

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
SELULOSA ASETAT-POLIVINIL ALKOHOL BERBASIS
SELULOSA BAKTERI DARI LIMBAH CAIR TAHU**

Iffa Khoirinnisak Fathimatuzzahra¹, Sudirman¹, Ni Komang Tri Dharmayani¹,
Emmy Yunita¹, dan Maria Ulfa^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83315, Indonesia.

*Correspondent author: ulfaarief@unram.ac.id

ABSTRAK

Aplikasi BC telah banyak digunakan dalam bidang industri, khususnya pembuatan komposit dengan potensial berbeda untuk berbagai bidang di industri. Sifatnya yang unggul membuat BC banyak dimodifikasi, baik dalam pengolahan polimer maupun penambahan agen dispersi baru guna meningkatkan atau memunculkan sifat baru. Penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi komposit Selulosa bakteri-Polivinil alkohol berbasis Selulosa bakteri dari limbah cair tahu telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perbedaan metode pada karakterisasi komposit. Sintesis komposit dilakukan menggunakan metode in-situ dengan proses fermentasi dan metode ex-situ dengan proses inversi fasa. Berdasarkan hasil karakterisasi, penggunaan selulosa asetat meningkatkan porositas dan penyerapan elektrolit komposit, menurunkan kuat tarik, elongasi, dan *modulus young* dibandingkan dengan BC murni. Pendispersian PVA meningkatkan nilai porositas dan penyerapan elektrolit komposit.

Kata kunci : Selulosa asetat, BC-CA-PVA, PVA/CA, limbah cair tahu

ABSTRACT

BC applications have been widely used in industry, especially in manufacture of composites with different potentials for various industrial fields. Its superior properties make BC modified a lot, both in polymer processing and the addition of new dispersing agents to improve or bring out new properties. Research on the synthesis and characterization of bacterial cellulose-polyvinyl alcohol composites based on bacterial cellulose from tofu liquid waste has been carried out. The purpose of this research is to analyze the effect of different methods on composite characterization. The synthesis of composite was carried out using an in-situ method with a fermentation process and an ex-situ method with a phase inversion process. Based on the characterization results, the use of cellulose acetate increases the porosity and absorption of the composite electrolyte, decreases the tensile strength, elongation, and young's modulus compared to pure BC. PVA dispersing increases the porosity value and absorption of the composite electrolyte.

Keywords : Cellulose acetate, BC-CA-PVA, PVA/CA, tofu liquid waste

Pendahuluan

Selulosa bakteri (BC) mendapatkan perhatian besar di bidang industri karena memiliki sifat mekanik dan fisikokimia yang sangat baik. Karakteristik BC yang telah diteliti diantaranya memiliki luas permukaan yang besar sehingga kemampuan menahan airnya sangat baik, memiliki kemurnian, tingkat kristalinitas, porositas, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang tinggi. Keunggulan yang dimilikinya menjadi peluang dalam pengembangan aplikasi terbaru karena BC berpotensi untuk dikombinasikan dengan bahan lain atau senyawa bioaktif guna menghasilkan karakteristik baru atau meningkatkan karakteristik dasarnya menjadi lebih baik. Beberapa aplikasi BC banyak ditemukan pada industri makanan, produk perawatan pribadi, bahan kimia rumah tangga, biomedis, tekstil, bahan komposit, dan lain-lain (Zhong, 2020; Shi *et al.*, 2014; Amorim *et al.*, 2022).

Modifikasi selulosa telah banyak dilakukan. Jal *et al.* (2004) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kehadiran hidroksil bebas pada

permukaan padatan selulosa memungkinkan penerapannya dalam berbagai metode reaksi dan aplikasi. Gugus ini dapat dieksplorasi untuk mendapatkan bahan baru. Sintesis BC menjadi selulosa asetat (CA) merupakan salah satu contoh hasil modifikasi yang mengganti gugus hidroksil selulosa menjadi gugus asetil melalui proses esterifikasi (Souhoka *et al.*, 2018). Modifikasi selulosa dapat menghadirkan sifat baru atau mengintensifkan sifat yang sudah ada. Memodifikasi permukaan selulosa dapat memvariasikan beberapa sifatnya, seperti karakter hidrofilik atau hidrofobik, elastisitas, ketahanan terhadap serangan mikrobiologi, ketahanan termal dan mekanik, juga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi polutan baik dalam larutan maupun bukan (Kobayashi *et al.*, 2001).

Selulosa asetat sebagai hasil sintesis BC memiliki sifat tahan panas dan tidak beracun (Bhansali *et al.*, 2021). Proses pertukaran gugus hidroksil menjadi gugus asetil pada sintesis CA meningkatkan biostabilitasnya dibandingkan BC walaupun keduanya masih memiliki bersifat *biodegradable* (Janda, 2015).

Keunggulan lain dari CA yaitu memiliki nilai fluks yang sedang, sifat rejeksi garam yang tinggi, sumber bahan baku terbarukan, biaya produksi yang relatif rendah, pembuatan yang mudah (Kamal *et al.*, 2014). Sebagai hasil sintesis BC, CA juga dapat dimodifikasi dengan tujuan untuk meningkatkan karakteristiknya atau menghasilkan sifat baru. Beberapa penelitian mengenai modifikasi terhadap CA telah dilaporkan, diantaranya yaitu modifikasi membran CA dengan penambahan polietilena glikol (Ristiyani, 2006), formamida (Somantri, 2003), polistirena (Firdaus *et al.*, 2019), dan polivinil alkohol (Muhammed *et al.*, 2012).

Muhammed *et al.* (2012) dalam penelitiannya yang memodifikasi CA menggunakan penambahan PVA, mendapatkan karakteristik membran yang lebih baik daripada membran CA murni. Hidrofilisitas dan *antifouling* membran PVA/CA meningkat seiring dengan penambahan komposisi PVA, hasil yang didapatkan mendukung potensi membran PVA/CA dalam aplikasi desalinasi dan pengolahan air. Ayusnika *et al.* (2014) dan Firdaus *et*

al. (2019) menyatakan bahwa bahan baku pembuatan CA juga mempengaruhi karakteristik pori-pori, modulus membran, tekanan, dan tegangan membran. Hal ini mempengaruhi nilai fluks, injeksi rejeksi, dan kekuatan membran. Berdasarkan hasil penelitian keduanya, diketahui bahwa koefisien rejeksi dari penelitian Firdaus *et al.* (2019) memiliki nilai lebih tinggi, yaitu sebesar 29,96 %.

Berdasarkan permasalahan yang ada dan potensi yang dimilikinya, peneliti bermaksud untuk memodifikasi bahan baku daripada pembuatan komposit membran CA dan PVA dengan menggunakan limbah cair tahu dan modifikasi pada bahan baku diharapkan dapat meningkatkan karakteristik komposit. Penggunaan limbah cair tahu didasari karena tingginya kandungan senyawa organik, khususnya karbohidrat pada limbah cair tahu memiliki potensi sebagai medium fermentasi yang lebih baik. Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai potensial aplikasi dari komposit CA dan PVA berbasis limbah cair tahu.

Metodologi Penelitian

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia, hot plate, *magnetic stirrer*, autoklaf, batang pengaduk, nampan, pH *stick*, cawan petri, timbangan kue, oven, *magnetic stirrer*, *blender*, *rubber bulb*, kertas saring, alat *press*, alat *gripping test*, Tensilon RTG-1310, Spektrofotometer UV-Vis, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air kelapa, limbah cair tahu (diperoleh dari industri tahu di Kekalik, Mataram, NTB), *yeast* ekstrak (diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi Pertanian, Universitas Mataram), amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄), larutan natrium hidroksida (NaOH), *aquadest*, larutan asam asetat (CH₃COOH) 67 %, larutan asam asetat (CH₃COOH) glasial, gula pasir (*merk* jual Gulaku), asetat anhidrida, polistirena, bakteri *Gluconacetobacter xylinus* (diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi FMIPA, Universitas Mataram).

Prosedur Penelitian

Pembuatan Starter Bakteri

Pembuatan *starter* bakteri pada penelitian ini dilakukan dengan mengadsorpsi metode Syamsu dan Tutus (2014), serta Roin (2018). Prosedur pertama yang dilakukan adalah pembuatan nutrisi. Gula pasir (100 g), amonium sulfat (5 g), dan *yeast extract* (5 g) dimasukkan ke dalam gelas erlenmeyer 1 L. Air kelapa tua yang telah disaring dituang ke dalam nutrisi sampai volume campuran mencapai 1 L. Campuran dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk. Media bakteri dituang ke botol kaca dan ditutup rapat. kemudian di-*autoclave* pada suhu 121 °C selama 2 jam. Media bakteri didiamkan sampai suhu ruang dan ditambahkan isolat bakteri *Gluconacetobacter xylinus* sebanyak 10 % (v/v) dari volume media bakteri yang akan dibuat. Starter bakteri diinkubasi selama 3 hari.

Pembuatan Selulosa Bakteri

Pembuatan selulosa bakteri dilakukan dengan mengikuti prosedur dan komposisi yang sama seperti pada pembuatan starter bakteri. *Nutrien* dimasukkan ke dalam gelas Erlemeyer 1 L. Limbah cair tahu yang

telah disaring kemudian ditambahkan pada nutrisi hingga larutan mencapai volume 1 L. Campuran dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk. Media bakteri didinginkan sampai mencapai suhu ruang, kemudian dituang ke dalam loyang plastik, lalu ditambahkan 10 % *starter* bakteri. Loyang ditutup rapat menggunakan kertas coklat, kemudian diinkubasi selama 7 hari hingga terbentuk selulosa bakteri dengan ketebalan \pm 0,5 cm. selulosa bakteri dicuci dengan air mengalir dan dipanaskan menggunakan aquades sampai mendidih, pemanasan diulang sebanyak 5 kali. selulosa bakteri direndam dalam larutan NaOH 1% (b/v) selama 24 jam. selulosa bakteri ditiriskan, lalu dicuci kembali dengan air mengalir sampai didapatkan pH normal (7,35-7,45).

Pembuatan Serbuk Selulosa Bakteri (BC)

Selulosa bakteri dicuci kembali dengan air mengalir, kemudian dipotong kecil-kecil dan dihaluskan dengan menggunakan *blender* sampai berbentuk bubur. Bubur selulosa bakteri disaring dan dikeringkan dalam oven selama 6 jam pada suhu 60 °C. Bubur selulosa bakteri yang

sudah kering kemudian dihaluskan kembali dengan *blender* sampai berbentuk serbuk dan disimpan dalam suhu ruang.

Pembuatan Serbuk Selulosa Asetat (CA)

Pembuatan serbuk CA pada penelitian ini mengadopsi penelitian Roin (2018). Serbuk BC sebanyak 5 g dicuci dengan 50 mL asam asetat glasial sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Serbuk disaring menggunakan vakum filter, kemudian serbuk dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan asam asetat glasial dan H₂SO₄ pekat masing-masing sebanyak 30 dan 0,2 mL. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan suhu 38 °C kemudian didinginkan sampai suhu kamar. Campuran ditambahkan 20 mL asetat anhidrida lalu dimasukkan kembali ke dalam *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan suhu 38 °C. Campuran dihidrolisis dengan larutan asam asetat 67 %:aquades (1:2) sebanyak 12 mL dalam shaker selama 30 menit dengan suhu 50 °C. Larutan dimasukkan ke dalam 500 mL aquades sehingga terbentuk serpihan CA. Serpihan yang terbentuk disaring

menggunakan vakum filter kemudian dicuci dengan aquades sampai pH netral dan dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada suhu 50 °C.

Pembuatan Komposit PVA/CA

Komposit PVA/CA secara *ex-situ* dibuat dengan mengadopsi metode inversi fasa. Larutan CA 10 % (% b/v) dibuat dengan menambahkan pelarut aseton ke dalam serbuk CA dan diaduk selama 24 jam. Larutan PVA 1,5 % (% b/v) dibuat dengan menambahkan pelarut metanol:aquades (1:1), diaduk selama 1 jam pada suhu 120 °C. Larutan CA dan PVA dicampur dengan menggunakan variasi perbandingan volume tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 1 kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Larutan kemudian dituangkan di atas pelat kaca berdiameter 10 × 1,5 cm, dibiarkan dalam suhu ruang sampai seluruh pelarut menguap.

Tabel 1. Tabel perbandingan formulasi komposit PVA/CA

Sampel	Perbandingan Formulasi	
	CA	PVA
1	1	9
2	2	8
3	4	6

Pembuatan Komposit BC-CA-PVA

Komposit PVA/CA secara *in-situ* dilakukan dengan mencampurkan larutan CA dan PVA ke dalam media bakteri. Larutan CA 10 % (% b/v) dibuat dengan menambahkan pelarut etanol 50% pada serbuk CA dan diaduk selama 24 jam. Larutan PVA 1,5 % (% b/v) dibuat dengan menambahkan pelarut metanol 50 % dan diaduk selama 1 jam pada suhu 120 °C. Kedua larutan dituang satu per satu dengan perbandingan volume tertentu seperti yang terlihat pada Tabel 2 ke dalam media bakteri yang telah dituang dalam cawan petri, kemudian pH campuran diatur hingga mendapatkan pH 5-6. Bakteri sebanyak 10 % (v/v) kemudian dituang ke dalam campuran. Inkubasi selama 7 hari hingga terbentuk *nata*. *Nata* dicuci dengan air mengalir dan dipanaskan menggunakan aquades sampai mendidih, pemanasan diulang sebanyak 5 kali. *Nata* direndam dalam larutan NaOH 1 % (b/v) selama 24 jam. *Nata* ditiriskan, lalu dicuci kembali menggunakan air mengalir sampai didapatkan pH normal (7,35-7,45), kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 60 °C selama ± 4 jam.

Tabel 2. Tabel perbandingan formulasi komposit BC-CA-PVA

Sampel	Perbandingan Formulasi		
	BC	CA	PVA
A	10	4	1
B	10	3	2
C	10	2	3
D	10	1	4

Karakterisasi CA, Komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA

Uji Kadar Asetil dan Derajat Substitusi CA

Pengujian kadar asetil dan derajat substitusi CA pada penelitian ini mengadopsi penelitian Syamsu dan Tutus, (2014). Serbuk CA dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam, kemudian ditimbang sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Etanol 75% sebanyak 40 mL ditambahkan ke dalam sampel, lalu dipanaskan pada suhu 50-60 °C selama 30 menit. Campuran ditambahkan NaOH 0,5 M sebanyak 40 mL, lalu dipanaskan kembali selama 15 menit pada suhu 50-60 °C. Campuran didinginkan pada suhu ruang dan didiamkan selama 48 jam. Indikator pp sebanyak 5 tetes dimasukkan ke dalam campuran, kemudian dititrasi dengan HCl 0,5 N dan didiamkan selama 24 jam. Indikator mm sebanyak 5 tetes

dimasukkan ke dalam campuran, kemudian dititrasi kembali menggunakan NaOH 0,5 N. Nilai derajat substitusi (DS) dan kadar asetil (KA) dihitung melalui persamaan

$$KA = [(D-C)N_a + (A-B)N_b] \times \frac{F}{W} DS = \frac{162 \left(\frac{KA}{43} \right)}{100 - \left(\frac{42}{43} \times KA \right)}, \text{ dimana } A =$$

volume NaOH yang dibutuhkan untuk titrasi sampel (mL), B = volume NaOH yang dibutuhkan untuk titrasi blanko (mL), C = volume HCl yang dibutuhkan untuk titrasi sampel (mL), D = volume HCl yang dibutuhkan untuk titrasi blanko (mL), N_a = normalitas HCl (N), N_b = normalitas NaOH (N), $F = 4,305$, dan W = berat sampel (g).

Uji Morfologi Komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA

Komposit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan komposit dan diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada struktur kimia komposit uji.

Uji Fisik Komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA

Ketebalan komposit diambil berdasarkan ketebalan rata-rata (Satriady *et al.*, 2016). Porositas diukur dengan cara merendam komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA berdiameter 1,5 cm dalam n-butanol 80 % (v/v) selama 1 jam. Nilainya dihitung berdasarkan persamaan $\phi = \frac{(M_b - M_k)}{\rho_B \times V_k} \times 100 \%$ (Xu *et al.*, 2017), dimana M_k dan M_b = massa kering dan massa basah sampel (g), ρ_B = massa jenis n-butanol (g/cm^3), dan V_k = volume kering sampel (cm^3). Uji penyerapan elektrolit bertujuan untuk mengetahui stabilitas ketahanan kimia dari komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA terhadap larutan elektrolit. Pengujian dilakukan dengan merendam sampel berdiameter 1,5 cm dalam NaOH 1 M selama 1 jam. Hasil pengukuran dihitung berdasarkan persamaan $A_e = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100 \%$ (Pahlevi *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2017). Konduktivitas dari komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA diukur dan dihitung berdasarkan persamaan $\sigma = \frac{1}{\rho}$, dimana $\rho = \frac{R \times l \times t}{L}$ dengan ρ = resistivitas (Ωcm), R = resistensi

(Ω), L = panjang sampel (cm), dan l = lebar sampel (cm).

Uji Mekanik Komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA

Uji mekanik yang dilakukan meliputi uji kuat tarik, uji elongasi, dan *modulus young* diukur dengan mengikuti prosedur Kumar dan Narayan (2018), menggunakan ASTM D638 dengan Tensilon RTG-1310 pada kapasitas *load cell* 5,0 kN dengan kecepatan simpangan penarikan sampel sebesar 5 mm/menit. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini berukuran $6 \times 1,5$ cm.

Hasil dan Pembahasan

Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri (BC) terbentuk dari asimilasi glukosa oleh bakteri *Gluconacetobacter xylinus* pada media cair pertumbuhan bakteri. Pembentukan ditandai dengan mengeruhnya media cair pertumbuhan bakteri selama proses fermentasi berlangsung. Hasil ini sesuai dengan penelitian Azhari *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa proses fermentasi memberikan perubahan warna menjadi keruh pada media cair setelah 24 jam dalam suhu

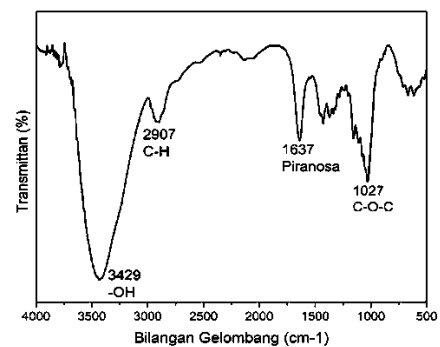
kamar, selanjutnya lapisan muncul di permukaan media dan cairan di bawahnya menjadi semakin jernih setelah 33-48 jam. Fermentasi media cair selama 7 hari membentuk gel BC yang memiliki warna putih kekuningan (Gambar 1). Hasil pembentukan BC dari limbah cair tahu sesuai dengan penelitian-penelitian terdahulu dimana BC yang dihasilkan memiliki warna putih kekuningan dan berbentuk gel (Melliawati, 2015).



Gambar 1. Selulosa bakteri

Karakterisasi BC yang dilakukan pada penelitian ini meliputi karakterisasi morfologi, fisik, dan kimia. Karakterisasi fisik dilakukan dengan menganalisa ketebalan, kuat tarik, elongasi, *modulus young*, porositas, penyerapan elektrolit, dan konduktivitas, sedangkan secara kimia dilakukan karakterisasi gugus fungsi struktur BC menggunakan Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Hasil karakterisasi mekanik dan fisik BC

meliputi ketebalan senilai 27 μm , kuat tarik senilai 121,87 MPa, elongasi 2,67 %, *modulus young* sebesar 4848,2 MPa, porositas sebesar 89,564 %, penyerapan elektrolit sebesar 315,171 %, dan nilai konduktivitas sebesar 0,129 S/cm.



Gambar 2. Spektrum FTIR BC limbah cair tahu

Tabel 3. Pita serapan FTIR BC

Pita Serapan	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	
	Hasil Penelitian	Referensi
-OH	3429	3392,17 ^[1] ; 3452,03 ^[2] ; 3405,84 ^[3]
C-H	2907	2920,69 ^[2] ; 2922,34 ^[3]
Piranosa	1637	1629,47 ^[1] ; 1641,37 ^[2] ; 1635,46 ^[3]
C-O-C glikosida	1027	1110,02 ^[1] ; 1114,97 ^[2] ; 1059,00 ^[3]

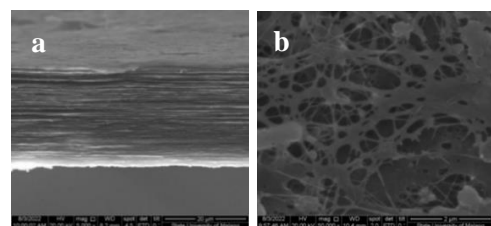
Keterangan: ^[1]Herawati *et al.* (2020); ^[2]Roin (2018); ^[3]Rachtanapun *et al.* (2021)

Selulosa dari limbah cair tahu memperlihatkan puncak-puncak yang khas. Puncak khas BC yang didapatkan tidak jauh berbeda dengan

penelitian Herawati *et al.* (2020); Roin (2018); dan Rachtanapun *et al.* (2021) yang dapat dilihat pada Tabel 3. Daerah bilangan gelombang 3426 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi ulur -OH pada gugus hidroksil BC, yang diperkuat dengan adanya vibrasi lentur dari ikatan tunggal C-O eter untuk pita serapan cukup kuat pada bilangan gelombang 1154 cm^{-1} . Bilangan gelombang 2907 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk C-H alifatik yang diperkuat dengan vibrasi pada bilangan gelombang sekitar 1428-1372 cm^{-1} yang menunjukkan terjadinya ikatan kovalen (C-O-C) antar monomer BC. Vibrasi pada bilangan gelombang 1637 cm^{-1} menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam dari monomer glukosa, yaitu piran. Vibrasi pada bilangan gelombang 1027 cm^{-1} menunjukkan adanya C-O-C glikosida.

Analisis morfologi komposit menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil permukaan SEM BC sesuai dengan penelitian Suryanto (2017) yang menunjukkan adanya jaringan fibril interkoneksi yang mengandung ikatan dan agregasi, serta membentuk struktur tiga dimensi dengan ukuran rongga

atau lubang pori yang bervariasi (Gambar 3). Hal ini terjadi karena adanya kerja bakteri pada saat fermentasi sehingga jaringan yang dihasilkan tidak beraturan, diperkuat dengan hasil analisis morfologi yang memperlihatkan adanya batangan yang merupakan bakteri pembentuk BC. Bakteri akan membelah diri menuju alur baru dan menghasilkan dua pita mikrofibril memanjang menuju satu kutub secara berulang-ulang setiap 24 jam sehingga dihasilkan rongga dan lapisan pada BC (Brown *et al.*, 1976). Hasil SEM BC penampang melintang terdiri atas lapisan-lapisan yang terbentuk akibat proses fermentasi selama 7 hari, Visualisasi SEM yang didapatkan hampir sama dengan penelitian Herawati *et al.* pada tahun 2020.



Gambar 3. Hasil SEM BC limbah cair tahu (a) penampang melintang perbesaran 5.000 \times ; (b) permukaan perbesaran 50.000 \times

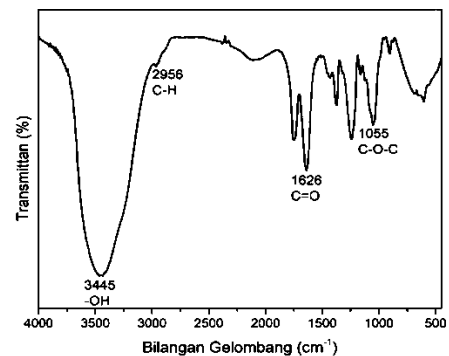
Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat

Selulosa asetat (CA) merupakan hasil modifikasi dari BC yang gugus hidroksilnya tersubstitusi gugus asetil, berbentuk padatan berwarna putih (Gambar 4), tidak beracun, tidak berbau, dan tidak berasa (Souhoka *et al.*, 2018). Pembuatan CA dilakukan menggunakan serbuk BC dikarenakan proses asetilasi memerlukan permukaan serat selulosa yang luas dalam prosesnya, serbuk BC memaksimalkan penyerapan reaktan sehingga BC lebih mudah bereaksi (Wahyusi dan Utami, 2017). Proses *pre-treatment* pada BC dilakukan melalui perendaman menggunakan asam asetat glasial untuk menghilangkan zat pengotor dan H₂O dari BC karena proses asetilasi harus dilakukan dalam kondisi bebas air dan juga bertujuan untuk melemahkan gaya intramolekul ikatan hidrogen pada rantai selulosa (Lismeri *et al.*, 2016). Proses asetilasi 5 g serbuk BC menghasilkan 40 g CA.



Gambar 4. Selulosa asetat (CA) berbasis BC limbah cair tahu

Nilai derajat substitusi (DS) dan kadar asetil (KA) CA penelitian secara berturut sebesar 0,66 dan 15,05 %. Hasil analisis ini memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan penelitian Roin (2018) yang mendapatkan nilai DS sebesar 0,69 dan nilai KA sebesar 15,50 % untuk hasil sintesis CA berbasis BC limbah cair tahu. Sehingga didapat kesimpulan bahwa CA yang terbentuk merupakan selulosa monoasetat. Gaol *et al.* (2013) menyatakan bahwa selulosa monoasetat sangat cocok untuk diaplikasikan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik karena dapat larut dalam aseton. Karakterisasi kimia CA dilakukan menggunakan *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).



Gambar 5. Spektrum FTIR CA berbasis BC limbah cair tahu

Tabel 4. Pita serapan FTIR CA

Pita Serapan	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	
	Hasil Penelitian	Referensi
-OH	3445	3342 ^[1] ;3446 ^[2] ; 3340 ^[3]
C-H	2956	2906 ^[2] ;2898 ^[3]
C=O	1626	1732 ^[1] ;1641 ^[2] ; 1744 ^[3]
C-O-C glikosida	1055	1108 ^[1] ;1111 ^[2] ; 1162 ^[3]

Keterangan: ^[1]Firdaus *et al.* (2019); ^[2]Roin, (2018); Nembr *et al.* (2016)

Selulosa asetat dari limbah cair tahu menunjukkan munculnya puncak khas CA yang tidak jauh berbeda dengan penelitian Firdaus *et al.* (2019); Roin (2018); dan Nembr *et al.* (2016) (Tabel 4.2). Daerah bilangan gelombang 1626 cm⁻¹ menunjukkan puncak serapan gugus C=O karbonil, diperkuat dengan puncak serapan pada daerah bilangan gelombang 1057 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi C-O ester dari gugus asetil. Terbentuknya CA ditandai dengan kuatnya puncak serapan pada bilangan gelombang 1626 cm⁻¹ dan menurunnya intensitas serapan milik gugus -OH akibat tersubstitusi oleh gugus asetil. Bilangan gelombang 3445 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi ulur -OH pada gugus hidroksil milik BC yang tidak tersubstitusi oleh gugus asetil. Hasil ini mendukung pernyataan bahwa CA yang

dihasilkan merupakan CA monoasetat dikarenakan pada strukturnya masih terdapat gugus hidroksil (Roin, 2018).

Sintesis dan Karakterisasi Komposit BC-CA-PVA

Pembuatan komposit BC-CA-PVA menggunakan metode *in-situ* melalui proses fermentasi campuran larutan CA 10 % dan PVA 1,5 % dengan komposisi tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 2. Komposit yang dihasilkan memiliki bentuk lembaran berwarna putih, tidak berbau, dan transparan.

Karakteristik Fisik dan Mekanik Komposit BC-CA-PVA

Karakteristik mekanik komposit meliputi pengujian kuat tarik, elongasi, dan *modulus young*. Karakteristik fisik komposit meliputi ketebalan, porositas, penyerapan elektrolit, dan konduktivitas. Hasil uji fisik komposit dapat dilihat pada Gambar 5.



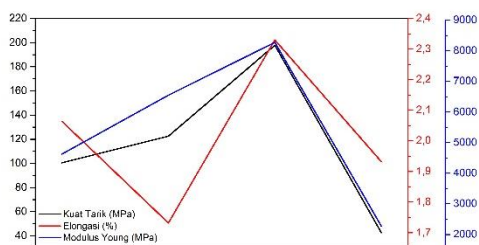
Gambar 5. Selulosa asetat (CA) berbasis BC limbah cair tahu

Ketebalan komposit BC-CA-PVA dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal merupakan aktivitas pertumbuhan bakteri yang tidak beraturan (Brown *et al.*, 1967), sedangkan faktor eksternal meliputi kebutuhan fisik (suhu, pH, dan tekanan osmotik) dan kimia (air, sumber karbon, nitrogen oksigen, mineral-mineral dan faktor penumbuh) dari lingkungan tempat tumbuh bakteri (Oktavianis dan Yempita, 2016). Penambahan senyawa baru ke dalam media tumbuh bakteri dapat mengganggu aktivitas pembentukan oleh sifat senyawa baru itu sendiri. Sifat hidrofilisitas PVA memberikan pengaruh pada ketebalan komposit (Qiao *et al.*, 2015), yang diharapkan membentuk ketebalan komposit yang meningkat seiring dengan meningkatnya formulasi PVA yang digunakan. Nilai ketebalan yang dihasilkan menurun seiring dengan meningkatnya formulasi PVA yang digunakan. Hal ini dapat terjadi akibat terganggunya kebutuhan fisik dan kimia bakteri sehingga pertumbuhan dalam media tidak optimal.

Porositas suatu komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sumber karbon dan kondisi kultur (Tang *et al.*, 2010), modifikasi polimer, misalnya dengan penggilingan dan pemrosesan ulang, atau penambahan bahan baru ke dalamnya (Betlej *et al.*, 2021), dan ketebalan komposit. Li *et al.* (2011) menyatakan bahwa porositas membran akan mempengaruhi jumlah elektrolit yang akan terserap dan konduktivitasnya. Porositas komposit BC-CA-PVA yang didapat lebih tinggi dibandingkan BC murni. Nilai porositas meningkat seiring dengan meningkatnya formulasi PVA yang digunakan dan menurunnya ketebalan komposit. Hasil ini sesuai dengan dengan penelitian Elfiana *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa penambahan PVA pada polimer akan memperkecil pori membran sehingga porositas yang didapatkan semakin tinggi. Nilai ini juga sesuai dengan persamaan porositas yang berbanding terbalik dengan ketebalan komposit.

Penyerapan elektrolit dipengaruhi oleh massa sampel, massa akhir sampel berbanding lurus dengan penyerapan elektrolit. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini sesuai

dengan persamaan penyerapan elektrolit suatu material erat kaitannya dengan konduktivitas. Simanjuntak (2008) menyatakan bahwa PVA yang bersifat sebagai isolator dengan resistivitas tinggi akan mempengaruhi sifat konduktif suatu material. Sehingga disimpulkan bahwa penyerapan elektrolit komposit BC-CA-PVA kemungkinan dipengaruhi oleh sifat isolator PVA dan mempengaruhi konduktivitasnya. Peningkatan komposisi formulasi PVA menurunkan penyerapan elektrolit dan konduktivitas komposit. Hasil ini sesuai dengan data uji yang didapatkan, penyerapan elektrolit dan konduktivitas menurun seiring dengan meningkatnya formulasi PVA yang digunakan. Nilai penyerapan elektrolit dan konduktivitas komposit lebih tinggi dibandingkan BC murni, hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan CA dan PVA mempengaruhi sifat fisik komposit.



Gambar 6. Selulosa asetat (CA) berbasis BC limbah cair tahu

Ketebalan suatu komposit akan mempengaruhi uji mekaniknya, dimana nilai ketebalan akan berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik dan modulus young, serta berbanding lurus dengan nilai elongasi. Hasil uji kuat tarik komposit yang didapatkan meningkat seiring dengan menurunnya nilai ketebalan komposit. Elongasi komposit sesuai dengan definisinya, akan memberikan nilai yang berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik, hal ini dibuktikan pada penelitian Qiu dan Netravali (2015) dimana semakin tinggi nilai kuat tarik maka nilai elongasi komposit akan semakin rendah. *Modulus young* yang didapatkan pada pengujian komposit berbanding lurus dengan kuat tarik dan berbanding terbalik dengan nilai elongasi (Rifaldi *et al.*, 2015).

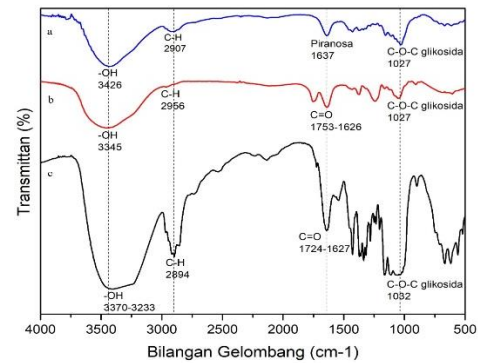
Data yang dihasilkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan BC murni. Peningkatan nilai terjadi pada formulasi penambahan PVA yang semakin tinggi. Penambahan volume PVA mempengaruhi kuat tarik suatu komposit dimana nilai yang dihasilkan akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya

formulasi PVA yang digunakan dikarenakan komposit yang terbentuk lebih elastis dan memiliki struktur molekul yang lebih rapat, komposit yang elastis harus memiliki daya regang yang tinggi jika diberikan sejumlah gaya terhadapnya (Azzahra, 2021).

Karakteristik Kimia Komposit BC-CA-PVA

Spektrum komposit BC-CA-PVA memiliki intensitas kuat dan melebar pada bilangan gelombang 3370-3233 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur – OH. Intensitas serapan kuat pada daerah bilangan gelombang 1724 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C=O ester, diperkuat dengan adanya puncak serapan karbonil (C=O) pada bilangan gelombang 1627 cm^{-1} milik gugus asetil CA. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan spektrum FTIR pada Gambar 7. Data ini diperkuat dengan meningkatnya intensitas serapan untuk daerah karakteristik selulosa pada bilangan gelombang 2894-1000 cm^{-1} . Intensitas daerah karakteristik selulosa yang didapatkan semakin kuat dengan adanya CA dalam komposit. Serapan pada bilangan gelombang 1644 cm^{-1} menunjukkan

vibrasi tekuk H–O–H akibat terjadinya ikatan hidrogen antar molekul senyawa. Intensitas kuat pada daerah bilangan gelombang 1318-1371 cm^{-1} menunjukkan terjadinya ikatan kovalen yang terbentuk antar molekul senyawa yang memperkuat prediksi interaksi yang terjadi pada komposit seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Spektrum IR (a) BC limbah cair tahu (b) CA hasil sintesis BC limbah cair tahu (c) Komposit BC -CA-PVA

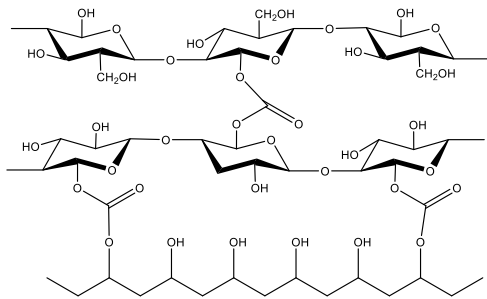
Tabel 5. Pita serapan FTIR BC-CA-PVA

Pita Serapan	Bilangan gelombang (cm^{-1})	
	Hasil Penelitian	Referensi
	BC-CA-PVA	
-OH	3370-3233	3460 ^[1] ; 3480 ^[2]
C-H	2894	3043 ^[2]
C=O	1724-1627	1740 ^[1] ; 1754 ^[2]
C-O-C glikosida	1032	1050 ^[1] ; 1051 ^[2]

Keterangan: ^[1]Yin *et al.* (2015);

^[2]Muhammed *et al.* (2012)

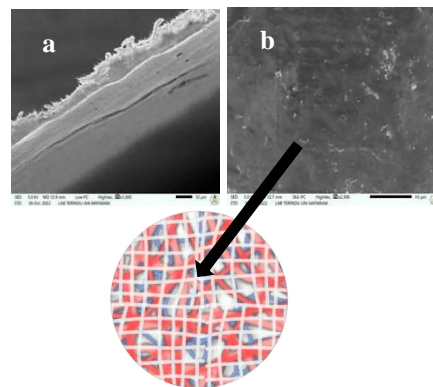
Reaksi ikatan silang antara PVA dan selulosa muncul di antara gugus hidroksil PVA, gugus hidroksil selulosa dan gugus hidroksil PVA dan selulosa. Ikatan kovalen dapat memiliki peran penting dalam BC-CA-PVA yang terhubung silang. Namun, dengan kandungan selulosa yang lebih tinggi, gugus hidroksil bebas PVA dan BC/CA cenderung saling terhubung dengan ikatan hidrogen (Tanpichai dan Okman, 2016). Prediksi interaksi pada Gambar 8. menunjukkan terjadinya ikatan kovalen dan hidrogen antar senyawa. Data ini diperkuat dengan FTIR komposit pada Gambar 7. Serapan pada bilangan gelombang 1644 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk H–O–H akibat terjadinya ikatan hidrogen antar molekul senyawa.



Gambar 7. Prediksi interaksi yang terjadi pada komposit BC-CA-PVA

Karakteristik Morfologi Komposit BC-CA-PVA

Morfologi permukaan dan penampang melintang yang didapatkan untuk komposit BC-CA-PVA menunjukkan jaringan fibrilar BC dan CA terkait satu sama lain dengan ikatan hidrogen untuk membuat pita yang meningkat, lapisan datar dan struktur pelikel. Integrasi PVA dan BC/CA membuat jaringan antar lapisan menjadi kabur, batas antar lapisan menjadi tidak jelas (Indriyati *et al.*, 2012). Komposit yang lebih padat, rapat, elastis, dan membentuk lapisan yang tidak berpori merupakan hasil dari penambahan PVA (Azzahra, 2021). Visualisasi morfologi komposit BC-CA-PVA dapat dilihat pada Gambar 8. Pada permukaan komposit terlihat serpihan yang tidak terdistribusi dengan sempurna, diduga sebagai serbuk CA.



Gambar 8. Hasil SEM komposit BC-CA-PVA (a) Penampang melintang perbesaran 1.000×; (b) Permukaan perbesaran 2.500×

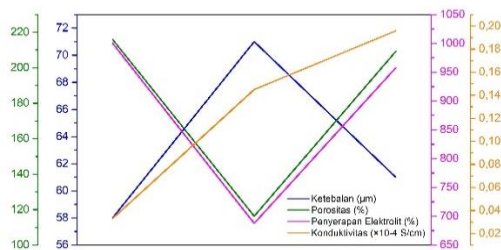
Sintesis dan Karakteristik

Komposit PVA/CA

Komposit PVA/CA dibentuk melalui proses *ex-situ* menggunakan metode inversi fasa. Pembuatan komposit PVA/CA dilakukan dengan mencampurkan larutan CA 10 % dan PVA 1,5 % dengan komposisi tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 3. Komposit yang dihasilkan memiliki bentuk lembaran berwarna putih, tidak berbau, dan transparan.

Karakteristik Fisik dan Mekanik Komposit PVA/CA

Karakterisasi fisik dan mekanik komposit PVA/CA telah dilakukan. Uji mekanik meliputi uji kuat tarik, elongasi, dan modulus young, dan uji fisik yang meliputi uji porositas, penyerapan elektrolit, dan konduktivitas. Hasil pengujian fisik komposit PVA/CA dapat dilihat pada Gambar 9.



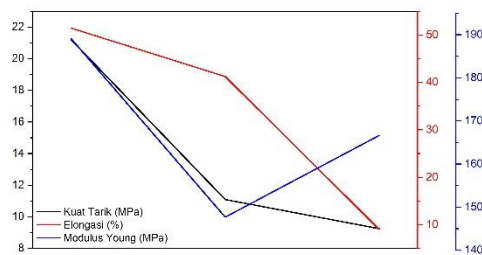
Gambar 9. Hasil uji fisik komposit PVA/CA

Ketebalan komposit PVA/CA mengalami peningkatan seiring dengan menurunnya formulasi PVA

yang digunakan pada komposit. Hal ini disebabkan karena ketebalan komposit PVA/CA dipengaruhi oleh proses homogenisasi antara CA dan PVA dalam proses inversi fasa (Mutia, 2014). Komposit PVA/CA menunjukkan penurunan nilai porositas dengan meningkatnya formulasi penambahan CA pada komposit. Hasil ini sesuai dengan penelitian Elfiana *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa penambahan PVA pada polimer akan memperkecil pori membran sehingga porositas yang didapatkan semakin tinggi. Hal ini juga sesuai dengan persamaan ketebalan yang berbanding terbalik dengan porositas.

Penyerapan elektrolit yang tidak berbanding lurus dengan konduktivitas dapat disebabkan karena proses uji penyerapan elektrolit menggunakan larutan NaOH, larutan ini memberikan pengaruh gelasi pada PVA, menyebabkan perubahan bentuk pada komposit (Darabi *et al.*, 2020). Perubahan yang terjadi karena komposit ini memiliki komposisi volume PVA yang lebih tinggi dibandingkan komposit BC-CA-PVA. Perubahan ukuran komposit membuat

NaOH yang terserap dalam komposit lebih banyak sehingga dihasilkan peningkatan massa akhir komposit, hal ini meningkatkan nilai penyerapan elektrolit seiring meningkatnya formulasi PVA yang digunakan. Konduktivitas yang didapatkan dalam penelitian ini mengalami peningkatan seiring dengan menurunnya formulasi PVA yang digunakan dikarenakan tingginya distribusi PVA. Simanjuntak (2008) menyatakan PVA yang bersifat sebagai isolator dengan resesivitas tinggi akan mempengaruhi sifat konduktif suatu material.



Gambar 10. Hasil uji mekanik komposit PVA/CA

Uji mekanik komposit mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai ketebalan. Hal ini sesuai dengan persamaan ketebalan dan Azzahra (2021) yang menyatakan bahwa penambahan volume PVA mempengaruhi kuat tarik suatu komposit dimana nilai yang dihasilkan akan semakin tinggi dengan meningkatnya formulasi PVA yang digunakan pada pembuatan

komposit, komposit yang terbentuk lebih elastis serta memiliki struktur molekul yang lebih rapat, komposit yang elastis harus memiliki daya regang yang tinggi jika diberikan sejumlah gaya terhadapnya. Nilai elongasi yang tidak sesuai dengan teori dapat disebabkan karena proses pencampuran CA dan PVA tidak mengalami homogenisasi sempurna sehingga menghasilkan ketebalan yang berbeda pada sisi-sisinya.

Nilai uji kuat tarik pada komposit PVA/CA lebih rendah dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Hal ini dapat terjadi karena komposit PVA/CA menghasilkan morfologi yang kurang homogen dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Proses pencampuran yang kurang homogen mengakibatkan distribusi molekul komponen penyusun kurang merata, sehingga material yang dihasilkan mengalami penurunan kuat tarik dan *modulus young* (Utami dan Widiarti, 2014).

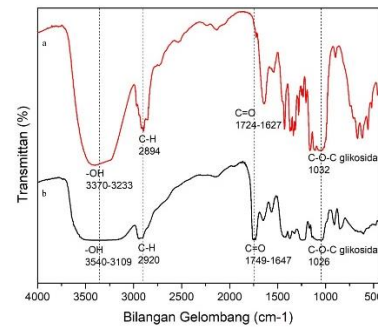
Nilai elongasi komposit PVA/CA lebih tinggi dikarenakan komposit PVA/CA yang terbentuk lebih elastis akibat formulasi PVA yang terdistribusi lebih tinggi, sehingga komposit PVA/CA memiliki struktur

molekul yang lebih rapat dibandingkan komposit BC-CA-PVA. Hasil uji mekanik yang dihasilkan komposit PVA/CA lebih rendah dibandingkan dengan PVA murni. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan CA pada PVA menurunkan nilai karakteristik mekaniknya. Semakin banyak formulasi CA yang digunakan, nilai mekanik yang dihasilkan akan semakin rendah.

Karakteristik Kimia Komposit PVA/CA

Karakteristik khas spektrum komposit PVA/CA tidak memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA (Gambar 11), perbedaan keduanya terletak pada intensitas serapannya. Vibrasi ulur -OH milik komposit PVA/CA memiliki intensitas serapan yang lebih lebar dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Daerah absorpsi C=O pada komposit ini memiliki intensitas serapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA sebagai indikasi terdistribusinya CA dalam komposit. Daerah interaksi ikatan C-O-C dan H-O-H lebih lebar dibandingkan

komposit BC-CA-PVA. Hal ini mengindikasikan bahwa komposit PVA/CA memiliki interaksi CA dan PVA yang lebih banyak dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Hal ini sesuai dengan prediksi interaksi terjadinya ikatan antara CA dan PVA (Gambar 12). Data ini diperkuat dengan munculnya intensitas serapan daerah karakteristik selulosa pada bilangan gelombang 1000-2894 cm^{-1} .

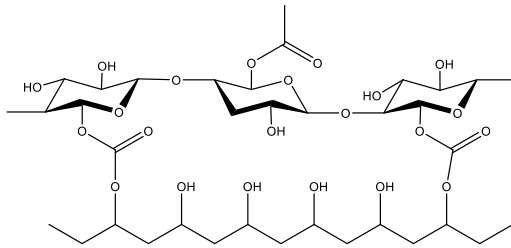


Gambar 11. Spektrum FTIR (a) Komposit BC-CA-PVA dan (b) Komposit PVA/CA

Tabel 6. Pita serapan FTIR PVA/CA

Pita Serapan	Bilangan gelombang (cm^{-1})	
	Hasil Penelitian	Referensi
-OH	3540-	3460 ^[1] ;
	3109	3480 ^[2]
C-H	2920	3043 ^[2]
	C=O	1749-
1647		1754 ^[2]
C-O-C glikosida	1026	1050 ^[1] ;
		1051 ^[2]

Keterangan: ^[1]Yin *et al.* (2015); ^[2]Muhammed *et al.* (2012)

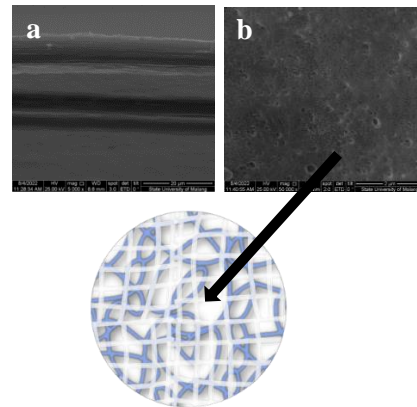


Gambar 12. Prediksi interaksi yang terjadi pada komposit PVA/CA

Morfologi Komposit PVA/CA

Komposit PVA/CA memberikan transparansi yang lebih baik dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Karakteristik morfologi permukaan dan penampang melintang yang didapatkan untuk komposit PVA/CA menunjukkan permukaan dan lapisan yang lebih rapat dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Hasil SEM memperkuat prediksi interaksi terjadinya ikatan kovalen (C–O–C) dan vibrasi tekuk H–O–H akibat ikatan hidrogen antara CA dan PVA dengan distribusi yang lebih banyak dibandingkan dengan komposit BC-CA-PVA. Sifat senyawa yang membentuk komposit mempengaruhi hasil yang didapatkan. Penambahan PVA yang pada pembuatan komposit akan membentuk komposit yang lebih elastis, padat, tidak berpori, serta memiliki struktur molekul yang lebih rapat (Azzahra, 2021). Visualisasi

morfologi komposit BC-CA-PVA dapat dilihat pada Gambar 13. Pada permukaan komposit terlihat serpihan yang tidak terdistribusi dengan sempurna, diduga sebagai serbuk CA.



Gambar 13. Hasil SEM komposit PVA/CA (a) penampang melintang perbesaran 5.000×; (b) permukaan perbesaran 50.000×

Serpihan yang tidak mengalami homogenasi sempurna terlihat pada permukaan komposit yang diduga sebagai serbuk CA. Visualisasi yang didapatkan hampir sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Yin *et al.* pada tahun 2015. Komposit yang tidak homogen terbentuk karena tidak adanya agen pengikat silang yang digunakan pada proses *ex-situ* (Muhammed *et al.*, 2012). Jika dibandingkan dengan hasil SEM komposit BC-CA-PVA didapatkan bahwa penggunaan metode yang berbeda memberikan morfologi yang berbeda.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan data dan pembahasan hasil pengujian dalam penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis BC limbah cair tahu menjadi CA berhasil dilakukan melalui reaksi esterifikasi dengan mensubstitusi gugus asetil pada gugus hidroksil BC. Hasil yang didapat CA berbentuk serbuk berwarna putih dan tidak berbau, memiliki kadar asetil sebesar 15,05, derajat asetilasi sebesar 0,66. Serbuk CA yang dihasilkan dari 5 g serbuk BC sebanyak 40 g.
2. Komposit BC-CA-PVA berbasis limbah cair tahu berhasil disintesis dengan metode *in-situ* melalui proses fermentasi. Komposit yang didapatkan berwarna putih transparan dan tidak berbau.
3. Komposit PVA/CA berbasis limbah cair tahu berhasil disintesis dengan metode *ex-situ* melalui proses inversi fasa. Komposit yang didapatkan berwarna putih transparan dan tidak berbau.
4. Karakteristik kimia kedua komposit tidak memberikan perbedaan yang signifikan.

Perbedaan yang menonjol terletak pada kuat dan lebarnya intensitas serapan komposit. PVA lebih banyak terdistribusi pada komposit PVA/CA yang dibentuk melalui proses *ex-situ*. Komposit BC-CA-PVA memberikan peningkatan nilai pada uji fisik dan mekanik dibandingkan dengan BC murni. Komposit PVA/CA mengalami peningkatan pada nilai porositas dan penyerapan elektrolit komposit, dan penurunan nilai uji mekanik dibandingkan dengan BC murni.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakterisasi fisik komposit BC-CA-PVA dan PVA/CA yang memiliki potensial untuk diaplikasikan dalam bidang industri, khususnya pada pembuatan bioplastik dan *food packaging*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal dan Agung, P. (2011). Pemanfaatan Selulosa Bakterial Nata de coco sebagai Adsorban Logam Cu(II) dalam Sistem Berpelarut Air. *Mesomeri*, 1(2011), 27-32.
- Ahmad, S. W., Yanti, N. A., dan Muhiddin, N.H. (2019). Pemanfaatan Limbah Cair Sagu untuk Memproduksi

- Selulosa Bakteri. *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(1), 33-39.
- Amorim, L. F. A., Mouro, C., Riool, M., dan Gouveia, I. C. (2022). Antimicrobial Food Packaging Based on Prodigiosin-Incorporated Double-Layered Bacterial Cellulose and Chitosan Composites. *Polymers*, 14(2022), 1-18. <https://doi.org/10.3390/polym14020315>.
- Amraini, S. Z., Bahruddin, dan Zahrina, I. (2020). Potensi limbah daun nanas dalam pembuatan selulosa asetat sebagai bahan filter masker kain. Prosiding Seminar Nasional Kahuripan I Tahun 2020.
- Andarita, O. (2014). Dahsyatnya 50 Buah dan Sayur. Universitas Pembangunan Panca Budi. Medan.
- Anicuta, S. G., Dobre, L., Stroescu, M., dan Jipa, I. (2010). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for characterization of antimicrobial films containing chitosan. *Ecotoxicologie*.
- Arini D., M. Syahrul U., Kasman. (2017). Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian. *Journal of Science and Technology*, 6(3): 276-283.
- Ayusnika, R., Gunawan, H., Ismawati, Nugroho, M. W., Apriliani, R. N., dan Widyaningsih, S. (2014). Membran Komposit CA-PS Pemisah Limbah Batik (Rhodamine B) Dengan "Dead-End" Membrane Reactor. *Pharmacy*, 11(2), 200-214.
- Azhari, M., Sunarto, dan Wiryanto. (2015). Pemanfaatan limbah cair tahu menjadi *nata de soya* dengan menggunakan air rebusan kecambah kacang tanah dan bakteri *Acetobacter xylinum*. *Jurnal EKOSAINS*, 8(1), 1-14.
- Betlej, I., Salerno-Kochan, R., Jankowska, A., Krajewski, K., Wilkowski, J., Rybak, K., Nowacka, M., dan Boruszewski, P. (2021). The Impact of the Mechanical Modification of Bacterial Cellulose Films on Selected Quality Parameters. *Coatings*, 11(11), 1-12. <https://doi.org/10.3390/coatings11111275>.
- Bhansali, M., Dabholkar, N. H., Swetha, P., Dubey, S. K., dan Singhvi, G. (2021). Modeling and Control of Drug Delivery Systems. Academic Press. Cambridge.
- Brown, R. M., Willison, J. H. M., dan Richardson, C. L. (1976). Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum*: Visualization of the site of synthesis and direct measurement of the in vivo process. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 73(12), 4565-4569.
- Costa, A. F. S., dan Almeida, F. C. G. (2017). Production of Bacterial Cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* Using Corn Steep Liquor As Nutrient Sources.

- Microbiology*, 8(2017), 1-12.
doi:
10.3389/fmicb.2017.02027.
- Cook, J. Alkaline Battery Separators. Elsevier B.V. Publisher. Amsterdam.
- Ebrahim, S., Morsy, A., Kenawy, E., Abdel-Fattah, T., & Kandil, S. (2016). Reverse osmosis membranes for water desalination based on cellulose acetate extracted from Egyptian rice straw. *Desalination and Water Treatment*, 57(44), 20738–20748. doi: 10.1080/19443994.2015.1110052.
- Esa, F., Tasirin, S. T., dan Rahman. N. A. (2014). Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2: 113 – 119.
- Fengel, D., dan Wegener, G. (1995). Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi, Terjemahan oleh Hardjono Sastrohamidjojo. UGM Press. Yogyakarta.
- Firdaus, I. M., dan Febiyanto. (2019). Synthesis of Cellulose Acetate-Polystyrene Membrane Composites from Pineapple Peel Wastes for Methylene Blue Removal. *Al-Kimia*, 7(2), 113-125.
- Gaol, M. R. L. L., Roganda, S., Yanthi, S., Indra, S., dan Renita, M. (2013). Pembuatan selulosa asetat dari α -selulosa tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(3), 33-39.
- Gea, S., Bilotti, E., Reynolds, C. T., Soykeabkeaw, N., & Peijs, T. (2010). Bacterial cellulose-poly(vinyl alcohol) nanocomposites prepared by an in-situ process. *Materials Letters*, 64(8), 901–904. doi: 10.1016/j.matlet.2010.01.042
- Harlis, Murni, P., dan Muswita. (2015). Pemanfaatan *Acetobacter xylinum* terhadap Peningkatan Kualitas Nata de Banana Skin. *Biospecies*, 8(1), 29-33.
- Herawati. H., Kamsiati, E., Widyaputri, S., dan Sutanto. (2020). Physic-chemical characteristic of nata de coco, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 458 (2020), 1-8. doi:10.1088/1755-1315/458/1/012014.
- Hermawani. R. R., Ramadhani, D., Daya, A. M., Wahyudi, F., dan Sukemi. (2019). Nutrisi Tepung Kulit dan Jerami Nangka. *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2019*: 76.
- Jain, N., Singh, V. K., dan Chauhan, S. (2017). A review on mechanical and water absorption properties of polyvinyl alcohol based composites/films. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 26(5-6). <https://doi.org/10.1515/jmbm-2017-0027>
- Jal, P. K., Patel, S., Mishra, B. K. (2004). Chemical Modification of Silica Surface By Immobilization of Functional Groups for Extractive Concentration of

- Metal Ions. *Talanta*, 62(2004): 1005–1028. DOI: [10.1016/j.talanta.2003.10.028](https://doi.org/10.1016/j.talanta.2003.10.028)
- Janda, K., dan Dulik, M. (2015). Handbook of Material Biodegradation, Biodeterioration, and Biostabilization. Elsevier. Amsterdam.
- Kakati, N., Maiti, J, dan Das, G. (2015). An approach of balancing the ionic conductivity and mechanical properties of PVA based nanocomposite membrane for DMFC by various crosslinking agents with ionic liquid. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(22). DOI:10.1016/j.ijhydene.2015.04.004
- Kamal, A. H., F. M., Abd-Elrahim B., Lotfy S. (2014). Characterization and Some Properties of Cellulose Acetate-Co-Polyethylene Oxide Blends prepared by the use of gamma irradiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 7, 146-153.
- Khamwicht, A., Wattanasit, S., dan Dechapanya, W. (2021). Synthesis of Bio-Cellulose Acetate Membrane from Coconut Juice Residues for Carbon Dioxide Removal from Biogas in Membrane Unit. *Original Research*, 9(2021), 1-13. doi: 10.3389/fenrg.2021.670904.
- Khotijah, S., Irfan, M., dan Muchdar, F. (2020). Komposisi Nutrisi Pada Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii*. *Jurnal Agribisnis Perikanan*, 13(2): 139-146.
- Kobayashi, S., Sakamoto, J, dan Kimura, S. (2001). In Vitro Synthesis of Cellulose and Related Polysaccharides. *Prog. Polym. Sci*, 26, 1525-1560.
- Lailiyah, N. (2013). Pengaruh Modifikasi Permukaan Selulosa Nata de coco dengan Anhidrida Asetat dalam Mengikat Ion Logam Berat Cd^{2+} dalam Campuran Cd^{2+} dan Pb^{2+} . Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Malang. Malang.
- Latumahina, M., Awan, A., dan Rumahlatu, D. (2017). Pengaruh Suhu Dan Lama Fermentasi Terhadap Uji Organoleptik Pada Pembuatan Nata Buah Enau (*Areng pinnata Merr*). *Biopendix*, 4(1). 29–37. DOI: <https://doi.org/10.30598/biopendixvol4issue1page29-37>.
- Lismeri, L., Zari. P. M., Novarani, T., dan Darni, Y. (2016). Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 11(2), 82-91. DOI: <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5407>.
- Ma, Y. Z., Sobernheimn, D., dan Garzon, J. R. (2016). Unconventional Oil and Gas Research Book. Elsevier. Amsterdam.

- Mallakpour, S., dan Madani, M. (2012). Transparent and thermally stable improved poly (vinyl alcohol)/Cloisite Na⁺/ZnO hybrid nanocomposite films: Fabrication, morphology and surface properties. *Progress in Organic Coatings*, 74(3), 520–525.
- Malvianie, E., Pratama, Y., dan Salafudin. (2014). Fermentasi sampah buah nanas menggunakan sistem kontinu dengan bantuan bakteri *Acetobacter xylinum*. *Reka Lingkungan*, 1(2): 1-11.
- Mafahir, L. A. (2015). Pengaruh Suhu Substrat Terhadap Sifat-Sifat Listrik Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Pbs, Pbse, Pbte Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Evaporasi. Skripsi. Program Studi Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Muhammed, A., Mekewi, dan Guirguis. Polyvinyl Alcohol-Cellulose Acetate Composite Reverses Osmosis Membranes: I. Synthesis and Characterization. *Hydrology*, 3(2), 1-7. DOI: 10.4172/2157-7587.1000131.
- Melliawati. (2015). Bahan baku alternatif pembuatan bioselulosa. *BioTrends*, 6(2), 1-3.
- Moros, J., Garrigues, S., dan Guardia, M. (2010). Vibrational Spectroscopy Provides a Green Tool for Multicomponent Analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 29(7): 578-591.
- Muhsinin, S., Putri, N. T., Ziska, R., dan Jafar, G. (2017). Bacterial Cellulose from Fermented Banana Peels (*Musa paradisiaca*) by *Acetobacter xylinum* as Matrix of Biocellulose Mask. *J. Pharm. Sci. & Res*, 9(2), 159-162.
- Mutia, T. (2014). Potensi Serat dan Pulp Bambu untuk Komposit Peredam Suara. Balai Besar Pulp dan Kertas. Bandung.
- Nemr, A., Ragab, S., dan Khaled, A. (2016). Synthesis of Cellulose Triacetate from Cotton Cellulose by Using NIS as a Catalyst under Mild Reaction Conditions. *Carbohydrate Polymers*, 130, 41-48.
- Nur'aini, H., dan Eva, R. S. (2016). Identifikasi mutu nata kulit buah naga (*Hylocereus undatus*) dengan variasi konsentrasi sukrosa. *AGRITEPA*, 2(2), 165-174.
- Oktavianis, V., dan Yempita, E. (2016). Mikrobiologi Hasil Perikanan. Bung Hatta University Press. Padang.
- Pahlevi, M. A., Junaidi, R., dan Hc, F. (2020). Prototipe baterai berbasis karbon aktif dari bambu betung (tinjauan pengaruh karbon aktif dan elektrolit dalam meningkatkan daya baterai). *Kinetika*, 11(01), 55–60.
- Perdana, D. G. E., Suarsana, K., & Putri, C. I. (2018). Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Matrik Aluminium Berpenguat Sicw / Al₂O₃

- dengan Wetting Agent terhadap Densitas, Porositas dan Kekerasan. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 7(1), 7–12.
- Putri, S. N. Y., Syaharani, W. F., Utami, C. V. B., Safitri, D. R., Arum, Z. N., Prihastari, Z. F., Sari, A. R. (2020). Pengaruh mikroorganisme, bahan baku, dan waktu inkubasi pada karakter nata: review. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 62-74.
- Putri, A. N., dan Fatimah, S. (2021). Karakteristik Nata De Soya Dari Limbah Cair Tahu dengan Pengaruh Penambahan Ekstrak Jeruk Nipis Dan Gula. *Ind. J. Chem. Anal.*, 4(2), 47-57.
- Putriana, I., dan Aminah, S. (2013). Mutu Fisik, Kadar Serat dan Sifat Organoleptik Nata de Cassava Berdasarkan Lama Fermentasi. *Jurnal Pangan dan Gizi*, 4(7), 29-38.
- Qiao, K., Zheng, Y., Guo, S., Tan, J., Chen, X., Li, J., Xu, D., & Wang, J. (2015). Hydrophilic nanofiber of bacterial cellulose guided the changes in the micro-structure and mechanical properties of n-BC/PVA composites hydrogels. *Composites Science and Technology*, 118, 47–54.
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.08.004>
- Qiu, K., & Netravali, A. N. (2015). Polyvinyl alcohol based biodegradable polymer nanocomposites. In *Biodegradable Polymers. Volume 1: Advancement in Biodegradation Study and Applications* (Issue December 2015).
- Rizal, H.M., Dewi, M.P., dan Abdullah, S. (2013). Pengaruh Penambahan Gula, Asam Asetat dan Waktu Fermentasi Terhadap Kualitas Nata de corn. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(1), 34-39.
- Rachtanapun, P., Jantrawut, P., Klunklin, W., Jantanasakulwong, K., Phimolsiripol, Y., Leksawasdi, N., Seesuriyachan, P., Chaisayo, T., Insomphun, C., Phongthai, S., Sommano, S. R., Punyodom, W., Reungsang, A., dan Ngo, T. M. P. (2021). Carboxymethyl Bacterial Cellulose from Nata de Coco: Effects of NaOH. *Polymers*, 13(201), 1-17.
<https://doi.org/10.3390/polym13030348>.
- Rahayu, A. (2017). Pengaruh Lama Pengerinan dan Konsentrasi Asam Laktat Terhadap Tepung Tapioka Termodifikasi (*The Effect of Drying Time and Concentration Lactic Acid To Modified Tapioka Starch*). Doctoral dissertation, Program Studi Teknik Kimia. Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Ristiyani, R. (2006). Pencirian Membran Selulosa Asetat dari Kulit Nanas Dengan Penambahan Poli(etilena)Glikol Sebagai Porogen. Skripsi. Fakultas

- Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rifaldi, A. (2017). Pembuatan Bioplastik Berbasis Pati Sagu Dengan Filler Clay dan Gliserol. Skripsi. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Roin, M. S. (2018). Potensi Selulosa Bakterial dan Selulosa Asetat Limbah Cair Tahu Sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II) dan Cr(VI). Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Mataram. Mataram.
- Rosu, C., Maximean, D. M., Kundu, S., Almeida, P. L., dan Danila, O. (2011). Perspectives on the electrically induced properties of electrospun cellulose/liquid crystal devices. *Journal of Electrostatics*, 69(2011), 623-630. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2011.08.009>.
- Salindeho, R. D., Soukota, J., dan Poeng, R. (2013). Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Unsrat*, 2(2), 1-11.
- Sania, N. F., dan Munasir, M. (2022). Fabrication of PVA/SiO₂ (Nanofiber) Membranes Prepared Using Electrospinning Method for Lithium Battery Separator. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2392(012008). DOI: 10.1088/1742-6596/2392/1/012008.
- Seto, A. S., dan Sari, A. M. (2013). Pembuatan Selulosa Asetat Berbahan Dasar *Nata de Soya*. *Konversi*, 2(2), 1-12.
- Shah, N., UI-Islam, M, dan Khattak. W. A. (2013). Overview of bacterial cellulose composites: a multipurpose advanced material. *Carbohyd Polym*, 98(2): 1585-1598. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.08.018
- Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., dan Yang. G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*. 35(2014), 539-545. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.012>.
- Siddaiah, T., Ojha, P., Kumar, N. O. G. V. R., dan Ramu, C. (2018). Structural, Optical and Thermal Characterizations of PVA/MAA:EA Polyblend Films. *Materials Research*, 21(5), 1-10. [Http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0987](http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0987).
- Simanjuntak, M. J. (2008). Studi film polyvinil alcohol (PVA) dimodifikasi dengan acrylamide (AAM) sebagai material sensitif terhadap kelembaban. Tesis. Program Studi Ilmu Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia. Depok.
- Somantri, R. U. (2003). Pengaruh Penambahan ForMamide Dan Lama Penguapan Pelarut (Aseton) Terhadap Membran Selulosa Asetat. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian.

- Institut Pertanian Bogor.
Bogor.
- Souhoka, F. A., dan Latupeirissa, J. (2017). Sintesis dan karakterisasi selulosa asetat (CA). *Indo. J. Chem. Res.*, 2018, 5(2), 58-62.
- Sutarminingsih, L. (2004). *Peluang Usaha Nata de Coco*. Kanisius. Yogyakarta.
- Sugiharto. (1994). *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Syamsu, K., dan Tutus, K. (2014). Pembuatan Biofilm Selulosa Asetat dari Selulosa Mikrobial Nata de cassava. *E-JAII*, 3(1), 126-133.
- Tang, W., Jia, S., Jia, Y., & Yang, H. (2010). The influence of fermentation conditions and post-treatment methods on porosity of bacterial cellulose membrane. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(1), 125–131.
<https://doi.org/10.1007/s11274-009-0151-y>.
- Tanpichai, S., & Oksman, K. (2016). Cross-linked nanocomposite hydrogels based on cellulose nanocrystals and PVA: Mechanical properties and creep recovery. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 226–233.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.06.002>
- Thompson, A. K., Hackett, C., Grady, T., Enyinnia, S., Moore, Q. C., dan Nave, F. M. (2020). Development and Characterization of Membranes with PVA Containing Silver Particles: A Study of the Addition and Stability. *Polymers*, 12(2020), 1-16.
Doi:10.3390/polym12091937.
- Utami, M. R., dan Widiarti, N. (2014). Sintesis plastik *biodegradable* dari kulit pisang dengan penambahan kitosan dan plasticizer gliserol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(2), 163-167.
- Uthaman, S., Mutiah, M., dan Park, I. K. (2016). Fabrication and development of magnetic particles for gene therapy. *Polymers and Nanomaterials for Gene Therapy*.
- Vlachos, N., Skopelitis, Y, dan Tegou, E. (2006). Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils. *Analytica Chimica Acta* 573–574, 2006, 459–465.
- Wahyusi, K. N., Siswanto, dan Utami, L. I. (2017). Kajian proses asetilasi terhadap kadar asetil selulosa asetat dari ampas tebu. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 35-39.
- Wijayanto, S. O., dan Bayuseno, A. P. (2014). Analisis kegagalan material pipa *ferrule nickel alloy* N06025 pada *waste heat boiler* akibat suhu tinggi berdasarkan pengujian : mikrofografi dan kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 33-39.
- Xu, Q., Wei, C., Fan, L., Peng, S., Xu, W., & Xu, J. (2017). A bacterial cellulose / Al₂O₃

nanofibrous composite membrane for a lithium-ion battery separator. 1889–1899. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1225-x>

- Yani, S., dan Djamas, D. (2019). Analisis sifat listrik nanokomposit NiFe₂O₄/PANi yang disintesis dengan metode sol gel (Analysis of the electrical properties of NiFe₂O₄ / PANi nanocomposites synthesized by sol gel method). *Pillar of Physics*, 12(1), 8-15.
- Yasa, I. W. S., Basuki, E., Saloko, S., dan Handito, D. (2020). Sifat Fisik Dan Mekanis Lembaran Kering Selulosa Bakteri Berbahan Dasar Limbah Hasil Pertanian. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 8(1), 89–99. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v8i1.170>
- Yin, J., Fan, H., dan Zhou, J. (2015). Cellulose acetate/poly(vinyl alcohol) and cellulose acetate/crosslinked poly(vinyl alcohol) blend membranes: preparation, characterization, and antifouling properties. *Desalination and Water Treatment*, 2015. DOI: 10.1080/19443994.2015.1040846
- Yulandari, A. (2020). Sintesis Selulosa Asetat dari Agar Rumput Laut Merah *Gracilaria vermiculophylla*. Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Banda Aceh.
- Zhong, C. (2020). *Industrial-Scale Production and Applications of Bacterial Cellulose*. *Biotechnol*, 22, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.605374>