

## PEMBUATAN BIOFILM SELULOSA ASETAT DARI SELULOSA MIKROBIAL NATA DE CASSAVA

### CELLULOSE ACETAT BIOFILM PRODUCTION FROM MICROBIAL CELLULOSE NATA DE CASSAVA

Khaswar Syamsu\* dan Tutus Kuryani

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB  
Kampus IPB Dramaga P.O. Box 220 Bogor 16002

\*e-mail: [khaswars@yahoo.com](mailto:khaswars@yahoo.com)

### ABSTRACT

*Cellulose acetate is one of cellulose derivative produced by acetylation in acetate anhydride reactant. The objectives of this research are to produce cellulose acetate biofilm from microbial cellulose nata de cassava. Nata de cassava as fermentation product of tapioca liquid waste assisted by Acetobacter xylinum for 8 days dried and crushed into powder. Microbial cellulose powder was activated by glacial acetate acid, acetyled in acetate anhydride using ratio 1:3, 1:4, and 1:5 for 1, 2, and 3 hours then hydrolyzed by weak acetate acid. The suspension deposited in aquades, dried then crushed into powder form. Cellulose acetate powder diluted in acetone and added by glycerin then poured into glasses plate. Cellulose acetate has acetyl number between 30.60 - 44.51%. Biofilm has average tensile strength 320.50 kgf/cm<sup>2</sup>, elongation 3.06%, WVTR 461.97 g/m<sup>2</sup>/24 jam, and water absorbing power 10.52%.*

*Keywords: biofilm, cellulose acetate, microbial cellulose, nata de cassava.*

### ABSTRAK

Selulosa asetat merupakan senyawa turunan hasil asetilasi selulosa dengan pereaksi asetat anhidrida. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan biofilm selulosa asetat dari selulosa mikrobial nata de cassava. Nata de cassava yang diperoleh melalui fermentasi limbah cair tapioka dengan bantuan bakteri *Acetobacter xylinum* selama 8 hari dikeringkan dan dihancurkan hingga membentuk serbuk. Serbuk selulosa mikrobial yang diperoleh diaktivasi menggunakan asam asetat glasial, diasetilasi menggunakan pelarut asetat anhidrida dengan perbandingan selulosa:pelarut 1:3, 1:4, dan 1:5 selama 1, 2, dan 3 jam kemudian dihidrolisis menggunakan asam asetat encer. Larutan selulosa asetat diendapkan dengan aquades, dikeringkan lalu dihancurkan hingga terbentuk serbuk selulosa asetat. Serbuk selulosa asetat dilarutkan dalam aseton dan dilakukan penambahan pemlastis gliserin sebanyak 15% dan 25% dari bobot selulosa asetat lalu dicetak menggunakan plat kaca. Selulosa asetat yang terbentuk memiliki kadar asetil antara 30.60 - 44.51%. Biofilm yang terbentuk memiliki rata-rata kekuatan tarik 320.50 kgf/cm<sup>2</sup>, elongasi 3.06%, WVTR 461.97 g/m<sup>2</sup>/24 jam, dan daya serap air 10.52%.

Kata kunci : biofilm, selulosa asetat, selulosa mikrobial, nata de cassava.

### PENDAHULUAN

Selulosa asetat merupakan senyawa turunan selulosa yang diperoleh melalui esterifikasi menggunakan pereaksi asetat anhidrida. Selulosa asetat merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan untuk industri. Selulosa asetat secara umum dibedakan atas dua jenis yaitu selulosa triasetat (selulosa asetat primer) dan selulosa diasetat (selulosa asetat sekunder). Selulosa asetat primer dibuat melalui reaksi esterifikasi (asetilasi) selulosa dengan pereaksi anhidrida asetat, sedangkan selulosa asetat sekunder dibuat dengan cara menghidrolisis selulosa asetat primer (Desiyarni, 2006).

Secara komersial selulosa asetat dibuat dengan menggunakan bahan baku pulp kayu berkualitas tinggi. Salah satu masalah dalam produksi selulosa asetat dari pulp kayu adalah rendahnya kualitas dan kemurnian selulosa kayu karena pulp kayu masih mengandung hemiselulosa dan

lignin. Selulosa mikrobial adalah jenis selulosa yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Selulosa mikrobial bersifat renewable (dapat diperbarui), mempunyai karakteristik yang unik dan relatif lebih murni dibandingkan dengan selulosa kayu. Selulosa mikrobial merupakan salah satu alternatif sumber selulosa pada pembuatan selulosa asetat. Selulosa mikrobial mempunyai beberapa keunggulan antara lain relatif murni sehingga tidak membutuhkan proses delignifikasi, sifat hidrofilik yang sangat tinggi dan dapat diproduksi dari berbagai macam substrat yang relatif mudah dan murah. Berdasarkan keunggulan yang dimiliki tersebut maka selulosa jenis ini merupakan alternatif sumber selulosa yang relatif murni pada produksi selulosa asetat.

Penelitian pembuatan selulosa asetat dari selulosa mikrobial telah dilakukan antara lain oleh Safriani (2000), Darwis *et al.* (2003), dan Sani (2012). Safriani (2000) telah meneliti pembuatan selulosa asetat dari selulosa mikrobial berbahan baku kedelai (nata de soya) dan menggunakan

selulosa asetat yang dihasilkan sebagai polimer pada pembuatan *coating*. Darwis *et al.* (2003) telah meneliti pembuatan selulosa triasetat dari selulosa mikrobial berbahan baku air kelapa (*nata de coco*) dan menggunakan selulosa triasetat yang dihasilkan sebagai polimer pada pembuatan membran mikrofiltrasi. Sani (2012) telah meneliti potensi *nata de cassava* dari limbah cair tapioka sebagai membran selulosa asetat.

Safriani (2000) melakukan asetilasi dalam waktu 5, 7.5, dan 10 jam dengan rasio asetat anhidrida 1:2, 1:3, dan 1:4 menghasilkan kadar asetil 14.55 - 41.72%. Film selulosa asetat yang dihasilkan digunakan sebagai penyaring, kemasan, dan amplop.

Penelitian ini menggunakan bahan baku *nata de cassava* untuk pembuatan selulosa asetat sebagai upaya pemanfaatan limbah cair tapioka. Selulosa asetat yang dihasilkan digunakan sebagai bahan pembuatan biofilm. Biofilm selulosa asetat diharapkan dapat menjadi substitusi jenis plastik sintetis yang ada di pasaran.

Untuk tujuan aplikasi selulosa asetat sebagai biofilm maka kandungan asetil selulosa asetat yang diperlukan berkisar antara 36.5-42.2 (Fengel and Wegener, 1984). Kandungan asetil selulosa asetat tersebut diduga ditentukan oleh rasio antara selulosa dengan asetat anhidrid dan waktu asetilasi. Di lain pihak, karakteristik fisik mekanik biofilm yang dihasilkan diduga juga dipengaruhi oleh kadar asetil dan pemlastis yang digunakan.

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan rasio selulosa dengan asetat anhidrid dan waktu asetilasi yang cocok untuk menghasilkan selulosa asetat dengan aplikasi sebagai biofilm, dan mempelajari pengaruh kandungan asetil dan jumlah pemlastis terhadap karakteristik biofilm yang dihasilkan.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pengempa hidrolis, pH meter, hammer mill dan saringan 40 *mesh*, *shaker* inkubator, hot plate dan stirer, oven, *vacuum filter*, sentrifus dan tabung sentrifugasi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain limbah cair tapioka, *Acetobacter xylinum*, asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), gula ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ), amonium sulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), asetat anhidrida ( $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ ), asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), aseton ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ), gliserin ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ), kertas saring, dan aquades.

### Metode

#### Pembuatan Nata De Cassava

*Nata de cassava* dibuat dengan menggunakan prosedur Sani (2012). Limbah cair tapioka disaring menggunakan saringan plastik untuk menghilangkan kotoran kemudian diambil filtrat sebanyak 1000mL. Gula pasir sebanyak 10% (b/v) dan amonium sulfat sebanyak 0.5% (b/v) ditambahkan ke dalam filtrat

limbah cair tapioka. Larutan kemudian dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk. Setelah mendidih, larutan dituang ke wadah fermentasi berupa loyang plastik yang disterilkan dengan air mendidih kemudian diatur pH menjadi 3.5 - 4.5 menggunakan asam asetat glasial. Wadah kemudian ditutup dengan kertas koran yang disterilkan dengan sinar UV, lalu diikat dengan karet dan didiamkan selama satu malam. Keesokan harinya, sebanyak 20% (v/v) inokulum dituang ke dalam media secara aseptis dan diinkubasi selama 8 hari hingga terbentuk nata.

#### Pembuatan serbuk selulosa mikrobial

Prosedur ini merupakan modifikasi penelitian Sani (2012). Lembaran *nata de cassava* dicuci berulang dengan air dan dikelupas lapisan terluarnya kemudian direbus hingga mendidih untuk mematikan bakteri yang tersisa. Nata kemudian dimurnikan dengan perendaman dalam larutan NaOH 1% (b/v) selama 24 jam lalu dinetralkan dengan perendaman dalam larutan asam asetat teknis 1% (v/v) selama 24 jam. Nata selanjutnya dipress dengan pengempa hidrolis untuk mengurangi kandungan air dan mempercepat proses pengeringan. Pengeringan nata dilakukan dengan penjemuran dalam *greenhouse* selama 2 hari. Nata yang telah kering kemudian dipotong kecil lalu digiling menggunakan *hammer mill* 40 *mesh*.

#### Pembuatan Selulosa Asetat

Pembuatan selulosa asetat menggunakan modifikasi prosedur Safriani (2000) dan Sani (2012). Sebanyak 10 gram serbuk selulosa mikrobial dicuci untuk menyerap kandungan air dengan asam asetat glasial 50 mL lalu disaring dengan vacuum filter. Serbuk nata yang telah bebas air kemudian diaktivasi dengan asam asetat glasial 50mL dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2mL sebagai katalis dalam *shaker* inkubator pada suhu 38°C selama 30 menit. Asetat anhidrid ditambahkan sebagai pelarut dalam proses asetilasi dengan rasio serbuk nata:asetat anhidrida 1:3, 1:4, 1:5 (b:v). Proses asetilasi dilakukan pada *shaker* inkubator selama 1, 2 dan 3 jam dengan suhu 38°C hingga terbentuk larutan yang lebih kental berwarna coklat. Setelah proses asetilasi selesai, suspensi dihidrolisis dengan larutan asam asetat encer dengan perbandingan 1:2 (asam asetat:aquades) sebanyak 12 mL dalam *shaker* inkubator pada suhu 50°C selama 30 menit. Larutan kemudian disentrifugasi. Supernatan yang diperoleh dimasukkan ke dalam 500mL aquades sehingga terbentuk serpihan selulosa asetat berwarna putih. Serpihan selulosa asetat kemudian disaring menggunakan vacuum filter dan dicuci dengan aquades sampai bau asam hilang. Serpihan kemudian dikeringkan dalam oven 50°C selama 6 jam atau hingga kering.

#### Pembuatan Biofilm

Prosedur merupakan modifikasi prosedur Safriani (2000). Sebanyak 10 gr selulosa asetat dilarutkan dalam 45 ml aseton dan diaduk menggunakan stirer hingga tercampur rata.

Pemlastis gliserin ditambahkan ke dalam larutan dengan variasi 15 dan 25% dari bobot selulosa asetat. Larutan yang dihasilkan dituang pada plat kaca 30×25 cm lalu dikeringkan selama 1 jam pada suhu 60°C.

Lembaran bioplastik yang didapatkan kemudian diuji karakteristik fisiknya meliputi ketebalan, kuat tarik dan elongasi, laju transmisi uap (*Water Vapour Transmission Rate/WVTR*), dan daya serap air.

### Pengujian Karakteristik Biofilm

Pengujian biofilm dilakukan untuk mengetahui nilai beberapa karakter fisiknya meliputi ketebalan, kuat tarik dan elongasi, laju transmisi uap (*WVTR*) dan daya serap air. Uji kuat tarik dan elongasi dilakukan menggunakan metode ASTM D638, *WVTR* menggunakan metode ISO 2528-1974 (E) dan daya serap air menggunakan metode ASTM D570.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Nata de Cassava

Limbah cair tapioka merupakan hasil samping produksi tapioka yang masih banyak mengandung bahan organik. Kandungan pati 0,29% dapat digunakan sebagai sumber karbon sehingga merupakan media yang baik bagi *Acetobacter xylinum* untuk membentuk *nata de cassava*. Bakteri ini mempunyai kemampuan untuk mengkonversi glukosa menjadi selulosa membentuk matriks yang disebut nata (Yoshino et al 1995).

Aktivitas pembentukan nata optimum pada pH 3.5 - 4.5 pada suhu ruang sehingga perlu dilakukan pengaturan pH menggunakan asam asetat glasial. Penambahan gula berfungsi sebagai sumber C sedangkan amonium sulfat sebagai sumber N. Kondisi aseptis sangat dibutuhkan saat proses inokulasi untuk mencegah kontaminasi kapang yang dapat mengganggu proses pembentukan nata.

*Nata de cassava* yang diperoleh pada penelitian ini mempunyai ukuran 30×22.5 cm dan ketebalan rata-rata 1.5cm dan rendemen basah 986.25 gram per 1000 mL media. Peningkatan rendemen dapat dilakukan dengan memperpanjang waktu fermentasi, semakin lama waktu fermentasi nata yang dihasilkannya semakin tebal selain itu juga dapat meningkatkan kerapatan selulosa yang dihasilkan. Nata perlu direbus untuk mematikan bakteri yang tersisa dan dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan NaOH 1%. Perendaman ini bertujuan mengurangi pengotor seperti kandungan gula dan protein dalam nata sehingga tidak terjadi browning pada saat pengeringan. NaOH sebagai *cleaning agent* bereaksi menyabunkan lemak dan melarutkan protein. Selain itu, struktur selulosa akan membengkak dan memudahkan saat proses asetilasi. Namun proses pembengkakan akan berdampak pada peningkatan kristalinitas sehingga diperlukan perendaman dalam asam asetat 1% untuk

menetralkan nata dan mengurangi kristalinitas struktur selulosa.

Daerah kristalin merupakan bagian yang mempunyai ikatan antar rantai lebih erat dan lebih rapat. White dan Brown (1983) menyatakan bahwa selulosa mikrobial bersifat kristalin, dengan derajat kristalinitas lebih besar dari 60 %, yang berarti lebih banyak terdapat daerah kristalin dibandingkan daerah amorf. Daerah kristalin mempunyai sifat reaktifitas yang rendah, sehingga sukar terjadi reaksi asetilasi, sedangkan bagian amorf merupakan bagian yang lebih mudah dicapai oleh pereaksi sehingga lebih reaktif. Agar daerah kristalin dapat dicapai oleh pereaksi perlu dilakukan pengembangan (*swelling*) selulosa dengan menggunakan pelarut. Semakin besar daerah kristalin suatu selulosa maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembangkannya. Pengembangan selulosa akan menyebabkan berkurangnya ikatan antar serat selulosa, sehingga memudahkan masuknya pereaksi. Daerah kristalin sulit dipenetrasi oleh pereaksi karena adanya ikatan intra dan antar rantai selulosa yang sangat kuat melalui ikatan hidrogen dan gaya van der Waals (Dadi et al. 2006)

Pembuatan serbuk selulosa mikrobial dilakukan dengan mengeringkan lembaran nata. Proses pengempaan perlu dilakukan untuk mempercepat pengeringan. Proses pengeringan dilakukan dengan penjemuran di dalam *greenhouse* untuk mengurangi resiko yang diakibatkan cuaca. Pengeringan menggunakan dryer dapat menyebabkan browning sehingga sangat tidak disarankan. Lembaran nata kering kemudian dipotong kecil untuk memudahkan saat penggilingan. Penggilingan dilakukan dengan *hammer mill 40 mesh*. Tujuan dilakukan pengecilan ukuran adalah untuk mempercepat proses asetilasi.

Serbuk selulosa yang dihasilkan pada penelitian ini mempunyai rendemen 0.59% terhadap berat nata basah. Hasil analisis proksimat serbuk selulosa mikrobial disajikan dalam Tabel 1 berikut ini:

**Tabel 1.** Analisis kandungan serbuk selulosa mikrobial *nata de cassava*

Parameter	Nilai (% w.b)
Kadar air	4.24± 0.01
Kadar abu	0.43 ± 0.06
Kadar protein	3.13 ± 0.04
Kadar lemak	1.09 ± 0.01
Kadar selulosa	82.37 ± 0.03

Kandungan selulosa sebesar 82.37% membuktikan bahwa kemurnian selulosa mikrobial yang dihasilkan cukup tinggi meskipun masih terdapat kandungan *non selulosa*. Kandungan *non selulosa* akan dihilangkan sebelum proses aktivasi pada tahap pembuatan selulosa asetat.

## Selulosa Asetat

Selulosa asetat merupakan produk turunan selulosa melalui proses asetilasi menggunakan pelarut asetat anhidrida. Asetilasi mensyaratkan kondisi bebas air (Arifin 2004). Oleh karena itu perlu dilakukan perlakuan awal yaitu perendaman serbuk selulosa mikrobial dalam asam asetat glasial. Perendaman ini selain bertujuan menarik air juga melarutkan impurities dalam serbuk selulosa mikrobial yang ditunjukkan dengan perubahan warna asam asetat menjadi kecoklatan. Berdasarkan hasil analisis proksimat yang ditampilkan pada Tabel 1, dapat diduga bahwa impurities berasal dari kandungan protein dan lemak dalam serbuk selulosa mikrobial.

Proses aktivasi diperlukan untuk tujuan mengembangkan struktur selulosa sehingga proses asetilasi dapat berlangsung dengan lebih baik dan cepat. Aktivasi dilakukan dengan menambahkan asam asetat glasial. Pada proses ini pula dilakukan penambahan katalis  $H_2SO_4$  pekat. Penambahan katalis berfungsi mempercepat proses asetilasi.

Asetilasi merupakan proses utama dalam pembuatan selulosa asetat. Pada penelitian ini digunakan variasi rasio asetat anhidrida 1:3, 1:4, dan 1:5. Landasan menggunakan variasi ini berdasarkan persamaan reaksi asetilasi. Selulosa merupakan polimer linier glukosa yang unit-unitnya terikat dengan ikatan 1,- $\beta$ -D glukopiranos. Bila diasumsikan satu molekul selulosa terdiri atas  $n$  unit glukosa maka secara teoritis pada reaksi asetilasi sempurna, setiap 1 mol selulosa membutuhkan  $3n$  mol asetat anhidrida dan akan menghasilkan 1 mol selulosa triasetat dan  $3n$  mol asam asetat.

Selulosa triasetat hasil asetilasi sempurna memiliki rumus empirik  $[C_6H_7O_2(CH_3CO)_3]_n$ . Bila diasumsikan bobot molekul selulosa mikrobial  $(C_6H_7O_2(OH)_3)_n$  adalah 162n gram/mol dan bobot molekul selulosa triasetat adalah 240n gram/mol maka setiap 1 gram selulosa mikrobial (setara dengan 0.0062/n mol selulosa mikrobial) akan menghasilkan 0.0062/n mol selulosa triasetat atau setara dengan 1.79 gram selulosa triasetat. Bila

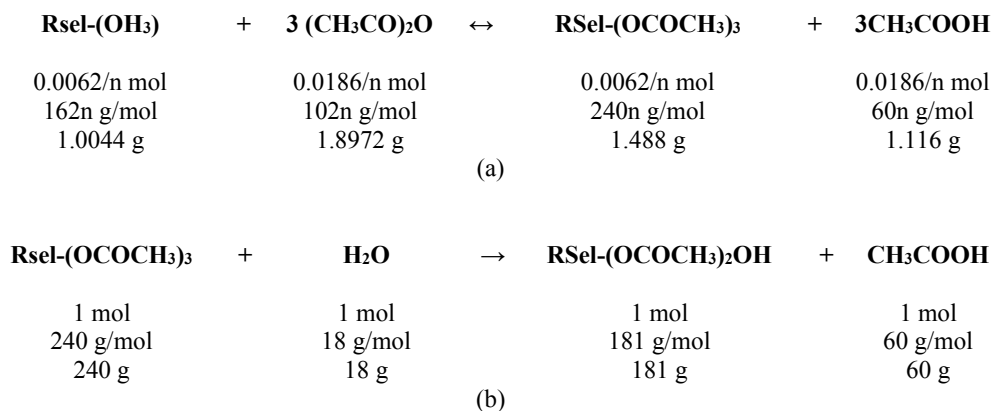
reaksi asetilasi selulosa berlangsung sempurna dan tidak terjadi degradasi selulosa maka dari setiap satu gram selulosa yang digunakan akan diperoleh selulosa triasetat sebanyak 1.79 gram (Desiyarni, 2006).

Persamaan reaksi pembentukan selulosa triasetat (Gambar 1a). Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa untuk dapat bereaksi dibutuhkan rasio selulosa:asetat anhidrida sebesar 1:2. Hasil penelitian Safriani (2000) menunjukkan bahwa pada rasio tersebut rendemen selulosa asetat rendah yaitu kurang dari 50% dengan kadar asetil di bawah 25% sedangkan pada penelitian ini selulosa asetat yang dihasilkan diharapkan mempunyai kadar asetil 36.5-42.2% sehingga dapat dilarutkan dalam aseton pada pembuatan biofilm. Oleh karena itu rasio dimulai dari 1:3.

Pertimbangan pemilihan variasi waktu asetilasi didasarkan pada penelitian Sani (2012) dimana asetilasi dalam waktu 2 jam mampu menghasilkan kadar asetil yang cukup tinggi yaitu 40.38%. Oleh karena itu perlu dilakukan penurunan waktu asetilasi untuk memperoleh kadar asetil di bawah angka tersebut sehingga variasi waktu asetilasi adalah 1, 2 dan 3 jam.

Reaksi asetilasi dihentikan dengan penambahan asam asetat encer kemudian mulai dihidrolisis pada suhu 50°C menggunakan perbandingan asam asetat:aquades 2:1. Pada proses ini terjadi pemotongan rantai selulosa triasetat menjadi selulosa diasetat. Adapun persamaan reaksi hidrolisis disajikan pada Gambar 1b.

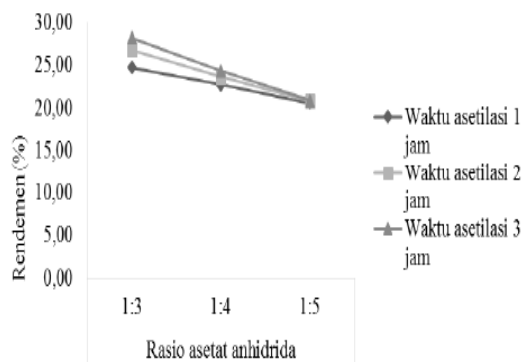
Hidrolisis dilakukan selama 30 menit. Setelah proses hidrolisis selesai, us pensi kemudian disentrifugasi untuk memisahkan selulosa mikrobial yang tidak larut. Pada penelitian ini endapan hanya terbentuk pada rasio asetat anhidrida 1:3 dengan waktu asetilasi 1 jam. Endapan terbentuk karena selulosa mikrobial belum larut seluruhnya. Pada rasio 1:4 dan 1:5 selulosa dapat larut seluruhnya. Supernatan yang diperoleh kemudian dituang ke 500mL aquades sehingga terbentuk serpihan selulosa asetat berwarna putih.



**Gambar 1.** Persamaan reaksi (a) pembentukan selulosa triasetat (b) hidrolisis proses pemotongan rantai selulosa triasetat menjadi selulosa diasetat.



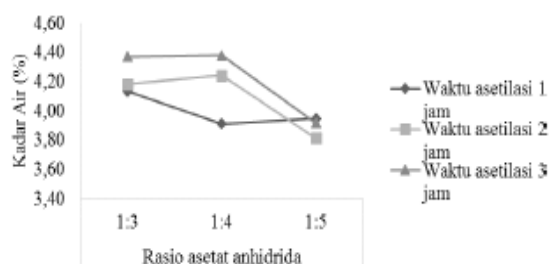
Selulosa asetat yang diperoleh dalam penelitian ini mempunyai rendemen 20.56-28.15%. rendemen perolehan selulosa asetat disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hubungan rasio asetat anhidrida dan waktu asetilasi terhadap rendemen selulosa asetat.

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa rendemen turun seiring bertambahnya rasio asetat anhidrida namun meningkat seiring bertambahnya waktu asetilasi. Hasil analisis keragaman rendemen selulosa asetat menunjukkan bahwa baik rasio selulosa asetat maupun waktu asetilasi berpengaruh terhadap rendemen. Asetat anhidrida yang ditambahkan tidak semua dapat bereaksi dengan selulosa sehingga rasio produk dan bahan yang digunakan semakin kecil. Peningkatan waktu asetilasi memberikan kesempatan selulosa untuk bereaksi dengan asetat anhidrida sehingga rendemen meningkat.

Selulosa asetat yang dihasilkan dalam penelitian ini kemudian diuji kadar air. Hasilnya adalah selulosa asetat memiliki kadar air antara 3.81 - 4.38%. Kadar air selulosa asetat secara lengkap disajikan pada Gambar 3 berikut ini:

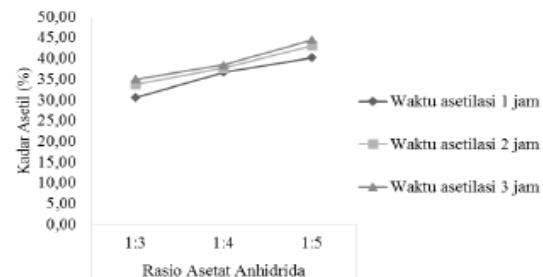


**Gambar 3.** Hubungan rasio asetat anhidrida dan waktu asetilasi terhadap kadar air selulosa asetat.

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa kadar air cenderung turun seiring bertambahnya rasio asetat anhidrida namun naik seiring bertambahnya waktu asetilasi. Hasil uji keragaman terhadap kadar air selulosa asetat menunjukkan bahwa baik rasio asetat anhidrida maupun waktu asetilasi tidak berpengaruh terhadap kadar air selulosa asetat. Hal ini disebabkan kadar

air selulosa asetat lebih dipengaruhi oleh waktu dan suhu pengeringan.

Terhadap selulosa asetat yang dihasilkan juga diuji kadar asetilnya. Hasilnya adalah selulosa asetat memiliki kadar asetil 30.60 - 44.51%. Kadar asetil selulosa asetat ditampilkan pada Gambar 4 berikut ini:



**Gambar 4.** Hubungan rasio asetat anhidrida dan waktu asetilasi terhadap kadar asetil selulosa asetat.

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa kadar asetil selulosa asetat meningkat seiring bertambahnya rasio asetat anhidrida maupun waktu asetilasi. Hasil uji keragaman kadar asetil menunjukkan bahwa rasio asetat anhidrida dan waktu asetilasi berpengaruh terhadap kadar asetil selulosa asetat. Peningkatan jumlah asetat anhidrida maupun waktu asetilasi memberikan kesempatan bagi selulosa untuk bereaksi membentuk selulosa asetat. Semakin banyak selulosa yang terkonversi menjadi selulosa asetat semakin tinggi pula kadar asetilnya.

Selulosa asetat yang ditargetkan dalam penelitian ini sesuai Tabel 2 yaitu dengan kadar asetil 36.5 - 42.2%. Oleh karena itu perlakuan yang memenuhi syarat yaitu pada rasio asetat anhidrida 1:4 dengan waktu asetilasi 1, 2, dan 3 jam serta rasio asetat anhidrida 1:5 dengan waktu asetilasi 1 jam.

### Biofilm dan Bioplastik

Selulosa asetat yang telah dihasilkan kemudian digunakan sebagai bahan pembuat biofilm. Penelitian ini menggunakan metode cetak larut (*solution casting*), maka selulosa asetat harus dilarutkan dengan pelarut yang sesuai. Jenis pelarut untuk tujuan film yaitu aseton sehingga diperlukan selulosa asetat dengan kadar 36.5 - 42.2%. Selulosa asetat yang digunakan berasal dari 4 perlakuan yaitu dengan kadar asetil 36.7%, 37.72%, 38.7%, dan 40.19%.

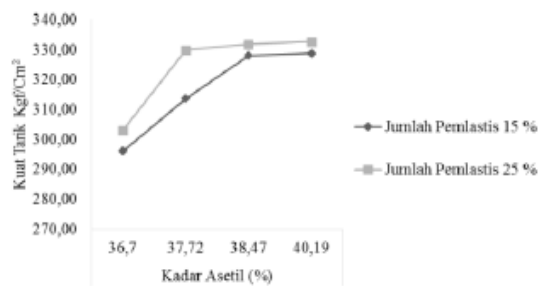
Penambahan pemlastis perlu dilakukan karena film selulosa asetat yang dihasilkan tanpa pemlastis sangat rapuh sehingga tidak dapat dikelupas dari cetakan. Jenis pemlastis yang dipilih yaitu pemlastis dasar berupa gliserin. Jumlah gliserin yang digunakan yaitu 15 dan 25 % dari bobot selulosa asetat yang digunakan. Menurut Taskier dan Englewood (1970), jumlah pemlastis

dalam larutan sekitar 5 - 40% dan lebih disukai 9-25% berdasarkan bobot serpihan (*flake*) diasetat yang digunakan dalam larutan. Namun penelitian Safriani (2000) yang menggunakan jumlah pemlastis 9, 17, dan 25% menunjukkan bahwa pada konsentrasi 9% tidak terbentuk film yang baik.

Film selulosa asetat yang dihasilkan pada penelitian ini berwarna kekuningan, transparan, dan memiliki ketebalan rata-rata 43 $\mu$ m. Ketebalan film dapat diatur dengan mengubah kedalaman pencetak yang digunakan. Terhadap biofilm yang dihasilkan kemudian dilakukan pengujian kuat tarik, elongasi, laju transmisi uap (WVTR), dan daya serap air.

### Karakteristik Fisik Biofilm

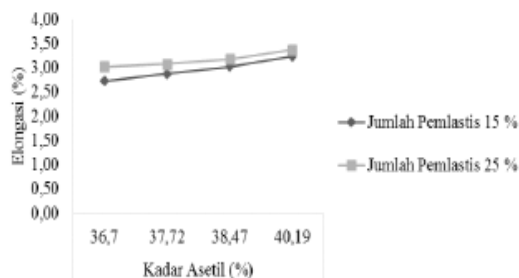
Rata-rata kuat tarik biofilm yang dihasilkan adalah 320.50 kgf/cm<sup>2</sup>. Kuat tarik biofilm secara lengkap disajikan pada Gambar 5 berikut ini:



**Gambar 5** Hubungan kadar asetil dan jumlah pemlastis terhadap kuat tarik biofilm

Berdasarkan grafik di atas kuat tarik biofilm meningkat seiring peningkatan kadar asetil dan jumlah pemlastis. Hasil uji keragaman kuat tarik biofilm menunjukkan bahwa kadar asetil dan jumlah pemlastis berpengaruh terhadap kuat tarik biofilm. Kadar asetil yang semakin tinggi mengakibatkan jumlah polimer semakin banyak sehingga kerapatannya semakin tinggi dan mengakibatkan kenaikan kekuatan tarik. Pemlastis berfungsi mengikat polimer tersebut sehingga dihasilkan biofilm yang lebih elastis.

Elongasi biofilm yang dihasilkan mempunyai rata-rata 3.06%. Elongasi biofilm secara lengkap disajikan pada Gambar 6 berikut ini:

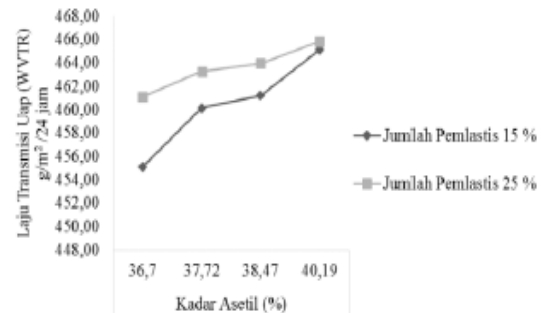


**Gambar 6** Hubungan kadar asetil dan jumlah pemlastis terhadap elongasi biofilm

Berdasarkan grafik di atas elongasi biofilm meningkat seiring peningkatan kadar asetil dan

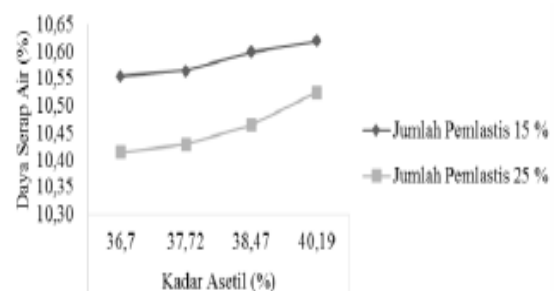
jumlah pemlastis. Hasil uji keragaman elongasi biofilm menunjukkan bahwa kadar asetil dan jumlah pemlastis berpengaruh terhadap elongasi biofilm.

Laju transmisi uap (WVTR) biofilm yang dihasilkan rata-rata 461.97 g/m<sup>2</sup>/24 jam. Laju transmisi uap (WVTR) biofilm secara lengkap disajikan pada Gambar 7 berikut ini:



**Gambar 7** Hubungan kadar asetil dan jumlah pemlastis terhadap laju transmisi uap (WVTR) biofilm

Laju transmisi uap (WVTR) biofilm meningkat seiring peningkatan kadar asetil dan jumlah pemlastis. Hasil uji keragaman laju transmisi uap (WVTR) biofilm menunjukkan bahwa kadar asetil dan jumlah pemlastis berpengaruh terhadap laju transmisi uap (WVTR). Polimer selulosa asetat bersifat hidrofilik. Selain itu penambahan jumlah pemlastis dapat meningkatkan permeabilitas. Daya serap air biofilm yang dihasilkan rata-rata 10.52%. Daya serap air biofilm secara lengkap disajikan pada Gambar 8 berikut ini:



**Gambar 8** Hubungan kadar asetil dan jumlah pemlastis terhadap daya serap air biofilm.

Berdasarkan grafik di atas daya serap air biofilm meningkat seiring peningkatan kadar asetil namun menurun seiring bertambahnya jumlah pemlastis. Hasil uji keragaman daya serap air biofilm menunjukkan bahwa hanya jumlah pemlastis yang berpengaruh terhadap daya serap air. Peningkatan jumlah pemlastis yang akan mengisi ruang antara polimer menyebabkan berkurangnya jumlah air yang dapat diserap. Perbandingan penelitian ini dengan hasil penelitian sebelumnya dirangkum pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2** Perbandingan nilai karakteristik fisik selulosa asetat dari berbagai jenis selulosa mikrobial

Jenis Selulosa	Kuat Tarik (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongasi (%)	WVTR (g/m <sup>2</sup> /24 jam)	Daya Serap Air (%)	Aplikasi
<i>Nata de Coco</i> (Darwis dkk 2003)	440	3.10	-	205.85	Membran filtrasi
<i>Nata de Soya</i> (Safriani 2000)	192.61-355.07	2.41-3.15	250.70-582.34	10.08-19.88	Penyaring, kemasan, amplop
<i>Nata de Cassava</i> (hasil penelitian)	296.10-332.65	2.73-3.37	455.12-462.82	10.42-10.52	Substitusi HDPE

Berdasarkan Tabel 2 di atas sebagian besar nilai karakteristik fisik biofilm selulosa asetat hasil penelitian ini mendekati nilai karakteristik fisik selulosa asetat dari jenis selulosa mikrobial lainnya. Kuat tarik dan daya serap air biofilm selulosa asetat nata de cassava lebih rendah dibanding selulosa asetat *nata de coco*. Hal tersebut disebabkan aplikasi selulosa asetat nata de coco adalah sebagai membran sehingga harus dapat meneruskan larutan yang melaluinya.

Kuat tarik biofilm pada penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan kuat tarik selulosa asetat menurut I. Harrison dkk (2004) yaitu 30 MPa atau setara dengan 305.91 kgf/cm<sup>2</sup>, namun elongasi biofilm penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan elongasi selulosa asetat menurut I. Harrison dkk (2004) yaitu 3.9%.

Sasaran aplikasi biofilm ini jika digunakan sebagai *safety film* tidak memenuhi kriteria. Jika dibandingkan dengan karakteristik fisik *Llumar Safety and Security Film* (CPFilms 2009) yaitu pada ketebalan 50 mikron, film mempunyai kuat tarik 193 MPa setara dengan 19680.21 kgf/cm<sup>2</sup> dan elongasi >100%. Jika dibandingkan dengan nilai kuat tarik *polyethylene film for packaging* JIS Z 1702-1986 (JIS 1986) yaitu 120 kg/cm<sup>2</sup> maka film ini memenuhi syarat, namun dilihat dari elongasi yaitu 150% maka biofilm ini tidak memenuhi syarat. Oleh karena itu aplikasi biofilm ini masih harus dikombinasikan dengan bahan pemlastis yang dapat meningkatkan kuat tarik dan elongasinya.

Biofilm ini dapat diaplikasikan sebagai pengganti HDPE. Nilai karakteristik fisik biofilm ini memenuhi syarat berdasarkan Suyadi (2010) bahwa kuat tarik HDPE adalah 21.73 N/mm<sup>2</sup> atau setara dengan 221.58 kgf/cm<sup>2</sup> dan elongasi 4.5%. Aplikasi HDPE antara lain untuk jerigen minyak pelumas, botol susu dan kursi lipat.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Limbah cair tapioka dapat dimanfaatkan untuk pembuatan selulosa mikrobial nata de cassava dengan karakteristik liat, tebal, dan kuat. Selulosa mikrobial yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan pembuatan selulosa asetat dengan pelarut

asetat anhidrida. Selulosa asetat yang dihasilkan dalam penelitian ini mempunyai kadar asetil antara 30.60-44.51%. Selulosa asetat yang mempunyai kadar asetil 36.5-42.2% dapat digunakan untuk membuat biofilm dengan pelarut aseton dan pemlastis gliserin. Biofilm yang terbentuk memiliki rata-rata kekuatan tarik 320.50 kgf/cm<sup>2</sup>, elongasi 3.06%, WVTR 461.97 g/m<sup>2</sup>/24 jam, dan daya serap air 10.52%.

### Saran

Perlu dilakukan perbandingan antara selulosa asetat yang berasal dari berbagai jenis selulosa mikrobial seperti *nata de coco*, *nata de pina* dan *nata de soya* untuk mengetahui hasil yang terbaik. Variasi jenis dan jumlah pemlastis yang cocok digunakan pada selulosa asetat seperti glikol, fosfat, dan ftalat perlu dilakukan untuk mengetahui pemlastis yang dapat meningkatkan kuat tarik dan elongasinya sehingga cocok untuk tujuan bioplastis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaban CA.** 1962. *Studies on The Optimum Condition for Nata de Coco Bacterium or Nata for Formation in Coconut Water*. The Philippine Agriculturist volume 45.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists.** 1980. *Official Method of Analysis*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists Inc.
- \_\_\_\_\_. 1995. *Official Method of Analysis*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Apriyanto J.** 2007. *Karakteristik Biofilm dari Bahan Dasar Polivinil Alkohol (PVOH) dan Kitosan* [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Arifin B. 2004. *Optimasi Kondisi Asetilasi Selulosa Bakteri dari Nata de Coco* [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [ASTM] American Society for Testing and Material.** 1989. *ASTM Book of Standard D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*. Philadelphia.
- \_\_\_\_\_. 1991. *ASTM Book of Standard D871-91: Standard Methods of Testing Cellulose Acetate*. Philadelphia.



- \_\_\_\_\_. 2010. *ASTM Book of Standard D570: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. Philadelphia.
- Buckmann AJP, Nabuurs T, Overbeek GC.** 2002. *Self Crosslinking Polymeric Dispersants Used in Emulsion Polymerization*. Netherland.
- Collado LS.** 1987. *Nata; Processing and Problems of the Industry in the Philipines traditional Food and their Processing in Asia*. Japan: Nodai Research Institute Tokyo University of Agriculture.
- CP Films.** 2009. *Llumar Safety and Security Film Physycal Properties*. St Louis, Missouri, USA: Solutia Inc.
- Dadi AP, Varanasi S, Schall CA.** 2006. *Enhancement of Cellulose Saccharification Kinetics Using an Ionic Liquid Pretreatment Step*. Wiley Periodicals. Inc. Wiley Interscience. 95(5) :904-910.
- Darwis A, Syamsu K, Suryani A, Yarni D.** 2003. *Proses Pembuatan Selulosa Triasetat dari Selulosa Mikrobial untuk Pembuatan Membran Mikrofiltrasi*. Paten Indonesia No: ID 0 000 619 S.
- Desiyarni.** 2006. *Perancangan Proses Pembuatan Selulosa Asetat dari Selulosa Mikrobial untuk Membran Ultrafiltrasi [Disertasi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fauzi AM, Rahmawakhida A, Hidetoshi Y.** 2010. *Kajian Strategi Produksi Bersih di Industri Kecil Tapioka: Kasus Kelurahan Ciluar, Kecamatan Bogor Utara*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian. 18(2):60-65.
- Fengel D, Wegener G.** 1984. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Goering HK., Van Soest PJ.** 1970. *Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)*. ARS/USDA Handbook No. 379, Superintendent of Documents, Washington, DC: US Government Printing Office.
- Gontrad N, S Gulibert, JL Cuq.** 1993. *Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an ediblewheat film*. J. Food Science. 58: 206-211.
- I. Harrison, Huttenhuis PJG, Heesink ABM.** 2004. *BIOCA-Biomass Streams to Produce Cellulose Acetate*. Department of Chemical Engineering, Twente University, Enschede. The Netherlands.
- [ISO] International Organization for Standardization.** ISO 2528-1974(E): *Water Vapour Transmision Rate (WVTR) Plate Method*. Geneva, Switzerland.
- Jenie B, Ridawati, Rahayu WP.** 1994. *Produksi Angkak oleh Monascus purpureus dalam Medium Limbah Cair Tapioka, Ampas Tapioka dan Ampas Tahu*. Buletin Teknologi dan Industri Pangan. 5(3):60-64.
- [JIS] Japanese Industrial Standard.** 1986. JIS Z 1702-1986: *Polyethylene Film for Packaging*. Tokyo.
- Meyer LH.** 1960 *Food Chemistry*. NewYork: Reinhold Publishing Co.
- Moat AG.** 1988. *Microbial Physiology*. New York: John Wiley and Sons Inc. NewYork. Nurhasan dan Bb. Pramudyanto. 1996. *Buku Panduan Penanganan Limbah Cair Industri Kecil Tapioka*. Gramedia Pustaka, Jakarta.
- Rosnelly CM, Darwis A, Noor E, Kaseno.** 2009. *Pembuatan Selulosa Diasetat dari Pulp Sengon (Paraserianthes falcataria) sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran*. Jurnal Agritek. 10(1):61-70
- Safriani.** 2000. *Produksi Biopolimer dari Selulosa Asetat Nata de Soya [tesis]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sani CDS.** 2012. *Potensi Nata de cassava dari Limbah Cair Tapioka sebagai Membran Selulosa Asetat [skripsi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Stainer, Doudoroff, Adelberg.** 1963. *The Microbial World*. Prentice Hall, Inc.
- Suyadi.** 2010. *Kaji Eksperimen Kekuatan Tarik Produk-Produk Berbahan Plastik Daur Ulang. Di dalam: Peran Teknologi Tepat Guna dalam Menanggulangi Krisis Energi dan Menjaga Ketahanan Pangan*. Semarang: Wahid Hasyim University Press.
- Taskier HT, Englewood NJ.** 1970. United States Paten Office No. 3.567.809.
- White DG, Brown RM.** 1983. *Prospects for The Commercialization of The Biosynthesis of Microbial Cellulose*. Munich.
- Yoshino T, Ashakura T, Yoda K.** 1995. *Cellulose Production by Acetobacter Pasteurianus on Silicone Membrane*. Japan: Institute of Molecular and Celluler Biosciences, The University of Tokyo.