ISSN 2075-9083 (Print)
ISSN 2075-9075 (Onlline)

JURNAL TEKNIK KIMIA VOKASIONAL

Vol. 6, No. 2, September 2026, hal. 72–79
doi: 10.46964/jimsi.v6i2.1847

PEMANFAATAN *MICROFIBRILLATED CELLULOSE* DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI PENGUAT PADA KOMPOSIT FILM *POLYVINYL ALCOHOL* (PVA) UNTUK APLIKASI KAPSUL DETERGEN

Mohammad Rifqy Mayfandi[1,*)], Fitriyana[2)], dan Ibnu Eka Rahayu[3)]

[1,3)] Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia
[2)] Program Studi Petro dan Oleo Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

[*)] Email : rifqymayfandi@gmail.com

Received : 27-03-2026; Revised: 30-08-2026; Accepted: 30-09-2026)

Abstrak

Kapsul detergen adalah inovasi laundry berbasis film polimer larut air yang memudahkan penggunaan dan memastikan dosis tepat. PVA dipilih karena larut air dan ramah lingkungan, tetapi sensitif terhadap kelembaban sehingga kekuatan film bisa menurun. Penambahan *microfibrillated cellulose* dari limbah TKKS berpotensi memperkuat film PVA sekaligus mendukung kapsul detergen yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *microfibrillated cellulose* sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit film kapsul detergen, membuat komposit film berbasis *microfibrillated cellulose* yang diaplikasikan sebagai kapsul detergen, serta menentukan formula konsentrasi *microfibrillated cellulose* (MFC) dalam komposit film berdasarkan karakteristik daya serap air, *tensile strength*, *elongation at break*, dan *water vapor transmission rate* (WVTR). MFC diperoleh melalui proses delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam. Film PVA dibuat dengan variasi MFC 0–12,5% (b/b). Penambahan *microfibrillated cellulose* sebesar 2,5% menunjukkan hasil terbaik dengan nilai *tensile strength* 63,33 MPa, *elongation at break* 110,64%, WVTR 4,09 g/h·m², daya serap air 139,74%, waktu pelepasan kapsul selama 49 detik, serta hasil SEM menunjukkan morfologi fibril memanjang dengan diameter ±289 nm–2,22 µm.

Kata kunci: kapsul detergen; komposit film; *microfibrillated cellulose*; PVA; tandan kosong kelapa sawit

Abstract

Detergent capsules are a laundry innovation based on water-soluble polymer films that ensure ease of use and accurate dosing. Polyvinyl alcohol (PVA) is widely used due to its water solubility and environmental friendliness; however, it is sensitive to moisture, which may reduce film strength. The addition of microfibrillated cellulose derived from oil palm empty fruit bunch (OPEFB) waste has the potential to reinforce PVA films and support the development of more sustainable detergent capsules. This study aims to produce microfibrillated cellulose as a reinforcing material, fabricate MFC-based composite films for detergent capsule applications, and determine the appropriate MFC concentration based on water absorption, tensile strength, elongation at break, and water vapor transmission rate (WVTR). MFC was obtained through delignification, bleaching, and acid hydrolysis. PVA films were prepared with MFC variations of 0–12.5% (w/w). The addition of 2.5% MFC showed the best performance, with a tensile strength of 63.33 MPa, elongation at break of 110.64%, WVTR of 4.09 g/h·m², water absorption of 139.74%, capsule dissolution time of 49 seconds, and elongated fibril morphology observed by SEM.

Keywords: *composite film; detergent capsule; microfibrillated cellulose; oil palm empty fruit bunch; PVA*

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

PENDAHULUAN

Kapsul detergen merupakan inovasi dalam sektor laundry dan perawatan rumah tangga, hadir dalam bentuk kapsul berisi detergen cair dengan takaran yang sudah sesuai untuk satu kali penggunaan. Ketika terkena air di mesin cuci, kapsul akan larut dan melepaskan detergen, sehingga pengguna tidak perlu menakar secara manual dan meminimalkan tumpahan yang biasanya terjadi pada detergen cair konvensional. Selain itu, formulasi yang lebih terkonsentrasi memungkinkan penggunaan detergen menjadi lebih efisien (Byrne et al., 2021). Material utama kapsul detergen adalah polyvinyl alcohol (PVA), polimer sintetis yang larut dalam air, aman, dan mudah terdegradasi secara alami. PVA memiliki kekuatan tarik dan fleksibilitas yang tinggi, namun sifat mekaniknya dipengaruhi oleh kelembaban lingkungan; kelembaban tinggi dapat menurunkan kekuatan tarik film PVA (Triyastiti, 2017).

Untuk meningkatkan sifat mekanik dan barrier properties dari film PVA, dilakukan penambahan bahan penguat, baik sintetis maupun alami. Bahan penguat alami seperti selulosa, kitosan, dan kitin banyak dikembangkan karena ketersediaannya yang melimpah dan kekuatan yang baik. Salah satu bentuk selulosa yang efektif sebagai penguat adalah Microfibrillated Cellulose (MFC), yaitu selulosa berukuran mikro dengan fibril panjang dan aspect ratio tinggi, sehingga mampu meningkatkan interaksi antarmuka dengan matriks polimer (Napitupulu et al., 2018). MFC dapat diproduksi dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui proses alkalinisasi, bleaching, dan hidrolisis asam (Cahyaningtyas et al., 2014). TKKS memiliki kandungan lignoselulosa yang kaya akan selulosa (37,3–46,5%), hemiselulosa (22,3–33,8%), dan lignin (27,6–32,5%), sehingga potensial dimanfaatkan sebagai sumber MFC (Sudiyani et al., 2013). Ketersediaan TKKS di Kalimantan Timur diperkirakan mencapai 4.143.440 ton per tahun, menjadikannya bahan baku berkelanjutan (Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Timur, 2024).

Penelitian terdahulu telah meneliti pengaruh penambahan PVA dan selulosa pada komposit film berbasis pati, dengan fokus pada tensile strength dan karakteristik hidrofilik (Chan & Tang, 2022). Hasil menunjukkan rasio PVA:selulosa (3:2) meningkatkan homogenitas film dan tensile strength dari sekitar 2 MPa menjadi 4,2 MPa, dengan penyerapan air 88,073% setelah 24 jam. Namun, penelitian ini terbatas pada variasi rasio PVA dan selulosa, sehingga pengaruh spesifik selulosa sebagai bahan penguat terhadap sifat mekanik dan karakteristik film belum dievaluasi secara mendalam. Tan et al. (2022), menggunakan TKKS sebagai bahan baku selulosa, dengan variasi konsentrasi H_2SO_4, waktu dan temperatur hidrolisis, serta massa serat selulosa. Kondisi optimal menghasilkan yield selulosa 80,72%, tensile strength 36,09 MPa, dan elongation at break 119,96%. Meskipun demikian, proses delignifikasi dan pemutihan berbasis klorin berpotensi toksik, dan penelitian ini belum difokuskan pada aplikasi kapsul detergen.

Metode isolasi α-selulosa menggunakan NaOH 17,5% dan pemutihan H_2O_2 3% mampu menghasilkan α-selulosa dengan rendemen 87% dan kemurnian 99,98% (Yulina et al., 2020). α-selulosa berkualitas tinggi ini penting sebagai bahan baku MFC untuk meningkatkan interaksi penguat–matriks PVA dan memperbaiki sifat mekanik serta karakteristik film. Dengan demikian, penambahan MFC diharapkan mampu meningkatkan sifat mekanik komposit film PVA, namun penelitian terdahulu masih memiliki sejumlah keterbatasan. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan komposit film berbasis PVA yang diperkuat MFC secara optimal untuk aplikasi kapsul detergen, dengan mempertimbangkan daya serap air, tensile strength, elongation at break, dan water vapor transmission rate (WVTR). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan limbah TKKS sebagai sumber MFC bernilai ekonomis, menghasilkan komposit film yang kuat secara mekanik, efisien dalam penggunaan kapsul detergen, minim residu, dan menawarkan kenyamanan serta kepraktisan bagi pengguna.

METODOLOGI

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ayakan ukuran 50 *mesh*, batang pengaduk, botol semprot, cawan petri, desikator, erlenmeyer 250 mL, gelas kimia, gelas ukur, *hot plate*, kaca arloji, kain saring, labu ukur, *magnetic stirrer*, mortar, neraca digital, oven, penangas air, pipet ukur, pipet volume, spatula, *stopwatch*, termometer, serta kertas pH.

Bahan yang digunakan terdiri atas aquadest, larutan H_2O_2 30%, larutan H_2SO_4 54%, larutan NaOH 17,5%, larutan NaOH 3,5%, *polyvinyl alcohol* (PVA), dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Semua peralatan dan bahan dipersiapkan untuk mendukung proses isolasi α-selulosa, pembuatan *microfibrillated cellulose* (MFC), serta pembuatan komposit film berbasis PVA yang diperkuat MFC untuk aplikasi kapsul detergen.

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

Preparasi Bahan Baku

Mengeringkan TKKS di bawah sinar matahari, memotongnya menggunakan *crusher* dan *blender*, lalu mengayaknya hingga ukuran -50 *mesh*. Selanjutnya, TKKS dimaserasi menggunakan etanol 96% selama tiga hari dengan pergantian pelarut setiap hari, dicuci dengan air mendidih, dan dikeringkan di oven pada 110°C hingga berat konstan.

Proses Delignifikasi

Memanaskan serbuk TKKS dengan larutan NaOH 3,5% pada suhu 100°C dengan perbandingan pelarut 1:30 selama 1 jam, menyaring dan mencuci serat selulosa hingga pH netral, kemudian mengeringkannya pada 110°C. Proses delignifikasi diulangi menggunakan larutan NaOH 3,5% dan 17,5%.

Proses *Bleaching*

Memasukkan serat hasil delignifikasi ke dalam larutan H_2O_2 dengan rasio padatan:larutan 1:20, melakukan *bleaching* pada 95 ± 5°C selama 2 jam sambil mengaduk, menyaring dan mencuci selulosa hingga pH netral, lalu mengeringkannya dalam oven pada 60°C hingga berat konstan.

Proses Hidrolisis Asam

Menimbang berat kering selulosa TKKS hasil *bleaching*, kemudian mencampurkannya dengan larutan H_2SO_4 54% dengan rasio 1:10. Selanjutnya, melakukan reaksi hidrolisis pada temperatur 35°C selama 30 menit sambil mengaduk. Setelah 30 menit, hasil hidrolisis dimasukkan ke *waterbath* hingga mencapai temperatur ruang. Kemudian mencuci produk yang dihasilkan hingga pH netral menggunakan metode sentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 15 menit. Selanjutnya, peneliti memisahkan supernatan dan endapan microfibrillated cellulose, lalu mengeringkan MFC pada temperatur 40°C hingga berat konstan.

Pembuatan Kapsul Detergen

Merendam pelet PVA (10%, b/v) dalam aquadest selama 1 jam untuk meningkatkan kelarutan. Selanjutnya, peneliti memanaskan campuran pada suhu 97°C selama 30 menit sambil mengaduk terus-menerus. Menambahkan *microfibrillated cellulose* dengan variasi konsentrasi 0; 2,5; 5; 7,5; 10; dan 12,5% (b/b) ke dalam larutan PVA, kemudian mengaduk campuran polimer selama 1 jam hingga homogen. Selanjutnya, peneliti mengambil 5 gram larutan polimer dan menuangkannya ke dalam cawan petri, lalu mengeringkannya pada suhu 40°C selama 24 jam hingga terbentuk film tipis komposit.

Pengujian Daya Serap

Merendam sampel komposit film sepenuhnya dalam aquadest pada temperatur 23 ± 1°C selama 24 jam sesuai standar ASTM D570-98. Setelah perendaman, mengeluarkan sampel satu per satu, mengeringkan permukaannya menggunakan kain kering atau tisu, dan menimbangnya menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,001 g untuk memperoleh massa setelah perendaman. Kemudian menghitung persentase air yang terserap pada masing-masing variasi komposit film.

Pengujian *Water Vapor Tranmission Rate* (WVTR)

Mengisi cup uji dengan silika gel masing-masing sebanyak 5 gram, menutup cup menggunakan komposit film, dan merekatkan bagian tepinya hingga rapat. Selanjutnya, menimbang cup, silika gel, dan komposit film sebagai massa awal, kemudian memasukkan cup ke dalam desikator dengan menambahkan cup berisi air untuk menciptakan kondisi lembap. Menimbang kembali cup, silika gel, dan komposit film pada hari ke-3, lalu menghitung laju transmisi uap air berdasarkan perubahan massa terhadap waktu dan luas permukaan komposit film sesuai ASTM E 96-95.

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

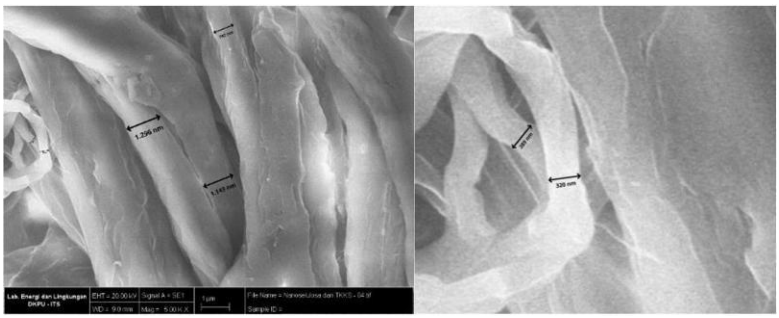
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Karakteristik Komposit Film

Tabel 1. Data Hasil Analisis Karakteristik Komposit Film

Parameter	Konsentrasi *Microfibrillated Cellulose* (%)					
	0	2,5	5	7,5	10	12,5
Daya Serap Air (%)	198,68	139,74	163,03	172,46	181,98	185,71
Tensile Strength (MPa)	43,33	63,33	18,33	31,67	18,33	40,00
Elongation at Break (%)	136,60	110,64	47,43	103,29	40,33	111,36
Waktu Pelepasan Kapsul Detergen (detik)	54	49	46	46	47	44
Water Vapor Transmission Rate ((g/h)/m^2)	4,57	4,09	4,42	4,48	4,26	4,23

Morfologi *Microfibrillated Cellulose* (MFC)



Gambar 1. Hasil Morfologi *Microfibrillated Cellulose* (MFC)

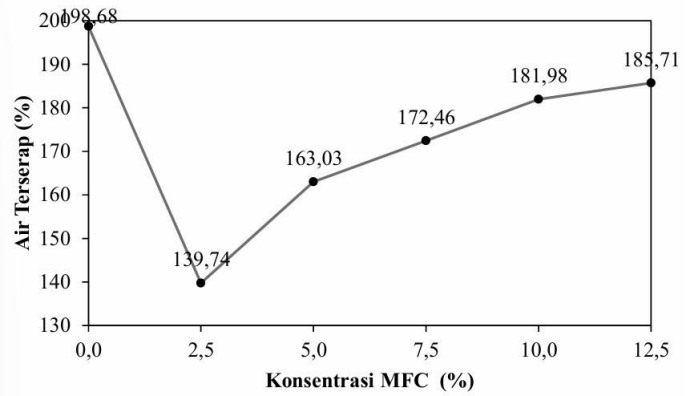
Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa serat selulosa dari tandan kosong kelapa sawit membentuk fibril memanjang dengan diameter bervariasi dari skala nano hingga mikro, berkisar antara ±289 nm–2,22 µm . Fibril tersusun dalam jaringan yang cukup rapat, sebagian saling bersinggungan dan membentuk aglomerasi lokal. Struktur ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi, bleaching, dan hidrolisis berhasil menghasilkan selulosa terfibrilasi, meskipun distribusi fibril belum sepenuhnya homogen. Aglomerasi yang muncul kemungkinan disebabkan oleh interaksi hidrofobik antar fibril dan tegangan kapiler selama pengeringan.

Fibril yang panjang dan bercabang membentuk jaringan tiga dimensi yang memperkuat matriks PVA ketika dicampur, sehingga meningkatkan kekakuan dan kekuatan tarik film. Namun, fibril yang menggumpal dapat menjadi titik lemah jika konsentrasi MFC terlalu tinggi. Variasi diameter fibril juga memengaruhi permeabilitas film; fibril mikro membentuk jalur penetrasi air yang lebih lebar, sedangkan fibril nano menciptakan jalur difusi berliku yang menghambat penetrasi air. Kombinasi kedua jenis fibril ini memengaruhi daya serap, WVTR, dan fleksibilitas film.

Integrasi fibril ke dalam matriks PVA membentuk interaksi hidrogen yang kuat, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik film. Jaringan PVA–MFC yang homogen memungkinkan transfer tegangan yang efektif, sementara aglomerasi fibril meningkatkan porositas lokal yang mempercepat penetrasi larutan dalam aplikasi kapsul detergen. Dengan demikian, morfologi MFC menjadi faktor kunci yang menentukan keseimbangan antara kekuatan mekanik, sifat *barrier*, daya serap air, dan waktu pelepasan kapsul, sehingga kualitas fibril sangat menentukan performa akhir film PVA.

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

Pengaruh Konsentrasi MFC Terhadap Daya Serap Air



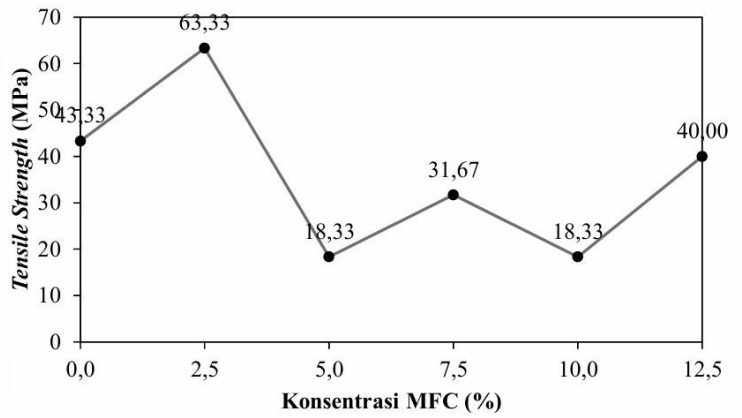
Gambar 2. Grafik Daya Serap Air (%) pada Komposit Film

Film komposit menunjukkan variasi daya serap air yang dipengaruhi konsentrasi MFC. Film tanpa MFC memiliki daya serap air tertinggi karena matriks PVA relatif longgar sehingga air lebih mudah menembus film. Penambahan MFC sebesar 2,5% menurunkan daya serap air karena fibril selulosa membentuk jaringan yang lebih rapat dan mengikat matriks PVA melalui ikatan hidrogen, sehingga ruang bebas untuk air berkurang.

Saat konsentrasi MFC meningkat di atas 2,5%, daya serap air kembali meningkat karena terbentuk pori mikro dari aglomerasi fibril, yang memfasilitasi penetrasi air lebih mudah. Fenomena ini menunjukkan bahwa MFC berperan ganda: memperkuat film sekaligus mengatur porositas. Distribusi fibril yang tidak merata akan menghasilkan area dengan permeabilitas tinggi dan rendah, sehingga daya serap film menjadi bervariasi.

Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi MFC harus dioptimalkan agar film memiliki daya serap air yang sesuai dengan aplikasi kapsul detergen. Film dengan daya serap terlalu tinggi akan cepat larut dan tidak menahan isi kapsul, sedangkan daya serap terlalu rendah membuat larutan detergen tertahan terlalu lama. Pengaturan rasio PVA dan MFC menjadi kunci untuk menyeimbangkan penetrasi air dan kekuatan mekanik film.

Pengaruh Konsentrasi MFC Terhadap *Tensile Strength* (Kekuatan Tarik)



Gambar 3. Grafik *Tensile Strength* (MPa) pada Komposit Film

Tensile strength film meningkat signifikan dengan penambahan MFC pada konsentrasi rendah (2,5%). Fibril selulosa berfungsi sebagai penguat yang mentransfer tegangan secara efektif melalui interaksi hidrogen dengan matriks PVA. Hasil ini menunjukkan integrasi optimal antara MFC dan PVA, sehingga film mampu menahan deformasi tarik dengan baik.

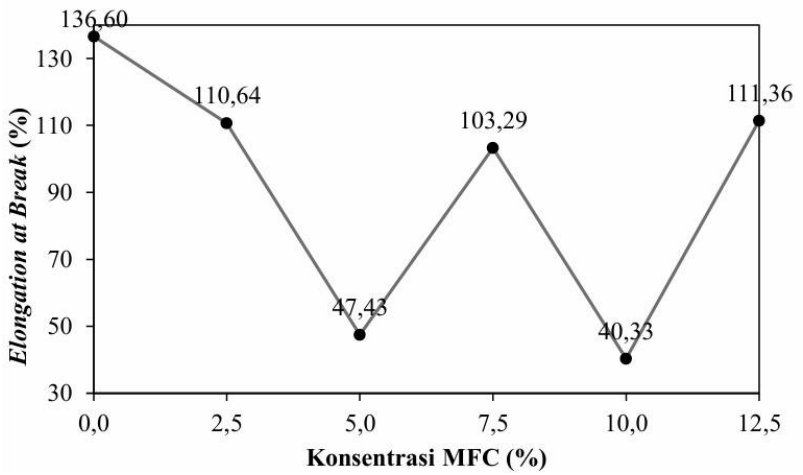
Penambahan MFC lebih tinggi menurunkan kekuatan tarik karena distribusi fibril menjadi tidak merata dan membentuk aglomerasi. Aglomerasi ini menjadi titik lemah pada film, mengurangi kemampuan

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

matriks menahan tegangan. Fenomena ini menegaskan pentingnya homogenitas fibril untuk mempertahankan performa mekanik film, sekaligus menunjukkan batas optimal konsentrasi pengisi.

Selain itu, struktur fibril yang panjang dan bercabang memungkinkan transfer tegangan yang merata pada konsentrasi optimal. Namun, jika fibril terlalu banyak atau menggumpal, transfer tegangan tidak efektif, sehingga tensile strength menurun. Hal ini menekankan bahwa kontrol proses delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis berpengaruh langsung pada kinerja mekanik film.

Pengaruh Konsentrasi MFC Terhadap % *Elongation at Break*



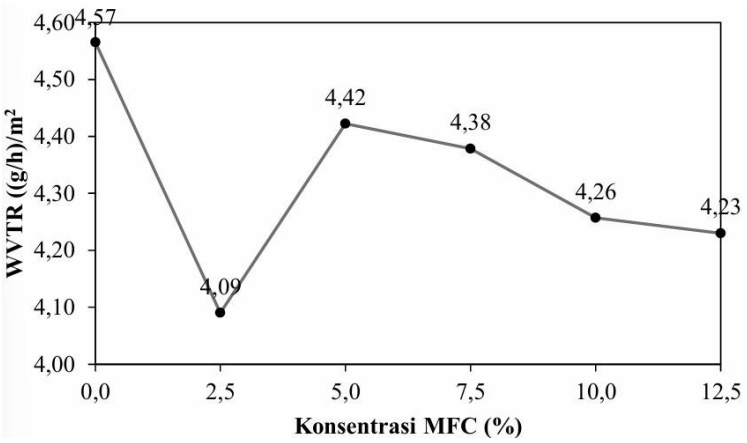
Gambar 4. Grafik *Elongation at Break* (%) pada Komposit Film

Elongation at break menunjukkan tren penurunan saat konsentrasi MFC meningkat. Film tanpa MFC memiliki *elongation* tertinggi, menunjukkan fleksibilitas yang baik. Penambahan MFC membatasi deformasi elastik matriks PVA karena fibril selulosa meningkatkan kekakuan film.

Pada konsentrasi MFC tinggi, nilai *elongation* kembali sedikit meningkat akibat aglomerasi fibril yang menciptakan titik lemah lokal. Titik lemah ini memungkinkan deformasi setempat terjadi lebih mudah, sehingga film masih memiliki fleksibilitas meskipun kekakuan meningkat.

Fenomena ini menunjukkan adanya kompromi antara kekuatan tarik dan fleksibilitas film. Konsentrasi MFC optimal diperlukan untuk menyeimbangkan kekuatan dan elastisitas, sehingga film cukup kuat untuk menahan tegangan tetapi tetap fleksibel agar dapat menyesuaikan bentuk kapsul detergen tanpa retak.

Pengaruh Konsentrasi MFC Terhadap *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR)



Gambar 5. Grafik *Water Vapor Transmission Rate* ((g/h)/m2) pada Komposit Film

Laju transmisi uap air (WVTR) film komposit dipengaruhi oleh konsentrasi MFC. Film tanpa MFC memiliki WVTR tertinggi karena struktur matriks PVA lebih longgar, sehingga uap air lebih mudah

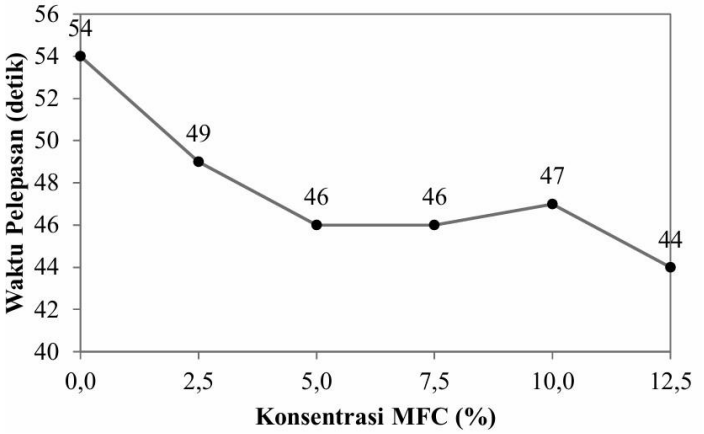
ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

menembus. Penambahan MFC sebesar 2,5% menurunkan WVTR secara signifikan karena fibril selulosa membentuk jalur difusi berliku (*tortuous pathway*) bagi molekul air, sehingga penetrasi uap menjadi lebih lambat dan film memiliki sifat barrier yang lebih baik.

Konsentrasi MFC yang lebih tinggi menyebabkan WVTR meningkat sedikit karena terbentuknya pori mikro akibat aglomerasi fibril. Pori ini memfasilitasi penetrasi uap air lokal, sehingga kemampuan film menghambat transmisi uap sedikit menurun. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi fibril yang merata sangat penting untuk mempertahankan sifat barrier film.

Analisis ini menegaskan bahwa MFC dapat dimanfaatkan untuk mengontrol permeabilitas uap air film sesuai aplikasi. Konsentrasi optimal MFC memberikan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan kemampuan menghambat transmisi uap, sehingga film PVA–MFC dapat berfungsi sebagai barrier yang efektif sekaligus fleksibel untuk pelepasan kapsul detergen.

Pengaruh Konsentrasi MFC Terhadap Waktu Pelepasan Kapsul Detergen



Gambar 6. Grafik Waktu Pelepasan (detik) pada Komposit Film

Waktu pelepasan kapsul detergen menunjukkan hubungan yang erat dengan konsentrasi MFC dalam film. Film tanpa MFC memerlukan waktu lebih lama untuk melepaskan isi kapsul karena matriks PVA lebih rapat dan penetrasi air lebih lambat. Penambahan MFC 2,5–12,5% mempercepat pelepasan larutan detergen karena fibril selulosa menciptakan jalur mikropori yang mempermudah air menembus film.

Konsentrasi MFC tinggi, seperti 12,5%, menghasilkan waktu pelepasan tercepat karena pori mikro terbentuk lebih banyak, mempercepat penetrasi air ke dalam film. Sebaliknya, konsentrasi MFC rendah mempertahankan jaringan film lebih rapat, sehingga larutan detergen tertahan lebih lama. Fenomena ini menunjukkan bahwa MFC dapat digunakan untuk mengatur laju pelepasan kapsul sesuai kebutuhan, baik untuk pelepasan cepat maupun terkontrol.

Selain itu, distribusi fibril yang merata memungkinkan pelepasan larutan detergen lebih konsisten antar kapsul. Aglomerasi fibril di konsentrasi tinggi dapat meningkatkan permeabilitas lokal tetapi juga menimbulkan variasi waktu pelepasan antar titik film. Dengan demikian, kontrol konsentrasi dan distribusi MFC menjadi kunci untuk mendapatkan film PVA dengan waktu pelepasan kapsul yang dapat diprediksi dan stabil.

SIMPULAN

Rendemen *microfibrillated cellulose* (MFC) dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mencapai 74,31% dengan morfologi fibril memanjang berdiameter sekitar 289 nm–2,22 µm. Komposit film PVA dengan penguat *microfibrillated cellulose* berhasil dikembangkan menjadi kapsul detergen larut air. Penambahan MFC sebesar 2,5% pada film PVA menunjukkan performa terbaik dengan *tensile strength* 63,33 MPa, *elongation at break* 110,64%, daya serap air 139,74%, nilai WVTR 4,09 g/h·m², serta waktu pelepasan kapsul detergen 49 detik, tanpa mengalami penurunan karakteristik akibat modifikasi proses delignifikasi menggunakan NaOH 17,5% dan *bleaching* dengan H_2O_2.

ISSN 2775-9083 (Print)
ISSN 2775-9075 (Online)

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terselasaikannya artikel ini, Penulis ingin mengucapkan Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Seluruh Manajemen Politeknik Negeri Samarinda Khususnya Pengelola jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda serta Pihak-pihak lain yang secara langsung terlibat dalam penyelesaian artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA (BOLD TIMES NEW ROMAN 12pt)

Byrne, D., Boeije, G., Croft, I., Hüttmann, G., Luijkx, G., Meier, F., Parulekar, Y., & Stijntjes, G. (2021). Biodegradability of Polyvinyl Alcohol Based Film Used for Liquid Detergent Capsules. *Tenside, Surfactants, Detergents*, *58*(2), 88–96. https://doi.org/10.1515/tsd-2020-2326

Cahyaningtyas, A. A., Amalia, B., Yuanita, E., Karima, R., Mailisa, T., & Jati, B. N. (2014). Pengaruh Hidrolisis Menggunakan Asam Sulfat Pada Karakteristik Micro- fibrillated Cellulose (MFC) Dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Agen Nukleasi. *Jurnal Litbang Industri*, *2014*(2), 73–81. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24960/jli.v10i1.5960.1-6

Chan, M. K., & Tang, T. H. (2022). The Properties Of Starch/Cellulose/Polyvinyl Alcohol Composite As Hydrodegradable Film. *Polymers and Polymer Composites*, *30*, 1–8. https://doi.org/10.1177/09673911221100353

Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Timur. (2024). *Statistik Perkebunan Kalimantan Timur 2023*. Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Timur.

Napitupulu, L. M., Azwar, E., & Darni, Y. (2018). Pengaruh Penambahan MFC (Micro Fibrilated Cellulose) Dari Ampas Tebu (Sugar Cane Baggase) Sebagai Microfiller Pada Sintesa Bioplastik. *JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika*, *06*(01), 51–62.

Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiyarmanto, Sembiring, K. C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., & Han, M. H. (2013). Utilization Of Biomass Waste Empty Fruit Bunch Fiber Of Palm Oil For Bioethanol Production Using Pilot - Scale Unit. *Energy Procedia*, *32*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.005

Tan, J. Y., Tey, W. Y., Panpranot, J., Lim, S., & Lee, K. M. (2022). Valorization of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Cellulose Fibers: A Reinforcement Material in Polyvinyl Alcohol Biocomposites for Its Application as Detergent Capsules. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(18). https://doi.org/10.3390/su141811446

Triyastiti, L. (2017). *Isolasi Nanokristal Selulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai Filler Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (PVA) [Skripsi Sarjana, Dipublikasikan]*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.

Yulina, R., Gustiani, R. S., Kasipah, C., & Danny Sukardan, M. (2020). Preparation of Microcrystalline Cellulose from Cotton Yarn Spinning Mills Wastes: Effect of Pretreatment and Hydrolysis Reaction Condition on the Product Characteristics. *E3S Web of Conferences*, *148*, 0–5. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014802004