

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI CARBON
NANODOTS (C-DOTs) BERBASIS KULIT BUAH
NAGA (*HYLOCEREUS POLYRHIZUS*) UNTUK
DEGRADASI ZAT WARNA RHODAMIN B**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1



Disusun oleh :

Ummi Alifa Alfiyanti

19106020032

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2026

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1956/Un.02/DST/PP.00.9/08/2026

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis dan Karakterisasi Carbon Nanodots (C-Dots) berbasis Kulit Buah Naga (Hylocereus Polyrhizus) untuk Degradasi Zat Warna Rhodamin B

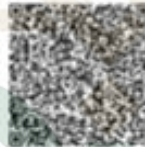
yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : UMMI ALIFA ALFIYANTI
Nomor Induk Mahasiswa : 19106020032
Telah diujikan pada : Selasa, 18 Agustus 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A/B

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang



Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a86b3997c72

Penguji I



Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 6a86b23d81d04

Penguji II



Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a86b42ba2c34



Yogyakarta, 18 Agustus 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a87bb23e00a3

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ummi Alifa Alfiyanti

NIM : 19106020032

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Sintesis dan Karakterisasi Carbon Nanodots (C-dots) berbasis Kulit Buah Naga (*Hylocereus POLYrhizus*) untuk Degradasi Zat Warna Rhodamin B." merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 07 Agustus 2026

Penulis


Ummi Alifa Alfiyanti
NIM. 19106020032



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : UMMI ALIFA ALFIYANTI
NIM : 19106020032
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi Carbon Nanodots (C-dots) Berbasis Kulit Buah Naga (*Hylocereus Polyrhizus*) untuk Degradasi Zat Warna Rhodamin B.

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 07 Agustus 2026

Dr. Widayanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197605262006042005

**Sintesis dan Karakterisasi Carbon Nanodots (C-dots) Berbasis Kulit Buah Naga
(*Hylocereus Polyrhizus*) untuk Degradasi Zat Warna Rhodamin B.**

UMMI ALIFA ALFIYANTI
19106020032

INTISARI

Pencemaran lingkungan akibat zat warna sintetis menjadi salah satu permasalahan yang perlu mendapat perhatian. Salah satu zat warna yang berpotensi menjadi pencemar adalah Rhodamin B. Di sisi lain, kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) merupakan limbah biomassa yang memiliki kandungan karbon organik sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan dasar material karbon. Salah satu material karbon yang dapat dikembangkan adalah Carbon Nanodots (C-Dots), yang memiliki karakteristik optik dan berpotensi diaplikasikan dalam pengolahan zat warna. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis C-Dots berbahan dasar limbah kulit buah naga merah, mengetahui karakteristik optiknya, serta menganalisis kemampuannya dalam menurunkan konsentrasi Rhodamin B. Pemanfaatan kulit buah naga juga diharapkan dapat meningkatkan nilai guna limbah biomassa sekaligus memberikan alternatif material dalam upaya mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental melalui tahapan preparasi bahan, sintesis C-Dots, karakterisasi optik, dan uji degradasi Rhodamin B. Kulit buah naga merah dibersihkan, dikeringkan, kemudian dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 300°C selama 30 menit. Hasil karbonisasi selanjutnya melalui proses sonikasi, sentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 40 menit, dan filtrasi untuk memperoleh filtrat C-Dots. Karakteristik optik C-Dots diamati menggunakan lampu UV 365 nm dan spektrofotometer UV-Vis. Uji degradasi dilakukan terhadap larutan Rhodamin B dengan konsentrasi awal 5 ppm pada variasi waktu 60 dan 120 menit. Perubahan konsentrasi Rhodamin B dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis berdasarkan kurva kalibrasi pada panjang gelombang maksimum 553,5 nm. Hasil pengamatan menggunakan lampu UV 365 nm menunjukkan pendaran berwarna biru keabuan. Karakterisasi UV-Vis menunjukkan serapan kuat pada daerah ultraviolet, dengan absorbansi sebesar 0,718 pada panjang gelombang 283 nm. Kurva kalibrasi Rhodamin B pada panjang gelombang maksimum 553,5 nm menghasilkan persamaan regresi linier $y = 0,103365x + 0,00529292$ dengan nilai $R^2 = 0,99980$. Hasil degradasi selama 60 menit menunjukkan konsentrasi akhir sebesar 2,164 ppm dengan efisiensi degradasi 56,72%, sedangkan pada 120 menit diperoleh konsentrasi akhir sebesar 2,213 ppm dengan efisiensi 55,75%. Berdasarkan variasi waktu yang diuji, C-Dots berbasis kulit buah naga mampu menurunkan konsentrasi Rhodamin B, dengan efisiensi degradasi tertinggi diperoleh pada waktu 60 menit.

Kata kunci: Carbon Nanodots, Karbonisasi, Kulit buah naga, Rhodamin B, UV-Vis, Degradasi.

Synthesis and Characterization of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel-Based Carbon Nanodots (C-Dots) for the Degradation of Rhodamine B Dye

UMMI ALIFA ALFIYANTI

19106020032

ABSTRACT

Environmental pollution caused by synthetic dyes has become an issue of increasing concern. Rhodamine B is one of the synthetic dyes that may contribute to environmental pollution. On the other hand, red dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*) is a biomass waste containing organic carbon, which makes it a potential precursor for carbon-based materials. One promising carbon-based material is Carbon Nanodots (C-Dots), which possess distinctive optical properties and potential applications in dye treatment. Therefore, this study aimed to synthesize C-Dots from red dragon fruit peel waste, investigate their optical characteristics, and evaluate their ability to reduce the concentration of Rhodamine B. The utilization of red dragon fruit peel is also expected to enhance the value of biomass waste while providing an alternative material for reducing environmental pollution. This experimental study consisted of several stages, including material preparation, C-Dots synthesis, optical characterization, and Rhodamine B degradation testing. The red dragon fruit peels were cleaned, dried, and carbonized in a furnace at 300°C for 30 minutes. The carbonized product was subsequently subjected to sonication, centrifugation at 3000 rpm for 40 minutes, and filtration to obtain the C-Dots filtrate. The optical characteristics of the C-Dots were examined using a 365 nm UV lamp and UV-Vis spectrophotometry. The degradation test was conducted using a 5 ppm Rhodamine B solution with treatment times of 60 and 120 minutes. Changes in Rhodamine B concentration were analyzed using UV-Vis spectrophotometry based on a calibration curve at a maximum wavelength of 553.5 nm. The C-Dots filtrate exhibited bluish-gray luminescence under 365 nm UV irradiation. UV-Vis characterization showed strong absorption in the ultraviolet region, with an absorbance of 0.718 at a wavelength of 283 nm. The Rhodamine B calibration curve at a maximum wavelength of 553.5 nm yielded a linear regression equation of $y = 0.103365x + 0.00529292$, with an R^2 value of 0.99980. After 60 minutes of treatment, the final Rhodamine B concentration was 2.164 ppm, corresponding to a degradation efficiency of 56.72%. After 120 minutes, the final concentration was 2.213 ppm, with a degradation efficiency of 55.75%. Based on the treatment times investigated, the red dragon fruit peel-derived C-Dots were capable of reducing the concentration of Rhodamine B, with the highest degradation efficiency obtained at 60 minutes.

Keywords: Carbon Nanodots, carbonization, Dragon fruit peel, Rhodamine B, UV-Vis, Degradation.

HALAMAN MOTTO

Dua kali Allah ulangi:

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

fa inna ma‘al-‘usri yusrâ

Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

Inna ma‘al-‘usri yusrâ

Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.

(Q.S. Al-Insyirah ayat 5-6)

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar. Melainkan milik mereka yang senantiasa berusaha.”

B.J Habibie

Sebab Tuhan tlah berjanji

Setelah sempit ada kemudian

(Raim Laode-Bersenja Gurau)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

“Tiap proses akan membuahkan hasil yang bermakna.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, pertolongan, dan kemudahan-Nya, tugas akhir ini penulis persembahkan kepada:

Kedua orang tua dan keluarga tercinta,

yang senantiasa mengiringi setiap langkah dengan doa, kasih sayang, dukungan, kesabaran, dan pengorbanan yang tidak dapat terbalaskan.

Dosen dan para pendidik,

yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta pengalaman berharga selama perjalanan pendidikan penulis.

Fany, Wibby, Lailiya, Shanti, Faiz, dan Eki,

yang telah hadir menemani perjalanan ini, memberikan bantuan, dukungan, semangat, serta menjadi bagian dari proses hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Serta untuk diri sendiri,

yang telah memilih untuk terus berusaha, bertahan, dan menyelesaikan apa yang telah dimulai.

Semoga setiap ilmu, proses, dan perjuangan yang telah dilalui menjadi sesuatu yang bermanfaat dan bernilai kebaikan di sisi Allah Subhanahu wa Ta'ala.

Alhamdulillah rabbil 'alamin.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil ‘Alamiin, puji syukur penulis haturkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wata’ala yang telah memberikan rahmat, nikmat, serta hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir yang berjudul **“SINTESIS DAN KARAKTERISASI CARBON NANODOTS (C-DOTs) BERBASIS KULIT BUAH NAGA (*HYLOCEREUS POLYRHIZUS*) UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA RHODAMIN B”** dengan baik. Sholawat serta salam tak lupa tcurahkan kepada uswatun khasanah Nabi Muhammad Shalallahu ‘alaihi Wasallam beserta keluarga, sahabat, dan umatnya yang insya Allah akan diberi syafa’at oleh beliau di Yaumul Qiyamah.

Tugas akhir ini merupakan suatu bentuk kewajiban penulis sebagai mahasiswa oleh mahasiswa Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan guna menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) serta mendapatkan gelar sarjana. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak pihak terkait demi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi kedepannya. Penyusunan dan pelaksanaan tugas akhir ini penulis mendapat dukungan dari berbagai pihak. Karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, yang telah memberikan doa, dukungan, doa yang selalu diberikan.
2. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Dra. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Widayanti, S.Si. M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta serta pembimbing dalam penulisan

skripsi yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi ketika penulisan tugas akhir ini. Semoga senantiasa dimudahkan segala urusannya dan keberkahan selalu tercurah kepada beliau. Terimakasih banyak atas waktu dan kesabaran yang diberikan dalam memberikan bimbingan, nasehat, serta motivasi yang tiada hentinya.

5. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik. Semoga senantiasa dimudahkan segala urusannya dan keberkahan selalu tercurah kepada beliau. Terimakasih banyak atas waktu dan kesabaran yang diberikan dalam memberikan bimbingan, nasehat, serta motivasi yang tiada hentinya.
6. Seluruh Dosen Fisika maupun Dosen non-Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan bimbingan berserta ilmunya. Semoga mendapat balasan yang lebih baik dari Allah Subhanahu Wata'ala.
7. Fany, Wibby, Lailiya, Shanti, Faiz, dan Eki yang selalu berkenan menemani dalam proses pengambilan data serta penulisan skripsi ini. Semoga senantiasa dimudahkan segala urusannya serta sehat selalu.
8. Teman-teman Prodi Fisika 2019 UIN Sunan Kalijaga yang luar biasa.
9. Serta semua pihak yang memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis juga memohon maaf apabila dalam penulisan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan kesalahan baik dalam sistematika penyusunan isi hingga proses yang telah dilaporkan ini dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan

penulis. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun bagi para pembaca.

Yogyakarta, Agustus 2026

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
INTISARI	iv
ABSTRACT.....	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR ISTILAH.....	vi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Batasan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	10
BAB II	12
TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Studi Pustaka	12
2.2 Landasan Teori.....	17
2.2.1. Carbon Nanodots.....	20
2.2.2. Kulit Buah Naga (Hylocereus polyrhizus).....	23
2.2.4. Metode Karbonisasi.....	25
2.2.5. Spektroskopi UV-Vis	26
BAB III.....	29
METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	29

3.2	Alat Dan Bahan Penelitian	29
3.2.1.	Alat Penelitian	29
3.2.2.	Bahan Penelitian.....	30
	Kulit Buah Naga (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	31
3.3	Prosedur Penelitian	31
3.3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.3.2.	Preparasi Sampel Kulit Buah Alpukat	36
	Preparasi sampel pada penelitian ini dilakukan untuk mengaktivasi kulit buah naga (<i>Hylocereus polyrhizus</i>). Preparasi sampel dilakukan sesuai dengan tahapan berikut:	36
3.3.3.	Sintesis Carbon Nanodots.....	36
3.3.4.	Karakterisasi Sampel.....	37
3.3.5.	Pengujian Fotokatalis / Degradasi	37
3.3.5.1.	Pembuatan Larutan Induk Rhodamin B 10ppm	37
3.3.5.2.	Penentuan Panjang Gelombang Maximum Absorbansi Rhodamin B	38
3.3.5.3.	Pembuatan Kurva Standar Rhodamin B	38
3.3.5.4.	Uji Degradasi Rhodamin B Oleh C-Dots Kulit Buah Naga	39
3.4	Metode Analisa Data	40
3.4.1.	Analisis Spektrofotometer UV-Vis.....	40
3.4.2.	Analisis Fotodegradasi Rhodamin B	40
BAB IV		41
HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Hasil penelitian	41
4.1.1	Sintesis Carbon Nanodots (C-Dots).....	41
	43	
	43	
4.1.2	Hasil Karakterisasi Sampel oleh UV-Vis	43
4.1.3	Uji Degradasi Zat Warna Rhodamin B.....	44
4.1.3.1	Panjang Gelombang Maksimum Absorbansi Rhodamin B	44
4.1.3.2	Kurva Kalibrasi Rhodamin B.....	45
	46	
4.1.3.3	Hasil Uji degradasi Rhodamin B oleh C-Dots	46
4.2	Pembahasan.....	46
4.2.1	Sintesis Carbon Nanodots (C-Dots) kulit buah naga.....	46
4.2.2	Karakterisasi Carbon Nanodots (C-Dots)	50

4.2.2	Kurva Kalibrasi Rhodamin B.....	52
4.2.3	Uji Degradasi Zat warna Rhodamine B oleh C-Dots Kulit Buah Naga	52
4.3	Integrasi Interkoneksi	55
BAB V.....		59
KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		63
6.1	Lampiran 1. Preparasi dan sintesis C-Dots.....	63
6.3	Lampiran 3. Perhitungan.....	66
6.4	Lampiran 4. Penentuan panjang gelombang maksimum dari Rhodamin B.....	68
6.5	Lampiran 5. Penentuan Kurva Standar Rhodamin B	69
6.6	Lampiran 6. Perhitungan Degradasi Rodhamin B Oleh Carbon Nanodots (C-Dots) Kulit Buah Naga.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Relevansi dan Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini.....	14
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan.....	33
Tabel 3.2. Alat Penelitian.....	34
Tabel 3.3 Bahan Penelitian.....	35
Tabel 4.1 Hasil Absorbansi Standar Rhodamin B.....	50
Tabel 4.2 Hasil Uji Degradasi Rhodamin B oleh C-dots Kulit Buah Naga.....	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.1 Senyawa dan Struktur Rhodamin B(Sulastri,2023).....	18
Gambar 2.2.2 Struktur C-Dots.....	21
Gambar 2.2.3 Kulit Buah Naga.....	24
Gambar 2.2.4 Prinsip Kerja Spektrometer UV-Vis.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Sampel.....	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis Carbon Nanodots (C-Dots) kulit buah naga.....	36
Gambar 3.3 Diagram alir karakterisasi C-Dots kulit buah naga.....	37
Gambar 3.4 Diagram alir degradasi rhodamine b oleh C-dots kulit buah naga.....	39
Gambar 4.1 a)Kulit Buah Naga Kering Sebelum di Furnace, b)Kulit Buah Naga Setelah di Furnace.....	45
Gambar 4.2 a) Larutan Sebelum Disentrifugasi, b) Larutan Setelah Disentrifugasi.....	46
Gambar 4.3 Larutan Filtrat C-Dots Kulit Buah Naga.....	47
Gambar 4.4 Larutan Ethanol Dengan Kandungan C-dots Kulit Buah Naga.....	47
Gambar 4.5 a) Spektrum Serapan C-Dots dengan pengenceran x50 Oleh Spektrofotometer UV-Vis, b) Spektrum Serapan C-Dots dengan pengenceran x10 Oleh Spektrofotometer UV-Vis.....	48
Gambar 4.6 Kurva Hubungan Absorbansi Sebagai Sumbu Y Dengan Panjang Gelombang Sebagai Sumbu X.....	48
Gambar 4.7 Kurva Hubungan Konsentrasi Rhodamin B Sebagai Sumbu Y.....	49

DAFTAR ISTILAH

π	:	Pita konduksi
π^*	:	Pita valensi
λ	:	Panjang Gelombang
Aborbansi	:	Penyerapan cahaya oleh suatu zat
<i>Band Gap</i>	:	Celah pita antara pita konduksi dan pita valensi
Dispersi	:	Penguraian Cahaya
<i>Fluorosensi</i>	:	Pancaran cahaya oleh suatu zat
Fotodegradasi	:	Proses penguraian senyawa kompleks menjadi sat yang lebih sederhana
<i>Luminense</i>	:	Intensitas cahaya
Morfologi	:	Bentuk yang teramati dari suatu objek
<i>Wavenumber</i>	:	Bilangan Gelombang

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini industri tekstil merupakan industri yang paling banyak menyumbangkan polutan zat warna di perairan. Sebanyak 10–15% dari jumlah zat warna yang dikonsumsi industri tekstil terbuang ke lingkungan. Jumlah tersebut setara dengan 0,01–0,25 g zat warna/Liter air. Suatu zat warna dikatakan menjadi polutan di perairan apabila konsentrasinya melebihi 10 mg/L (El Hajjaji, 2024). Pada umumnya zat warna didesain agar tahan terhadap pengaruh lingkungan, antara lain: pH, cahaya dan serangan mikroba. Akan tetapi, sifat zat warna ini di lingkungan perairan sangat tidak di kehendaki dan bisa mengganggu, disamping gangguan secara estetika juga umumnya berbahaya karena bersifat karsinogenik. Selain itu kehadiran zat warna di perairan juga mengganggu transmisi sinar matahari sehingga mengganggu proses fotosintesis. Salah satu zat warna yang dimaksudkan adalah zat warna rhodamin B. (Yagub, 2019).

Permasalahan pencemaran akibat zat warna sintetis telah ditemukan pada limbah industri batik di Indonesia. Salah satunya terdapat di Sentra Batik Sokaraja, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Limbah cair dari aktivitas industri batik di kawasan tersebut dilaporkan dibuang secara langsung ke Sungai Wangan dan mengandung zat warna Rhodamin B dengan konsentrasi mencapai 0,344 mg/L (Lestari dkk, 2019). Keberadaan Rhodamin B dalam limbah cair tersebut menunjukkan bahwa zat warna sintetis berpotensi masuk ke lingkungan perairan

apabila limbah tidak dikelola dengan baik. Sungai Wangan sendiri dimanfaatkan masyarakat untuk berbagai aktivitas, seperti mandi, mencuci, budidaya ikan, dan irigasi, sehingga keberadaan polutan dari limbah batik menjadi permasalahan lingkungan yang perlu diperhatikan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengembangan metode pengolahan yang mampu menurunkan konsentrasi zat warna Rhodamin B sebelum limbah dilepaskan ke lingkungan.

Selain itu dipergunakannya Rhodamin B dalam penelitian ini karena dari segi kimia struktur Rhodamin B mempunyai situs positif dan negatif serta strukturnya juga mewakili zat warna yang lainnya yaitu mempunyai gugus aromatis, selain itu bersifat polutan terhadap lingkungan. Sehingga perlu dilakukan usaha pengendalian dan penanggulangan pencemaran lingkungan oleh zat warna agar dapat memenuhi baku mutu (Zhang, 2018). Secara kimia, Rhodamin B merupakan senyawa organik aromatik yang memiliki kestabilan tinggi akibat adanya sistem cincin terkonjugasi pada strukturnya. Sifat ini membuat Rhodamin B sukar mengalami dekomposisi secara alami dan cenderung bertahan lebih lama di lingkungan perairan. Selain memberikan dampak pencemaran secara visual berupa perubahan warna air, Rhodamin B juga dapat mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke badan air, sehingga menurunkan aktivitas fotosintesis fitoplankton dan tumbuhan air. Dampak lanjutan dari kondisi tersebut adalah terganggunya keseimbangan ekosistem perairan dan menurunnya kualitas lingkungan secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengolahan yang efektif untuk menurunkan konsentrasi Rhodamin B sebelum limbah dibuang ke lingkungan (Ahmed, 2021).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi pencemaran zat warna sintetis, seperti koagulasi-flokulasi, filtrasi membran, adsorpsi, proses biologis, dan oksidasi lanjutan. Namun demikian, beberapa metode tersebut masih memiliki keterbatasan, seperti biaya operasional yang tinggi, kebutuhan energi yang besar, penggunaan bahan kimia tambahan, serta kemungkinan menghasilkan limbah sekunder. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan material alternatif yang lebih efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk menangani pencemaran zat warna, khususnya Rhodamin B (Sharma, 2022). Salah satu material yang saat ini banyak dikembangkan untuk penanganan polutan organik seperti Rhodamin B adalah Carbon Nanodots (C-Dots). C-Dots merupakan nanomaterial berbasis karbon dengan ukuran partikel umumnya kurang dari 10 nm yang memiliki sifat unggul seperti luas permukaan tinggi, stabilitas kimia yang baik, kelarutan dalam air, toksisitas rendah, serta sifat optik yang khas. Material ini menjadi sangat menarik karena dapat digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari bioimaging, sensor, optoelektronik, hingga aplikasi lingkungan. Dalam bidang pengolahan limbah, C-Dots berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben maupun fotokatalis karena memiliki gugus fungsi aktif pada permukaannya yang dapat berinteraksi dengan molekul pencemar organik (Wang, 2020).

Kemampuan C-Dots dalam mendegradasi zat warna dipengaruhi oleh ukuran partikelnya yang sangat kecil, luas permukaan yang besar, serta keberadaan gugus fungsi seperti hidroksil ($-OH$), karbonil ($C=O$), dan karboksilat ($-COOH$) pada permukaannya. Gugus-gugus tersebut dapat meningkatkan interaksi antara C-Dots dengan molekul zat warna, baik melalui mekanisme adsorpsi maupun proses

fotodegradasi. Selain itu, C-Dots juga diketahui mampu menyerap energi cahaya dan menghasilkan spesies reaktif yang dapat membantu pemutusan struktur aromatik kompleks pada zat warna organik seperti Rhodamin B. Dengan demikian, C-Dots menjadi salah satu material karbon nano yang menjanjikan untuk aplikasi pengolahan limbah cair (Dong dkk., 2020). Sintesis C-Dots dapat dilakukan dari berbagai sumber karbon, baik dari bahan kimia sederhana maupun dari biomassa alami. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan biomassa sebagai bahan baku sintesis C-Dots semakin banyak dikembangkan karena dinilai lebih murah, mudah diperoleh, ramah lingkungan, dan sejalan dengan prinsip green chemistry. Biomassa seperti kulit buah, daun, limbah makanan, dan residu pertanian umumnya mengandung senyawa karbon organik yang cukup tinggi, sehingga sangat potensial dimanfaatkan sebagai prekursor dalam pembentukan nanomaterial karbon (Jiang dkk., 2019; Dong dkk., 2020).

Salah satu limbah biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis C-Dots adalah kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*). Buah naga merah merupakan salah satu komoditas hortikultura yang banyak dibudidayakan dan dikonsumsi di Indonesia. Dalam proses konsumsi buah naga, bagian yang paling banyak dimanfaatkan adalah daging buahnya, sedangkan kulit buahnya umumnya dibuang sebagai limbah organik (Wu dkk., 2019; Nurliyana dkk., 2018). Padahal, persentase kulit buah naga cukup besar dari keseluruhan massa buah, sehingga apabila tidak dimanfaatkan dengan baik dapat menambah jumlah limbah organik di lingkungan. Kulit buah naga memiliki potensi sebagai prekursor material berbasis karbon karena mengandung unsur karbon. Adegoke dkk. (2021)

melaporkan bahwa kulit buah naga memiliki kandungan karbon elemental sebesar 25,6%. Setelah melalui proses karbonisasi dan aktivasi, kandungan karbon tersebut dapat meningkat hingga 73,36%. Hal ini menunjukkan bahwa kulit buah naga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber karbon dalam sintesis material berbasis karbon, termasuk Carbon Nanodots (C-Dots).

Kulit buah naga merah diketahui mengandung berbagai komponen organik penting seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin, serta pigmen alami seperti betalain. Kandungan tersebut menunjukkan bahwa kulit buah naga kaya akan karbon organik dan gugus fungsi aktif yang berpotensi dikonversi menjadi material karbon fungsional. Selulosa dan hemiselulosa dapat mengalami dehidrasi dan dekomposisi termal selama proses pemanasan, sedangkan lignin berperan dalam pembentukan struktur karbon aromatik yang lebih stabil. Adanya senyawa-senyawa ini menjadikan kulit buah naga sebagai bahan baku yang potensial untuk sintesis Carbon Nanodots (Zhang dkk., 2018)

Kulit buah naga merah merupakan bagian dari buah naga yang memiliki berat 30-35% dari berat buah utuh. Kulit buah naga merah sering sekali dibuang dan dianggap tidak bernilai ekonomis (Yati dkk., 2022). Kulit buah naga merah memiliki kadar air cukup tinggi yaitu 75,58% (Hasrudin dkk., 2017). Kulit buah naga merah mengandung vitamin C, E, A serta senyawa bioaktif seperti alkaloid, terpenoid, flavonoid, betasianin, dan antosianin (Utami dkk., 2020). Senyawa antosianin termasuk kelompok pigmen warna merah, ungu hingga biru yang dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami dan sumber antioksidan alami (Nizori dkk., 2020). Selain potensinya sebagai sumber karbon, pemanfaatan kulit buah naga juga

memiliki nilai tambah dari sisi lingkungan dan ekonomi. Limbah kulit buah naga yang semula tidak bernilai dapat diolah menjadi material nanokarbon bernilai tinggi, sehingga mendukung konsep valorisasi limbah biomassa. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi beban limbah organik, tetapi juga membuka peluang pengembangan material fungsional berbasis sumber daya lokal yang murah dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penggunaan kulit buah naga sebagai bahan baku sintesis C-Dots merupakan pendekatan yang relevan baik dari sisi ilmiah maupun aplikatif (Veerakumar dkk., 2023).

Permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah zat warna sintetis seperti Rhodamin B sejalan dengan firman Allah Swt. dalam QS. Ar-Rum ayat 41

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya:

“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, agar Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).” yang menjelaskan bahwa kerusakan di darat dan di laut terjadi akibat perbuatan tangan manusia. Ayat tersebut menunjukkan bahwa manusia memiliki tanggung jawab untuk menjaga kelestarian lingkungan dan memperbaiki kerusakan yang ditimbulkan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui pengembangan material ramah lingkungan untuk pengolahan limbah.

Selain itu, pemanfaatan limbah kulit buah naga sebagai bahan baku sintesis Carbon Nanodots (C-Dots) juga sejalan dengan firman Allah Swt. dalam QS. Sad ayat 27,

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا

Artinya:“Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya dengan sia-sia...”

yang menegaskan bahwa Allah tidak menciptakan sesuatu dengan sia-sia. Hal ini menunjukkan bahwa limbah biomassa seperti kulit buah naga memiliki potensi manfaat apabila diteliti dan dimanfaatkan secara tepat, salah satunya sebagai material nanokarbon untuk degradasi Rhodamin B.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mensintesis C-Dots dari biomassa adalah metode karbonisasi. Karbonisasi merupakan proses pemanasan bahan organik pada suhu tertentu untuk mengubah komponen penyusun biomassa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadi material kaya karbon. Metode ini dipilih karena relatif sederhana, ekonomis, tidak memerlukan bahan kimia yang terlalu kompleks, serta sesuai untuk biomassa padat seperti kulit buah naga. Selain itu, proses karbonisasi juga berpotensi menghasilkan material karbon dengan gugus fungsi permukaan yang berperan penting dalam aktivitas adsorpsi maupun degradasi zat warna (Titirici & Antonietti, 2010; Wang & Hu, 2014). Dalam proses karbonisasi, biomassa mengalami dekomposisi termal sehingga terbentuk struktur karbon berukuran kecil yang dapat berkembang menjadi partikel nanokarbon. Kondisi sintesis seperti suhu, waktu pemanasan, dan perlakuan pasca-karbonisasi akan sangat memengaruhi ukuran partikel, gugus fungsi permukaan, serta sifat

optik material yang dihasilkan. Oleh karena itu, karakterisasi material hasil sintesis menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa material yang diperoleh benar-benar memiliki karakteristik sebagai C-Dots dan berpotensi diaplikasikan dalam degradasi Rhodamin B (Cui dkk, 2021).

Karakterisasi C-Dots umumnya dilakukan menggunakan instrumen seperti UV-Vis. Spektroskopi UV-Vis digunakan untuk mengetahui sifat serapan optik material. Informasi dari karakterisasi tersebut sangat penting untuk memahami hubungan antara struktur material dengan aktivitasnya dalam proses degradasi zat warna. Dengan adanya sifat optik yang sesuai, C-Dots dari kulit buah naga diharapkan dapat menunjukkan kemampuan yang baik dalam menurunkan konsentrasi Rhodamin B (Omar dkk., 2022; Cui dkk., 2021). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi Carbon Nanodots (C-Dots) berbasis kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) menggunakan metode karbonisasi serta aplikasinya dalam degradasi zat warna Rhodamin B penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material nanokarbon berbasis biomassa lokal, mendukung pemanfaatan limbah organik secara berkelanjutan, serta menawarkan alternatif teknologi ramah lingkungan dalam pengolahan limbah zat warna.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka permasalahan dalam penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mensintesis Carbon Nanodots (C-Dots) dari limbah biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*)?
2. Bagaimana sifat serapan optik material UV-Vis Carbon Nanodots (C-Dots) dari limbah biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*)?
3. Bagaimana pengaruh penambahan C-Dots dari limbah biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) dalam mendegradasi Rhodamin B?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah, maka dapat diturunkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis Carbon Dots (C-Dots) dari limbah biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*)
2. Mengidentifikasi karakteristik Carbon Nanodots (C-Dots) yang dihasilkan melalui analisis sifat serapan optik menggunakan UV-Vis.
3. Menganalisis pengaruh penambahan C-Dots dari limbah biomassa kulit buah naga (*Hylocereus Polyrhizus*) untuk mendegradasi limbah warna Rhodamin B.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis *Carbon Nanodots* (C-Dots) hanya dari biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) dilakukan dengan menggunakan metode Karbonisasi.

2. Karakterisasi *Carbon Nanodots* (C-Dots) dari biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) dilakukan dengan Spektrofometer UV-Vis.
3. Uji degradasi C-Dots terhadap larutan Rhodamin B dianalisis dengan menggunakan Spektrofometer UV-Vis.
4. Aplikasi Carbon Nanodots (C-Dots) dalam penelitian ini dibatasi hanya untuk degradasi zat warna Rhodamin B.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini di harapkan dapat diperoleh beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat dalam khazanah keilmuan
 - a. Menjadikan salah satu kajian ilmiah kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) dapat di jadikan material dasar sintesis *Carbon Nanodots* (C-Dots) dengan menggunakan metode Karbonisasi.
 - b. Memberikan referensi karakteristik *Carbon Nanodots* (C-Dots) berbasis limbah kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) berdasarkan data hasil analisis menggunakan Spektrofometer UV-Vis.
 - c. Menjadikan salah satu kajian ilmiah bahwa *Carbon Nanodots* (C-Dots) berbasis limbah kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) dapat di manfaatkan dalam proses degradasi zat warna rhodamine b.
2. Manfaat dalam bidang sosial dan lingkungan

- a. Pemanfaatan limbah biomassa kulit buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*) dengan metode yang mudah dilakukan, dapat mengurangi jumlah limbah organik di lingkungan sekitar.
- b. Informasi kepada industri textile terkait limbah dengan kandungan zat warna rhodamin b dapat dikurangi dengan metode degradasi menggunakan C-Dots berbasis limbah biomassa sebagai langkah menjaga kelestarian lingkungan



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Carbon Nanodots (C-Dots) berbasis kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) berhasil disintesis melalui metode karbonisasi pada suhu 300°C selama 30 menit, dilanjutkan dengan proses sonikasi, sentrifugasi, dan filtrasi. Filtrat C-Dots yang dihasilkan menunjukkan pendaran berwarna biru keabu-abuan ketika disinari menggunakan lampu UV pada panjang gelombang 365 nm.
2. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan karakteristik optik C-Dots berupa serapan yang kuat pada daerah ultraviolet. Pada sampel dengan pengenceran 50 kali diperoleh absorbansi sebesar 0,718 pada panjang gelombang 283 nm. menunjukkan karakteristik optik C-Dots berupa serapan yang kuat pada daerah ultraviolet. Pada sampel dengan pengenceran 50 kali diperoleh absorbansi sebesar 0,718 pada panjang gelombang 283 nm.
3. C-Dots kulit buah naga mampu menurunkan konsentrasi Rhodamin B. Pada konsentrasi awal Rhodamin B sebesar 5 ppm, perlakuan selama 60 menit menghasilkan konsentrasi akhir 2,164 ppm dengan efisiensi degradasi sebesar 56,72%, sedangkan pada 120 menit diperoleh konsentrasi akhir 2,213 ppm dengan efisiensi degradasi sebesar 55,75%. Berdasarkan variasi waktu yang diuji, efisiensi degradasi tertinggi diperoleh pada waktu 60 menit, sedangkan penambahan waktu hingga 120 menit tidak meningkatkan efisiensi degradasi Rhodamin B.

5.2 Saran

Penelitian ini diharapkan mampu dijadikan kajian ilmiah dengan memperhatikan beberapa saran berikut untuk diperoleh hasil yang lebih optimum, seperti:

1. Proses preparasi sampel dengan memperbanyak referensi dari jurnal yang bervariasi untuk mendukung keberhasilan sintesis.
2. Sintesis berbasis kulit naga bisa diganti dengan bahan organik lain untuk bisa dibandingkan tingkat keberhasilan sintesis.
3. Dilakukan tambahan karakterisasi *SEM dan FTIR* untuk mengetahui ukuran pori dan identifikasi efektivitas absorbansinya.
4. Digunakan alat sonikasi yang lebih canggih dengan spesifikasi bisa terkontak langsung pada larutan untuk meningkatkan dispersi partikel dan mencegah terbentuk agregat.
5. Dilakukan variasi waktu kontak antara C-Dots dengan rhodamin b untuk mengetahui waktu serta persentase degradasi optimum dari C-Dots kulit naga.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Virgus, Y., dan Nirmin. 2008. *Review: Sintesis Nanomaterial*. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi, **Vol. 1 No.2 : 26**.
- Ahmad, M. A., Eusoff, M. A., Adegoke, K. A., dan Bello, O. S. 2021. *Sequestration of methylene blue dye from aqueous solution using microwave assisted dragon fruit peel as adsorbent*. Environmental Technology & Innovation, **Vol.24 Article 101917**. dari <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101917>
- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., dan Guo, W. 2021. *Adsorptive removal of dyes from wastewater: A review*. Environmental Research, **Vol.200 No.111–120**.
- Cui, L., Ren, X., Sun, M., Liu, H., dan Xia, L. 2021. Carbon Dots: Synthesis, Properties and Applications. *Nanomaterials*, **Vol.11 No.12 : 3419**. dari <https://doi.org/10.3390/nano11123419>.
- Dong, Yongqiang, Ruixue W, Hao Li, Jingwei S, Yuwu C, Xiaomei L, dan Guonan C. 2012. *Polyamine-Functionalized Carbon Quantum Dots for Chemical Sensing*. Carbon. **Vol.50 No.8: 2810–15**. Dari <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.02.046>
- El Hajjaji, S., Alahiane, S., Kherbeche, A., dan El Rhilassi, A. 2024. *Removal of Rhodamine B from aqueous solutions by adsorption and coagulation–flocculation processes*. RSC Advances, **Vol.14 No.12345–12356**.
- Lestari, S., Sudarmadji, Tandjung, S. D., dan Santosa, S. J. 2019. *Improvement of batik wastewater quality using biosorption process*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, **Vol.256 Article 012047**. Dari DOI:10.1088/1755-1315/256/1/012047
- Ngara, Z. S., Refli, R., Bukit, M., Pingak, R. K., Bernandus, B., dan Tarigan, J. 2024. *Pembuatan karbon nanodot berbasis kulit buah naga dan pemanfaatannya sebagai sumber nutrisi pada pertumbuhan tanaman sawi*. Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya, **Vol.10 No.1:67–74**.
- Nurliyana, R., Zahir, I. S. M., Suleiman, K. M., Aisyah, M. R., dan Rahim, K. K. 2018. *Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits*. International Food Research Journal, **Vol.17 No.2:367–375**.
- Preethi, M., Viswanathan, C., dan Ponpandian, N. 2022. *A metal-free, dual catalyst for the removal of Rhodamine B using novel carbon quantum dots from muskmelon peel under sunlight and ultrasonication: A green way to clean the environment*. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, **Vol.426 Article 113765**. Dari <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2021.113765> .
- .

Putri.2024. *Sintesis Nitrogen-Doped Carbon Dots (N-CDs) dengan Metode Hidrotermal dari Kulit Nangka sebagai Fotodegradasi Rhodamin B*. (Tugas Akhir), Jurusan Kimia, FMIPA, USU, Medan.

Ramadhani, L. F., Nurjannah, I. M., Yulistiani, R., dan Saputro, E. A. 2020. *Review: Teknologi Aktivasi Fisika pada Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa*. Jurnal Teknik Kimia, **Vol.26 No.2 : 42–53**. Dari DOI: 10.36706/jtk.v26i2.518.

Subbaiah, M. V., Kim, D. S., dan Reddy, K. R. 2023. *Dragon fruit peel derived carbon material for adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solution*. Environmental Research, **Vol.216, Article 114500**.

Teo, S. H., Ng, C. H., Islam, A., Abdulkareem-Alsultan, G., Joseph, C. G., Janaun, J., Taufiq-Yap, Y. H., Khandaker, S., Islam, G. J., Znad, H., dan Awual, M. R. 2022. *Sustainable toxic dyes removal with advanced materials for clean water production: A comprehensive review*. Journal of Cleaner Production, **Vol.332, Article 130039**. Dari <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130039>.

Wang, J., dan Wang, S. 2020. *Removal of dyes from aqueous solution using various adsorbents: A critical review*. Journal of Environmental Chemical Engineering, **Vol.8 No.1 : 103–110**.

Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., dan Ang, H. M. 2019. *Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review*. Chemosphere, **Vol.209 No.172–184**.

Zhang, S., Fan, X., Guan, R., Hu, Y., Jiang, S., Shao, X., Wang, S., dan Yue, Q. 2022. *Carbon dots as metal-free photocatalyst for dye degradation with high efficiency within nine minutes in dark*. Optical Materials, **Vol. 123 Article 111914**. Dari DOI: 10.1016/j.optmat.2021.111914.