kuat tarik (kN/m) dan nilai panjang/elongasi (m) yang dibutuhkan untuk memutuskan sampel. Dari hasil *tensile strength* dapat diperoleh nilai kuat tarik dengan persamaan :

$$\text{stress} = \frac{\text{nilai kuat tarik hasil uji (kN/m)}}{\text{panjang sampel}} \times 100\% \quad (2)$$

Standar lebar sampel yang digunakan pada uji tensile strength ini yaitu 15 cm. Nilai regangan (*strain*) dapat ditentukan dengan perhitungan persamaan berikut :

$$\text{strain} = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (3)$$

Ket:

Δl = pertambahan panjang

l_0 = panjang mula-mula

Nilai elastisitas dari sampel dapat dilakukan perbandingan antara nilai kuat tarik dengan regangan dengan persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

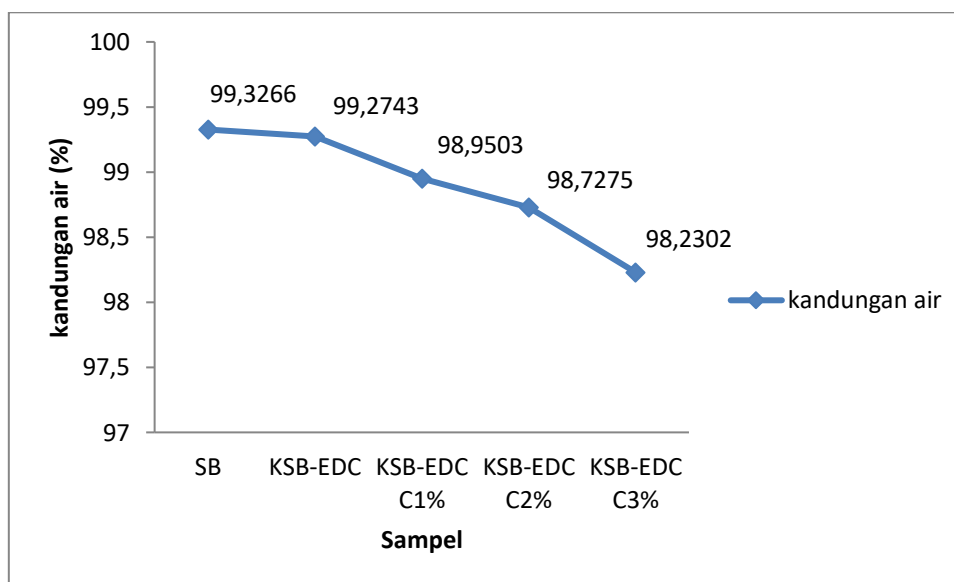
3.1 Uji Kandungan Air

Persentase kandungan air dari SB murni adalah sebesar 99,32%. Hal ini sesuai dengan teori bahwa struktur selulosa bakteri mengandung air sekitar 98% (R. Rebelo et al., 2018). Selulosa bakteri merupakan

material yang memiliki retensi air yang tinggi karena sangat hidrofilik dan memiliki rasio luas permukaan terhadap massa yang tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, uji kandungan air dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Uji Kandungan Air

Sampel	Kandungan Air (%)
SB	99,32
KSB-EDC	99,27
KSB-EDCC 1%	98,95
KSB-EDCC 2%	98,72
KSB-EDCC 3%	98,23



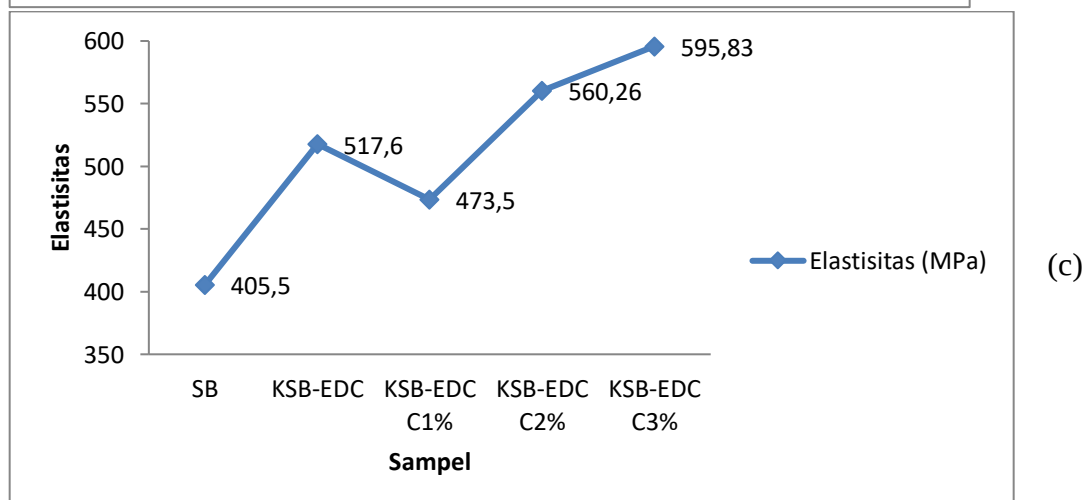
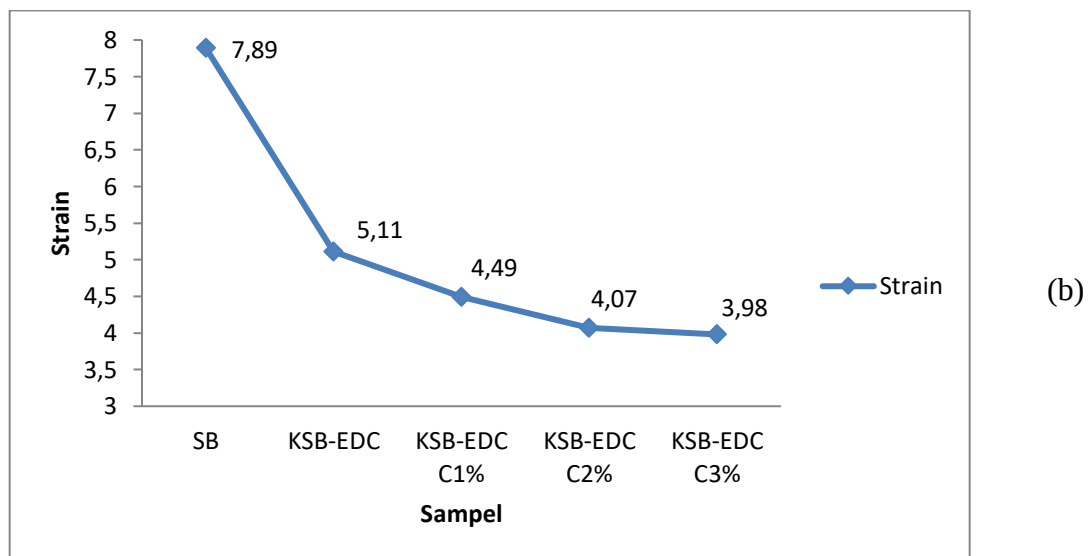
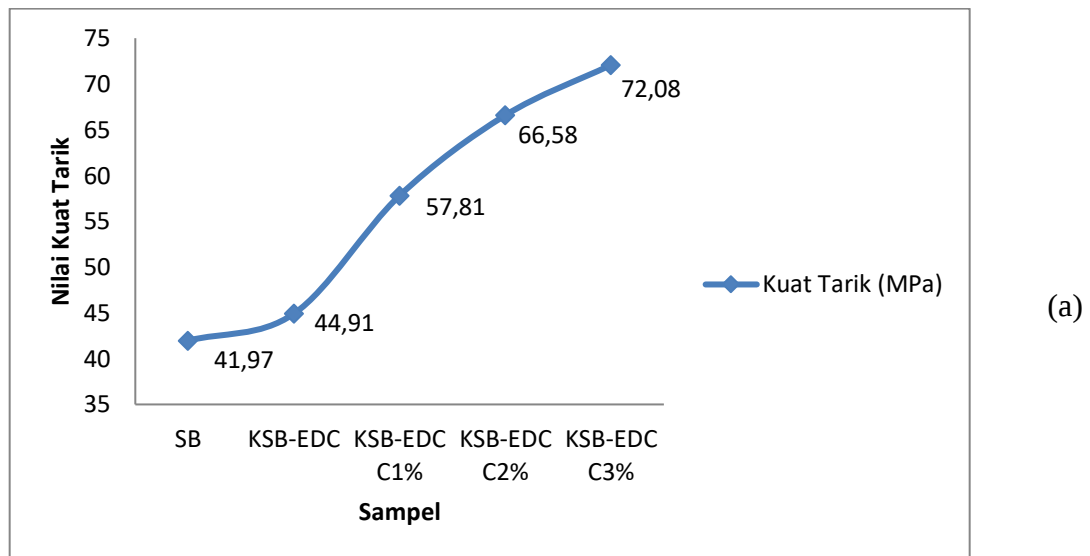
Gambar 1. Grafik Kandungan Air

Persentase kandungan air KSB-EDC lebih kecil dibandingkan dengan SB yaitu sebesar 99,27%. Air yang mengisi pori-pori SB digantikan oleh EDC yang menyebabkan terjadinya absorpsi fisika. Ekstrak daun cincau ini juga mengandung air, namun tidak sebesar kandungan air di dalam SB. Sehingga saat pembentukan komposit dari SB dengan EDC, maka kandungan air dari KSB-EDC menurun. Penurunan kandungan air ini akan mempengaruhi sifat mekanik dari SB.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa persentase kandungan air KSB-EDC yang telah direndam crosslinker masing-masingnya juga mengalami penurunan. Persentase kandungan air dengan crosslinker 1% yaitu 98,95%, crosslinker 2% yaitu 98,72%, dan crosslinker 3% yaitu 98,23%. Penambahan crosslinker pada KSB-EDC dapat menurunkan kandungan airnya sehingga dapat memperkuat sifat mekanik dari KSB-EDC.

3.2 Uji Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini akan menentukan kualitas dari KSB-EDC. Semakin tinggi nilai kuat tariknya maka akan semakin bagus kualitas dari KSB-EDC tersebut. Nilai kuat tarik ini dipengaruhi oleh regangan (*strain*) yang dimiliki KSB-EDC. Nilai regangan merupakan perbandingan perubahan panjang sampel terhadap panjang mula-mula. Semakin besar perubahan panjang sampel, maka semakin besar nilai regangan dan akan semakin kecil nilai kuat tarik sampel tersebut.



Gambar 2. Kuat tarik (a), regangan (b), dan elastisitas sampel (c)

Pada Gambar 2 (a) dapat dilihat nilai kuat tarik dari sampel. Nilai kuat tarik KSB-EDC lebih tinggi daripada SB masing-masing sebesar 41,97 MPa dan 44,91 MPa. Sedangkan KSB-EDC yang ditambahkan crosslinker yaitu amilum jagung dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3% memiliki nilai kuat tarik lebih besar. KSB-EDC yang direndam dalam larutan amilum jagung 1% memiliki kuat tarik sebesar 57,81 MPa, larutan amilum jagung 2% memiliki nilai kuat tarik 66,58 MPa, nilai kuat tarik terus meningkat pada perendaman KSB-EDC dengan amilum jagung 3% yaitu sebesar 72,08 MPa. Hal ini dapat membuktikan bahwa penambahan EDC dan perendaman KSB-EDC dalam crosslinker dapat mempengaruhi sifat mekanik dari selulosa bakteri.

Pada penelitian ini, penambahan ekstrak daun cincau dan penambahan crosslinker 1%, 2%, dan 3% dapat meningkatkan nilai kuat tarik dari selulosa bakteri. Nilai kuat tarik dan elastisitas dari KSB-EDC yang direndam dalam crosslinker 3% memiliki nilai paling tinggi. Hal ini dikarenakan partikel-partikel dari amilum jagung masuk ke dalam selulosa bakteri dan mengikat matriks dengan filler. Semakin banyak partikel amilum jagung yang masuk ke dalam selulosa bakteri, semakin tinggi juga nilai kuat tarik dari selulosa bakteri. Selain itu, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi crosslinker pada perendaman dapat menurunkan regangan KSB-EDC.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penambahan *crosslinker* dapat meningkatkan kualitas sifat fisik dan sifat mekanik dari selulosa bakteri. Kandungan air paling sedikit terdapat pada penambahan *crosslinker* 3% yaitu sebesar 98,23%. Uji kuat terbaik didapatkan pada penambahan *crosslinker* 3% yaitu sebesar 72,08 MPa.

4.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk dapat melakukan penambahan konsentrasi *crosslinker* dan pemurnian terhadap ekstrak daun cincau yang digunakan. Sehingga dihasilkan material dengan sifat fisik dan sifat mekanik yang lebih baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aswini, K., Gopal, N. O., & Uthandi, S. (2020). Optimized culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter senegalensis* MA1. *BMC Biotechnology*, 20(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12896-020-00639-6>
- Chang, S. T., Chen, L. C., Lin, S. Bin, & Chen, H. H. (2012). Nano-biomaterials application: Morphology and physical properties of bacterial cellulose/gelatin composites via crosslinking. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.08.004>
- Fijałkowski, K., Żywicka, A., Drozd, R., Junka, A. F., Peitler, D., Kordas, M., Konopacki, M., Szymczyk, P., & Rakoczy, R. (2017). Increased water content in bacterial cellulose synthesized under rotating magnetic fields. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 36(2), 192–201. <https://doi.org/10.1080/15368378.2016.1243554>
- Hamaker, B. R., Tuncil, Y. E., & Shen, X. (2019). Carbohydrates of the Kernel. *Corn: Chemistry and Technology*, 3rd Edition, 305–318. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00011-5>
- Heinze, T. (2015). Cellulose: Structure and properties. *Advances in Polymer Science*, 271, 1–52. https://doi.org/10.1007/12_2015_319
- Heinze, T., El Seoud, O. A., & Koschella, A. (2018). *Production and Characteristics of Cellulose from*

- Different Sources*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73168-1_1
- Maitra, J., & Shukla, V. K. (2014). Cross-linking in Hydrogels - A Review. *American Journal of Polymer Science*, 4(2), 25–31. <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20140402.01>
- Mohite, B. V., Koli, S. H., & Patil, S. V. (2018). *Bacterial Cellulose-Based Hydrogels: Synthesis, Properties, and Applications*. 1–22. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76573-0_2-1
- Moniri, M., Moghaddam, A. B., Azizi, S., Rahim, R. A., Ariff, A. Bin, Saad, W. Z., Navaderi, M., & Mohamad, R. (2017). Production and status of bacterial cellulose in biomedical engineering. *Nanomaterials*, 7(9), 1–26. <https://doi.org/10.3390/nano7090257>
- Muthumeenal, A., Sundar Pethaiah, S., & Nagendran, A. (2017). Biopolymer Composites in Fuel Cells. *Biopolymer Composites in Electronics*, 185–217. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809261-3.00006-1>
- Noviyanti, N., Yueniwati, Y., Ali, M., Rahardjo, B., & Permatasari, G. W. (2020). Cyclea barbata miers ethanol extract and coclaurine induce estrogen receptor α in the development of follicle pre-ovulation. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 8(A), 434–440. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2020.4418>
- Quero, F., Nogi, M., Lee, K. Y., Poel, G. Vanden, Bismarck, A., Mantalaris, A., Yano, H., & Eichhorn, S. J. (2011). Cross-linked bacterial cellulose networks using glyoxalization. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 3(2), 490–499. <https://doi.org/10.1021/am101065p>
- R. Rebelo, A., Archer, A. J., Chen, X., Liu, C., Yang, G., & Liu, Y. (2018). Dehydration of bacterial cellulose and the water content effects on its viscoelastic and electrochemical properties. *Science and Technology of Advanced Materials*, 19(1), 203–211. <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1430981>
- Shah, N., Ul-Islam, M., Khattak, W. A., & Park, J. K. (2013). Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1585–1598. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.018>
- Sun, S., Sun, S., Cao, X., & Sun, R. (2016). The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. *Bioresource Technology*, 199, 49–58. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.08.061>
- Tang, S., Chi, K., Xu, H., Yong, Q., Yang, J., & Catchmark, J. M. (2021). A covalently cross-linked hyaluronic acid/bacterial cellulose composite hydrogel for potential biological applications. *Carbohydrate Polymers*, 252(April 2020), 117123. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117123>
- Ullah, M. W., Manan, S., Kiprono, S. J., Ul-Islam, M., & Yang, G. (2019). Synthesis, structure, and properties of bacterial cellulose. *Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Materials*, 81–114. <https://doi.org/10.1002/9783527807437.ch4>
- Ye, J., Zheng, S., Zhang, Z., Yang, F., Ma, K., Feng, Y., Zheng, J., Mao, D., & Yang, X. (2019). Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* ATCC 23767 using tobacco waste extract as culture medium. *Bioresource Technology*, 274(December 2018), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.028>