

# Produksi Karboksimetil Selulosa dari *Nata De Coco* dan Limbah Kertas

LUKAS FERNANDO NAPI TUPULU, JABOSAR RONGGUR HAMONANGAN  
PANJAITAN, TIURMAIDA GEBRYELA SIMANJUNTAK, ALDILLAH  
HERLAMBANG, RENI YUNIARTI, DENNIS FARINA NURY

Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia  
Email: [jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id](mailto:jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id)

## ABSTRAK

Limbah kertas dan nata de coco merupakan material yang mengandung selulosa. Selulosa yang terdapat pada limbah kertas dan nata de coco dapat dimanfaatkan untuk memproduksi produk dengan nilai jual tinggi yaitu karboksimetil selulosa (CMC). Pada penelitian ini diteliti produksi CMC dari limbah kertas dan nata de coco serta membandingkan nilai derajat substitusi (DS) yang dihasilkan nya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa CMC dari nata de coco memiliki derajat substitusi tertinggi yaitu 0,661 dengan konsentrasi NaOH dan natrium monokloroasetat (NaMCA) yang digunakan sebesar 20% dan 16 gram. Sedangkan CMC dari bahan baku limbah kertas memiliki derajat substitusi terendah yaitu 0,066 dengan konsentrasi NaOH dan NaMCA yang digunakan sebesar 10% dan 10 gram. Konsentrasi NaOH dan NaMCA mempengaruhi nilai DS CMC, dimana semakin tinggi konsentrasi NaOH dan NaMCA yang digunakan akan menghasilkan nilai DS CMC yang tinggi. Pada penelitian ini diperoleh nilai DS CMC nata de coco lebih tinggi dibandingkan dengan DS CMC limbah kertas. Nilai DS pada CMC dapat diperoleh maksimal dengan adanya proses pretreatment bahan baku dan optimasi jumlah NaOH dan NaMCA pada proses produksi CMC.

Kata kunci: karboksimetil, selulosa, kertas, *nata*

## ABSTRACT

*Paper waste and nata de coco contain cellulose. The cellulose which found in paper waste and nata de coco can be used to produce products with high selling value, namely carboxymethyl cellulose (CMC). In this research, CMC production from paper waste and nata de coco was examined and the value of degree of substitution (DS) produced was compared. Based on research that has been carried out, it was found that CMC from nata de coco had the highest DS, namely 0.661 with NaOH and sodium monochloroacetate (NaMCA) concentration used were 20% and 16 grams. Meanwhile, CMC from paper waste raw had the lowest DS, namely 0.066 with NaOH and NaMCA concentration used were 10% and 10 grams. The concentration of NaOH and NaMCA affects the DS CMC value, where higher NaOH and NaMCA concentration used will produce higher DS CMC value. In this study, the DS CMC of nata de coco was higher than the DS CMC of paper waste. The maximum DS value in CMC can be obtained by raw materials pretreatment and optimizing the amount of NaOH and NaMCA in the CMC production process.*

*Keywords: carboxymethyl, cellulose, waste paper, nata*

## 1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan material organik yang dihasilkan oleh alam. Salah satu sumber selulosa yang paling penting adalah kayu yang terutama digunakan untuk industri kertas (*pulp*) dan papan. Selulosa dapat dimodifikasi secara kimia agar dapat menghasilkan produk turunan selulosa salah satunya adalah karboksimetil selulosa (CMC). CMC terkenal karena memiliki karakteristik seperti daya pengentalan, daya penstabilan emulsi dan daya peningkatan yang cukup baik (Belitz et al., 2009). Selain itu, CMC bersifat tidak beracun dan banyak diaplikasikan untuk industri makanan, obat – obatan, kosmetik, kertas, keramik, deterjen, dan material lain nya (Yusoff et al., 2021). CMC dapat dihasilkan dari reaksi antara senyawa kloroasetat dan selulosa alkali. Proses pembuatan CMC terdiri dari dua tahapan yaitu alkalisasi dan karboksimetilasi (Rachtanapun, et al., 2021a). Alkalisasi dilakukan dengan mereaksikan selulosa dengan NaOH untuk mereaktivasi gugus -OH sehingga membuat struktur selulosa menjadi mengembang dan membuat reagen karboksimetil dapat masuk dan berikatan dengan selulosa (Santosa et al., 2020). Bahan yang mengandung selulosa seperti limbah kertas dan nata de coco dapat digunakan untuk memproduksi CMC.

Nata de coco atau selulosa bakteri adalah produk hasil fermentasi aerobik gula yang berbentuk gel bening dan terdiri dari kandungan selulosa dan air yang tinggi. Keunggulan selulosa bakteri adalah kemurnian yang tinggi dibandingkan selulosa tumbuhan. Selulosa bakteri umumnya diproduksi oleh bakteri gram negatif dimana salah satu bakteri yang paling efektif untuk memproduksi selulosa bakteri adalah *Gluconacetobacter xylinus* (*Acetobacter xylinum*) (Hasanin et al., 2023; Lahiri et al., 2021). Secara struktur selulosa bakteri merupakan polimer yang terdiri dari  $\beta$ -1,4 D glucopyranose (Betlej et al., 2021). Proses produksi nata de coco atau selulosa bakteri ini dapat terjadi antara 7 – 14 hari (Liany et al., 2022). Aplikasi selulosa bakteri cukup luas antara lain pada bidang medis (Picheth et al., 2017; Sulaeva et al., 2015), kosmetik (Bianchet et al., 2020) dan material komposit (Sriplai & Pinitsoontorn, 2021).

Limbah kertas merupakan limbah yang sering ditemui di daerah urbanisasi dan daerah pengembangan industri (Xu et al., 2021). Kandungan limbah kertas adalah material lignoselulosa yang disertai dengan beberapa bahan tambahan seperti fillers, retention aids, adhesives, coatings, biocides, dan binder sintetis (Wibowo et al., 2020; Zhang et al., 2020). Limbah kertas dapat diatasi dengan proses recycle, tetapi produk kertas hasil recycle umumnya memiliki kualitas yang rendah. Kualitas rendah kertas hasil recycle dapat disebabkan karena fiber kertas yang semakin pendek sehingga membuat kertas mudah rusak atau robek (Kolajo & Onovae, 2023). Aplikasi limbah kertas dapat digunakan sebagai plasterboard, cellulose fiber insulation, dan bricks yang dicampur dengan semen untuk aplikasi bidang konstruksi (Rahman et al., 2020).

Kandungan selulosa yang cukup tinggi dari limbah kertas dan nata de coco membuat kedua limbah ini banyak aplikasikan membuat karboksimetil selulosa (CMC). Beberapa penelitian telah banyak meneliti produksi CMC dari limbah kertas (Joshi et al., 2015; Mohkami & Talaeipour, 2011; Yusoff et al., 2021) dan nata de coco atau selulosa bakteri (Melliawati et al., 2013; Moosavi-nasab et al., 2010; Rachtanapun, et al., 2021a; Rachtanapun, et al., 2021b; Ramadhan et al., 2017; Santosa et al., 2020; Schlufter & Heinze, 2010). Akan tetapi belum ada penelitian yang membandingkan perbedaan dari kedua bahan baku. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diteliti perbandingan produksi karboksimetil selulosa dari limbah kertas dan selulosa bakteri dengan fokus utama membandingkan hasil derajat substitusi (DS) gugus karboksimetil yang dihasilkan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain *nata de coco*, limbah kertas, natrium hidroksida, natrium monokloroasetat, hidrogen peroksida, isopropil alkohol dan aquadest. Sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain thermometer, gelas *beaker*, *stirrer*, *magnetic hot plate*, labu leher tiga, kondensor, dan *oven*.

### 2.2 Persiapan Bahan Baku *Nata De Coco*

Proses persiapan bahan baku nata de coco dan limbah kertas dilakukan sesuai Rachtanapun et al (2021b) dengan modifikasi (Rachtanapun, et al., 2021b). Proses persiapan bahan baku nata de coco dimulai dengan merebus nata de coco selama 5 menit kemudian diblender. Selanjutnya nata de coco di *oven* pada suhu 80°C hingga mengering dan berbentuk lembaran nata. Lembaran *nata de coco* kemudian diblender hingga menjadi serbuk. Serbuk *nata de coco* kemudian dipretreatment dengan menggunakan senyawa kimia untuk menghilangkan pengotor yang ada. Pada tahap pertama nata de coco dipanaskan dengan menambahkan 500 mL NaOH 5% pada suhu 125°C selama 2 jam. Selanjutnya nata de coco dicuci dengan menggunakan aquadest lalu disaring. Nata de coco kemudian direndam dengan 500 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3% selama 3 jam pada suhu 60°C yang kemudian dicuci dengan aquadest dan disaring. Setelah itu nata de coco di *oven* pada 115°C selama 10 menit hingga menjadi serbuk kering dan disimpan dalam plastik wrap untuk digunakan lebih lanjut.

### 2.3 Persiapan Bahan Baku Limbah Kertas

Limbah kertas diperoleh dalam bentuk bubur kertas dimana proses persiapan bahan baku limbah kertas dilakukan sesuai Rachtanapun et al (2021b) dengan modifikasi (Rachtanapun, et al., 2021b). Limbah kertas dipretreatment dengan menggunakan senyawa kimia NaOH dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan kondisi operasi dan perlakuan yang sama dengan pretreatment pada nata de coco.

### 2.4 Pembuatan Karboksimetil Selulosa

Proses utama dari pembuatan karboksimetil selulosa adalah alkalisasi dan karboksimetilasi. Proses alkalisasi dan karboksimetilasi dikutip dari Ridho (2016) dengan modifikasi (Ridho, 2016). Pada tahap pertama 10 gram serbuk bahan baku (nata de coco atau limbah kertas) dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang ditempatkan pada *magnetic hot plate*. Pada bahan baku tersebut kemudian ditambahkan 100 mL isopropil alkohol dan 100 ml NaOH 10% tetes demi tetes. Proses ini disebut alkalisasi dan berlangsung selama 1 jam pada suhu ruang (24°C). Selanjutnya proses karboksimetilasi dilakukan dengan menambahkan natrium monokloroasetat (NaMCA) sebanyak 10 gram sedikit demi sedikit. Proses karboksimetilasi ini berlangsung selama 3 jam pada suhu 55°C yang diaduk pada ± 100 rpm. Setelah selesai, hasil proses karboksimetilasi dinetralkan dengan asam asetat kemudian disaring. Produk padatnya di *oven* selama 4 jam pada suhu 60°C. Produk karboksimetil selulosa yang telah kering kemudian dihaluskan dengan *blender* dan di simpan dalam plastik wrap untuk dianalisis. Proses pembuatan karboksimetil selulosa kemudian diulang untuk berbagai konsentrasi NaOH dan NaMCA. Variasi jumlah NaOH dan NaMCA yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perolehan Sampel

Bahan Baku	Jumlah NaMCA	Konsentrasi NaOH	Sampel
Limbah kertas	10 gram	10 %	1
		20 %	2
	16 gram	10 %	3
		20 %	4
Nata de coco	10 gram	10 %	5
		20 %	6
	16 gram	10 %	7
		20 %	8

### 2.5 Penentuan Derajat Substitusi CMC

Produk karboksimetil selulosa yang telah dihasilkan diuji derajat substitusinya sesuai Joshi et al (2014) dengan modifikasi (Joshi et al., 2015). 5 gram karboksimetil selulosa dimasukkan ke dalam enlenmeyer dan dicampur dengan etanol sebanyak 75 ml dan diaduk selama 5 menit. Selanjutnya, 5 ml asam nitrat 65% ditambahkan kedalam campuran dan dipanaskan selama 7 menit. Campuran kemudian diaduk selama 10 menit pada suhu 70°C dan selanjutnya dipisahkan antara produk padat dan cair. Produk cair campuran diambil sebanyak 5 ml, lalu dicampur dengan 20 ml larutan NaOH 1 M. Campuran ini kemudian dipanaskan selama 15 menit lalu didinginkan. Campuran larutan tersebut kemudian dititrasi oleh HCL 1 M dengan penambahan indikator fenolftalein untuk mengamati perubahan warna dari merah muda gelap menjadi tidak berwarna. Nilai derajat substitusi diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut

$$A = \frac{BC - DE}{F} \quad (1)$$

$$DS = \frac{0,162 \times A}{1 - (0,058 \times A)} \quad (2)$$

Keterangan:

DS = derajat substitusi

A = *miliequivalent* HCl yang dikonsumsi per gram spesimen (*miliequ/gr*);

B = Volume NaOH ditambahkan (mL);

C = Normalitas NaOH (N);

D = Volume mengkonsumsi HCl (mL);

E = Normalitas HCl yang digunakan (N);

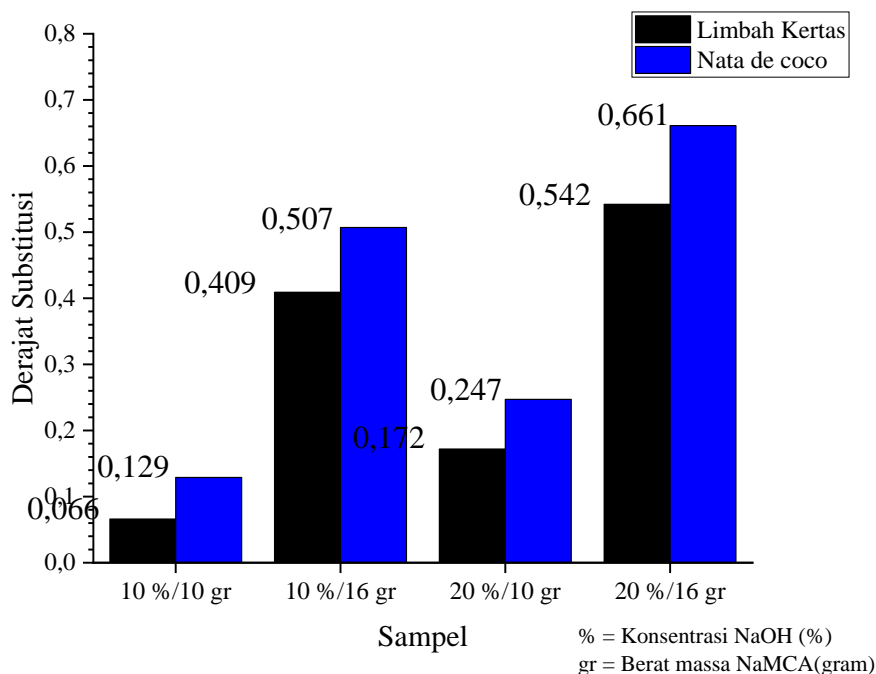
F = Berat CMC (gr);

0,162 adalah Berat molekul (Kg/mol) unit glukosa anhidrat;

0,058 adalah kenaikan bersih dalam unit glukosa anhidrat untuk setiap tersubstitusi gugus karboksimetil (Kg/mol).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh NaOH dan Natrium Monokloroasetat terhadap Derajat Substitusi CMC dari Limbah Kertas dan Nata de Coco

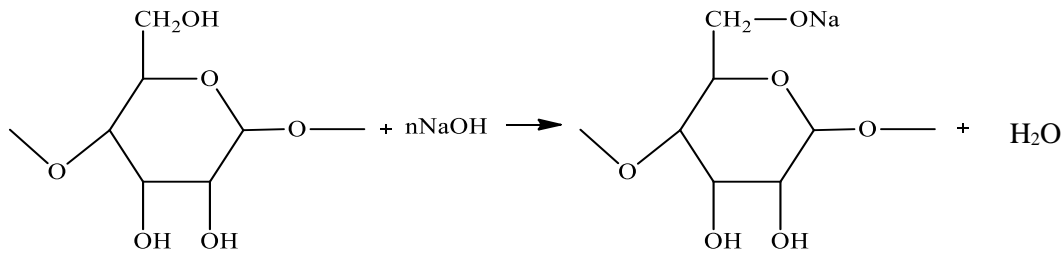
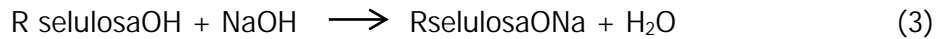


Gambar 1. Perbedaan Derajat Substitusi CMC dari Limbah Kertas dan *Nata De Coco*

Pada Gambar 1 menunjukkan perbedaan derajat substitusi CMC dari limbah kertas dan nata de coco. Sampel berbahan baku nata de coco dengan konsentrasi NaOH sebesar 20% dengan konsentrasi NaMCA 16 gram memiliki derajat substitusi tertinggi yaitu 0,661. Sedangkan sampel berbahan baku limbah kertas dengan konsentrasi NaOH sebesar 10% dengan konsentrasi NaMCA 10 gram memiliki derajat substitusi terendah yaitu 0,066. Oleh sebab itu sampel CMC dengan konsentrasi NaOH dan jumlah natrium monokloroasetat yang semakin besar akan menghasilkan derajat substitusi yang semakin besar.

Pengaruh konsentrasi NaOH pada produksi CMC dilakukan oleh Santosa et al (2020) (Santosa et al., 2020), dimana derajat substitusi dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH dan berat natrium monokloroasetat. Nilai derajat substitusi mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH yang diberikan dikarenakan semakin banyak NaOH akan meningkatkan tingkat pengembangan selulosa yang bisa memudahkan masuknya reagen natrium monokloroasetat untuk mensubstitusi gugus hidroksil pada selulosa dengan gugus fungsi CMC (Santosa et al., 2020). Semakin besar jumlah natrium monokloroasetat yang digunakan akan menghasilkan derajat substitusi yang semakin besar. Akan tetapi pada batas tertentu, jumlah natrium monokloroasetat yang berlebihan dapat bereaksi dengan NaOH membentuk natrium gliokolat ( $\text{HOCH}_2\text{COONa}$ ) dan natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ) yang akibatnya menurunkan nilai derajat substitusi (Wijayani et al., 2010). Sedangkan jika jumlah natrium monokloroasetat yang ditambahkan terlalu sedikit, maka hasil derajat substitusi yang dihasilkan akan rendah. Reaksi alkalisasi dan karboksimetilisasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

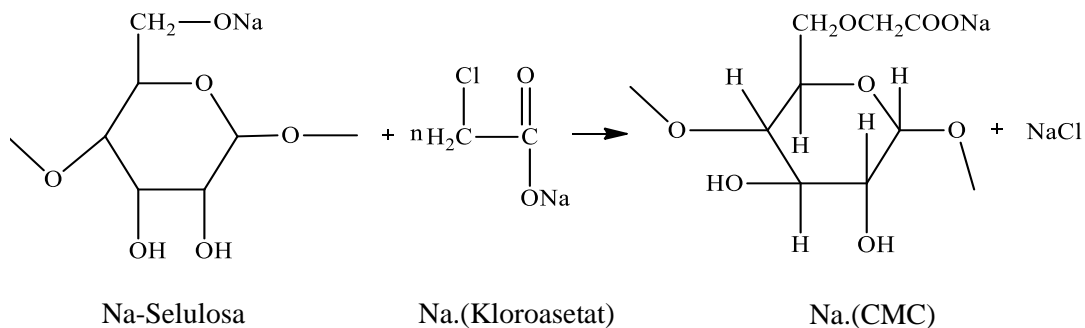
Reaksi Alkalisasi:



Gambar 2. Reaksi Alkalisasi CMC (Helda & Dodi, 2014).

Proses alkalisasi dalam Gambar 2 menunjukkan bahwa selulosa bereaksi dengan NaOH sehingga terjadi reaksi substitusi antara gugus hidroksil dengan NaOH yang menghasilkan natrium selulosa (Nisa & Putri, 2014). Proses alkalisasi mengembangkan selulosa, menyebabkan perubahan struktur kristal selulosa, dan meningkatkan daya tembus serat untuk bereaksi dengan senyawa kimia. Larutan NaOH mengaktifkan gugus -OH dalam molekul selulosa dan memfasilitasi difusi reagen untuk proses karboksimetilisasi (Nur'ain et al., 2017).

Reaksi Karboksimetilisasi:



Gambar 3. Reaksi Karboksimetilisasi CMC (Helda & Dodi, 2014)

Proses karboksimetilasi dijelaskan dalam reaksi (4) dan Gambar 3, menunjukkan bahwa penggunaan monokloroasetat mempengaruhi substitusi unit anhidroglukosa pada selulosa (Helda & Dodi, 2014). Garam natrium monokloroasetat akan bereaksi dan bersubstitusi dengan gugus hidroksil selulosa membentuk CMC. Menurut (Yusoff et al, 2021), derajat substitusi CMC memiliki nilai standar 0,4 sampai 1,5 (Yusoff et al., 2021). Berdasarkan Gambar 1, maka produk CMC yang memenuhi syarat standar SNI adalah sampel dengan penambahan jumlah natrium monokloroasetat sebanyak 16 gram. Hal ini jelas terjadi karena substitusi anhidro glukosa pada selulosa sangat dipengaruhi oleh jumlah natrium monokloroasetat (Santosa et al., 2020).

Berdasarkan perbedaan bahan baku yang digunakan, derajat substitusi yang dihasilkan sampel *nata de coco* lebih tinggi dibandingkan derajat substitusi limbah kertas. Hal ini terjadi karena kandungan selulosa yang ada di *nata de coco* lebih murni dibandingkan kandungan selulosa yang ada di limbah kertas. Semakin murni kandungan selulosa yang terkandung dalam suatu sampel membuat reagen natrium monokloroasetat lebih mudah untuk mensubstitusi gugus hidroksil pada selulosa.

### 3.2 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Tabel 2. Perbandingan DS CMC dari berbagai penelitian

Bahan baku	Maksimal DS CMC	Referensi
Limbah kertas	0,8946	(Yusoff et al., 2021)
Limbah kertas	1,0700	(Joshi et al., 2015)
Limbah kertas	0,5420	Penelitian ini
Selulosa bakteri	0,2630	(Ramadhan et al., 2017)
Selulosa bakteri	0,8300	(Rachtanapun, et al., 2021a)
Selulosa bakteri	0,9200	(Rachtanapun, et al., 2021b)
Selulosa bakteri	0,9400	(Santosa et al., 2020)
Selulosa bakteri	0,6610	Penelitian ini

Pada proses produksi CMC dari bahan baku limbah kertas diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH dan NaMCA akan meningkatkan nilai derajat substitusi CMC. Hal ini disebabkan karena jumlah ion asetat yang tinggi. Yusoff et al (2021) menunjukkan derajat substitusi tertinggi adalah 0,8946 dengan jumlah 5 gram asam monokloroasetat (Yusoff et al., 2021). Joshi et al (2014) mendapatkan nilai DS sebesar 1,07 dengan konsentrasi NaOH 0,094 M, waktu reaksi 3 jam, suhu 50°C, dan konsentrasi sodium monokloro asetat 0,108 (Joshi et al., 2015). Sedangkan Ramadhan et al (2016) menghasilkan DS tertinggi pada 0,263 dengan CMC yang dihasilkan memiliki tiga variasi substitusi yaitu pada atom C-6, C-2 dan C-3.

Hal yang sama juga terjadi pada proses produksi CMC dari bahan baku selulosa bakteri diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH dan NaMCA akan meningkatkan nilai derajat substitusi CMC. Rachtanapun et al (2021a) menunjukkan nilai DS maksimum yang diperoleh adalah 0,83 dari konsentrasi monokloro asetat tertinggi yaitu 24 gram (Rachtanapun, et al., 2021a). Rachtanapun et al (2021b) menghasilkan DS tertinggi yang diperoleh adalah 0,92 dari konsentrasi NaOH 30% (Rachtanapun, et al., 2021b). Santosa et al (2020) menunjukkan DS tertinggi yang diperoleh adalah 0,94 dari konsentrasi NaOH 35% dan trikloroacetate 30% (Santosa et al., 2020).

Konsentrasi NaMCA yang tinggi dan berlebih tidak berpengaruh terhadap DS yang dihasilkan. Akan tetapi, konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi akan menghasilkan DS yang rendah karena terbentuknya antara NaOH dan sodium NaMCA membentuk produk samping sodium glycolate (Joshi et al., 2015; Rachtanapun, et al., 2021b; Santosa et al., 2020).

Derajat substitusi CMC berada dalam rentang 0,4 sampai 1,5 (Yusoff et al., 2021). Jika dilihat pada penelitian sebelumnya di Tabel 2, nilai DS pada penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan penelitian lainnya. Hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi NaOH dan NaMCA yang digunakan pada penelitian ini masih tergolong rendah. Konsentrasi NaOH juga harus lebih dapat dioptimalkan dikarenakan konsentrasi NaOH yang tinggi dapat mendorong terbentuknya produk samping sodium glycolate.

Berdasarkan Tabel 2 juga dapat dilihat bahwa selulosa bakteri yang merupakan memiliki kandungan selulosa yang tinggi tanpa adanya hemiselulosa dan lignin tidak menjamin tingginya nilai DS yang dihasilkan. Penelitian Joshi et al (2014) menunjukkan bahwa pemurnian selulosa dari limbah kertas dengan metode pulping dan deinking yang maksimal secara kimia serta penggunaan NaOH dan NaMCA yang optimum untuk membentuk CMC, menghasilkan DS yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan baku selulosa bakteri. Rendahnya nilai DS pada bahan baku selulosa bakteri juga dapat disebabkan oleh ada pengotor pada saat proses dan belum optimalnya penggunaan NaOH dan NaMCA dalam membentuk CMC.

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini diteliti perbandingan produksi CMC dari limbah kertas dan selulosa bakteri. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa CMC dari nata de coco dengan konsentrasi 20% NaOH dan 16 gram NaMCA memiliki derajat substitusi tertinggi yaitu 0,661. Sedangkan CMC dari bahan baku limbah kertas dengan 10% NaOH dan 10 gram NaMCA memiliki derajat substitusi terendah yaitu 0,066. Semakin tinggi konsentrasi NaOH dan NaMCA yang digunakan akan meningkatkan nilai DS CMC. Nilai DS menunjukkan CMC dengan bahan baku selulosa bakteri memiliki nilai DS lebih tinggi dibandingkan dengan CMC dengan bahan baku limbah kertas. Proses pretreatment bahan baku dan optimasi jumlah NaOH dan NaMCA dapat meningkatkan nilai DS pada CMC yang dihasilkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sumatera karena telah membantu pelaksanaan penelitian ini dengan menyediakan Hibah Penelitian Mahasiswa Institut Teknologi Sumatera Tahun 2023 dengan nomor kontrak 6086/IT9.1/KM.05.02/2023.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry Book review* (Vol. 103).
- Betlej, I., Krajewski, K. J., Boruszewski, P., & Zakaria, S. (2021). Bacterial cellulose-properties and its potential application. *Sains Malaysiana*, 50(2), 493–505. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5002-20>
- Bianchet, R. T., Vieira Cubas, A. L., Machado, M. M., & Siegel Moecke, E. H. (2020). Applicability of bacterial cellulose in cosmetics – bibliometric review. *Biotechnology Reports*, 27, e00502. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00502>
- Hasanin, M. S., Abdelraof, M., Hashem, A. H., & El Saied, H. (2023). Sustainable bacterial cellulose production by *Achromobacter* using mango peel waste. *Microbial Cell Factories*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02031-3>
- Helda, R., & Dodi, I. (2014). Sintesis Karboksimetil Kitosan Terhadap Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida dan Rasio Kitosan dengan Asam Monokloro Asetat. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 6(2), 145–155.
- Joshi, G., Naithani, S., Varshney, V. K., Bisht, S. S., Rana, V., & Gupta, P. K. (2015). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from office waste paper: A greener approach towards waste management. *Waste Management*, 38(1), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.015>
- Kolajo, T. E., & Onovae, J. E. (2023). Biochemical Conversion of Waste Paper Slurries into Bioethanol. *Scientific African*, 20(e01703).
- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S., Edinur, H. A., Kari, Z. A., Noor, N. H. M., & Ray, R. R. (2021). Bacterial cellulose: Production, characterization and



- application as antimicrobial agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms222312984>
- Liany, S. A., Syafira, W., Putri, A., & Khasanah, A. U. (2022). Effect of Bacterial Cellulose (BC) Formation on Various Substrate Variations and Combinations. *Berkala Ilmiah Biologi*, 13(2), 13–20. <https://doi.org/10.22146/bib.v13i2.4396>
- Melliawati, R., Cameliawati, A., Pusat, D., Bioteknologi-Lipi, P., & Raya Bogor, J. (2013). Analisis Karboksimetil Selulosa Dari Bakteri *Acetobacter xylinum* dan *Acetobacter* sp. RMG-2\*. *Berita Biologi*, 12(3), 335–344.
- Mohkami, M., & Talaeipour, M. (2011). Investigation of the chemical structure of carboxylated and carboxymethylated fibers from waste paper via XRD and FTIR analysis. *BioResources*, 6(2), 1988–2003. <https://doi.org/10.15376/biores.6.2.1988-2003>
- Moosavi-nasab, M., Yousefi, A. R., Askari, H., & Bakhtiyari, M. (2010). Fermentative Production and Characterization of Carboxymethyl Bacterial Cellulose Using Date Syrup. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, January, 1477–1481.
- Nisa, D., & Putri, W. D. R. (2014). Pemanfaatan Selulosa dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) sebagai Bahan Baku Pembuatan CMC (Carboxymethyl Cellulose). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 2(3), 34–42. <https://jpa.ub.ac.id/index.php/jpa/article/view/50/59>
- Nur'ain, N., Nurhaeni, N., & Ridhay, A. (2017). Optimasi Kondisi Reaksi Untuk Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) Dari Batang Jagung (*Zea mays* L.). *Kovalen*, 3(2), 112. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i2.8717>
- Picheth, G. F., Pirich, C. L., Sierakowski, M. R., Woehl, M. A., Sakakibara, C. N., de Souza, C. F., Martin, A. A., da Silva, R., & de Freitas, R. A. (2017). Bacterial cellulose in biomedical applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.171>
- Rachtanapun, P., Klunklin, W., Jantrawut, P., Leksawasdi, N., Jantanasakulwong, K., Phimolsiripol, Y., Seesuriyachan, P., Chaiyaso, T., Ruksiriwanich, W., Phongthai, S., Sommano, S. R., Punyodom, W., Reungsang, A., & Ngo, T. M. P. (2021a). Effect of monochloroacetic acid on properties of carboxymethyl bacterial cellulose powder and film from nata de coco. *Polymers*, 13(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/polym13040488>
- Rachtanapun, P., Jantrawut, P., Klunklin, W., Jantanasakulwong, K., Phimolsiripol, Y., Leksawasdi, N., Seesuriyachan, P., Chaiyaso, T., Insomphun, C., Phongthai, S., Sommano, S. R., Punyodom, W., Reungsang, A., & Ngo, T. M. P. (2021b). Carboxymethyl bacterial cellulose from nata de coco: Effects of NaOH. *Polymers*, 13(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/polym13030348>
- Rahman, M. H. A., Maidin, N. A., Wahid, M. K., Hussin, M. S. F., Ahmad, M. N., Ahmad, U. H., Osman, M. H., & Subramaniam, A. V. (2020). Product Design and Development of Waste Paper Plastering Mortars Machine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(4), 2–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042036>
- Ramadhan, L. O. A. N., Nur Rahmat, M., Susilowati, P. E., Ahmad, L. O., & Edy Rusbandi, U. (2017). The microwave assisted-synthesis of carboxymethyl cellulose from nata de-coco bacterial cellulose. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012061>
- Ridho. (2016). Pembuatan Carboxymethyl Cellulose (CMC) dari Batang Pohon Pisang (*Musa acuminata*) dengan Proses Alkalisasi dan Karboksimetilasi. In *Laporan Tugas Akhir Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>
- Santosa, B., Wignyanto, W., Hidayat, N., & Sucipto, S. (2020). Optimization of naoh concentration and trichloroacetic acid in bacterial carboxymethylation cellulose. *Food Research*, 4(3), 594–601. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).370](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).370)
- Schluffer, K., & Heinze, T. (2010). Carboxymethylation of bacterial cellulose. *Macromolecular Symposia*, 294(2), 117–124. <https://doi.org/10.1002/masy.200900054>

- Sriplai, N., & Pinitsoontorn, S. (2021). Bacterial cellulose-based magnetic nanocomposites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117228. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117228>
- Sulaeva, I., Henniges, U., Rosenau, T., & Potthast, A. (2015). Bacterial cellulose as a material for wound treatment: Properties and modifications: A review. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1547–1571. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.009>
- Wibowo, I. D., Purwanto, P., & Suherman, S. (2020). Solid waste management in the paper industry. *E3S Web of Conferences*, 202, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206026>
- Wijayani, A., Ummah, K., & Tjahjani, S. (2010). Characterization of Carboxy Methyl Cellulose (CMC) from *Eichornia crassipes* (Mart) Solms. *Indonesian Journal of Chemistry*, 5(3), 228–231. <https://doi.org/10.22146/ijc.21795>
- Xu, H., Feng, L., Wu, G., & Zhang, Q. (2021). Evolution of structural properties and its determinants of global waste paper trade network based on temporal exponential random graph models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149(June), 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111402>
- Yusoff, N. A., Yee, L. Y., Iberahim, N. I., Zainol, N. A., Abdullah, S., & Zailani, S. N. (2021). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose derived from office paper waste for methylene blue dye removal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 646(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012008>
- Zhang, H., Chen, Y., Wang, S., Ma, L., Yu, Y., Dai, H., & Zhang, Y. (2020). Extraction and comparison of cellulose nanocrystals from lemon (*Citrus limon*) seeds using sulfuric acid hydrolysis and oxidation methods. *Carbohydrate Polymers*, 238(2), 116180. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116180>