

## KARAKTERISTIK FISIK SELULOSA DARI RUMPUT LAUT *Chaetomorpha crassa* YANG DIEKSTRAKSI DENGAN SUHU YANG BERBEDA

Krisman Umbu Henggu<sup>1\*</sup>, Jasin Umbu Jodi<sup>1</sup>, Oksin Hama Ratu<sup>1</sup>,  
Sihono<sup>2</sup>, Yopi Nurdiansyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba  
Jalan R. Suprpto No.35, Prailiu, Kecamatan Kota Waingapu, Kabupaten Sumba Timur, Indonesia 87116

<sup>2</sup>Pusat Riset Bioindustri Laut dan Darat Badan Riset dan Inovasi Nasional

Teluk Kodek, Desa Malaka, Kecamatan Pemenang Kabupaten Lombok Utara, NTB Indonesia 83352

<sup>3</sup>Ditjen Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan

Gedung Mina Bahari III lantai 12A Direktorat Pengolahan

Jalan Medan Merdeka Timur No. 16 Jakarta Pusat, Indonesia 10110

Diterima: 17 Agustus 2024/Disetujui: 12 November 2024

\*Korespondensi: [krisman@unkriswina.ac.id](mailto:krisman@unkriswina.ac.id)

**Cara sitasi (APA Style 7<sup>th</sup>):** Henggu, K. U., Jodi, J. U., Ratu, O. H., Sihono, & Nurdiansyah, Y. (2024). Karakteristik fisik selulosa dari rumput laut *Chaetomorpha crassa* yang diekstraksi dengan suhu yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(11), 1074-1090. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i11.58122>

### Abstrak

*Chaetomorpha crassa* merupakan jenis rumput laut hijau yang cukup melimpah di sepanjang perairan Indonesia. Pemanfaatan rumput laut *C. crassa* hingga saat ini belum optimal karena dianggap hama epifit oleh petani rumput laut. *C. crassa* mengandung selulosa alami yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan industri. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan perlakuan suhu ekstraksi selulosa terbaik pada rumput laut *C. crassa* berdasarkan kandungan selulosa, karakteristik fisik, dan difraksi. Ekstraksi selulosa dilakukan melalui tahapan depigmentasi, delignifikasi dengan perlakuan suhu ekstraksi 60, 70, 80°C selama 12 jam, dan depolimerisasi dengan HCl 5%. Biomassa dikeringkan pada suhu 60°C selama 10 jam. Parameter yang dianalisis meliputi derajat kristalinitas, kepadatan dan densitas, indeks flowabilitas, porositas, kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa serta sebaran difraksi. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan suhu ekstraksi 60, 70, dan 80°C memberikan pengaruh nyata ( $p < 0,05$ ) terhadap kandungan selulosa, lignin, hemiselulosa, *bulk density*, *tap density*, *carr's index*, *hausner ratio*, dan porositas. Ekstraksi selulosa terbaik diperoleh pada perlakuan suhu 70°C dengan rerata kandungan selulosa 74,17%, derajat kristalinitas 64,13%, *bulk density* 0,21 g/cm<sup>3</sup>, *tap density* 0,29 g/cm<sup>3</sup>, *carr's index* 35,11%, *hausner ratio* 2,48% dan porositas 1,27%. Sebaran difraksi selulosa yang diperoleh dalam penelitian ini didominasi oleh selulosa tipe II sebesar 72,66% dan tipe I sebesar 27,34%.

Kata kunci: delignifikasi, difraksi, epifit, kristalinitas, porositas

## Physical Characteristics of Cellulose from Seaweed *Chaetomorpha crassa* Extracted at Different Temperatures

### Abstract

*Chaetomorpha crassa* is a green seaweed that is abundant in Indonesian waters. The utilization of *C. crassa* is yet to be fully optimized, as seaweed farmers often view it as a nuisance. However, this seaweed contains natural cellulose, which can be used in industrial applications. Consequently, this study aims to determine the optimal temperature for cellulose extraction from *C. crassa*, focusing on cellulose content, physical characteristics, and diffraction patterns. The cellulose extraction process involves several stages: depigmentation and delignification at extraction temperatures of 60, 70, and 80°C for 12 h, followed by

depolymerization using 5% HCl. The biomass was dried at 60°C for 10 h. The parameters analyzed included the degree of crystallinity, density, flowability index, and porosity, as well as the cellulose, lignin, hemicellulose content, and diffraction patterns. The findings indicated that variations in extraction temperatures of 60°C, 70°C, and 80°C significantly affected ( $p < 0.05$ ) the cellulose, lignin, hemicellulose, bulk density, tap density, Carr's index, Hausner ratio, and porosity. The optimal conditions for cellulose extraction were achieved at a temperature of 70°C, resulting in an average cellulose content of 74.17%, a degree of crystallinity of 64.13%, bulk density of 0.21 g/cm<sup>3</sup>, tap density of 0.29 g/cm<sup>3</sup>, Carr's index of 35.11%, Hausner ratio of 2.48, and porosity of 1.27. Diffraction analysis revealed that the cellulose obtained in this study was pre-dominantly type II cellulose (72.66%), with type I cellulose comprising 27.34%.

Keywords: cristalinity, delignification, diffraction, epifit, porosity

## PENDAHULUAN

*Chaetomorpha crassa* merupakan kelompok alga hijau (*Chlorophyta*) berbentuk filamen, tidak bercabang, menyerupai rambut, saling melilit, bersegmen rapat, berwarna hijau cerah, banyak ditemui di daerah pasang surut dan hidup pada substrat batu-batuan berpasir (Tsutsui *et al.*, 2015). Rumput laut *C. crassa* merupakan tumbuhan epifit pada rumput laut *Kappaphycus alvarezii* (Ghazali *et al.*, 2018) dan *Eucheuma spinosum* (Kasim *et al.*, 2017), kompetitor terhadap pertumbuhan rumput laut budidaya (Gao *et al.*, 2018), mengundang kehadiran hewan laut yang merugikan (Ward *et al.*, 2020), serta menghambat fotosintesis rumput laut budidaya (Jiksing *et al.*, 2022). Hal ini menyebabkan *C. crassa* sering dianggap sebagai hama bagi pembudidaya rumput laut, sehingga tidak dimanfaatkan dengan optimal.

Rumput laut hijau umumnya mengandung metabolit primer dan sekunder yang bermanfaat untuk manusia. Rumput laut hijau dimanfaatkan senyawa fenolik untuk antioksidan (Nufus *et al.*, 2017), polisakarida ulvan untuk antioksidan (Ramadhan *et al.*, 2022; Jacob *et al.*, 2024), mineralnya untuk garam rendah natrium (Seulalae *et al.*, 2023; Nurjanah *et al.*, 2020; Nurjanah *et al.*, 2018), protein dan asam amino untuk *flavor* (Pratiwi *et al.*, 2021), aktivitas inhibitor tirosinase (Gazali *et al.*, 2024), dan lainnya. Rumput laut *Chaetomorpha* sp. memiliki senyawa fenolik sebesar 711,83 mg GAE/g sampel dan aktivitas antioksidan metode ABTS sebesar 192,66 µg/mL (Nurjanah *et al.*, 2024). Rumput laut *Chetomorpha* sp. mengandung selulosa (Baghel *et al.*, 2021), yang berpotensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai industri, misalnya kertas (Caprita *et al.*, 2021), tekstil (Franzo, 2022), farmasi (Arca *et al.*, 2018), kosmetik (Ullah *et al.*, 2016), bioenergi

(Khoo *et al.*, 2019) hingga makanan (He *et al.*, 2020). Rerata kandungan selulosa rumput laut berdasarkan klasifikasi yakni *Phaeophyta* (alga cokelat) 2,2-10,2% (Siddhanta *et al.*, 2011), *Rhodophyta* (alga merah) 1,4-17,2% (Siddhanta *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2016), dan *Chlorophyta* (alga hijau) 1,5-21,6% (Siddhanta *et al.*, 2011; Xiang *et al.*, 2016).

Rumput laut sebagai sumber selulosa memiliki kandungan lignin yang rendah dibandingkan tumbuhan terestrial, sehingga mudah diekstraksi dan berpotensi menghasilkan fraksi selulosa murni (Salem & Ismail, 2022). Rumput laut termasuk *biomassa* penghasil selulosa yang dapat tumbuh dengan cepat, tidak membutuhkan penyesuaian lahan, pemupukan hingga penggunaan pestisida seperti pada tumbuhan terestrial. Selulosa yang diekstraksi dari rumput laut lebih didominasi oleh fraksi alomorf α (α selulosa), dibandingkan alomorf β (β selulosa) (Siddhanta *et al.*, 2009). Fraksi α selulosa merupakan salah satu dari tiga jenis klasifikasi selulosa yang memiliki tingkat polimerisasi dan stabilitas tinggi (Chowdhury *et al.*, 2021). Selulosa rumput laut memiliki beberapa keunggulan di antaranya sifat mekanis yang tinggi, hidrofilik dan higroskopis, serta mampu terdegradasi secara biologis (Baghel *et al.*, 2021).

Ekstraksi selulosa meliputi beberapa metode di antaranya mekanik (*high pressure homogenizer*, penggilingan, ultrasonikasi) (Nechyporchuk *et al.*, 2016), enzimatik (Squinca *et al.*, 2022), dan kimia (hidrolisis asam, karboksimetilasi, oksidasi TEMPO, oksidasi periodat-klorit) (Abdel-Halim, 2014). Hidrolisis asam-basa yang diakselerasi hidrotermal merupakan metode yang paling umum digunakan dalam ekstraksi selulosa (Hafid *et al.*, 2021). Metode tersebut



menghasilkan selulosa dengan kristalinitas tinggi (Lamo *et al.*, 2024), waktu ekstraksi efisien dan mudah diaplikasikan (Amezcu-Allieri *et al.*, 2017), relatif murah dibandingkan metode mekanik dan enzimatis (Magalhães *et al.*, 2023). Penggunaan senyawa basa (alkali) dalam ekstraksi selulosa bertujuan mendeformasi ikatan O-H pada dinding sel dengan cara mengionisasi gugus hidroksil (Ng *et al.*, 2015). Hal ini menyebabkan pemisahan interfibrilar dari serat selulosa (delignifikasi). Depolimerisasi menggunakan senyawa asam ( $H_2SO_4$  dan HCl) juga bertujuan memutuskan ikatan glikosida selulosa dan berdampak pada tingginya kristalinitas selulosa (Wulandari *et al.*, 2016).

Ekstraksi selulosa dari rumput laut *Chaetomorpha* sp. dengan metode asam-basa menggunakan HCl 0,1 N dan NaOH 1% pada suhu  $60^\circ C$  menghasilkan derivat selulosa 35% (Freile-Pelegrín *et al.*, 2020). Kombinasi HCl 5% dan NaOH 0,5 M yang dihidroekstraksi pada suhu  $60^\circ C$  selama 3 jam menghasilkan  $\alpha$ -selulosa 18,5% dan  $\beta$ -selulosa 0,8% (Siddhanta *et al.*, 2013). Selulosa yang dihasilkan dengan metode tersebut belum memenuhi standar mutu selulosa yang mensyaratkan kemurnian  $>50\%$  dan kristalinitas  $\geq 40\%$  (BSN, 1991). Optimasi

hidrolisis selulosa dengan metode asam-basa ditentukan oleh konsentrasi pelarut, suhu, rasio, dan waktu ekstraksi (Brahma & Ray, 2024). Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan perlakuan suhu ekstraksi selulosa terbaik pada rumput laut *C. crassa* berdasarkan kandungan selulosa, karakteristik fisik, dan difraksi.

## BAHAN DAN METODE Ekstraksi Selulosa

Metode ekstraksi selulosa mengacu penelitian Bhutiya *et al.* (2020) yang dimodifikasi pada perlakuan suhu ekstraksi (Figure 1). *C. crassa* dikoleksi dari pesisir pantai Benda ( $10^\circ 11' 54.8'' S$   $120^\circ 43' 24.4'' E$ ), Desa Kaliuda, Kecamatan Pahunga Lodu, Kabupaten Sumba Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Rumput laut *C. crassa* dalam kondisi segar dicuci bersih menggunakan air tawar, dikeringkan dengan sinar matahari selama 3 hari hingga mengering dengan rerata kadar air 38% lalu diekstraksi. Tahapan awal ekstraksi selulosa ialah depigmentasi menggunakan natrium klorit ( $NaClO_2$ ) 0,5% selama 6 jam, rasio pelarut dan sampel 1:4 (b/v). *C. crassa* yang telah didepigmentasi dicuci menggunakan akuades hingga pH berkisar 5,5-7,5, dan

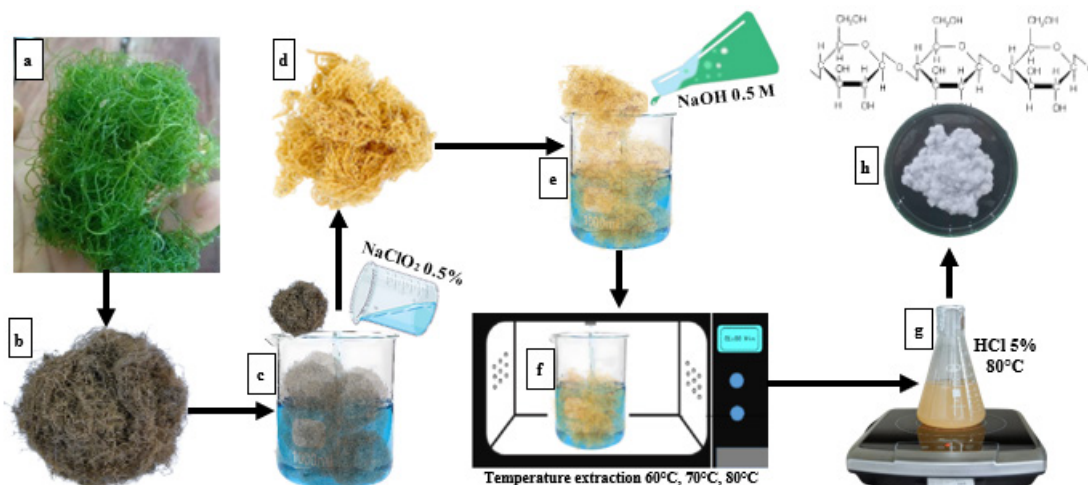


Figure 1 Cellulose extraction process from *C. crassa* seaweed; (a) fresh, (b) dried, (c) depigmentation; (d) biomass after depigmentation, (e) delignification; (f) hydroextraction; (g) depolymerization; (h) cellulose biomass

Gambar 1 Ekstraksi selulosa dari rumput laut *C. crassa*; (a) segar, (b) kering; (c) depigmentasi; (d) biomassa setelah depigmentasi; (e) delignifikasi; (f) hidroekstraksi; (g) depolimerisasi; (h) biomassa selulosa

dilanjutkan delignifikasi menggunakan NaOH 0,5 M 1:3 (b/v) selama 12 jam dengan perlakuan suhu ekstraksi 60, 70, dan 80°C. Biomassa *C. crassa* yang telah didelignifikasi, dicuci menggunakan akuades hingga pH mencapai 7,0-8,5, selanjutnya depolimerisasi menggunakan HCl 5% 1:5 (b/v) pada suhu 80°C. Biomassa *C. crassa* dicuci menggunakan akuades hingga pH mencapai 5,5-7,0, dikeringkan pada suhu 60°C selama 10 jam dan dihasilkan biomassa selulosa kering. Biomassa tersebut lalu dianalisis derajat kristalinitas, kepadatan dan densitas, indeks flowabilitas, porositas, kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa.

**Analisis Kristalinitas**

Struktur kristalinitas selulosa dianalisis menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) (Emma-GBC®, Australia). Sampel selulosa 1 mg dimasukkan ke dalam *holder* XRD dan ditekan menggunakan kaca objek. Sampel selulosa selanjutnya dipindai dari sudut 5-40°2q menggunakan sinar X-Ray anoda Cu yang dioperasikan pada 40 kV dan 40 mA yang dikombinasikan dengan filter Ni untuk menghasilkan radiasi Cu-Kα monokromatik (λ = 1,5406 Å). Data hasil tembakan sinar X-Ray berbentuk difraktogram yang terbaca secara visual pada komputer, selanjutnya disesuaikan dengan Database *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) untuk menentukan fasa amorf dan kristalinitas. Derajat kristalinitas selulosa dihitung menggunakan metode Monshi *et al.* (2012) yaitu:

$$\text{Indeks kristalinitas (\%)} = 100 \times \frac{I_{200} - I_{am}}{I_{200}}$$

Keterangan:

Nilai 1200 = intensitas maksimum difraksi kisi puncak utama (200) (18°-25° dari 2θ untuk selulosa I, dan >25° untuk selulosa II)

Nilai 1am = intensitas difraksi yang dikaitkan dengan selulosa amorf (11°-15°)

Sebaran data difraksi yang diperoleh dengan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) dilanjutkan pada analisis fase amorf dan kristalinitas menggunakan persamaan Gaussian (Figure 2). Perhitungan fase amorf dan kristalinitas melalui tahapan *deconvolution* hingga mencapai koefisien determinasi (*R-Square* > 0,95) (Park *et al.*, 2010; Maradesa *et al.*, 2022).

Ukuran kristalin selulosa diestimasi menggunakan persamaan *Scherrer* (Monshi *et al.*, 2012). Adapun model persamaannya sebagai berikut:

$$L \text{ (nm)} = \frac{K_\lambda}{\beta \cdot \cos\theta}$$

Keterangan:

K = konstanta (0,94) yang digunakan untuk mengukur bentuk kristalit

λ = panjang gelombang sinar-X (XRD) dalam nanometer (nm) yakni 1.54060 Å

β = lebar puncak difraksi pada setengah tinggi maksimum

θ = bilangan sudut difaksi yang terdeteksi

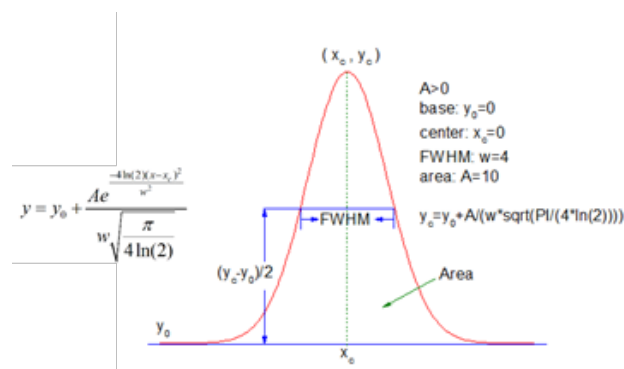


Figure 2 Gaussian equation  
Gambar 2 Persamaan Gaussian



## Kerapatan (*Bulk Density*) dan Densitas Kamba (*Tap Density*)

Selulosa ditimbang 25 g dan dimasukkan dalam *picnometer* berkapasitas 100 mL, lalu diukur kepadatan awalnya ( $V_0$ ). *Picnometer* yang telah berisi sampel lalu ditempatkan pada ketinggian 2,5 cm dari permukaan lalu dijatuhkan hingga terjadi perubahan kepadatan. Proses ini dilakukan berulang hingga volume kepadatannya konstan, lalu dicatat ( $V_1$ ). Kepadatan dan densitas selulosa dihitung menggunakan metode Azubuike *et al.* (2012), yaitu:

$$\text{Kerapatan (g/cm}^3\text{)} = \frac{W}{V_0}$$

$$\text{Densitas kamba (g/cm}^3\text{)} = \frac{W}{V_1}$$

Keterangan:

W = berat awal selulosa (g)

$V_0$  = volume awal selulosa dalam *picnometer* (g)

$V_1$  = densitas akhir selulosa saat dijatuhkan dari ketinggian 2,3 cm (g)

## Indeks Flowabilitas

Indeks flowabilitas dapat diukur dengan metode Indeks *Compressibility (Carr Index)* dan *Hausner Ratio*. Nilai *Carr indeks* dan *Hausner rasio* didasarkan pada nilai kerapatan dan densitas. Indeks flowabilitas dihitung menggunakan metode Azubuike *et al.* (2012), yaitu:

$$\text{Carr's index (\%)} = \frac{\text{Densitas} - \text{Kerapatan}}{\text{Densitas}} \times 100$$

$$\text{Hausner Ratio (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Kerapatan (g/cm}^3\text{)}}{\text{Densitas (g/cm}^3\text{)}}$$

## Porositas

Analisis porositas dilakukan berdasarkan pada nilai densitas selulosa dan densitas absolut. Porositas dihitung menggunakan metode Azubuike *et al.* (2012), yaitu:

$$\text{Porositas} = \frac{\text{Densitas kamba selulosa (g/cm}^3\text{)}}{\text{Densitas absolut (g/cm}^3\text{)}}$$

## Analisis Selulosa, Lignin, Hemiselulosa

Selulosa ditimbang 1 g (A) dicampur akuades 150 mL dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam lalu disaring untuk menghasilkan padatan (pelet). Padatan selanjutnya dikeringkan hingga beratnya

konstan (B). Padatan kering yang lalu ditambahkan 150 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N, dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam. Padatan selanjutnya disaring, dicuci dengan akuades dan dikeringkan (C). Padatan yang dihasilkan ditambahkan 10 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat dan direfluks 1 jam. Padatan yang telah direfluks, dicuci menggunakan akuades steril dan dikeringkan. Pengeringan dilakukan hingga beratnya konstan (D), kemudian dilakukan pengabuan dan ditimbang berat akhir (E). Kadar selulosa, lignin dan hemiselulosa dihitung dengan persamaan berikut (Garcia-Maraver *et al.*, 2013):

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{C-D}{A} \times 100$$

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{D-E}{A} \times 100$$

$$\text{Hemiselulosa (\%)} = \frac{B-C}{A} \times 100$$

## Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian derajat kristalinitas dianalisis secara deskriptif dan dilakukan perbandingan dengan pustaka primer. Data hasil pengujian karakteristik selulosa (kerapatan, densitas kamba, indeks flowabilitas, porositas, selulosa, lignin, hemiselulosa) dihitung rata-rata nilai ( $\mu$ ), standar deviasi ( $\Delta x$ ), dan dianalisis ragam ANOVA (rancangan acak lengkap) satu arah hingga uji beda (*Duncan*  $\alpha$  0,05) jika terdapat pengaruh nyata pada ragam ANOVA. Pemrosesan data yang diperoleh dalam penelitian ini menggunakan piranti lunak OriginPro® versi 2024 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, AS).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Polimer

Tiga tahapan utama saat ekstraksi selulosa yakni depigmentasi, delignifikasi dan depolimerisasi. Faktor yang berpengaruh pada tahapan tersebut ialah suhu. Suhu dapat meningkatkan kinetika ekstraksi terutama pada fase endotermik anhidroselulosa, yakni suhu ekstraksi  $\leq 280^\circ\text{C}$  (Solhi *et al.*, 2023). Komposisi polimer yang diekstraksi dari rumput laut *C. crassa* dapat dilihat pada *Table 1*.

Table 1 Polymer content of *C. crassa* seaweed extracted at different temperatures  
Tabel 1 Kandungan polimer rumput laut *C. crassa* diekstraksi pada suhu berbeda

Polymer composition (%)	Extraction temperature (°C)			SNI 06-2115-1991
	60	70	80	
Cellulose	55.87±1.83 <sup>ab</sup>	74.17±1.40 <sup>b</sup>	46.55±0.96 <sup>a</sup>	≥ 60
Hemicellulose	10.10±0.30 <sup>c</sup>	5.58±0.35 <sup>a</sup>	7.31±0.27 <sup>b</sup>	*)
Lignin	0.38±0.17 <sup>b</sup>	0.19±0.05 <sup>a</sup>	0.52±0.38 <sup>c</sup>	*)

Numbers in the same row with different superscript letters indicate a significant difference at the  $\alpha = 0.05$  level; (\*) not specified in the standard)

Rerata kandungan polimer yang diekstraksi dari rumput laut *C. crassa* didominasi oleh selulosa 46,55-74,17%, hemiselulosa 5,58-10,10%, dan lignin 0,19-0,52%. Analisis variansi (ANOVA) menunjukkan perlakuan suhu ekstraksi 60°C, 70°C dan 80°C berpengaruh signifikan ( $p < 0,05$ ) terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin (Table 1). Hal ini menunjukkan bahwa suhu ekstraksi mampu mendeformasi struktur polimer biomassa rumput laut *C. crassa*. Hal ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh Sartika & Firmansyah (2022) suhu ekstraksi 50°C-90°C memberikan pengaruh signifikan ( $p < 0,05$ ) terhadap persentase kandungan polimer (selulosa, hemiselulosa, lignin) yang diekstraksi dari tongkol jagung. Deformasi struktur polimer biomassa tersebut merupakan implikasi reaksi NaOH 0,5 M (delignifikasi) dan tekanan temperatur melalui perlakuan suhu ekstraksi yang signifikan dalam memutuskan ikatan  $\beta$ -(1,4)-glikosidik pada rantai karbon polimer hingga menjadi derivat polimer seperti selulosa, lignin dan hemiselulosa. Uji lanjut *Duncan*, menunjukkan perlakuan suhu ekstraksi 60°C, 70°C dan 80°C, masing-masing memiliki perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ). Perbedaan tersebut didasarkan pada komposisi biomassa akhir (selulosa, hemiselulosa, lignin) yang dihasilkan. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Sayanjali & Howel (2024) yang menemukan perbedaan serupa, namun dalam konteks selulosa yang dihasilkan dari batang brokoli. Optimasi ekstraksi selulosa dari rumput laut *C. crassa* hanya diperoleh pada perlakuan 70°C dengan rerata kandungan

selulosanya memenuhi SNI 06-2115-1991, yakni 74,17% ( $\geq 60\%$ ) (BSN, 1991). Penelitian komposisi polimer selulosa dari rumput laut *Chaetomorpha* sp. telah dilaporkan. Freile-Pelegrin *et al.* (2020) melakukan ekstraksi selulosa *C. crassa* pada suhu 60°C dengan NaOH 1% dan HCl 0,1 N dan menghasilkan selulosa sebesar 35%. Kombinasi NaOH 0,5 M dan HCl 5% yang hidroekstraksi pada suhu 60°C selama 3 jam menghasilkan  $\alpha$ -cellulose 18,5% dan  $\beta$ -cellulose 0,8% (Siddhanta *et al.*, 2013). Peningkatan suhu ekstraksi 60°C hingga 70°C, komposisi biopolimer (selulosa) yang dihasilkan meningkat yakni 55,87-74,17%. Sebaliknya, perlakuan suhu ekstraksi 80°C terjadi penurunan kandungan selulosa yakni 46,55%. Suhu ekstraksi yang melebihi titik transisi gelas menghasilkan kandungan selulosa yang cenderung menurun hingga menjadi tar (Shen *et al.*, 2013). Hal ini yang menyebabkan perlakuan suhu ekstraksi 80°C memiliki kandungan selulosa lebih rendah yakni 46,55% dibandingkan perlakuan suhu 60°C (55,87%) dan 70°C (74,17%). Namun, perlu diketahui dalam penelitian ini belum dilakukan pengujian *thermogravimetric* untuk mengetahui secara pasti titik suhu transisi (*onset* °C, *midpoint* °C, *inflection poin* °C) selulosa yang dihasilkan.

Penurunan kandungan selulosa seiring peningkatan suhu ekstraksi juga dilaporkan oleh Sikora *et al.* (2022) selulosa berbahan ampas kopi memiliki suhu optimum 160°C dengan rerata rendemen selulosa 32,69%, dibandingkan suhu 180°C yang hanya mencapai 28,80%. Suhu transisi gelas selulosa secara teoritis berada pada kisaran suhu 200°C (Park *et al.*, 2010). Suhu transisi



gelasi tersebut dapat bergantung pada bahan baku dan metode ekstraksi yang dilakukan (Chopra, 2022).

### Karakteristik Fisik Selulosa

Pencirian karakteristik selulosa bertujuan menyesuaikan kebutuhan selulosa dalam berbagai industri (kosmetik, obat-obatan, dan makanan). Karakteristik fisik selulosa yang berkualitas baik memiliki indeks kerapatan, densitas, flowabilitas, dan porositas rendah, serta memiliki kristalinitas tinggi (Azubuike *et al.*, 2012). Karakteristik fisik selulosa *C. crassa* dapat dilihat pada *Table 2*. Hasil analisis variansi (ANOVA) menunjukkan suhu ekstraksi 60, 70, dan 80°C berpengaruh signifikan ( $p < 0,05$ ) terhadap *bulk density*, *tap density*, *flowability index*, *porosity*, *crystallinity* selulosa yang diekstraksi dari rumput laut *C. crassa*.

Perbedaan perlakuan suhu ekstraksi berpengaruh terhadap *bulk density* selulosa *C. crassa*. Perlakuan suhu ekstraksi 60°C berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) dengan suhu ekstraksi 80°C, namun tidak berbeda nyata keduanya untuk suhu ekstraksi 70°C. Kerapatan (*bulk density*) selulosa *C. crassa* berkisar antara 0,18-0,53 g/cm<sup>3</sup> dengan rerata kepadatan cenderung menurun seiring peningkatan suhu ekstraksi (*Table 2*). Penurunan kepadatan selulosa diduga akibat reaksi NaOH dan perlakuan suhu ekstraksi yang menyebabkan

melemahnya ikatan hidrogen intermolekul pada rantai glikosidik. Reaksi tersebut mampu mendegradasi kepadatan selulosa (Tasnim *et al.*, 2023). Hal ini selaras dengan penelitian Do & Nguyen (2018) yang melaporkan seiring peningkatan suhu ekstraksi (120-160°C), *bulk density* selulosa gom Arab yang dihasilkan cenderung menurun yakni 0,49-0,41 g/mL. Hal ini juga diperkuat oleh Rana *et al.* (2022) menyatakan bahwa reaksi asam-basa berpengaruh terhadap laju degradasi bobot massa hingga penurunan kepadatan selulosa. Semakin rendah kepadatan selulosa maka semakin baik laju alir selulosa saat dimanfaatkan sebagai eksipien (Chaerunisaa *et al.*, 2019) maupun formulasi selulosa dalam berbagai sediaan (Dubey *et al.*, 2018).

Perbedaan perlakuan suhu ekstraksi berpengaruh terhadap *tap density* selulosa *C. crassa*. Perlakuan suhu ekstraksi 70°C berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) dengan suhu ekstraksi 80°C, namun tidak berbeda nyata keduanya untuk suhu ekstraksi 60°C. Nilai *tap density* terendah pada perlakuan suhu ekstraksi 80°C dan tertinggi suhu ekstraksi 70°C. Rerata densitas kamba (*tap density*) selulosa *C. crassa* yakni 0,23-0,29 g/cm<sup>3</sup>, lebih rendah dibandingkan kepadatan selulosa teoritis yang berkisar 1,42-1,67 g/cm<sup>3</sup> (Daicho *et al.*, 2019). Perbedaan nilai densitas kamba selulosa diduga akibat proses delignifikasi dan depolimerisasi dalam kondisi asam-basa yang menyebabkan

Table 2 Physical characteristics of cellulose extracted from *C. crassa* seaweed  
Tabel 2 Karakteristik fisik selulosa yang diekstraksi dari rumput laut *C. crassa*

Physical characteristics of cellulose	Extraction temperature				
	60°C	70°C	80°C	GSMC <sup>1</sup>	CC <sup>1</sup>
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	0.53±0.58 <sup>b</sup>	0.21±0.06 <sup>ab</sup>	0.18±0.04 <sup>a</sup>	0.25	0.35
Tap density (g/cm <sup>3</sup> )	0.26±0.03 <sup>ab</sup>	0.29±0.04 <sup>b</sup>	0.23±0.05 <sup>a</sup>	0.32	0.42
Flowability index					
Carr's index (%)	39.44±2.94 <sup>b</sup>	35.11±1.34 <sup>ab</sup>	32.77±4.06 <sup>a</sup>	21.80	16.67
Husner ratio (%)	3.09±0.22 <sup>b</sup>	2.48±0.61 <sup>ab</sup>	1.97±0.50 <sup>a</sup>	1.28	1.20
Porosity (%)	1.19±0.44 <sup>ab</sup>	1.27±0.19 <sup>ab</sup>	0.85±0.71 <sup>a</sup>	0.80	0.74
Crystallinity (%)	52.10	64.13	55.20	67	78

Values with different superscript letters on the same row indicate there is a significant difference ( $p < 0.05$ );

<sup>1</sup>Groundnut Shell Microcrystalline Cellulose (GSMC) and Commercial Cellulose (Azubuike *et al.*, 2012).

pemutusan ikatan glikosidik dan berpengaruh pada pembentukan partikel selulosa. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Putra *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa kondisi alkali (NaOH 5-15%) berpengaruh nyata terhadap ukuran densitas kamba selulosa (0,15-0,18 g/mL) yang diekstraksi dari jerami padi. Nwachukwu & Ofoefule (2020) melaporkan bahwa penggunaan suhu yang cukup tinggi juga berdampak terhadap rendahnya *tap density* selulosa yang dihasilkan. Densitas kamba selulosa memiliki korelasi positif terhadap ukuran partikel selulosa, apabila semakin kecil ukuran dan keseragaman partikel, maka *tap density* selulosa cenderung rendah. Selulosa dengan sifat flowabilitas, dan kompabilitas yang tinggi umumnya memiliki *tap densitas* yang rendah (Nofrerias *et al.*, 2019).

Perbedaan perlakuan suhu ekstraksi berpengaruh terhadap *carr's index* dan *hausner ratio* selulosa *C. crassa*. Perlakuan suhu ekstraksi 60°C berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) dengan suhu ekstraksi 80°C, namun tidak berbeda nyata keduanya untuk suhu ekstraksi 70°C. Nilai *carr's index* dan *hausner ratio* terendah pada perlakuan suhu ekstraksi 80°C dan tertinggi suhu ekstraksi 60°C. Indeks flowabilitas merupakan variabel yang dapat memperkirakan kestabilan selulosa saat diformulasi dalam berbagai sediaan farmasi, kosmetik hingga makanan (Goyal *et al.*, 2015). Delignifikasi menggunakan senyawa alkali (NaOH 0,5 M) dapat meningkatkan sifat hidrofilisasi yang kemudian menyebabkan pembengkakan struktur selulosa hingga mudah didegradasi dengan tekanan suhu ekstraksi. Hal tersebut ini dapat dilihat pada rerata indeks flowabilitas selulosa *C. crassa* cenderung menurun seiring peningkatan suhu ekstraksi. Penurunan indeks flowabilitas tersebut diduga disebabkan oleh terputusnya ikatan polimer akibat reaksi asam-basa. Perlakuan suhu berkontribusi terhadap pergerakan polimer (*brownian motion*) yang menyebabkan depolimerisasi.

Rerata nilai *Carr's index* dan *Hausner ratio* selulosa berkisar antara 32,77-39,44% dan 1,97-3,09%, lebih tinggi dibandingkan selulosa komersial (Avicel®). Rerata indeks flowabilitas yang diperoleh dalam penelitian

ini belum memenuhi kriteria *Carr's index* dan *Hausner ratio* yang baik sebagai salah satu syarat bahan penolong dalam sediaan formulasi. Saker *et al.* (2019) menyatakan nilai *Carr's index* dan *Hausner ratio* yang baik yakni  $\leq 20\%$  dan 1,00-1,25%. Material serbuk (*powder*) dengan rerata nilai *Carr's index* dan *Hausner ratio* yang tinggi maka material tersebut semakin kohesif dan menghambat laju alir (Turchiuli *et al.*, 2005).

Perbedaan perlakuan suhu ekstraksi tidak berpengaruh terhadap persentase porositas selulosa *C. crassa*. Perlakuan suhu ekstraksi 60, 70, dan 80°C tidak berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). Rerata persentase porositas selulosa *C. crassa* (Table 2) berkisar antara 0,85-1,19%, lebih tinggi dibandingkan porositas selulosa komersial Avicel®. Semakin tinggi suhu ekstraksi cenderung semakin menurunkan persentase porositatis. Wei *et al.* (2018) melaporkan penggunaan suhu 75-150°C dapat memutuskan ikatan hidrogen intramolekul selulosa dan bertanggungjawab terhadap penurunan porositas dan kelarutan biomassa. Penurunan porositas selulosa diduga akibat reaksi dekarbonisasi polimer atau dekomposisi bahan organik yang ditandai dengan pembentukan pori. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu ekstraksi tidak hanya berpengaruh terhadap proses delignifikasi polimer (Table 1), namun berpengaruh terhadap sifat fisik (porositas). Shen *et al.* (2013) menyatakan bahwa suhu ekstraksi menyebabkan dekomposisi material organik yang ditandai dengan pelepasan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) bersama uap air (H<sub>2</sub>O) hingga terbentuk porositas selulosa. Selulosa dalam bentuk kering (*powder*) juga mudah menyerap CO<sub>2</sub> bebas dari lingkungan ambient. Ukuran porositas selulosa bergantung pada pemanfaatannya, selulosa dengan porositas rendah umumnya baik dimanfaatkan sebagai bahan penolong dalam sediaan padat kering, yaitu tablet (Azubuike *et al.*, 2012), sedangkan selulosa dengan porositas tinggi dibutuhkan sebagai bahan penolong dalam sintesis material implan medis berpori hingga membran (Tialiou *et al.*, 2023).

Struktur selulosa umumnya tersusun atas atom yang terkonfigurasi dan membentuk fasa amorf dan kristalin. Kristalinitas





dideskripsikan sebagai struktur penyusun atom selulosa yang tersusun secara teratur dan membentuk struktur tiga dimensi (3D). Amorf memiliki struktur atom yang acak dan tidak teratur (Henggu *et al.*, 2019). Rerata persentase kristalinitas selulosa berkisar antara 52,10-64,13%, lebih rendah dibandingkan persentase kristalinitas selulosa komersial (*Table 2*). Rerata kristalinitas selulosa *C. crassa* tertinggi pada perlakuan suhu ekstraksi 70°C yang mencapai 64,13%, perlakuan suhu ekstraksi 80°C 55,20% dan sebaliknya terendah pada perlakuan suhu 60°C yakni 52,10%. Rerata kristalinitas selulosa yang diperoleh dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan persentase kristalinitas selulosa yang diekstraksi dari rumput laut hijau *Lentilifera* sp. dengan perlakuan suhu ekstraksi 80°C yang hanya mencapai 32% (Mentari *et al.*, 2023). Penggunaan suhu ekstraksi 60°C dan 70°C menunjukkan persentase kristalinitas selulosa mengalami peningkatan, namun pada perlakuan suhu ekstraksi 80°C kristalinitas menurun. Hal ini disebabkan oleh pembengkakan berlebihan pada struktur selulosa hingga berdampak terhadap penurunan kandungan selulosa (*Table 1*) dan diduga berkontribusi terhadap penurunan persentase kristalinitas selulosa. Penurunan fasa kristalinitas selulosa juga dapat diamati pada difaktogram XRD (*Figure 3*) pada sudut 34° dengan rerata *d* value terendah yakni 2.58893 Å (*Table 3*). Kuthi & Badri (2014) menyatakan bahwa suhu ekstraksi tidak hanya berperan sebagai katalis dalam proses delignifikasi, namun juga mengakibatkan pembengkakan berlebihan pada struktur selulosa hingga mengalami kelarutan dan menurunkan indeks kristalinitas.

### Difaktogram Selulosa

Selulosa terbagi atas dua fase berdasarkan strukturnya yakni amorf dan kristalinitas. Kedua fase tersebut dapat memengaruhi sifat fisik selulosa, yaitu kelarutan dan kekuatan mekanis (Ruel *et al.*, 2012). Hasil XRD yang dianalisis menggunakan persamaan *Gaussian* (*Figure 1*) menunjukkan secara umum selulosa yang dihasilkan dengan perlakuan suhu ekstraksi 60°C, 70°C, dan 80°C memiliki fasa amorf

yang terdeteksi pada wilayah difraksi ( $2\theta$ ) 11°-15°. Data difraksi menunjukkan fasa kristalinitas teridentifikasi pada wilayah difraksi ( $2\theta$ ) 21,40°-34,64° (suhu ekstraksi 60°C), 21,47°-67,56° (suhu ekstraksi 70°C), dan 20,89°-42,44° (suhu ekstraksi 80°C). Hasil difraksi dapat dilihat pada *Table 3*.

Karimi & Taherzadeh (2016) menyatakan bahwa secara umum struktur kristalinitas selulosa terbagi atas 4 yakni selulosa tipe I, II, III dan IV. Hasil penelitian menunjukkan selulosa yang dihasilkan dari proses ekstraksi rumput laut *C. crassa* yakni selulosa tipe I (18°-25°) dan II (>25°) sesuai dengan *Figure 2*. Selulosa tipe I merupakan struktur kristal selulosa yang terbentuk secara alami dari dua sub-polimorf yakni selulosa tipe  $\alpha$  (struktur triklinik rantai tunggal) dan selulosa  $\beta$  (struktur monoklinik dua rantai). Komposisi kedua sub-polimorf tersebut bergantung dari sumber selulosa. Santmartí & Lee (2018) menyatakan bahwa selulosa tipe I <sub>$\alpha$</sub>  diproduksi oleh mikroba, sedangkan selulosa I <sub>$\beta$</sub>  paling melimpah ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi. Selulosa tipe II, disebut selulosa yang diregenerasi atau dihasilkan dari proses ekstraksi (maserasi) yang menggunakan reaksi asam-basa secara kimia (Karimi & Taherzadeh, 2016). Selulosa tipe II memiliki stuktur atom yang tidak paralel namun sifat termodnamika lebih stabil dibandingkan selulosa tipe I (Chundawat *et al.*, 2011). Berdasarkan sebaran difraksi selulosa tipe I hanya mencapai 27,34% sedangkan selulosa tipe II yakni 72,66%. Hal ini menunjukkan ekstraksi selulosa secara kimiawi yang dikombinasi dengan tekanan suhu cukup efektif mengkonversi polimer rumput laut menjadi derivat selulosa.

Semakin tinggi nilai *d*-value (Å) berpengaruh terhadap peningkatan kristalinitas dan semakin dekat jarak antara atom (*interplanar distances*) selulosa (Salem *et al.*, 2023). Rerata *d*-value (Å) difraksi selulosa tipe I (18°-25°) pada perlakuan suhu ekstraksi 60°C yakni 4.04826 Å dan selulosa tipe II (>25°) hanya mencapai 2.96881 Å. Rerata *d*-value (Å) (suhu ekstraksi 70°C) yakni 4.13474 Å (tipe I) dan 2.84189 Å (tipe II). Suhu ekstraksi 80°C memiliki rerata *d*-value (Å) 4.02986 Å (tipe I) dan 2.75533 Å (tipe II). Tingginya rerata nilai

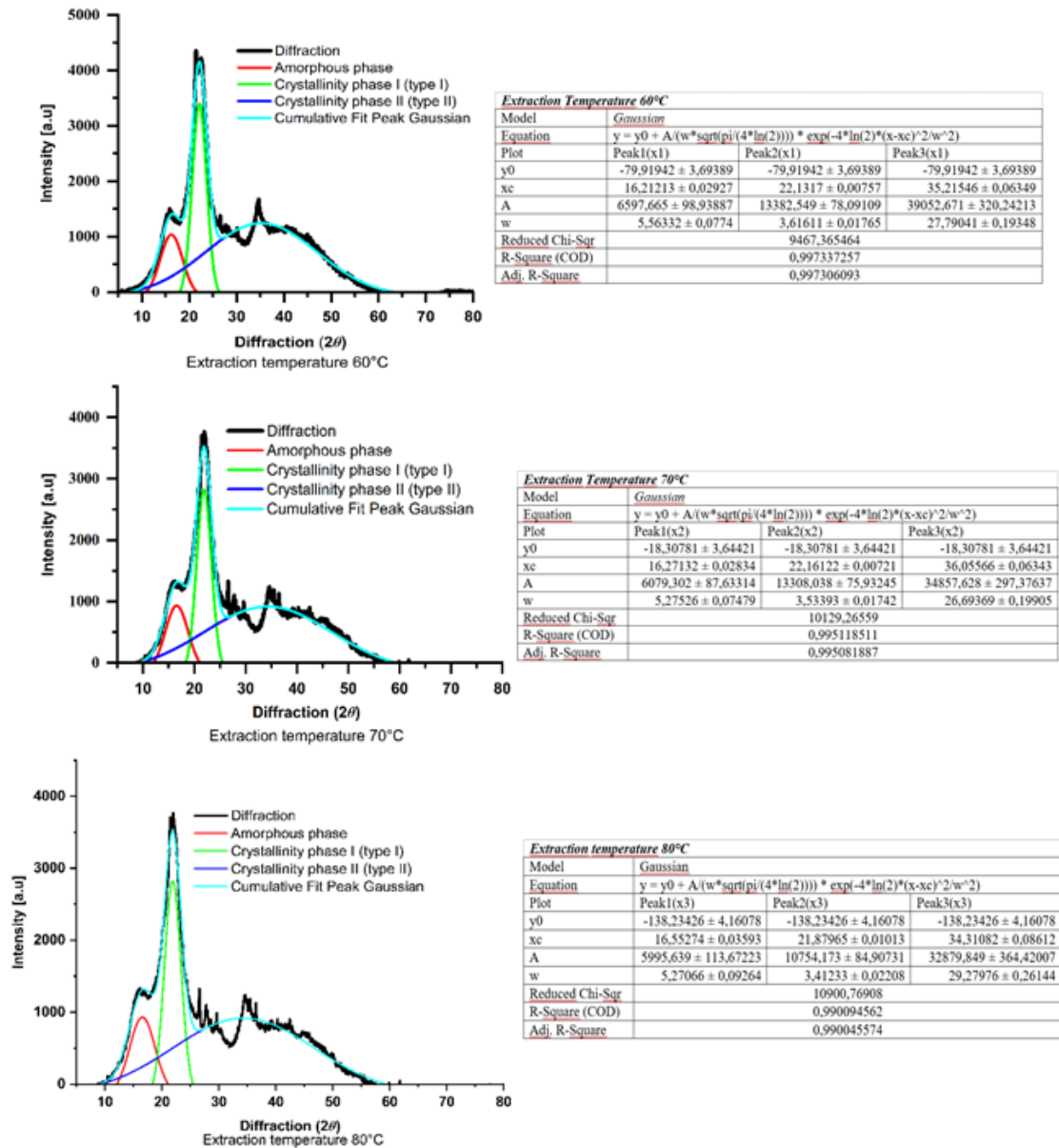


Figure 3 Diffractogram of cellulose extracted from *C. crassa* seaweed  
 Gambar 3 Difaktogram selulosa yang diekstraksi dari rumput laut *C. crassa*

*d*-value (Å) pada perlakuan suhu ekstraksi 70°C memiliki korelasi terhadap derajat kristalinitas selulosa yang cukup tinggi, yakni 64,13% (Table 1). Ukuran kristalit merupakan gambaran dimensi yang membentuk struktur kristalinitas selulosa. Rerata ukuran kristalit menunjukkan perlakuan suhu ekstraksi 60°C yakni 1748,40 nm, suhu ekstraksi 70°C 848,97 nm, dan suhu ekstraksi 80°C 766,91 nm.

Rerata ukuran kristalit selulosa yang dihasilkan menunjukkan penurunan seiring kenaikan suhu ekstraksi. Hal ini disebabkan

oleh suhu ekstraksi yang meningkatkan kinetika molekul sehingga memecah ikatan antara selulosa dan komponen lainnya. Setelah melewati proses ekstraksi, atom-atom akan saling berkaitan dan membentuk dimensi kristalinit selulosa. Dimensi kristalinit tersebut berkontribusi terhadap derajat kristalinitas selulosa. Ukuran kristalit selulosa berkaitan dengan kristalinitas selulosa, semakin tinggi ukuran kristalinit, derajat kristalinitas selulosa cenderung rendah. Sebaliknya, rendahnya ukuran kristalit maka derajat kristalinitas selulosa semakin tinggi (Monshi *et al.*, 2012).



Table 3 Diffraction of cellulose extracted from *C. crassa* seaweed  
Tabel 3 Difraksi selulosa yang diekstraksi dari dari rumput laut *C. crassa*

Index	Angle (°)	d-Value (Å)	Relative intensity (%)	Full width at half maximum (FWHM)	Crystalline size (nm)
Extraction temperature 60°C					
1	21.40	4.14706	100	0.050	1688.38
2	22.49	3.94945	94.7	0.050	1704.49
3	26.53	3.35696	8.0	0.053	1617.69
4		2.96267	7.2	0.050	1737.42
5	34.64	2.58681	20.8	0.050	1996.04
Extraction temperature 70°C					
1	21.47	4.13474	100	0.100	844.09
2	26.58	3.35068	10.7	0.100	845.65
3	29.34	3.04117	8.7	0.103	827.34
4	34.59	2.59041	23.3	0.100	858.97
5	67.56	2.38531	5.4	0.100	868.83
Extraction temperature 70°C					
1	20.89	4.24751	61.5	0.100	843.39
2	21.52	4.12573	96.9	0.100	844.26
3	21.94	4.04799	100	0.100	844.85
4	22.38	3.96909	89.7	0.100	845.49
5	23.65	3.75900	37.5	0.100	847.40
6	26.57	3.35204	17.3	0.122	698.55
7	27.74	3.21257	12.3	0.266	321.18
8	29.60	3.01543	12.9	0.100	857.89
9	34.61	2.58893	20.5	0.100	868.76
10	35.46	2.52886	19.2	0.100	870.80
11	36.47	2.46158	16.3	0.173	504.79
12	42.44	2.12791	6.4	0.104	855.56

## KESIMPULAN

Suhu ekstraksi memberikan pengaruh terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin serta karakteristik fisik yang diekstraksi dari rumput laut *C. crassa*. Selulosa yang teridentifikasi dalam penelitian ini terdiri

atas tipe I dan II dengan sebaran difraksi mencapai 27,34% dan 72,66%. Perlakuan terbaik dalam penelitian yakni suhu ekstraksi 70°C dengan kandungan selulosa mencapai 74,17% dan kristalinitas 64,13%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Kristen Wira Wacana Sumba atas pendanaan riset melalui Skema Penelitian Dosen Mandiri (PDM) Tahun 2023 dengan Nomor Kontrak: 003/SB/Pen/LPPM/VI/2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Halim, E. S. (2014). Chemical modification of cellulose extracted from sugarcane bagasse: Preparation of hydroxyethyl cellulose. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(3), 362-371. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.05.006>
- Amezcuca-Allieri, M. A., Sánchez Durán, T., & Aburto, J. (2017). Study of chemical and enzymatic hydrolysis of cellulosic material to obtain fermentable sugars. *Journal of Chemistry*, 5(6), 80-105. <https://doi.org/10.1155/2017/5680105>
- Arca, H. C., Mosquera-Giraldo, L. I., Bi, V., Xu, D., Taylor, L. S., & Edgar, K. J. (2018). Pharmaceutical applications of cellulose ethers and cellulose ether esters. *Biomacromolecules*, 19(7), 2351-2376. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b00517>
- Azubuike, C. P., Odulaja, J., & Okhamafe, A. O. (2012). Physicotechnical, spectroscopic and thermogravimetric properties of powdered cellulose and microcrystalline cellulose derived from groundnut shells. *International Journal of Pharmaceutical Excipients*, 3 (3), 106-115. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1522-4>
- Baghel, R. S., Reddy, C. R. K., & Singh, R. P. (2021). Seaweed-based cellulose: Applications, and future perspectives. *Carbohydrate Polymers*, 267(11), 41-42. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118241>
- Bhutiya, P. L., Misra, N., Rasheed, M. A., & Hasan, S. Z. (2020). Silver nanoparticles deposited algal nanofibrous cellulose sheet for antibacterial activity. *BioNanoScience*, 10(9), 23-33. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00690-4>
- Brahma, R., & Ray, S. (2024). Optimization of extraction conditions for cellulose from jackfruit peel using RSM, its characterization and comparative studies to commercial cellulose. *Measurement: Food*, 13(10), 11-30. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100130>
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (1991). Standar Mutu Selulosa Asetat, Nomor: 06-2115-1991
- Caprita, F. C., Ene, A., & Cantaragiu Ceoromila, A. (2021). Valorification of *Ulva rigida* algae in pulp and paper industry for improved paper characteristics and wastewater heavy metal filtration. *Sustainability*, 13(19), 01-23. <https://doi.org/10.3390/su131910763>
- Chaerunisaa, A. Y., Sriwidodo, S., & Abdassah, M. (2019). Microcrystalline cellulose as pharmaceutical excipient (2<sup>nd</sup>ed., pp. 661-837). IntechOpen in Pharmaceutical Formulation Design-Recent Practices
- Chen, Y. W., Lee, H. V., Juan, J. C., & Phang, S. M. (2016). Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass *Gelidium elegans*. *Carbohydrate Polymers*, 15(1), 1210-1219. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.083>
- Chopra, L. (2022). Extraction of cellulosic fibers from the natural resources: A short review. *Materials Today: Proceedings*, 48(16), 1265-1270. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.267>
- Chowdhury, S. G., Chanda, J., Ghosh, S., Pal, A., Ghosh, P., Bhattacharyya, S., Das, A. (2021). Morphology and physico-mechanical threshold of  $\alpha$ -cellulose as filler in an E-SBR composite. *Molecules*, 26(3), 1-17. <https://doi.org/10.3390/molecules26030694>
- Chundawat, S. P., Donohoe, B. S., da Costa Sousa, L., Elder, T., Agarwal, U. P., Lu, F., & Dale, B. E. (2011). Multi-scale visualization and characterization of lignocellulosic plant cell wall deconstruction during thermochemical pretreatment. *Energy & Environmental Science*, 4(3), 973-984. <https://doi.org/10.1039/C0EE00574F>
- Daicho, K., Kobayashi, K., Fujisawa, S., & Saito, T. (2019). Crystallinity-independent yet modification-dependent true density



- of nanocellulose. *Biomacromolecules*, 21(2), 939-945. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.9b01584>
- Dao, D. N., Le, P. H., Do, D. X., Dang, T. M., Nguyen, S. K., & Nguyen, V. (2023). Pectin and cellulose extracted from coffee pulps and their potential in formulating biopolymer films. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(14), 13117-13125. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02339-x>
- Do, H. T., & Nguyen, H. V. (2018). Effects of spray-drying temperatures and ratios of gum arabic to microcrystalline cellulose on antioxidant and physical properties of mulberry juice powder. *Beverages*, 4(4), 1-13. <https://doi.org/10.3390/beverages4040101>
- Dubey, R., Toh, Y. R., & Yeh, A. I. (2018). Enhancing cellulose functionalities by size reduction using media-mill. *Scientific Reports*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29777-w>
- Franzo, P. (2022, December 01-03). Seaweed Fabrics for Fashion Design. A Field Research Experience [Conference session]. Springer Series in Design and Innovation. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-49811-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-49811-4_4)
- Freile-Peigrín, Y., Chávez-Quintal, C., Caamal-Fuentes, E., Vázquez-Delfín, E., Madera-Santana, T., & Robledo, D. (2020). Valorization of the filamentous seaweed *Chaetomorpha gracilis* (Cladophoraceae, Chlorophyta) from an IMTA system. *Journal of Applied Phycology*, 32(15), 2295-2306. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02066-8>
- Gao, X., Endo, H., & Agatsuma, Y. (2018). Seasonal changes in photosynthesis, growth, nitrogen accumulation, and salinity tolerance of *Chaetomorpha crassa* (Cladophorales, Chlorophyceae). *Journal of Applied Phycology*, 30(11), 1905-1912. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1381-2>
- García-Maraver, A., Salvachúa, D., Martínez, M. J., Díaz, L. F., & Zamorano, M. (2013). Analysis of the relation between the cellulose, hemicellulose and lignin content and the thermal behavior of residual biomass from olive trees. *Waste Management*, 33(11), 2245-2249. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.010>
- Gazali, M., Suhardani, M. N., Husni, A., Nurjanah, Nursid, M., Zuriat, Hasanah, U., & Syafitri, R. (2024). Aktivitas inhibisi tirosinase ekstrak etanol rumput laut *Ulva lactuca* secara in vitro. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(7), 564-585. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i7.53399>
- Ghazali, M., Mardiana, M., Menip, M., & Bangun, B. (2018). Jenis-jenis makroalga epifit pada budidaya (*Kappaphycus alvarezii*) di perairan Teluk Gerupuk Lombok Tengah. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(2), 208-215. <https://doi.org/10.29303/jbt.v18i2.861>
- Goyal, A., Sharma, V., Sihag, M. K., Tomar, S. K., Arora, S., Sabikhi, L., & Singh, A. K. (2015). Development and physico-chemical characterization of microencapsulated flaxseed oil powder: A functional ingredient for omega-3 fortification. *Powder Technology*, 286(78), 527-537. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.08.050>
- Hafid, H. S., Omar, F. N., Zhu, J., & Wakisaka, M. (2021). Enhanced crystallinity and thermal properties of cellulose from rice husk using acid hydrolysis treatment. *Carbohydrate polymers*, 260(45), 01-17. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117789>
- He, X., Lu, W., Sun, C., Khalesi, H., Mata, A., Andaleeb, R., & Fang, Y. (2021). Cellulose and cellulose derivatives: Different colloidal states and food-related applications. *Carbohydrate Polymers*, 255(11), 34-73. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117334>
- Henggu, K. U., Ibrahim, B., & Suptijah, P. (2019). Hidroksiapatit dari cangkang sotong sebagai sediaan biomaterial perancah tulang. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(1), 1-13. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i1.25869>
- Jacob, A. M., Abdullah, A., & Hakimah, S. N. (2024). Potensi ulvan dari *Ulva lactuca* sebagai sumber antioksidan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan*

- Indonesia*, 27(3), 242-251. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i3.46950>
- Jiksing, C., Ongkudon, M. M., Thien, V. Y., Rodrigues, K. F., Yong, W. T. L., Jiksing, C., & Yong, W. T. L. (2022). Recent advances in seaweed seedling production: a review of eucheumatoids and other valuable seaweeds. *Algae*, 37(2), 105-121. <https://doi.org/10.4490/algae.2022.37.5.11>
- Karimi, K., & Taherzadeh, M. J. (2016). A critical review of analytical methods in pretreatment of lignocelluloses: composition, imaging, and crystallinity. *Bioresource Technology*, 200(75), 008-1018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.022>
- Kasim, M. R., Jamil, M. R., & Irawati, N. (2017). Occurrence of macro-epiphyte on *Eucheuma spinosum* cultivated on floating cages. *AACL Bioflux*, 10(3), 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113030>
- Khoo, C. G., Dasan, Y. K., Lam, M. K., & Lee, K. T. (2019). Algae biorefinery: Review on a broad spectrum of downstream processes and products. *Bioresource technology*, 292(12), 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121964>
- Kuthi, F. A. B. A., & Badri, K. H. (2014, September 15-18). Effect of cooking temperature on the crystallinity of acid hydrolysed-oil palm cellulose [Conference session]. The AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/1.4895240>
- Lamo, C., Bargale, P. C., Gangil, S., Chakraborty, S., Tripathi, M. K., Kotwaliwale, N., & Modhera, B. (2024). High crystalline cellulose extracted from chickpea husk using alkali treatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(1), 751-759. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02331-5>
- Magalhães, S., Fernandes, C., Pedrosa, J. F., Alves, L., Medronho, B., Ferreira, P. J., & Rasteiro, M. D. G. (2023). Eco-friendly methods for extraction and modification of cellulose: An Overview. *Polymers*, 15(14), 3138. <https://doi.org/10.3390/polym15143138>
- Maradesa, A., Py, B., Quattrocchi, E., & Ciucci, F. (2022). The probabilistic deconvolution of the distribution of relaxation times with finite Gaussian processes. *Electrochimica Acta*, 413(87), 119-140. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140119>
- Mentari, P. R. A., Andreansyah, I., Amanda, P., Marlina, R., Suharti, S., Agustina, S., & Syamani, F. A. (2023). Cellulose isolation and characterization of green seaweed *C. Lentillifera* from Halmahera, Indonesia. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 12(2), 112-119. <https://doi.org/10.15294/jbat.v12i2.44578>
- Monshi, A., Foroughi, M. R., & Monshi, M. R. (2012). Modified Scherrer equation to estimate more accurately nano-crystallite size using XRD. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 2(3), 154-160. <https://doi.org/10.4236/wjnse.2012.23020>
- Nechyporchuk, O., Belgacem, M. N., & Bras, J. (2016). Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Industrial Crops and Products*, 93(06), 2-25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.016>
- Ng, H. M., Sin, L. T., Tee, T. T., Bee, S. T., Hui, D., Low, C. Y., & Rahmat, A. R. (2015). Extraction of cellulose nanocrystals from plant sources for application as reinforcing agent in polymers. *Composites Part B: Engineering*, 75(23), 176-200. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.01.008>
- Nofrerias, I., Nardi, A., Suñé-Pou, M., Suñé-Negre, J. M., García-Montoya, E., Pérez-Lozano, P., Miñarro, M. (2019). Comparison between Microcrystalline Celluloses of different grades made by four manufacturers using the SeDeM diagram expert system as a pharmaceutical characterization tool. *Powder Technology*, 342(112), 780-788. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.048>
- Nufus, C., Nurjanah, Abdullah A. 2017. Karakteristik rumput laut hijau dari perairan Kepulauan Seribu dan Sekotong Nusa Tenggara Barat sebagai antioksidan.



- Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3), 620-632. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i3.19819>
- Nurjanah, Jacob, A. M., Ramlan., & Abdullah, A. (2020). Penambahan genjer (*Limnocharis flava*) pada pembuatan garam rumput laut hijau untuk penderita hipertensi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(3), 459-469. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i3.32462>
- Nurjanah, Nurilmala, M., Alfarizi, S., Rochima, E., Wahyuni, D. S., & Seulalae, A. V. (2024, June 6). Characterization of seaweed healthy salt from Indonesian *Ulva lactuca* and *Chaetomorpha* sp. flour [Conference session]. 6<sup>th</sup> EMBRIO International Symposium: "Ocean for Prosperity: Sustainably Use of the Ocean Resources for Economic Growth, Improvement of Livelihoods, and Preserve its Ocean Ecosystem Health" (EIS 2023). <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411209002>
- Nurjanah., Abdullah, A., & Nufus, C. (2018). Karakteristik sediaan garam *Ulva lactuca* dari perairan Sekotong Nusa Tenggara Barat bagi pasien hipertensi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(1), 109-117. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i1.21455>
- Nurjanah., Suwandi, R., Anwar, E., Maharany, F., & Hidayat, T. (2020, Agustus 05-06). Characterization and formulation of sunscreen from seaweed *Padina australis* and *Eucheuma cottonii* slurry [Conference session]. The 4th EMBRIO International Symposium; EIS 2019 and the 7th International Symposium Technologists Association, Bogor, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/404/1/012051.5>
- Nwachukwu, N., & Ofoefule, S. I. (2020). Effect of drying methods on the powder and compaction properties of microcrystalline cellulose derived from *Gossypium herbaceum*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 56(1), 60-86. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902020000118060>
- Park, S., Baker, J. O., Himmel, M. E., Parilla, P. A., & Johnson, D. K. (2010). Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnology for Biofuels*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-3-10>
- Pratiwi, A. R., Fadlilah, I., Ananingsih, V. K., & Meiliana. (2021). Protein dan asam amino pada *edible Sargassum aquifolium*, *Ulva lactuca*, dan *Gracilariopsis longissima*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 24(3), 337-346. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v24i3.37085>
- Putra, I. D., Arsana, D. P. S., & Merlina Prabayanti, N. P. (2015). Studi Karakteristik Farmasetis Mikrokristalin Selulosa dari Jerami Padi Varietas Lokal Bali. *Indonesian Journal of Materials Science*, 17(3), 119-123. <https://doi.org/10.17146/JSMI.2016.17.3.4192>
- Ramadhan, W., Uju., Hardiningtyas, S. D., Pari, R. F., Nurhayati, & Sevica, D. (2022). Ekstraksi polisakarida ulvan dari rumput laut *Ulva lactuca* berbantu gelombang ultrasonik pada suhu rendah. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(1), 132-142. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i1.40407>
- Rana, R. H., Rana, M. S., Tasnim, S., Haque, M. R., Kabir, S., Amran, M. S., & Chowdhury, A. A. (2022). Characterization and tableting properties of microcrystalline cellulose derived from waste paper via hydrothermal method. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(6), 140-147. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.120613>
- Ruel, K., Nishiyama, Y., & Joseleau, J. P. (2012). Crystalline and amorphous cellulose in the secondary walls of *Arabidopsis*. *Plant Science*, 193(101), 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.008>
- Saker, A., Cares-Pacheco, M. G., Marchal, P., & Falk, V. J. P. T. (2019). Powders flowability assessment in granular compaction: What about the consistency of Hausner ratio?. *Powder Technology*, 354(87), 52-

63. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.032>
- Salem, D. M., & Ismail, M. M. (2022). Characterization of cellulose and cellulose nanofibers isolated from various seaweed species. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 48(4), 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.11.001>
- Salem, K. S., Kasera, N. K., Rahman, M. A., Jameel, H., Habibi, Y., Eichhorn, S. J., Lucia, L. A. (2023). Comparison and assessment of methods for cellulose crystallinity determination. *Chemical Society Reviews*, 5(2), 6417-6446. <https://doi.org/10.1039/D2CS00569G>
- Santmartí, A., & Lee, K. Y. (2018). Crystallinity and Thermal Stability of Nanocellulose. In *Nanocellulose and sustainability* (pp. 67-86). CRC Press.
- Sartika, D., Firmansyah, A.P., (2022). Optimasi suhu dan waktu proses delignifikasi pada Isolasi selulosa dari tongkol jagung. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian AGROTECHNO*, 7(1), 79-88. <https://doi.org/10.24843/JITPA.2022.v07.i01.p10>
- Sayanjali, S., Lu, Y., & Howell, K. (2024). Extraction and characterization of cellulose from broccoli stems as a new biopolymer source for producing carboxymethyl cellulose films. *International Journal of Food Science*, 2024(1), 766-793. <https://doi.org/10.1155/2024/7661288>
- Seulalae, A. V., Prangdimurti, E., Adawiyah, D. R., & Nurjanah. (2023). Evaluasi tingkat keasinan relatif dan profil sensori garam rumput laut menggunakan metode *magnitude estimation* dan *rate-all-that-apply* (RATA). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 26(1), 54-66. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v26i1.44466>
- Shen, D., Xiao, R., Gu, S., & Zhang, H. (2013). The overview of thermal decomposition of cellulose in lignocellulosic biomass. *Cellulose-Biomass Conversion*, 12(5), 193-226. <https://doi.org/10.5772/51883>
- Siddhanta, A. K., Chhatbar, M. U., Mehta, G. K., Sanandiyaa, N. D., Kumar, S., Oza, M. D., & Meena, R. (2011). The cellulose contents of Indian seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 23(6), 919-923. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9599-2>
- Siddhanta, A. K., Kumar, S., Mehta, G. K., Chhatbar, M. U., Oza, M. D., Sanandiyaa, N. D., Chejara, D. R., Godiya, C. B., & Kondaveeti, S. (2013). Cellulose contents of some abundant Indian seaweed species. *Natural Product Communications*, 8(4), 19-34. <https://doi.org/10.1177/1934578X1300800423>
- Sikora, A., Hájková, K., & Jurczykova, T. (2022). Degradation of chemical components of thermally modified Robinia pseudoacacia L. wood and its effect on the change in mechanical properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15-36. <https://doi.org/10.3390/ijms232415652>
- Solhi, L., Guccini, V., Heise, K., Solala, I., Niinivaara, E., Xu, W., Kontturi, E. (2023). Understanding nanocellulose-water interactions: Turning a detriment into an asset. *Chemical Reviews*, 123(5), 1925-2015. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00611>
- Squinca, P., Bilatto, S., Badino, A. C., & Farinas, C. S. (2022). The use of enzymes to isolate cellulose nanomaterials: A systematic map review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100212>
- Tasnim, S., Tipu, M. F. K., Rana, M. S., Rahim, M. A., Haque, M., Amran, M. S., Chowdhury, J. A. (2023). Modification of bulk density, flow property and crystallinity of microcrystalline cellulose prepared from waste cotton. *Materials*, 16(16), 56-64. <https://doi.org/10.3390/ma16165664>
- Tialiou, A., Athab, Z. H., Woodward, R. T., Biegler, V., Keppler, B. K., Halbus, A. F., Chin, J. M. (2023). Fabrication of graded porous structure of hydroxypropyl cellulose hydrogels via temperature-induced phase separation. *Carbohydrate Polymers*, 315(12), 09-18. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120984>
- Tsutsui, I., Miyoshi, T., Aue-umneoy,





- D., Songphatkaew, J., Meeanan, C., Klomkling, S, Hamano, K. (2015). High tolerance of *Chaetomorpha* sp. to salinity and water temperature enables survival and growth in stagnant waters of central Thailand. *International Aquatic Research*, 7(2), 47-62. <https://doi.org/10.1007/s40071-014-0092-4>
- Turchiuli, C., Fuchs, M., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., & Dumoulin, E. (2005). Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(1), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.11.005>
- Ullah, H., Santos, H. A., & Khan, T. (2016). Applications of bacterial cellulose in food, cosmetics and drug delivery. *Cellulose*, 23, 2291-2314. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0986-y>
- Ward, G. M., Faisan Jr, J. P., Cottier-Cook, E. J., Gachon, C., Hurtado, A. Q., Lim, P. E., Brodie, J. (2020). A review of reported seaweed diseases and pests in aquaculture in Asia. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4), 815-828. <https://doi.org/10.1111/jwas.12649>
- Wei, X., Wang, Y., Li, J., Wang, F., Chang, G., Fu, T., & Zhou, W. (2018). Effects of temperature on cellulose hydrogen bonds during dissolution in ionic liquid. *Carbohydrate polymers*, 201(53), 387-391. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.031>
- Wulandari, W. T., Rochliadi, A., & Arcana, I. M. (2016, September 08-09). Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. [Conference session]. The 10<sup>th</sup> Conference on Chemistry, Solo, Indonesia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012045>
- Xiang, Z., Gao, W., Chen, L., Lan, W., Zhu, J. Y., & Runge, T. (2016). A comparison of cellulose nanofibrils produced from *Cladophora glomerata* algae and bleached eucalyptus pulp. *Cellulose*, 23(1), 493-503. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0840-7>