

**ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANOKRISTAL SELULOSA DARI
RUMPUT LAUT *Eucheuma cottonii***

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu
(S1) pada program studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan*



**Oleh :
Nurul Aulia
2004127**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
KAMPUS SERANG**

2024

**ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANOKRISTAL SELULOSA DARI
RUMPUT LAUT *Eucheuma cottonii***

Oleh

Nurul Aulia

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan pada Fakultas Kampus Serang

©Nurul Aulia

Universitas Pendidikan Indonesia

2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Nurul Aulia

NIM : 2004127

Program Studi : Pendidikan Kelautan dan Perikanan

Judul Skripsi :

ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANOKRISTAL SELULOSA DARI RUMPUT LAUT *Eucheuma Cottonii*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperoleh untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan Kampus UPI di Serang Universitas Pendidikan Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Penguji I : Mad Rudi S.Pd., M.Si.
NIPT. 920200819900322101

Penguji II : Ahamd Beni Rouf, S.Pi., M.Si.
NIPT. 920230219931124101

Penguji III : Ahmad Satibi, S.Pd., M.Pd.
NIPT. 920200819920922101



Ditetapkan di : Serang

Tanggal : 19 Agustus 2024

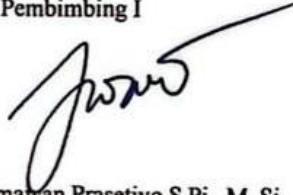
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

NURUL AULIA

ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANO KRISTAL SELULOSA DARI
RUMPUT LAUT *Eucheuma Cottonii*

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Himawan Prasetyo S.Pi., M. Si.
NIPT. 920200819890313102

Pembimbing II



Agung Setyo Sasongko, S. Kel., M. Si.
NIPT. 920190219880207101

Pembimbing III

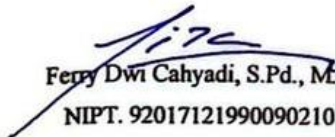


TT ELEKTRONIK

Prof. Dr. Ir. Hari Eko Irianto
NIP.196005091986031002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan



Ferry Dwi Cahyadi, S.Pd., M.Sc.
NIPT. 920171219900902101



Dokumen ini diandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BIRE, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, penulis berhasil menyelesaikan skripsi berjudul "Isolasi dan Karakteristik nanokristal selulosa dari rumput laut *Eucheuma cottonii*" dengan lancar. Segala puji dan rasa syukur kami sampaikan kepada Tuhan semesta alam atas nikmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam semoga tercurah limpahkan kepada kekasih umat Nabi Muhammad SAW.

Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih atas bantuan dan dukungan yang diberikan oleh banyak pihak dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis ucapkan terima kasih atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan bapak Himawan Prasetyo S.Pi., M. Si sebagai pembimbing I, bapak Agung Setyo Sasongko, S. Kel., M. Si sebagai pembimbing II dan bapak Prof. Dr. Ir. Hari Eko Irianto sebagai Pembimbing III saya sekaligus pembimbing saya di BRIN tempat saya diterima untuk penelitian. Tanpa bantuan mereka, penyelesaian skripsi ini tidak akan terwujud dengan baik.

Saya juga ingin menyampaikan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu dalam perizinan, bimbingan, saran, dukungan, motivasi, dan bantuan moral serta moril. Saya menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, baik dari segi kepenulisan, kosakata, tata bahasa, maupun isi. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca, yang akan saya jadikan sebagai evaluasi untuk penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan ide atau gagasan untuk penelitian selanjutnya. Terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Sebagai ungkapan rasa syukur, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasi kepada semua pihak yang telah berperan dalam proses penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih tersebut khususnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Solehuddin, M.Pd., M.A., selaku Rektor Universitas Pendidikan Indonesia.
2. Bapak Dr. Supriadi, M.Pd., selaku Direktur kampus UPI di Serang Universitas Pendidikan Indonesia
3. Bapak Ferry Dwi Cahyadi, S.Pd., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan Universitas Pendidikan Indonesia.
4. Bapak Mad Rudi, S.pd., M.Si sebagai dosen akademik penulis
5. Bapak Himawan Prasetyo, M. Si, Bapak Agung Setyo Sasongko, M. Si dan Bapak Prof. Ir. Dr Hari Eko Irianto selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun untuk penulis serta kesediaan waktu yang telah diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Ibu Dina Fransiska M. Si yang sudah membantu, memberikan motivasi, saran, dan pengetahuan kepada penulis selama penelitian ini dan ibu Dr. Ellya Sinurat yang sudah mendampingi peneliti dalam proses penelitian.
7. Para dosen Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan yang telah banyak memberikan ilmu dan arahan selama menempuh pendidikan sarjana.
8. Program Magang Kampus Merdeka (MBKM) Badan Riset Inovasi Nasional, Ancol. Jakarta yang telah memberikan fasilitas laboratorium sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian. Termasuk para peneliti Pusat Riset Bioindustri Laut dan Perairan Darat Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberikan masukan, saran serta membantu dalam pengambilan data penelitian.
9. Bapak Alm. Jaenal Arifin sebagai cinta pertama penulis Ibu Nani sebagai surga didunia dan selaku orang tua penulis, orang tua hebat yang selalu senantiasa menjadi penyemangat. seseorang yang saya sebut papa yang paling saya rindukan dan berhasil membuat saya bangkit dari kata menyerah dan terutama

kepada ibu nani sebagai sosok malaikat yang tercipta untuk penulis didunia ini sebagai sandaran terkuat, sosok penyemangat, yang selalu memberikan cinta kasihnya dengan tulus kepada anak-anaknya. Terimakasih untuk semua doa dan dukungan mama sehat selalu dan tolong hiduplah lebih lama lagi, mama harus selalu ada disetiap perjalanan dan pencapain hidup penulis.

10. Nia Desianti, June suhaeti, Vivi Aryani, Riki Syaputra, Diki ivandy, sebagai tth dan aa penulis terimakasih yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, finansial dan menjadi garda terdepan kebutuhan apapun untuk adik bungsunya ini.
11. Seseorang dengan NIM.11220026 yang tak kalah penting kehadirannya, terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, yang selalu ada mendampingi penulis dari awal seleksi masuk perguruan tinggi hingga akhir dari perjalanan sarjana S1. Yang berkontribusi banyak dalam penyusunan skripsi walaupun sama-sama sedang menyusun tapi selalu meluangkan waktu, membantu dalam penyusunan skripsi, tenaga maupun materi kepada penulis, telah bersedia menjadi pendamping dalam segala hal, mendukung, memberikan masukan ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, serta memberikan apresiasi dan semangat untuk tidak pantang menyerah dalam penulisan skripsi ini.
12. Nurvindhia Istiqomah Putri sahabat seperjuangan penulis, teman sepembimbingan dan tentunya teman baik penulis, Terimakasih karena sudah menerima baik buruknya penulis. Menjadi teman menangis, mengeluh bersama selama penyusunan skripsi ini. Menjadi penyemangat dan meyakinkan penulis disaat rasa *insecure*nya datang, terimakasih karna sudah mau diajak menggila bareng dan bertahan sejauh ini.
13. Ghina Rahimah, Lilis Suryaningsih, dani febrian s.p teman seperjuangan brin, tim kimling jozz yang sudah mau berjuang bareng dengan peneliti dalam mengerjakan penelitian diprantauan, membantu dalam penelitian, menjadi penghibur disaat isi kepala penuh, dan menjadi teman sekaligus keluarga baru.
14. Shartika Pratiwi, Dea aprilia, Silvia Ramadhani, Nengsih sutihat, Wulan septiani sahabat penulis dari SMP yang selalu memberikan support dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

15. Anisa Sekar H, Ghea Hadiani, Maria, Rahma attilah, Pratiwi A, Amalia P, neng hera. Selaku teman baik penulis dalam menjalankan pendidikan perkuliahan selama 4th. Yang memberikan support dan motivasi kepada penulis.
16. Safa jania p.p, Maura, El-Gazali, Kenzie, Gaizka, Gufran keponakan penulis yang memberikan semangat dan menjadi penghibur dikala pusing melanda.
17. Teman-teman Barakuda angkatan 2020 yang turut berjuang bareng dalam menempuh sarjana pendidikan kelautan dan perikanan.
18. Teruntuk Nurul Aulia, diri saya sendiri terimakasih karna sudah bertahan sejauh ini dengan segala proses yang sudah dilewati. Baik buruknya perjalanan ayo syukuri lebih banyak Semoga apa yang dicita-citakan terwujud satu-satu. Kita berjuang lebih lagi pelan-pelan dengan doa, pelan-pelan dengan proses, pelan pasti tuhan kasih yang terbaik kalo kata baskara dalam lagu yang berjudul nina “Maaf atas perjalanan yang tidak sempurna namun percayalah untukmu aku jual dunia”.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Kampus UPI di Serang Universitas Pendidikan Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Aulia

NIM : 2004127

Program Studi : Pendidikan Kelautan dan Perikanan

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pendidikan Indonesia Kampus Serang **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANOKRISTAL SELULOSA DARI
RUMPUT LAUT *Eucheuma Cottoni*”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Pendidikan Indonesia Kampus Serang berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Serang

Pada tanggal : 19 Agustus 2024

Yang menyatakan,


Nurul Aulia

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian dengan judul **“ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANOKRISTAL SELULOSA DARI RUMPUT LAUT *Eucheuma Cottonii*”** ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Serang, 19 Agustus 2024



Nurul Aulia

ISOLASI DAN KARAKTERISTIK NANOKRISTAL SELULOSA DARI RUMPUT LAUT *Eucheuma Cottonii*

Nurul Aulia

*Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan, Kampus UPI di Serang
Universitas Pendidikan Indonesia*

Pembimbing:

Himawan Prasetyo S.Pi., M. Si
Agung Setyo Sasongko, S. Kel., M. Si
Prof. Dr. Ir. Hari Eko Irianto

ABSTRAK

Rumput Laut *Eucheuma cottonii* memiliki banyak manfaat yang dapat dimanfaatkan dibidang makanan, industri, obat dan biomedis, sebagai penghasil selulosa terbanyak dibanding rumput laut lainnya, nanokristal selulosa merupakan inovasi baru yang bagus untuk keberlangsungan bahan utama biomedis. *Biodegradable hydrogel scaffold* berbasis biopolimer yang berasal dari alam dapat menjadi solusi untuk masalah penggunaan *bioresorbable vascular scaffold* (BVS) untuk jantung koreoner. Biopolimer digunakan sebagai bioink berasal dari selulosa, seperti nanomaterial yang berbasis selulosa nanokristal (CNC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perlakuan suhu hidrolisis asam yang optimal, karakteristik selulosa *Eucheuma cottonii* dan metode yang digunakan. pembuatan kristal selulosa nanokristal rumput laut *Eucheuma cottonii* sebagai bahan utama pembuatan dalam penelitian ini dengan berbagai perlakuan menggunakan larutan asam, basa, bleaching dengan perlakuan suhu hidrolisis asam 30°C, 45°C, 60°C, 75°C. analisis karakteristik data hasil rendemen, kadar air, FTIR, XRD, TGA, dan FESEM. Hasil penelitian analisis karakterisasi struktural hasil FTIR memiliki peak tertinggi pada suhu 75°C (1028cm^{-1}). mengungkapkan bahwa CNC yang dibuat memiliki kristalinitas tinggi (73,0%) pada suhu 45°C penghilangan komponen non-selulosa dan daerah amorf melalui perlakuan kimia, memiliki stabilitas suspensi suhu yang baik. Meskipun selulosa yang diekstraksi menunjukkan stabilitas termal yang lebih rendah dibandingkan CNC komersil, selulosa yang diekstraksi memiliki rentang suhu yang sama luasnya karena memiliki perilaku degradasi dua tahap, dengan berat residu yang tinggi (18,03%) proses delignifikasi basa dan pemutihan menyebabkan permukaan banyak perubahan dari halus kasar dan juga berpori terlihat pada suhu 45°C pada pembesaran 100.000x dan untuk suhu 75°C yang memiliki hasil serat yang terlihat pada pembesaran 5000x hasil analisa komponen kuantitatif selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Kata Kunci: Nanokristal, Karakteristik selulosa, Suhu hidrolisis asam, BVS

ISOLATION AND CHARACTERISTICS OF CELLULOSE NANOCRYSTALS FROM *Eucheuma cottonii*

Nurul Aulia

*Program Studi Pendidikan Kelautan dan Perikanan, Kampus UPI di Serang
Universitas Pendidikan Indonesia*

Supervisor:

Himawan Prasetyo S.Pi., M. Si
Agung Setyo Sasongko, S. Kel., M. Si
Prof. Dr. Ir. Hari Eko Irianto

ABSTRACT

Eucheuma Cottonii Seaweed has many benefits that can be utilized in the fields of food, industry, medicine, and biomedicine; as the largest producer of cellulose compared to other seaweeds, cellulose nanocrystals are an excellent innovation for the sustainability of biomedical main ingredients. Biodegradable hydrogel scaffolds based on natural biopolymers can solve the problem of using bioresorbable vascular scaffolds (BVS) for coronary heart disease. Biopolymers used as bioink are derived from cellulose, such as nanomaterials based on cellulose nanocrystals (CNC). This study aims to determine the optimal acid hydrolysis temperature treatment, the characteristics of *Eucheuma cottonii* cellulose, and the methods used. The manufacture of cellulose nanocrystals of *Eucheuma cottonii* seaweed as the main ingredient in this study with various treatments using acidic solutions, bases, and bleaching with acid hydrolysis temperature treatments 30°C, 45°C, 60°C, 75°C. Analysis of data characteristics of yield results, water content, FTIR, XRD, TGA, and FESEM. The results of the structural characterization analysis of FTIR results have the highest peak at 75°C (1028cm⁻¹). Revealed that the prepared CNC has high crystallinity (73.0%) at 45°C removal of non-cellulose components and amorphous areas through chemical treatment, and has good temperature suspension stability. Although the extracted cellulose showed lower thermal stability than the commercial CNC, the extracted cellulose has the same wide temperature range because it has a two-stage degradation behavior with a high residual weight (18.03%). The alkaline delignification and bleaching process causes the surface to change a lot from smooth to rough and also porous seen at 45°C at 100,000x magnification and for 75°C temperature which has fiber results seen at 5000x magnification quantitative component analysis results of cellulose, hemicellulose and lignin.

Keywords: *Eucheuma cottonii*, Nanocrystals, Cellulose characteristics, Acid hydrolysis temperature, BVS

DAFTAR ISI

HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG.....	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	IV
KATA PENGANTAR	V
HALAMAN PERSEMBAHAN	VI
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	IX
HALAMAN PERNYATAAN	X
ABSTRAK.....	XI
ABSTRACT	XII
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR TABEL	XVI
DAFTAR GAMBAR	XVII
LAMPIRAN.....	XVIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1. Manfaat Teoritis.....	4
2. Manfaat Praktis.....	4
1.5 Struktur Organisasi.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6

2.1 Rumput Laut.....	6
2.2 Selulosa.....	11
2.3 Nanokristal Selulosa.....	14
2.4 Jantung Koroner.....	17
2.5 Metode Pemisahan Selulosa.....	23
2.5.1 Alkalinisasi.....	23
2.5.2 Pemutihan.....	23
2.5.3 Hidrolisis Asam.....	24
2.6 Karakterisasi.....	24
2.6.1 Uji FT-IR (<i>Fourier Transform InfraRed</i>).....	24
2.6.2 Uji TGA (<i>Thermogravimetric analysis</i>).....	25
2.6.3 Uji XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>).....	25
2.6.4 Uji FESEM.....	25
2.6.4 Uji Kadar Air.....	26
2.6.5 Rendemen.....	26
2.7 Penelitian yang relevan.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Jenis Penelitian.....	29
3.2 Populasi dan Sampel.....	29
3.3 Tempat dan Waktu.....	29
3.5 Prosedur Penelitian.....	30
Persiapan Alat dan Bahan.....	30
3.5.1 Bahan.....	30
3.5.2 Alat.....	30
3.6 Diagram Alur Penelitian.....	30
3.7 Prosedur Penelitian.....	31
3.7.1 Preparasi Rumput Laut <i>Eucheuma cottonii</i>	31
3.7.2 Proses Alkalinisasi (Ekstraksi Selulosa).....	31
3.7.3 Proses Pemutihan atau bleaching (Ekstraksi Selulosa).....	31
3.7.4 Proses Hidrolisis Asam (Ekstraksi Selulosa).....	31
3.7.5 Proses <i>Centrifuge</i>	32

3.7.6 Proses <i>Ultrasonic</i>	32
3.7.8 Proses <i>Freeze dryer</i>	32
3.8 Analisis Data	32
3.8.1 Rendemen	32
3.8.2 FTIR.....	32
3.8.3 XRD	33
3.8.4 TGA	33
3.8.5 FESEM.....	34
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Rendemen.....	35
4.2 Analisis FTIR.....	36
4.3 Analisis TGA.....	38
4.4 Analisis XRD.....	41
4.5 Analisis FESEM.....	43
BAB V KESIMPULAN.....	46
5.1 Simpulan.....	46
5.2 Implikasi.....	47
5.3 Rekomendasi.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Rumput Laut <i>Eucheuma cottoni</i> , Vuoulda D. Loupatty 2014.....	8
Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu mengenai ekstraksi dan isolasi selulosa	26
Tabel 4. 1 Pita Serapan ekstraksi CNC dari <i>Eucheuma Cottoni</i>	37
Tabel 4. 2 Suhu degradasi awal dan akhir dari sampel	40
Tabel 4. 3 pengukuran ukuran pada nanokristal selulosa (CNC) Rumput laut <i>Eucheuma cottonii</i>	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rumput Laut Kering	7
Gambar 2. 2 Struktur Selulosa.....	11
Gambar 2. 3 Rumus Struktur α – selulosa (Fernando, 2016)	12
Gambar 2. 4 Rumus struktur beta selulosa (Fernando, 2016)	13
Gambar 2. 5 Penyakit Jantung Koroner (Yudiatman, 2023)	19
Gambar 2. 6 Angioplasti balon (Cath Lab, 2020)	20
Gambar 2. 7 Evolusi teknologi dengan keuntungan dan resiko yang terkait dengan pengobatan angioplasti (Pidhatika et al., 2022).....	20
Gambar 2. 8 Nasib perancah vaskular yang dapat diserap secara hayati mulai dari implantasi hingga biodegradasi sempurna pada arteri yang ditanakaN (K. Revathi, 2017)	21
Gambar 2. 9 Mekanisme kerja perancah vaskular Bioresorbable (K. Revathi 2017)	21
Gambar 2. 10 Informasi perancah hidrogel berpori dengan porositas seragam dan gradien yang dicetak dengan gerakan nosel A(NM-A). (Dutta et al, 2021)	22
Gambar 3. 1 Diagram Penelitian	30
Gambar 4. 1 Rendemen selulosa Nanokristal Eucheuma cottonii Suhu pemanasan 30°C, Suhu Pemanasan 45°C, Suhu Pemanasan 60°C dan Suhu Pemanasan 75°C	35
Gambar 4. 2 Grafik hasil rendemen perlakuan suhu 30°C, 45°C, 60°C dan 75°C	35
Gambar 4. 3 Hasil FTIR CNC dan perlakuan suhu 30°C, 45°C, 60°C dan 75°C.37	
Gambar 4. 4 Hasil TGA CNC dan perlakuan suhu 30°C, 40°C, 60°C dan 75°C	39
Gambar 4. 5 Hasil XRD perlakuan suhu 30°C, 45°C, 60°C, dan 75°C	42
Gambar 4. 6 Hasil FESEM CNC dan perlakuan suhu 30°C, 45°C, 60°C dan 75°C	44

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	51
Lampiran 2. Hasil Anlisis TGA.....	55

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Subhedar, Swarnim Bhadauria, Sandeep Ahankari, Hanieh Kargarzadeh. (2020) Nanocellulose in biomedical and biosensing applications: A review. S0141-8130(20)34870-4. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.217>
- Basmal, J., Munifah, I., Rimmer, M., & Paul, N. (2020). Identification and characterization of solid waste from *Gracilaria* sp. extraction. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 404, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.
- Daniel Bondeson, Aji Mathew and Kristiina Oksman, (2006) Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis 13:171 –180, DOI 10.1007/s10570-006-9061-4.
- Dr. Sun Theo Constan Lotebulo Ndruru, Veronika Ariva Asta, Rifa Al Razi Hidayat, Rista Siti Mawarni, Dr. Anita Marlina, Evi Yulianti, Dr. Aniek Sri Handayani, Hikmat, Dr. Rabiyyatul Adawiyah Siregar, Prof. Dr. Leny Heliawati, Dr. Aseel Abdulameer Kareem, Dr. Muh. Nur Khoiru Wihadi, Atika Trisna Hayati, Ridho Prasetyo. (2024). Isolation, Modification, and Characterization of Local Indonesia's Sugarcane Bagasse Cellulose for Dye-Adsorbent Application, <https://doi.org/10.1002/slct.202302812>
- E. Fortunati a, F. Luzi a, D. Pugliaa, R Petrucci a, J.M. Kenneya, b, L. Torrea (2015). Processing of PLA nanocomposites with cellulose nanocrystals extracted from *Posidonia oceanica* waste: Innovative reuse of coastal plant Vol 67, May Pages 439-447. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.075>
- El-Sheekh, M.M., Yousuf, W.E., Kenawy, ER. et al. (2023) Biosynthesis of cellulose from *Ulva lactuca*, manufacture of nanocellulose and its application as antimicrobial polymer. Sci Rep 13, 10188.
- F. Luzi, E. Fortunati, D. Puglia, R. Petrucci, J.M. Kenny and L. Torre. (2016) Modulation of Acid Hydrolysis Reaction Time for the Extraction of Cellulose Nanocrystals from *Posidonia oceanica* Leaves. Vol. 4, No. 3. DOI: 10.7569/JRM.2015.634134
- Feifei Wang, Yan Cao¹, Zhenzhou Zhu¹, Baoyan Gao, Chengwu Zhang. (2021). Physicochemical Characteristics of Cellulose Nanocrystals Derived from the Residue of Filamentous Microalgae *Tribonema utriculosum*, 193:2430–2442 <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03495-y>.
- Goli-Malekabadi, Z., Pournaghme, S. (2022). Nanocellulose for Vascular Grafts and Blood Vessel Tissue Engineering. In: Barhoum, A. (eds) Handbook of Nanocelluloses. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89621-8_38
- Gomaa, M., Al-Badaani, A.A., Hifney, A.F. et al. (2022) Utilization of cellulose and ulvan from the green seaweed *Ulva lactuca* in the development of composite edible films with natural antioxidant properties. J Appl Phycol 34, 2615–2626.
- Hachaichi A, Kouini B, Kian LK, Asim M, Fouad H, Jawaid M, Sain M. (2021) Nanocrystalline Cellulose from Microcrystalline Cellulose of Date Palm Fibers as a Promising Candidate for Bio-Nanocomposites: Isolation and

- Characterization. *Materials* (Basel). 15;14(18):5313. doi: 10.3390/ma14185313. PMID: 34576536; PMCID: PMC8472803.
- Hansol Doh, Min Hyeock Lee, William Scott Whiteside (2019), Physicochemical Characteristics of Cellulose Nanocrystals Isolated From Seaweed Biomass. S0268-005X (19)31551-6 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105542>.
- Hansol Doh, Kyle D. Dunno, William Scott Whiteside (2020). Preparation of novel seaweed nanocomposite film from brown seaweeds *Laminaria japonica* and *Sargassum natans*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105744>
- Holilah Holilah, Lisman Suryanegara, Hasliza Bahruji, Nanang Masruchin, Suprpto Suprpto, Ratna Ediaty, Asranudin Asranudin, Aishah A. Jalil, Dini Viandi Ramadhani, Zuratul Ain Abdul Hamid, Didik Prasetyoko. (2023) Nanocrystalline cellulose from lactic acid hydrolysis of pepper waste (*Piper nigrum* L.) <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.11.084>.
- Kona Mondal, Shinichi Sakurai, Yoko Okahisa, Vaibhav V. Goud, Vimal Katiyar. (2021) Effect of cellulose nanocrystals derived from *Dunaliella tertiolecta* marine green algae residue on crystallization behaviour of poly (lactic acid). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117881>
- L. Chavez Guerrero, A. Toxqu Teran, O. Perez Camacho. (2021) One-pot isolation of nanocellulose using pelagic *Sargassum* spp. from the Caribbean coastline. Vol. 34, 637–645.
- Mariia Kazharska, Yuanyuan Ding, Muhammad Arif, Fei Jiang, Ying Cong, Hong ying Wang, Chunhai Zhao, Xinmin Liu, Zhe Chi, Chenguang Liu (2019). Cellulose nanocrystals derived from *Enteromorpha prolifera* and their use in developing bionanocomposite films with water-soluble polysaccharides extracted from *E. prolifera*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.058>.
- Melvir R. Sucaldito, Drexel H. Camacho (2017). Characteristics of unique HBr-hydrolyzed cellulose nanocrystals from freshwater green algae (*Cladophora rupestris*) and its reinforcement in starch-based film <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.031>.
- Mounir ElAchaby, Zineb Kassab, Adil Aboulkas, Cédric Gaillard, Abdellatif Barakat. (2018) Reuse of red algae waste for the production of cellulose nanocrystals and its application in polymer nanocomposites. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.067>.
- MustafaM.El-Sheekh, WesamE.Yusuf, El-Refaie Kenawy, TarekM.Muhammad (2023) Biosynthesis of cellulose from *Ulva lactuca*, manufacture of nanocellulose and its application as antimicrobial polymer. 13:10188 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37287-7>
- Nissa, R. C., Abdullah, A. H. D., Firdiana, B., Kosasih, W., Endah, E. S., Marlia, S., & Rahmat, A. (2023). Characterization of microcrystalline cellulose from red seaweed *Gracilaria verucosa* and *Eucheuma cottonii*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1201, No. 1, p. 012101). IOP Publishing.

- Processing of PLA nanocomposites with cellulose nanocrystals extracted from *Posidonia oceanica* waste: Innovative reuse of coastal plant, <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.075> 0926-6690.
- S Stevena, Mardiyatia, Silvia Mar'atus Shoimaha, Raden Reza Rizkiansyaha, Sigit Puji Santosab, Rochim Suratmana. (2021) Preparation and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from *Cladophora* sp. Algae. Vol.11 (2021) No. 3 ISSN: 2088-5334.
- Shahab Saedi, Jun Tae Kim, Mastaneh Shokri, Ju-Hyoung Kim, Gye Hwa Shin (2022). Green seaweed (*Ulva ohnoi*) as a new eco-friendly source for preparing transparent and functional regenerated cellulose composite films 30:3041–3059 <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05055-5>
- Siti Zarina Zakuwan, and Ishak Ahmad. (2019) Effects of Hybridized Organically Modified Montmorillonite and Cellulose Nanocrystals on Rheological Properties and Thermal Stability of K-Carrageenan Bio-Nanocomposite. 9, 1547; doi:10.3390/nano9111547.
- Suman Singh, Kirtiraj K. Gaikwad, Su-Il Park, Youn Suk Lee. (2017) Microwave-assisted step reduced extraction of seaweed (*Gelidiella aceroso*) cellulose nanocrystals. 17) 506–510 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.004> 0141-8130
- Suman Singh, Kirtiraj K. Gaikwad, Su-Il Park, Youn Suk Lee. (2017) Microwave-assisted step reduced extraction of seaweed (*Gelidiella aceroso*) cellulose nanocrystals. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.004>.
- Sunkyu Park, (2010) John O Baker, Michael E Himmel, Philip A Parilla, David K Johnson, Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance.
- Syahnya Alifia Nurhabibah, Wida Banar Kusumaningrum2, (2021) Karakterisasi Bioplastik dari K-Karagenan *Eucheuma Cottonii* terplatestisasi berpenguat nanoselulosa. 43(2), 82-94, <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v42i2.6808>
- Syahrul Alaidin, (2021) *Skripsi* Perbandingan kadar selulosa dari berbagai rumput laut.
- Thomas, P., Duolikun, T., Rumjit, N. P., Moosavi, S., Lai, C. W., Johan, M. R. B., & Fen, L. B. (2020). Comprehensive review on nanocellulose: Recent developments, challenges and future prospects. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 110, 103884.
- Veasarach Jonjaroen, Sarute Ummartyotin, Supenya Chittapun. (2020) Algal cellulose as a reinforcement in rigid polyurethane foam. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102057>.
- Yongqi Zhang, Jia Man, Jianyong Li, Zhe Xing, Bin Zhao, Maocheng Ji, He Xia, Jian Feng Li. (2022) Preparation of the alginate/carrageenan/shellac films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from *Enteromorpha* for food packaging <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.145>.