

**PENGARUH GELATIN PADA *ELECTROSPINNING* NANOFIBER
PVA/CQD UNTUK ANTI-PEMALSUAN**



Oleh

**FIRDAUSYA DANUANSA
K1C020056**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN FISIKA
PURWOKERTO
2023**

**PENGARUH GELATIN PADA *ELECTROSPINNING* NANOFIBER
PVA/CQD UNTUK ANTI-PEMALSUAN**



SKRIPSI

Oleh

**FIRDAUSYA DANUANSA
K1C020056**

Sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Fisika

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN FISIKA
PURWOKERTO
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH GELATIN PADA *ELECTROSPINNING* NANOFIBER PVA/CQD UNTUK ANTI-PEMALSUAN

Oleh

Firdausya Danuansa

K1C020056

**Diterima dan disetujui
pada tanggal : 13 November 2023**

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr.-Eng. Mukhtar Effendi, S.Si., M.Eng.
NIP 197605152002121002

Dr. Witha Berlian Kesuma Putri, S.Si., M.Si.
NIP 198306232018012001

Mengetahui,
Dekan

Prof. Drs. Budi Pratikno, M.Stat.Sci.,Ph.D.
NIP. 19640424 199002 1 002

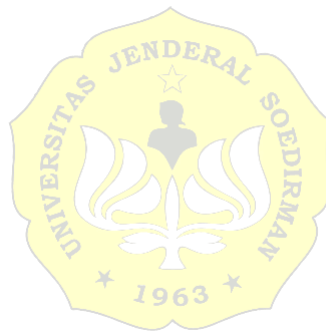
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

“PENGARUH GELATIN PADA *ELECTROSPINNING* NANOFIBER PVA/CQD UNTUK ANTI-PEMALSUAN” adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan semua sumber data serta informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya.

Bila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar keserjanaan saya yang telah saya peroleh.

Jakarta, 4 Desember 2023

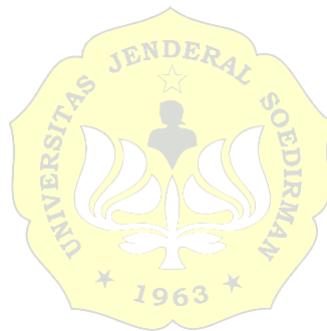


Firdausya Danuansa

K1C020056

PEDOMAN PENGGUANAAN SKRIPSI

Skripsi ini terdaftar dan tersedia di Pusat Informasi Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Jenderal Soedirman. Pengutipan dan atau peringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi dengan judul “PENGARUH GELATIN PADA *ELECTROSPINNING* NANOFIBER PVA/CQD UNTUK ANTI-PEMALSUAN” di Pusat Riset Material Maju (PRMM) – BRIN dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan andilnya sehingga skripsi ini dapat selesai. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

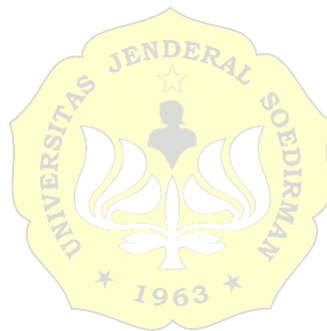
1. Orang tua dan keluarga yang selalu berdo'a yang terbaik serta dukungan secara emosional maupun material;
2. Dr.-Eng. Mukhtar Effendi, S.Si., M.Eng. selaku pembimbing I yang telah senantiasa memberikan arahan, ilmu dan semangat serta kesediaan waktu yang tidak sedikit selama membimbing penulis dengan penuh pengertian dan kesabaran;
3. Dr. Witha Berlian Kesuma Putri, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II dan pembimbing teknis di BRIN yang banyak memberikan arahan, masukan dan kepercayaan selama pengambilan data di laboratorium;
4. Segenap dosen Jurusan Fisika FMIPA UNSOED yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan bantuan selama masa perkuliahan dan penulisan skripsi;
5. Tim pengurus MBKM yang memberikan bantuan, saran dan membuka peluang bagi penulis untuk memberikan pengalaman riset di BRIN sekaligus menjalankan Tugas Akhir.
6. Segenap rekan-rekan fisika 2020 yang selalu mendukung, memberi semangat serta waktu untuk mendengarkan cerita dari penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa hasil penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kesediaan pembaca untuk memberikan kritik dan saran. Akhirnya, penulis menyampaikan maaf kepada pembaca seandainya terdapat kesalahan-kesalahan di dalam skripsi ini dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Jakarta, 4 Desember 2023

Firdausya Danuansa

K1C020056

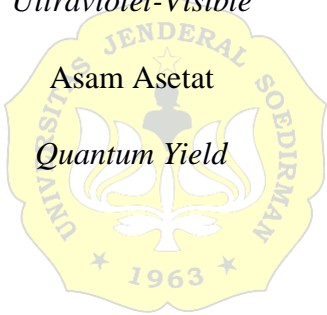


DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN.....	ii
PEDOMAN PENGGUANAAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAKxiii	
ABSTRACT.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Cakupan dan Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Carbon Quantum Dots (CQD).....	6
2.2 Polivinil Alkohol (PVA)	7
2.3 Gelatin 7	
2.4 <i>Electrospinning</i> nanofiber	8
2.5 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	10

2.6 Ultraviolet Visible (UV-Vis).....	11
2.7 Fotoluminesensi	12
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur Penelitian.....	16
3.3.1 Larutan PVA/CQD	16
3.3.2 Larutan Gel/AA	17
3.3.3 Larutan PVA/CQD/Gel	17
3.3.4 Pengaturan <i>Electrospinning</i>	17
3.3.5 Karakterisasi sampel.....	17
3.4 Diagram Alir Penelitian	18
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Struktur Nanofiber PVA/CQD/Gel	20
4.2 Pendaran Nanofiber PVA/CQD/Gel	27
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	48

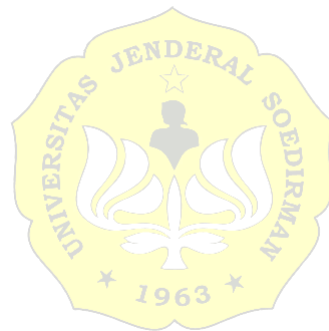
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian pertamakali pada halaman
PVA	Polivinil Alkohol	1
CQD	<i>Carbon Quantum Dots</i>	1
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>	2
Gel	Gelatin	3
CD	<i>Carbon Dots</i>	4
UV-Vis	<i>Ultraviolet-Visible</i>	4
AA	Asam Asetat	7
QY	<i>Quantum Yield</i>	13
		
Lambang	Nama	Pemakaian pertamakali pada halaman
$[\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})]_n$	Polivinil Alkohol	7
λ	Panjang Gelombang	11

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 CQD Urea 250 mg yang dilarutkan pada air 250 mL	6
Gambar 2.2 <i>Electrospinning</i> (Xue et al., 2017)	8
Gambar 2.3 Hasil FESEM dari PVA/CQD/keratin (Lee et al., 2016).....	10
Gambar 2.4 Skema sederhana dalam spektrofotometer UV-Vis	11
Gambar 2.5 Spektrum UV-Vis <i>Carbon dots</i> yang diuji oleh (He et al., 2018).....	12
Gambar 2.6 Fotoluminesensi nanofiber PVA/ <i>carbon dots</i> yang dibuat oleh (He et al., 2018).....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 4.1 Proses mengaduk larutan (a) Larutan PVA/CQD (14%/1 mL), (b) Larutan Gel/AA 19%, (c) Larutan Gel/AA 21% dan (d) Larutan PVA/CQD/Gel 21	
Gambar 4.2 <i>Electrospinning</i> nanofiber (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%).....	22
Gambar 4.3 Nanofiber yang diperoleh selama 3 jam <i>electrospinning</i> (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)	23
Gambar 4.4 SEM nanofiber dengan perbesaran 1000x dan pebesaran 5000x (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dan (c) PVA 13%	25
Gambar 4.5 SEM diameter nanofiber dan distribusi diameter nanofiber (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dan (c) PVA 13%	27
Gambar 4.6 UV-Vis (a) Absorbansi dan (b) transmitansi.....	29
Gambar 4.7 Fotoluminesensi Larutan	32
Gambar 4.8 Fotoluminesensi Nanofiber	32
Gambar 4.9 Penyinaran UV 385 nm pada sampel (a) CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dengan sinar matahari dan sinar UV, (b) nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%), (c) Sampel larutan CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%), air dan sampel nanofiber	

PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) serta nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) 34



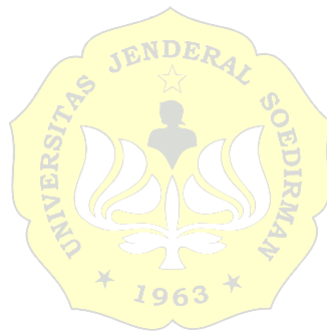
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Ukuran Nanofiber PVA/CQD/Gel.....	23
Tabel 4.2 Diameter nanofiber	27
Tabel 4.3 <i>Quantum Yield</i>	31



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Quantum Yield	48
Lampiran 2 Pengolahan SEM.....	48
Lampiran 3 Pengolahan UV-Vis	49
Lampiran 4 Pengolahan fotoluminesensi	49



ABSTRAK

Electrospinning merupakan metode fabrikasi nanofiber yang sangat sederhana. Matriks penyusun nanofiber adalah polimer yang dapat difungsionalisasikan dengan berbagai bahan lain sehingga dapat diarahkan pada aplikasi tertentu. Fabrikasi nanofiber dilakukan dengan kombinasi Polivinil alkohol (PVA), *Carbon Quantum Dots* (CQD), dan gelatin sebagai aplikasi anti-pemalsuan. Kombinasi matriks PVA dan gelatin akan menghasilkan nanofiber yang kuat, sementara penambahan CQD akan memberikan sifat berpendar yang baik jika disinari oleh sinar tertentu. Pengaruh gelatin 19% dan 21% terhadap PVA/CQD ketika *electrospinning* nanofiber akan diuji dengan SEM, UV-Vis dan Fotoluminesensi. Hasil SEM dari nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) menunjukkan nanofiber yang rapih tanpa kusut dan *beads* jika dibandingkan dengan nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Diameter rata-rata masing masing nanofiber adalah 192,12 nm dan 147,8 nm. Sementara emisi pendaran dari nanofiber berada pada panjang gelombang 593 nm ketika di eksitasi sinar dengan panjang gelombang 420 nm dengan instensitas yang lebih tinggi pada nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Ini menunjukkan bahwa konsentrasi gelatin yang banyak akan membuat nanofiber yang tipis dengan *beads* namun memiliki pendaran yang tinggi. Dengan demikian nanofiber PVA/CQD/Gel baik untuk aplikasi anti-pemalsuan karena nanofiber yang terbentuk itu acak, kuat, dapat berpendar dan ramah lingkungan karena berasal dari bahan bahan organik.

Kata Kunci: Anti-Pemalsuan, CQD, Gelatin, Nanofiber, PVA

ABSTRACT

Electrospinning is a very simple nanofiber fabrication method. The matrix that makes up nanofiber is a polymer that can be functionalized with various other materials so that it can be directed to certain applications. Nanofiber fabrication was carried out using a combination of Polyvinyl alcohol (PVA), Carbon Quantum Dots (CQD), and gelatin as an anti-counterfeiting application. The combination of PVA and gelatin matrices will produce strong nanofibers, while the addition of CQD will provide good fluorescent properties when illuminated by certain light. The effect of 19% and 21% gelatin on PVA/CQD when electrospinning nanofiber will be tested using SEM, UV-Vis and Photoluminescence. SEM results of PVA/CQD/Gel nanofiber (14%/1 mL/19%) show that the nanofiber is neat without tangles and beads when compared to PVA/CQD/Gel nanofiber (14%/1 mL/21%). The average diameter of each nanofiber is 192,12 nm and 147,8 nm. Meanwhile, the luminescence emission from the nanofiber is at a wavelength of 593 nm when excited by light with a wavelength of 420 nm with a higher intensity in the PVA/CQD/Gel nanofiber (14%/1 mL/21%). This shows that a large concentration of gelatin will create thin nanofibers with beads but have high luminescence. Thus, PVA/CQD/Gel nanofibers are good for anti-counterfeiting applications because the nanofibers formed are random, strong, luminescent and environmentally friendly because they come from organic materials.

Keywords: Anti-Counterfeiting, CQD, Gelatin, Nanofiber, PVA

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini dengan pesatnya perkembangan teknologi dan globalisasi, tantangan pencegahan pemalsuan produk menjadi semakin kompleks. Indonesia merupakan pasar yang menjanjikan di kawasan Asia Tenggara, dengan jumlah penduduk lebih dari 278 juta jiwa. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi ekonomi yang tinggi dan menjadi fokus perhatian dunia internasional. Biaya tenaga kerja dan bahan yang murah di Indonesia telah memicu produksi produk palsu dalam jumlah yang cukup besar. Pemalsuan produk seperti dokumen tiruan tidak hanya merugikan produsen dan konsumen, namun juga dapat mengancam kesehatan dan keselamatan masyarakat (Hou et al., 2015; C. Zhang et al., 2017). Oleh karena itu, perlu adanya inovasi dalam pengembangan teknologi anti pemalsuan yang efektif dan akurat (Gangwar et al., 2018; Sun et al., 2014).

Untuk mengatasi tantangan ini, pengembangan nanoteknologi muncul sebagai solusi yang menjanjikan. Salah satu bahan yang menarik perhatian untuk anti-pemalsuan adalah nanofiber (serat nano) polivinil alkohol (PVA) dan Gelatin yang dikombinasikan dengan *Carbon Quantum Dots* (CQD) (He et al., 2018; M. Hu et al., 2016; D. Yang et al., 2007; G. Yang et al., 2016). PVA merupakan polimer sintetik dengan sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap bahan kimia, dan hidrofilik. Gelatin merupakan polimer alami yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan PVA sehingga meningkatkan sifat mekanik nanofiber PVA. Sementara CQD adalah material nano karbon dengan dimensi yang sangat kecil berukuran <10 nm dan sebagian besar gugus karboksil pada permukaannya menunjukkan sifat hidrofilik yang kuat, bersifat biokompatibel serta berpendar ketika dikenakan cahaya (El-Seedi et al., 2023; Lee et al., 2016; Liu et al., 2021; Zulfajri et al., 2021).

Fabrikasi nanofiber memiliki keunggulan dalam aplikasi anti-pemalsuan karena luas permukaannya yang besar dan struktur seratnya yang kompleks. Hal ini memungkinkan penggunaan kode atau pola unik yang sulit dipalsukan. Metode *electrospinning* merupakan suatu cara efisien dalam produksi nanofiber dengan memanfaatkan efek medan listrik untuk menyebabkan penyemprotan larutan polimer yang memiliki muatan listrik. Keunggulan dari teknik ini adalah sederhananya peralatan yang digunakan dan biaya produksi yang rendah serta dapat membuat pola acak dan unik yang autentik jika dibandingkan dengan metode sintesis *freeze dry*, *centrifugal spinning*, *air-jet spinning*, dan lainnya (Gugulothu et al., 2019; Helga Lovely Wibowo et al., 2022). PVA dapat diolah menjadi nanofiber menggunakan teknik *electrospinning* yang menghasilkan serat sangat halus dengan diameter pada skala nanometer (Huang et al., 2020; Jafari et al., 2018; Rodrigues et al., 2018). Larutan PVA termasuk polimer buatan yang tidak berbahaya, dapat larut dalam air, memiliki sifat termal, permeabilitas gas, dan ketahanan kimia yang sangat unggul (Kusumawati et al., 2021). Sementara PVA dan gelatin dapat digabungkan dalam *electrospinning* untuk menghasilkan nanofiber dengan sifat mekanik dan biokompatibilitas yang baik (Chi et al., 2022). Struktur matriks PVA/Gel yang dibentuk dengan metode *electrospinning* menghasilkan nanofiber dengan bentuk rumit dan relatif tipis ketika diuji SEM. Ukuran diameter rata-rata nanofiber dengan matriks PVA dari referensi sekitar 68 nm – 263 nm bergantung pada konsentrasi dan berat molekul PVA (Wen et al., 2022). Meskipun nanofiber dengan diameter lebih besar dari 100 nm mungkin tidak menunjukkan perilaku skala nano yang signifikan, nanofiber tersebut masih memiliki karakteristik yang berbeda dari bahan *bulk* (besar). Bahkan pada diameter yang lebih besar, nanofiber memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan material *bulk*, sehingga istilah “skala nano” mencakup cakupan yang lebih luas, termasuk nanofiber dengan diameter melebihi 100 nm. Dalam penelitian dan industri, definisi "skala nano" dapat bervariasi, dan tidak ada aturan ketat mengenai batas atas dimensi skala nano. Fokusnya sering kali pada eksploitasi sifat dan perilaku unik yang muncul pada skala nano, dan material dengan dimensi lebih dari 100 nm masih

dapat dipertimbangkan dalam bidang nanoteknologi jika material tersebut menunjukkan fitur atau aplikasi skala nano yang relevan (Buzea et al., 2007).

Di sisi lain, keunikan sifat-sifat CQD telah membangkitkan minat di berbagai bidang, karena memiliki karakteristik fungsional yang menarik seperti kemampuannya berpendar dalam berbagai warna tergantung pada ukuran dan struktur permukaannya. Beberapa faktor lainnya yang menjadi daya tarik utama dalam penggunaan CQD adalah ketahanan terhadap reaksi kimia, kestabilan terhadap cahaya, dan rendahnya efek toksisitas. (Amin et al., 2021a; Cotrim & Oréface, 2021; Kalytchuk et al., 2018). CQD akan berpendar ketika diberikan cahaya pada gelombang tertentu seperti gelombang UV. Seperti pada penelitian (Lee et al., 2016) CQD akan berpendar pada panjang gelombang 483 nm ketika disinarkan oleh panjang gelombang 360 nm. Jika bahan dapat berpendar pada panjang gelombang yang lebih besar daripada Cahaya dikenakan pada bahan, maka bahan tersebut merupakan bahan fotoluminesensi. Dengan demikian, kelebihan fotoluminesensi ini dapat dimanfaatkan sebagai aplikasi untuk anti-pemalsuan.

Penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan nanofiber PVA/CQD/Gel untuk anti-pemalsuan. Kombinasi sifat mekanik nanofiber PVA/Gel dan sifat optik CQD diharapkan dapat menghasilkan produk yang dapat memberikan informasi otentikasi yang akurat dan sulit dipalsukan. Dalam metode ini, nanofiber PVA/Gel yang memiliki sifat mekanik yang kuat dapat diintegrasikan dengan sifat optik yang unik dari CQD. Gabungan ini berpotensi menciptakan produk yang mampu memberikan perlindungan terhadap pemalsuan. Dengan karakteristik nanofiber yang kuat dan tahan lama, serta daya sensitivitas optik dari CQD yang dapat memberikan respons cahaya tertentu, sistem ini dapat menghasilkan tanda-tanda keamanan atau kode yang sulit untuk ditiru. (Kalytchuk et al., 2018; J. Li et al., 2023).

Tidak banyak penelitian sebelumnya tentang nanofiber anti-pemalsuan dari ketiga bahan utama ini pernah dilakukan, salah satu referensi dari penelitian ini dilakukan oleh Lee et al., 2016 dengan judul “Biocompatible and

Photoluminescent Keratin/Poly(vinyl alcohol)/Carbon Quantum Dot Nanofiber: A Novel Multipurpose Electrospun Mat”. Penelitian tersebut menggunakan keratin dari rambut asli yang diolah dengan PVA dan CQD untuk anti-pemalsuan. Menghasilkan nanofiber yang dapat berpendar ketika disinari UV. Ketika nanofiber tersebut dibilas dengan air, nanofibernya akan berubah menjadi trnsparan dan tetap memendarkan cahaya.

PVA sebagai matriks nanofiber dikombinasikan dengan *carbon dots* (CD) untuk anti-pemalsuan pernah dilakukan oleh He et al., 2018 dengan judul “Construction and multifunctional applications of CD/PVA nanofibers with phosphorescence and thermally activated delayed fluorescence”. He et al. membandingkan berbagai macam teknik pengolahan PVA dan CD untuk anti-pemalsuan, seperti pembuatan tinta, nanokomposit, film, spons dan nanofiber. Pengujian pendaran PVA dan CD nanofiber merupakan bahan paling lama bertahan terang ketika sinar UV dimatikan.

Penambahan gelatin pada matriks utama PVA/CQD merupakan keterbaruan dalam fabrikasi nanofiber dengan metode *electrospinning*. Penelitian ini akan menentukan pengaruh gelatin pada PVA/CD terhadap pendarannya untuk aplikasi anti pemalsuan. Dengan pengujian SEM utuk mengetahui struktur nanofibernya, UV-Vis sebagai penentu nilai absorbansi dan transmisi bahan, serta fotoluminesensi untuk mengetahui pendaran suatu bahan, maka nanofiber PVA/CQD/Gel diharapkan memiliki struktur kompleks yang dapat berpendar ketika disinari Cahaya pada gelombang tertentu. Oleh karena itu, pengembangan nanofiber PVA/CQD/Gel untuk aplikasi anti-pemalsuan berdampak positif dalam memerangi praktik pemalsuan yang berbahaya dan sebagai keamanan produk yang lebih baik di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana struktur nanofiber PVA/CQD/Gel?

2. Bagaimana pendaran nanofiber PVA/CQD/Gel untuk aplikasi anti-pemalsuan?

1.3 Cakupan dan Batasan Masalah

Penelitian ini hanya mencakup sintesis nanofiber PVA/CQD/Gel dengan metode *electrospinning* menggunakan parameter tertentu hingga analisis karakterisasi struktur dan menguji pendarannya dengan pengukuran fotoluminesensi sebagai aplikasi dari anti pemalsuan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui struktur nanofiber PVA/CQD/Gel.
2. Menguji pendaran nanofiber PVA/CQD/Gel untuk aplikasi anti-pemalsuan.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan pustaka untuk peneliti, dosen atau mahasiswa dalam pembuatan nanofiber serta aplikasinya sebagai anti-pemalsuan.
2. Sebagai pertimbangan industri dalam menghasilkan produk yang dapat memberikan informasi otentikasi yang akurat dan sulit dipalsukan.

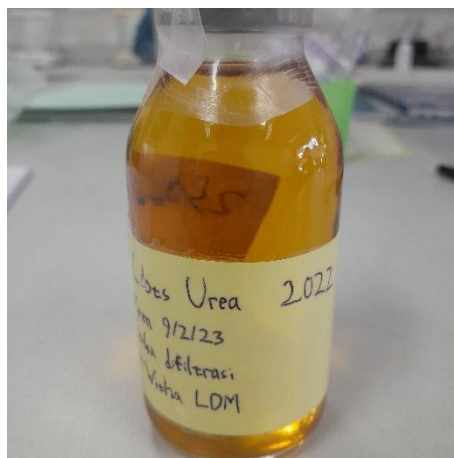
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Carbon Quantum Dots (CQD)

Carbon Quantum Dots (CQD) adalah nanomaterial berukuran sangat kecil (biasanya kurang dari 10 nm) yang terdiri dari karbon dalam bentuk titik atau nanokristal. CQD merupakan jenis lebih kecil dari *Carbon Dots (CD)* secara keseluruhan. Karena ukurannya yang kecil, CQD secara khas memiliki sifat kuantum yaitu fotoluminesensi (kemampuan material untuk mengeluarkan cahaya).

CQD merupakan bahan nano berbasis karbon yang pertama kali ditemukan pada tahun 2004 oleh Xu et al. selama pemurnian tabung nano karbon berdinding Tunggal (*Single-Walled Carbon Nanotube*). Penemuan CQD memicu penelitian ekstensif untuk mengeksplorasi sifat pendarannya, yang memungkinkan penerapannya dalam biomedis, optoelektronik, katalisis, dan bidang lainnya. CQD dapat dibuat dengan metode *arc-discharge*, pirolisis *Microwave*, metode hidrotermal, dan sintesis elektrokimia. CQD dapat memancarkan pendaran dalam rentang dari UV hingga wilayah inframerah-dekat (*Near-Infra Red*) sehingga cocok untuk aplikasi optik.



Gambar 2.1 CQD Urea 250 mg yang dilarutkan pada air 250 mL

CQD yang digunakan untuk penelitian ini berbahan dasar urea yang difabrikasi dengan metode microwave yang kemudian dilarutkan 250 mg/250 mL pada air. CQD memiliki stabilitas yang baik sehingga tetap stabil dalam waktu yang cukup lama. CQD juga biokompatibel yang berarti dapat digunakan tanpa menyebabkan toksisitas pada manusia.

2.2 Polivinil Alkohol (PVA)

PVA (polivinil alkohol) adalah jenis polimer yang bersifat ramah lingkungan, hidrofilik, dapat membentuk serat dengan baik, tidak berbahaya, dan cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti pelapis, perekat, dan sebagai bagian dari bahan kemasan yang dapat dibentuk sesuai kebutuhan. PVA memiliki rumus ideal $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})]_n$. PVA dibuat dengan hidrolisis polivinil asetat atau polimer vinil lainnya karena monomer vinil alkohol secara termodinamika tidak stabil.

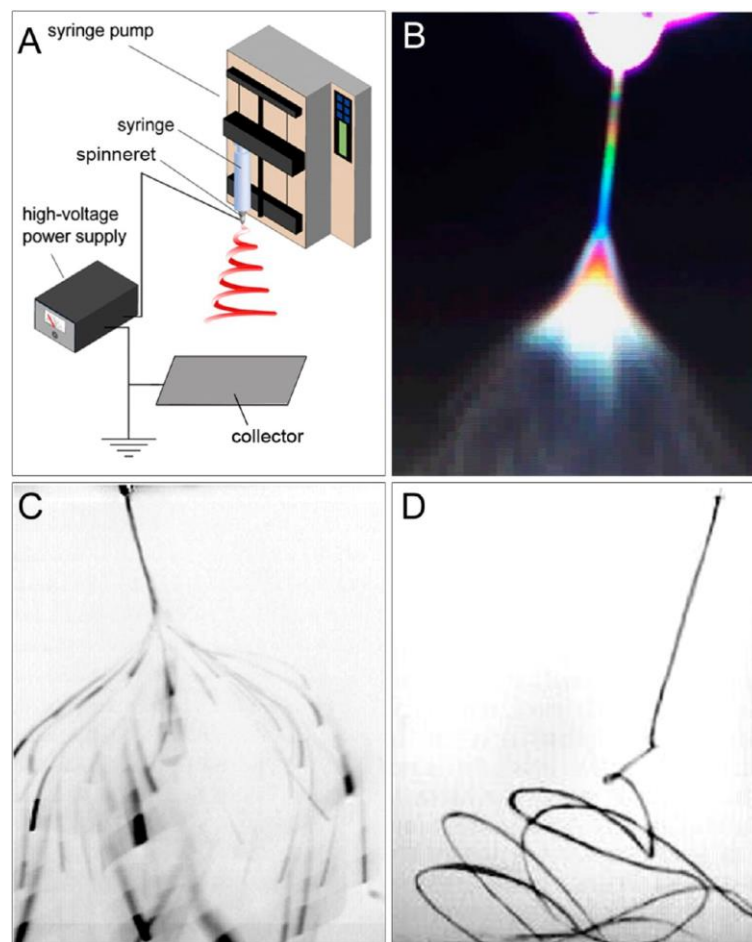
PVA memiliki kemampuan yang baik dalam membentuk nanofiber ketika dikenakan pada medan listrik dalam proses *electrospinning*. PVA menghasilkan nanofiber dengan diameter yang sangat kecil. PVA sebagai matriks dapat dicampur dengan berbagai bahan lain, seperti nanomaterial seperti Gel dan CQD, untuk menghasilkan nanofiber dengan sifat-sifat tambahan yang diinginkan. Dalam konteks anti-pemalsuan, PVA/CQD/Gel nanofiber dapat digunakan sebagai bahan yang sulit dipalsukan untuk berbagai aplikasi.

2.3 Gelatin

Gelatin adalah biomaterial alami yang biasa digunakan untuk nanofiber *electrospinning* yang biasanya ditujukan untuk membuat nanofiber dengan sifat mekanik yang kuat. Nanofiber berbahan dasar gelatin memiliki biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan aktivitas adhesi sel yang tinggi. *Electrospinning* nanofiber gelatin dioptimalkan menggunakan pelarut aprotik dipolar seperti DMA, DMF, NMP, dan asam asetat. Asam asetat (AA) adalah senyawa organik yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri. AA digunakan untuk mencegah pepadatan gelatin pada suhu kamar, yang dapat meningkatkan viskositas larutan. Gelatin dapat dilarutkan dalam asam asetat pada konsentrasi yang berbeda, dan

konsentrasi optimal bergantung pada aplikasi spesifik. Gelatin biasanya dikombinasikan dengan polimer seperti PVA dalam *electrospinning* nanofiber untuk meningkatkan stabilitas mekanik dan sifat adhesi sel PVA. Kombinasi PVA/Gelatin karena PVA memiliki stabilitas mekanik yang baik tetapi sifat adhesi selnya buruk karena afinitasnya yang rendah terhadap protein. Di sisi lain, gelatin memiliki biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan aktivitas adhesi sel yang tinggi.

2.4 *Electrospinning* nanofiber



Gambar 2.2 *Electrospinning* (Xue et al., 2017)

Electrospinning adalah salah satu teknik inovatif dalam pembuatan nanofiber dengan menggunakan medan listrik. Teknik ini memanfaatkan gaya elektrostatis untuk mengubah larutan polimer atau campuran polimer menjadi

nanofiber yang sangat tipis. Prosesnya melibatkan penyemprotan larutan polimer yang dikenakan medan listrik tinggi. Akibatnya, larutan polimer mengalami deformasi elektrostatis dan membentuk serat yang sangat halus dengan diameter yang mencapai skala nanometer. Permukaan dan/atau bagian dalam serat nano tersebut dapat difungsikan lebih lanjut dengan spesies molekuler atau partikel nano selama atau setelah proses pemintalan listrik. Teknik *electrospinning* telah diterapkan dalam berbagai aplikasi, seperti pembuatan bahan kemasan berbasis nanofiber, pengembangan material sensor dan perangkat optoelektronik.

Alat *electrospinning* sangat sederhana dan umumnya terdiri dari beberapa komponen utama yaitu catu daya tegangan tinggi, suntikan dan jarumnya serta kolektor. Ketika sedikit cairan viskoelastik disalurkan melalui jarum suntik, cairan tersebut cenderung membentuk tetesan bulat karena adanya tegangan permukaan yang membatasi bentuknya. Saat tetesan ini terhubung ke sumber listrik dengan tegangan tinggi, tetesan mulai mengakumulasi muatan yang serupa. Interaksi tolak-menolak antara muatan-muatan ini mengatasi tegangan permukaan dan mengubah bentuk tetesan menjadi kerucut yang menghasilkan semburan dari puncaknya. Ini adalah fase awal dari proses yang disebut sebagai fase "*cone-jet*". Selama "*cone-jet*", pengaruh medan listrik dan tolakan muatan pada permukaan tetesan menyebabkan diameter pancaran terus mengecil, dan pancaran mulai membengkok. Setelah itu, jet cairan memasuki fase "*whipping instability*", sehingga mengalami percepatan dan gerakan berputar yang cepat. Selama fase ini, diameter pancaran menyusut secara signifikan karena pelarut menguap. Akhirnya, pancaran ini mengalami pengerasan, menghasilkan serat yang sangat tipis.

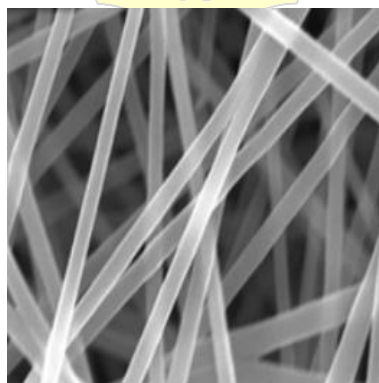
Pengembangan nanofiber berbasis PVA/Gel yang dikombinasikan dengan CQD dapat diarahkan pada aplikasi anti-pemalsuan. Ketika digunakan bersama-sama dalam proses *electrospinning*, PVA/Gel dan CQD dapat membentuk serat nanometer dengan sifat mekanik yang kuat dan kemampuan fotoluminesensi yang dapat diatur. Kombinasi PVA dengan CQD dapat disesuaikan untuk menghasilkan serat dengan karakteristik optik yang unik, sehingga sangat sulit untuk dipalsukan.

Selain itu, sifat biokompatibel PVA/Gel juga menjadikannya pilihan yang aman untuk konsumen.

2.5 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning electron microscopy (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang digunakan untuk memeriksa permukaan benda padat. SEM memiliki perbesaran 10 hingga 3.000.000 kali, kedalaman bidang 4 hingga 0,4 mm, dan resolusi 1 hingga 10 nm. SEM telah menjadi alat yang banyak digunakan dalam penelitian dan industri. SEM memfokuskan berkas elektron (*electron beam*) pada permukaan benda yang akan diamati, kemudian mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan benda tersebut untuk memperoleh suatu gambar.

Salah satu pengembangan dari SEM adalah *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FESEM). Sumber elektron SEM bergantung pada emisi termionik, elektron dipancarkan dari filamen yang dipanaskan. Sementara FESEM menggunakan *Field Emission Gun* (FEG) sebagai sumber elektron. Dalam FEG, gradien potensial diterapkan untuk memancarkan berkas elektron. Sehingga menghasilkan resolusi yang lebih tinggi dan jangkauan energi yang jauh lebih besar dibandingkan SEM.



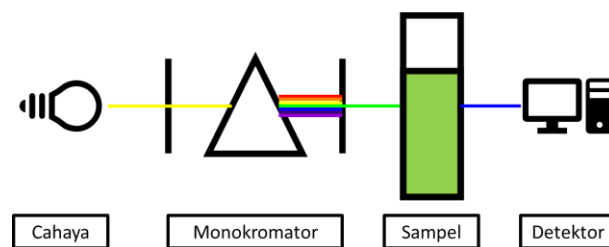
Gambar 2.3 Hasil FESEM dari PVA/CQD/keratin (Lee et al., 2016)

Lee et al. melakukan uji FESEM sampel PVA/CQD/Keratin yang telah dibilas seperti pada (Lee et al., 2016). Nanofiber menunjukkan permukaan halus yang acak, bebas *beads* (benjolan), banyak celah antar fibernya dan diameter hampir seragam 200 nm. Nanofiber PVA/CQD/Gelatin diharapkan menghasilkan

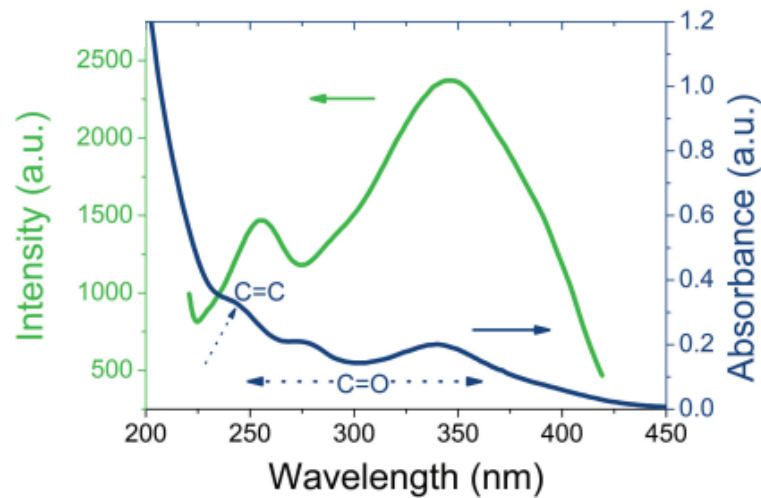
hasil FESEM yang serupa karena matriks utamanya yaitu PVA. Perbedaannya hanya pada biopolimernya yaitu keratin dengan 1 helix polipeptida dan gelatin 3 rantai polipeptida.

2.6 Ultraviolet Visible (UV-Vis)

Prinsip spektroskopi *Ultraviolet-visible* (UV-Vis) didasarkan pada penyerapan sinar ultraviolet atau sinar tampak oleh senyawa sehingga menghasilkan spektrum yang berbeda-beda. Spektroskopi UV-Vis adalah teknik analisis yang mengukur jumlah panjang gelombang (λ) diskrit sinar UV atau cahaya tampak yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu sampel dibandingkan dengan sampel dalam keadaan normal. Sifat ini dipengaruhi oleh komposisi sampel dan oleh karena itu memberikan informasi tentang apa yang ada dalam sampel dan berapa konsentrasinya. Cahaya mempunyai jumlah energi yang berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya. Jadi, panjang gelombang cahaya yang lebih pendek membawa lebih banyak energi dan sebaliknya. Sejumlah energi tertentu diperlukan untuk mendorong elektron dalam suatu zat ke tingkat energi yang lebih tinggi yang dapat dibaca sebagai penyerapan. Elektron dalam lingkungan ikatan yang berbeda dalam suatu zat memerlukan jumlah energi spesifik yang berbeda untuk mendorong elektron ke keadaan energi yang lebih tinggi. Inilah sebabnya mengapa penyerapan cahaya terjadi pada panjang gelombang yang berbeda pada zat yang berbeda.



Gambar 2.4 Skema sederhana dalam spektrofotometer UV-Vis



Gambar 2.5 Spektrum UV-Vis *Carbon dots* yang diuji oleh (He et al., 2018)

He et al. melakukan uji UV-Vis pada *carbon dots* dengan rentang panjang gelombang 200 nm – 450 nm. *Carbon dots* yang telah dibuat menunjukkan 3 puncak absorbansi yaitu 275 nm, 375 nm dan 340 nm. Puncak puncak tersebut sesuai referensi merupakan ikatan karbon untuk C=C dan C=O seperti pada **Gambar 2.5**. He et al juga melakukan uji eksitasi untuk mengetahui panjang gelombang yang tepat untuk uji fotoluminesensi. Puncak eksitasi berada pada panjang gelombang 253 nm dan 350 nm sesuai dengan referensi.

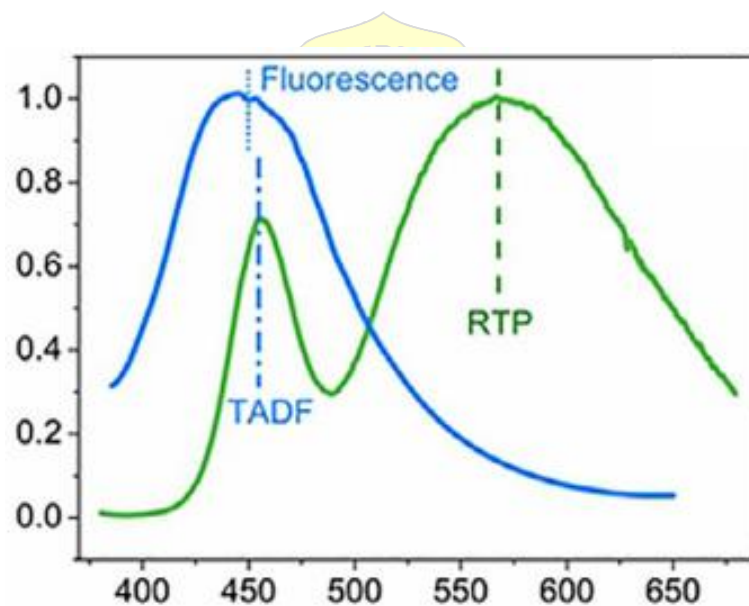
2.7 Fotoluminesensi

Fotoluminesensi adalah fenomena penting dalam ilmu optoelektronika yang berkaitan dengan kemampuan materi untuk menyerap foton cahaya dan kemudian memancarkan kembali foton, biasanya dalam bentuk cahaya tampak. Ketika materi menyerap foton energi tinggi, elektron-elektron dalam materi akan terangkat ke tingkat energi yang lebih tinggi, yang disebut eksitasi. Namun, elektron-elektron ini tidak dapat tetap berada dalam tingkat energi eksitasi selamanya. Mereka akan kembali ke tingkat energi dasar, melepaskan energi yang berlebih dalam bentuk foton. Foton-foton ini memiliki energi yang berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya, sehingga semakin tinggi energi foton, semakin pendek panjang gelombangnya. Oleh karena itu, ketika kita melihat fotoluminesensi, kita sering melihat cahaya dengan panjang gelombang yang lebih

besar daripada cahaya asli yang dikenakan pada materinya. Foton yang dipancarkan dengan waktu singkat, itu disebut floresensi, jika lebih lama disebut fosforesensi.

$$\Phi = \frac{N_{emi}}{N_{abs}} = \frac{\text{Jumlah molekul yang berpendar}}{\text{jumlah molekul yang tereksitasi}} \quad 2.1)$$

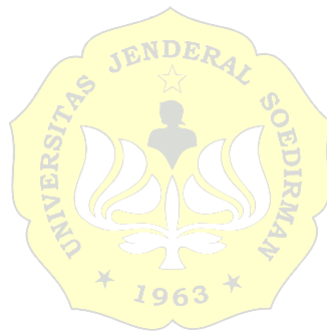
Quantum yield (QY) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur efisiensi konversi energi dalam proses fotoluminesensi. QY mengukur sejauh mana suatu materi dapat mengubah energi yang diterimanya menjadi foton. QY dinyatakan sebagai rasio antara jumlah foton yang dikeluarkan oleh materi (emisi cahaya aktual) terhadap jumlah foton yang diserap oleh materi (foton yang datang melalui eksitasi). QY biasanya dinyatakan sebagai persentase atau dalam bentuk desimal.



Gambar 2.6 Fotoluminesensi nanofiber PVA/carbon dots yang dibuat oleh (He et al., 2018)

Pengujian fotoluminesensi yang dilakukan oleh He et al. untuk nanofiber menggunakan eksitasi sinar dengan panjang gelombang 360 nm dan mengemisikan pendaran pada panjang gelombang 450 nm. Ini menunjukkan bahwa nanofiber yang disintesis He et al. merupakan nanofiber fotoluminesensi,

karena sinar yang dipendarkan memiliki panjang gelombang yang lebih besar daripada panjang gelombang eksitasi. QY *PVA/Carbon dots* nanofiber pada penelitian ini sangat besar yaitu 22,57%, dibandingkan dengan bahan spons 20,79%, film 20,29%, dan ink 10,29%. Oleh karena itu, nanofiber merupakan bahan yang paling baik untuk diaplikasikan pada anti-pemalsuan.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan (Juni 2023-November 2023) di Laboratorium Material Fungsional Dimensi Rendah, Pusat Riset Material Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Serpong.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kertas timbang
2. Neraca digital
3. Pinset
4. Aluminium foil
5. Parafilm
6. Mikropipet
7. Gelas beker 10 mL
8. *Hotplate stirer* IKA C-MAG HS7
9. Batang magnet
10. *Fume Hood*
11. Sonikator Elmasonic HS 60
12. Mesin *Electrospinning Nanofiber Tong Li Tech*
13. Suntikan 12 mL
14. Jarum suntik 22 G
15. Mesin SEM Hitachi SU-3500 dan Jeol JSM-IT200
16. Mesin Spektrofotometri UV-Vis Shimadzu 1800
17. Mesin Spektrofotometer Costum 420 nm
18. Laptop HP, Windows, Intel Core i5-1155G7, RAM 8 GB
19. *Software* Origin 2022
20. *Software* ImageJ



Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Akuabides
2. *Carbon Quantum Dots* Laser BRIN
3. *Polyvinyl Alcohol* Mw 89000-98000 (PVA) Sigma
4. Gelatin (Gel) Merck
5. *Acetic Acid (Glacial)* 100% (AA) Merck

3.3 Prosedur Penelitian

Secara umum, proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah *electrospinning* dari PVA/Gel yang dikombinasikan dengan CQD untuk menghasilkan nanofiber yang dapat berpendar. Adapun langkah pertama yang dilakukan adalah melarutkan polimer PVA pada air hingga homogen. Seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa PVA dapat dilarutkan dalam larutan air karena sifat hidrofiliknya. Sementara Polimer Gelatin dicampurkan dengan Asam asetat (AA). Setelah PVA sudah larut, *Carbon Quantum Dots* (CQD) ditambahkan kedalam larutan kemudian diaduk hingga homogen. Lalu kedua larutan di kombinasikan antara PVA/CQD dan Gel/AA dengan rasio 4:1 Kemudian larutan PVA/CQD/Gel difabrikasi nanofiber dengan teknik *electrospinning*. Terakhir sampel nanofiber PVA/CQD/Gel diuji struktur morfologi dan pendarann fotoluminesensinya.

3.3.1 Larutan PVA/CQD

Pertama-tama tuangkan aquabides sebanyak 4 mL pada gelas beker 10 mL. Lalu timbang PVA sebanyak 0,7 g. Kemudian aduk larutan tersebut pada *hotplate* selama 2 jam 90 °C 500 rpm. larutan akan terlihat kental. Matikan suhu pada *hotplate* dan sonikasi selama 1 jam untuk memastikan bahwa larutan sudah homogen. Lalu tambahkan CQD sebanyak 1 mL dan aduk selama 2 jam serta sonikasi Kembali selama 1 jam. Larutan tersebut memiliki konsentrasi PVA 14%, dan CQD 1 mL sehingga dinamakan sebagai larutan PVA/CQD (14%/10 mL).

3.3.2 Larutan Gel/AA

Preparasi dilakukan di *Fume Hood* karena pH dari AA adalah asam. Tuangkan AA 5 mL pada gelas beker 10 mL. Larutkan Gel sebanyak 0,95 g dan 1,5 g. Larutan tersebut dinamakan Gel 19% dan Gel 21%. Setelah larutan sudah larut sekitar 2 jam, lakukan sonikasi selama 1 jam untuk memastikan larutan telah homogen.

3.3.3 Larutan PVA/CQD/Gel

Setelah kedua larutan sudah benar benar homogen, PVA/CQD dan Gel/AA dikombinasikan dengan rasio 4:1. Lakukan di *fume hood* dengan stir 500 rpm selama 24 jam. Setelah sehabis diaduk larutan PVA/CQD/Gel disonikasi selama 1 jam dan diamkan selama 30 menit sebelum di *electrospinning*. Larutan tersebut dinamakan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%).

3.3.4 Pengaturan *Electrospinning*

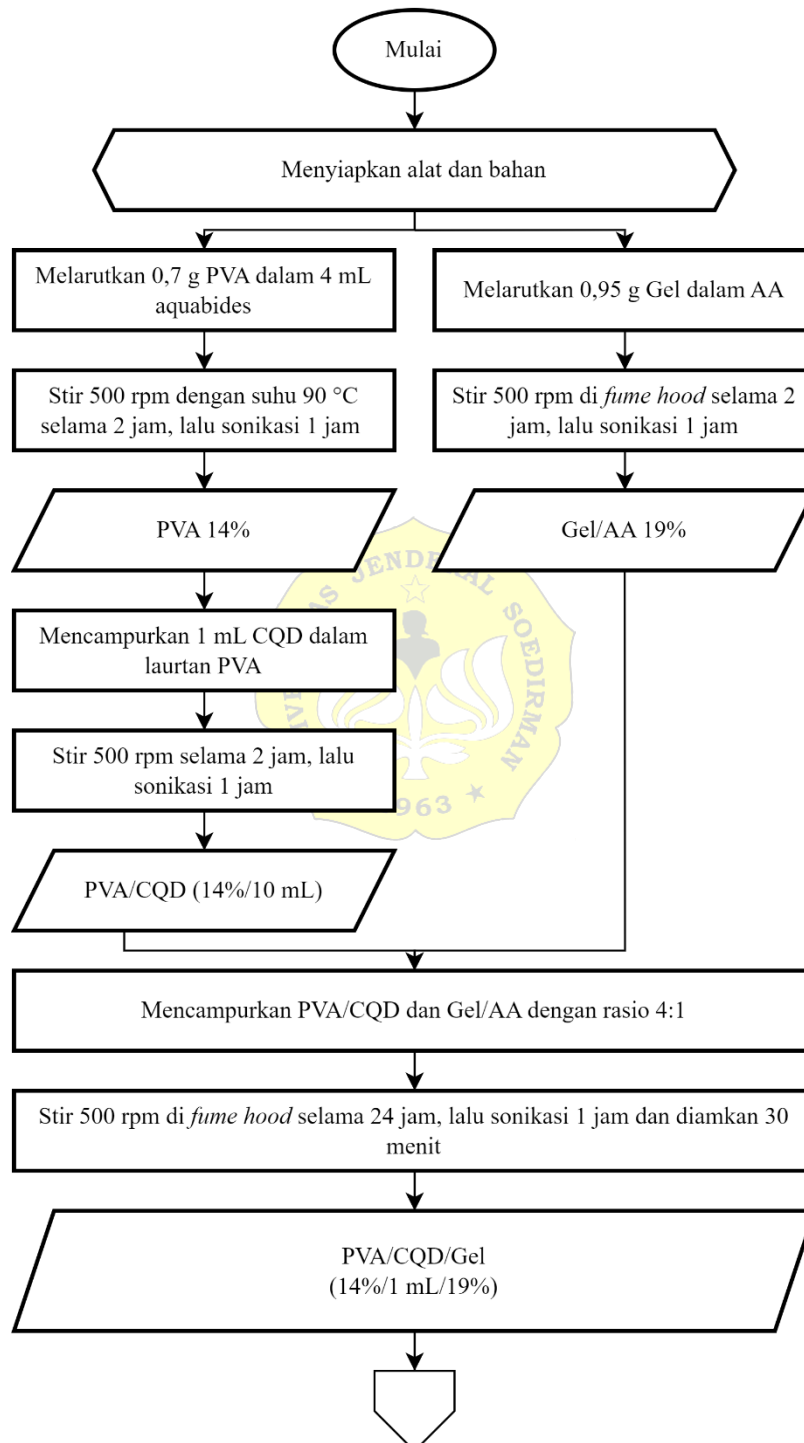
Tahapan *electrospinning* yang pertama adalah menyiapkan aluminium yang digunakan sebagai alas pada bagian kolektor mesin. Setelah itu siapkan suntikan 12 mL dan jarum suntik 22 G. Tuangkan 4 mL larutan yang telah dibuat pada suntikan dan taruh suntikan dibagian pendorong mesin. *Electrospinning* dibentuk dengan laju aliran 0,5 mL/jam, tegangan 20 kV, selama 3 jam. Setelah itu nanofiber di keluarkan dari kolektor mesin dan disimpan untuk karakterisasi lebih lanjut.

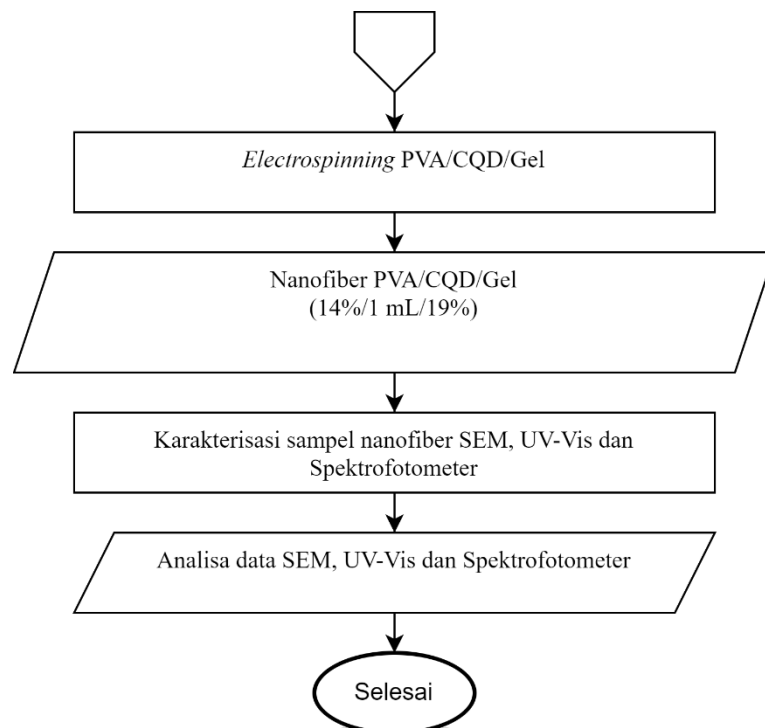
3.3.5 Karakterisasi sampel

Sampel nanofiber selanjutnya dikarakterisasi dengan SEM, UV-Vis dan fotoluminensi. Analisis SEM dilakukan dengan menganalisa data SEM menggunakan *software* ImageJ untuk mengetahui diameter nanofiber yang terbentuk dari nanofiber PVA/CQD/Gel. Kemudian untuk menguji pendaran pada PVA/CQD/Gel, dilakukan pengukuran fotoluminesensi dengan mesin UV-Vis untuk mengukur jumlah panjang gelombang diskrit sinar UV atau cahaya tampak yang diserap atau ditransmisikan melalui sampel, serta mesin spektrofotometer

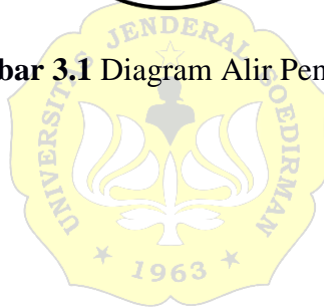
untuk pengukuran cahaya yang diemisikan oleh sampel setelah dieksitasi oleh sumber cahaya.

3.4 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



BAB 4

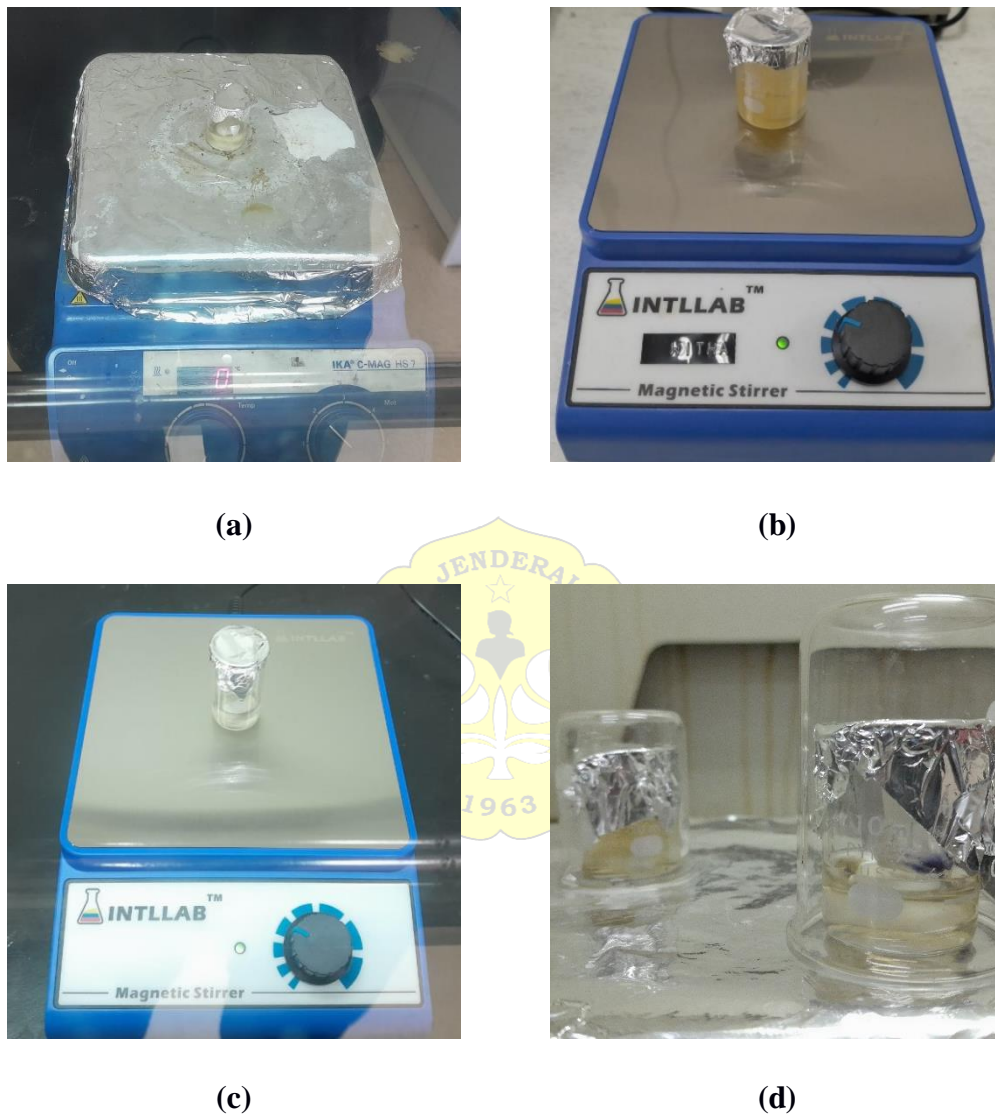
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Struktur Nanofiber PVA/CQD/Gel

Sintesis Nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dengan kombinasi PVA/CQD:Gel/AA (4:1) menggunakan metode *electrospinning* telah berhasil dilakukan di Laboratorium Material Fungsional Dimensi Rendah, Pusat Riset Material Maju - BRIN. **Gambar 4.1 (a), (b) dan (c)** adalah proses sintesis larutan PVA/CQD dengan Gelatin/AA 19% dan 21% sebelum difabrikasi menjadi nanofiber. Proses sintesis larutan dimulai dengan penambahan PVA pada aquabides/CQD dan gelatin pada AA hingga mendapatkan larutan yang homogen dan kental. PVA Merupakan polimer sintetik yang larut dalam air tergantung pada derajat hidrolisis, berat molekul, dan kecenderungan ikatan hidrogen dalam larutan berair (Chi et al., 2022). Sementara gelatin dapat dilarutkan dengan pelarut organik seperti asam asetat (AA) (Linh & Lee, 2012). Gelatin dapat dilarutkan dalam asam asetat yang merupakan pelarut sangat polar untuk membentuk larutan homogen. Larutan PVA/CQD dan Gel/AA yang telah homogen kemudian dikombinasikan dengan rasio 4:1 ((Perez-Puyana et al., 2018). **Gambar 4.1 (d)** menunjukkan larutan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) yang telah dilakukan *sonikation bath*.

Penambahan gelatin dimaksudkan untuk menguatkan matriks PVA yang akan dibentuk ketika proses *electrospinning* (Chi et al., 2022). Larutan PVA/CQD yang berwarna hijau menjadi berwarna kuning setelah ditambahkan gelatin dengan rasio 4:1. Kekentalan dari PVA/CQD/Gel lebih cair daripada larutan PVA/CQD. Semakin banyak rasio Gel/AA yang ditambahkan pada PVA/CQD, larutan akan semakin cair. Namun semakin banyak konsentrasi gelatin pada AA, maka larutan akan semakin kental. Kekentalan PVA/CQD/Gel mempengaruhi tegangan yang dibutuhkan untuk memintal tetesan menjadi jet. Semakin kental suatu cairan maka tegangan yang diperlukan untuk memintal menjadi jet semakin

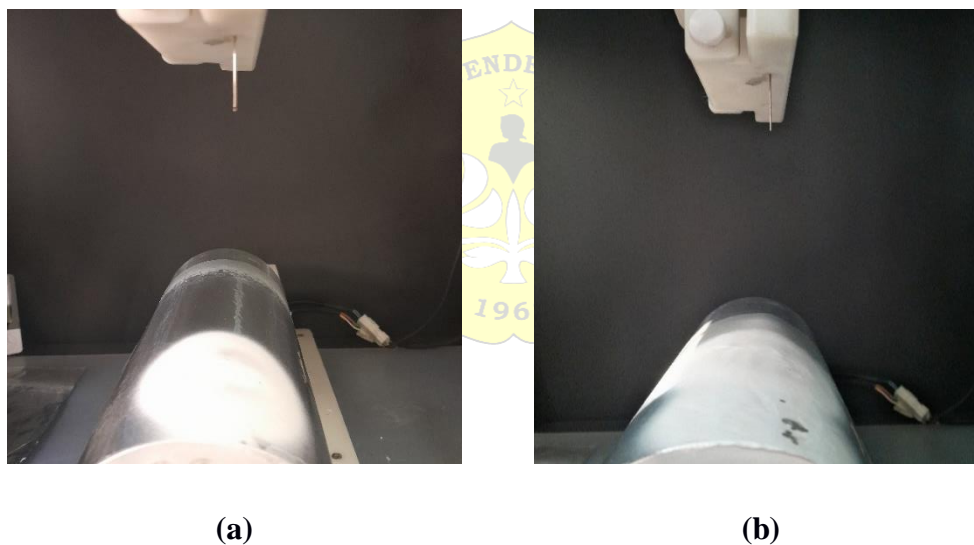
tinggi (Ding et al., 2019). Pengaruh CQD tidak terlihat sebelum pengujian fotoluminesensi, CQD hanya memberikan warna hijau pada larutan PVA yang sebelum dikombinasikan dengan gelatin.



Gambar 4.1 Proses mengaduk larutan (a) Larutan PVA/CQD (14%/1 mL), (b) Larutan Gel/AA 19%, (c) Larutan Gel/AA 21% dan (d) Larutan PVA/CQD/Gel

Larutan PVA/CQD/Gel kemudian dimasukkan kedalam suntikan dan disiapkan untuk *electrospinning*. Fabrikasi nanofiber dengan metode *electrospinning* ditunjukkan pada **Gambar 4.2** (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Nanofiber terbentuk diatas

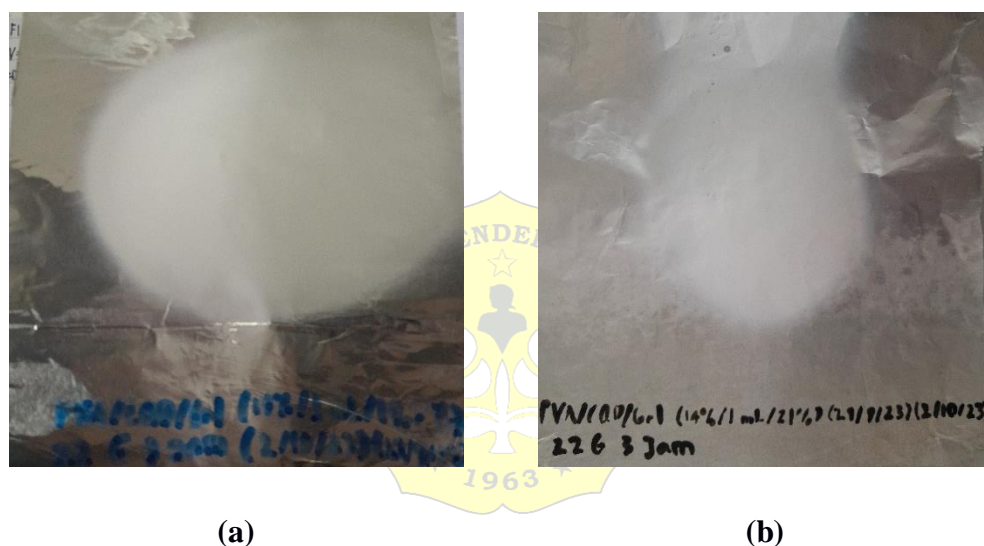
lembar aluminium foil yang ditempelkan pada penampang kolektor melalui keadaan yang dinamakan *Taylor cone* (Yarin et al., 2001). Medan listrik menyebabkan tetesan tersebut memanjang dan membentuk pancaran tipis (*jet*) yang semakin mengecil sehingga membentuk nanofiber. Ketika sudah mencapai skala nano, fiber yang terbentuk akan menyebar mengikuti medan listrik karena massa bisa diabaikan dan tegangan permukaan dapat dikalahkan (S. Zhao et al., 2013). Nanofiber yang terbentuk saling menimpa secara acak dan menumpuk selama waktu *electrospinning* berlangsung. *Electrospinning* dilakukan dengan laju 0,5 mL/h dan tegangan sebesar ± 20 kV untuk memintal larutan PVA/CQD/Gel menjadi nanofiber selama 3 jam (Fathurin et al., 2022). Nanofiber kemudian didiamkan selama 2 jam hingga kering dan penyimpanan dilakukan pada suhu ruangan.



Gambar 4.2 *Electrospinning* nanofiber (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)

Gambar 4.3 (a) Menunjukkan bentuk nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan (b) nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) yang telah di *electrospinning* selama 3 jam. Luas nanofiber yang tersebar saat *electrospinning* dengan parameter yang sama menunjukkan bahwa nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) tersebar lebih luas jika dibandingkan dengan nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.1**. Saat

electrospinning, nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) juga menunjukkan tetesan yang lebih banyak daripada nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**. Hal tersebut terjadi karena pengaruh dari sifat larutan, seperti viskositas, tegangan permukaan dan konduktivitas yang berubah karena konsentrasi gelatin (Zargham et al., n.d.). PVA merupakan polimer yang dapat larut dalam air, dan penambahan gelatin dapat mengubah kelarutan air sehingga ketika di *electrospinning* nanofiber yang terbentuk tersebar lebih luas atau menyempit akibat tingkat kelarutan tersebut (X. Yan & Gevelber, n.d.).



Gambar 4.3 Nanofiber yang diperoleh selama 3 jam *electrospinning* (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)

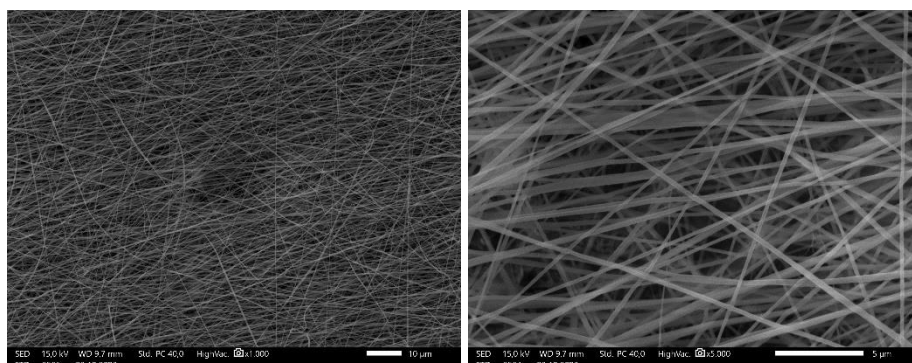
Tabel 4.1 Ukuran Nanofiber PVA/CQD/Gel

Nama	Luas (mm ²)
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%)	5434,653
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)	5568,006

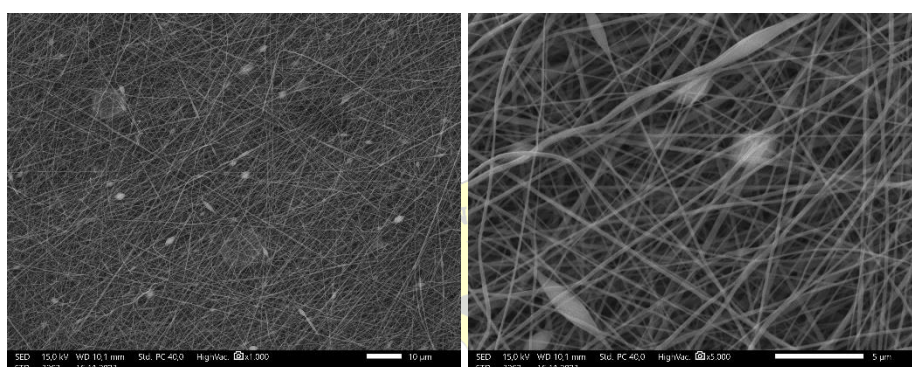
Nanofiber dipotong sebagian untuk karakterisasi SEM seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4 a)** PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan **(b)** PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%), serta **(c)** PVA 13% sebagai nanofiber pembanding tambahan. Nanofiber dengan gelatin 19% menunjukkan hasil SEM

dengan nanofiber yang lebih lurus tanpa kusut atau melengkung dan sedikit tetesan bulat (*beads*) daripada nanofiber dengan gelatin 21%. *Beads* menunjukkan bahwa protein dari gelatin dienkapsulasi di dalam tetesan bulat, kemudian diselubungi PVA membentuk nanofiber yang menghubungkan berbagai *beads* akibat peningkatan muatan elektrostatis (Perez-Puyana et al., 2018). Ini menunjukkan bahwa konsentrasi gelatin memengaruhi kekentalan larutan. Parameter *electrospinning* ditetapkan sebelumnya yaitu tegangan 20 kV dan laju suntikan 0,5 mL/jam, namun nanofiber yang terbentuk dengan gelatin 19% dan 21% berbeda. Larutan dengan gelatin 21% lebih kental daripada larutan dengan gelatin 19%. Ditunjukkan pada saat PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) *electrospinning* dengan parameter yang sama dengan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) nanofiber yang terbentuk terdapat *beads*. *Beads* ini terbentuk ketika tegangan 20 kV, berarti tegangan permukaan gelatin 21% lebih besar daripada gelatin 19% sehingga tetesan kecil terlihat saat pengujian SEM.

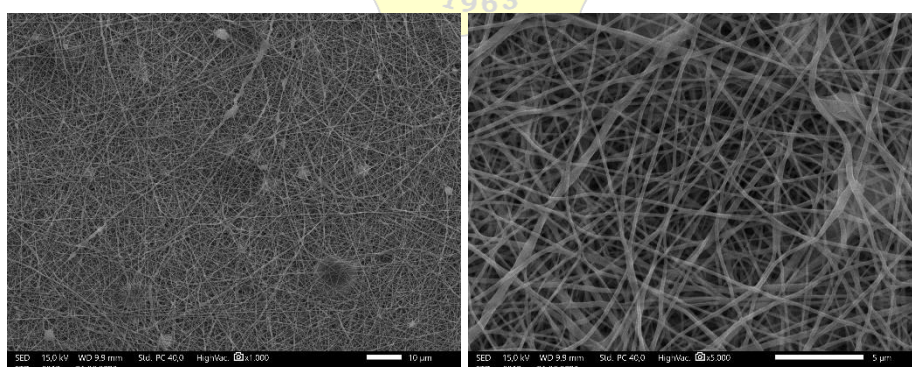
Sedangkan perbandingan PVA/Gel dengan PVA murni dapat dilihat pada **Gambar 4.4 (c)**. PVA murni tanpa gelatin menunjukkan nanofiber yang hampir serupa dengan pemberian gelatin 21%. PVA murni menunjukkan bahwa tegangan permukaan PVA murni lebih tinggi daripada gelatin 21% dan 19%, karena banyaknya *beads* yang terbentuk. *Beads* yang terbentuk bukan berasal dari protein gelatin melainkan tetesan yang tidak dapat diatasi oleh tegangan 20 kV. Sehingga *beads* PVA murni tidak terlihat ketika perbesaran 5000x, hanya terlihat kusut dan melengkung. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi gelatin akan memengaruhi kekentalan larutan, sehingga memengaruhi tegangan permukaan ketika dilakukan *electrospinning*. Lebih sedikit kekusutan mengartikan dua fenomena yaitu semakin panjang jet dan semakin mudahnya nanofiber menyebar (Chi et al., 2022).



(a)



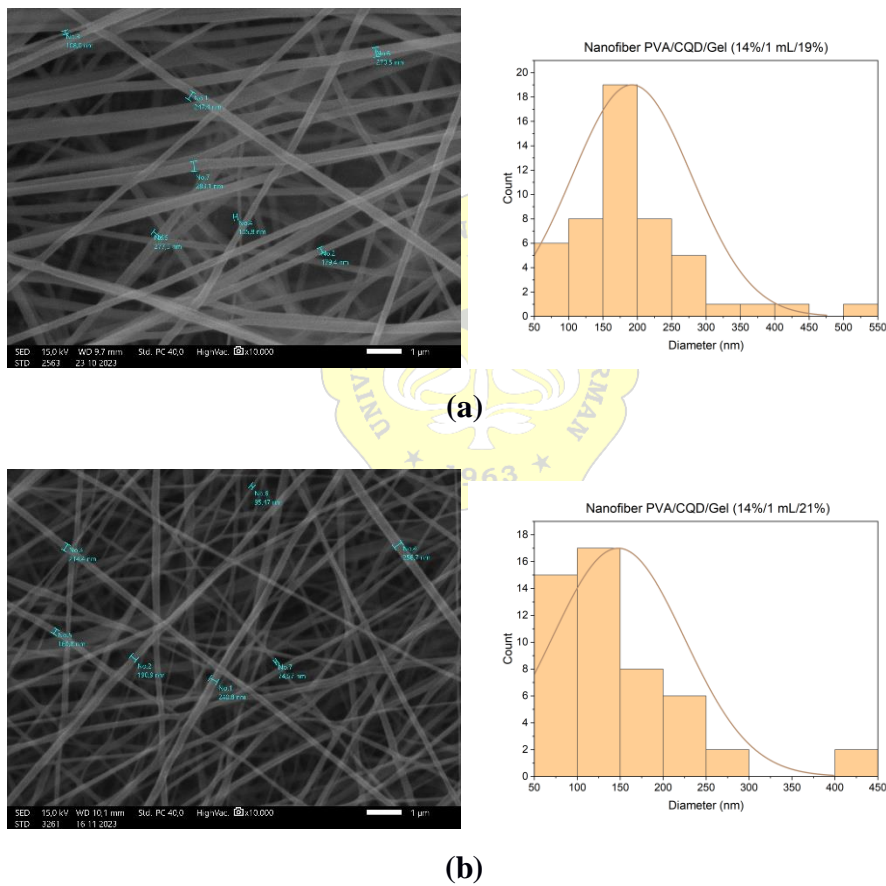
(b)

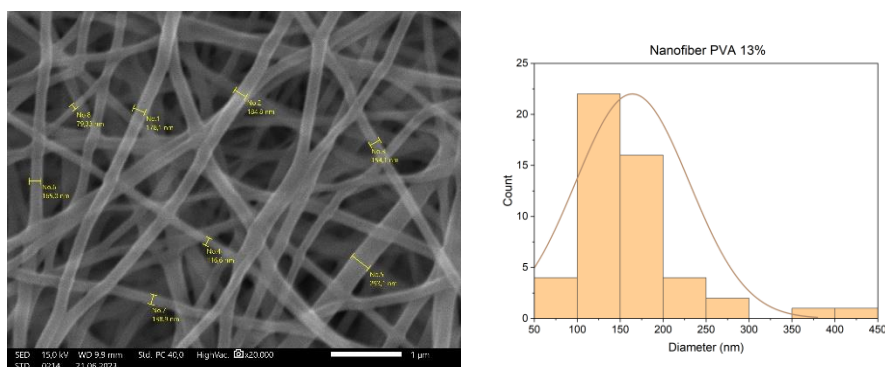


(c)

Gambar 4.4 SEM nanofiber dengan perbesaran 1000x dan pebesaran 5000x (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dan (c) PVA 13%

Gambar 4.5 menunjukkan pengukuran diameter nanofiber dari (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dan (c) PVA 13%. Diameter rata rata dari nanofiber dengan gelatin 19% adalah 192,12 nm, nanofiber dengan gelatin 21% adalah 147,8 nm dan nanofiber PVA murni adalah 164,32 nm (**Tabel 4.2 Diameter nanofiber**). Ini menunjukkan bahwa semakin banyak gelatin, diameter dari matriks PVA akan mengecil, namun membentuk *beads* pada nanofiber. Pemberian gelatin dimaksudkan untuk memperkuat struktur matriks PVA, sementara penambahan konsentrasi PVA akan meningkatkan diameter nanofiber (D. Yang et al., 2007; Zheng et al., 2013).





(c)

Gambar 4.5 SEM diameter nanofiber dan distribusi diameter nanofiber (a) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), (b) PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dan (c) PVA 13%

Tabel 4.2 Diameter nanofiber

Nanofiber	Diameter rata-rata (nm)	Standar deviasi (nm)
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%)	192,12	±87,11443
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)	147,8	±77,10105
PVA 13%	164,32	±66,23226

Pengaruh CQD tidak akan dapat terlihat dengan SEM, karena ukuran CQD yang sangat kecil (Zulfajri et al., 2021). Ukuran CQD kurang dari 10 nm (El-Seedi et al., 2023) dan untuk mengetahui ukurannya harus melakukan pengujian TEM (*Transmission Electron Microscopy*) (Amin et al., 2021a; Lee et al., 2016). Referensi menyebutkan bahwa CQD akan tersebar diseluruh permukaan nanofiber dan sebagian kecil beragregasi (menumpuk) (Choi et al., 2015; Lee et al., 2016; M. Park et al., 2016).

4.2 Pendaran Nanofiber PVA/CQD/Gel

Pendaran dari nanofiber berasal dari penambahan CQD. CQD merupakan bahan yang dapat berpendar, karena ukuran nanometer quantum dots membuat elektron di dalamnya terkondensasi dalam suatu ruang yang sangat kecil. Efek kuantum terkondensasi ini menyebabkan aturan kuantum mempengaruhi perilaku

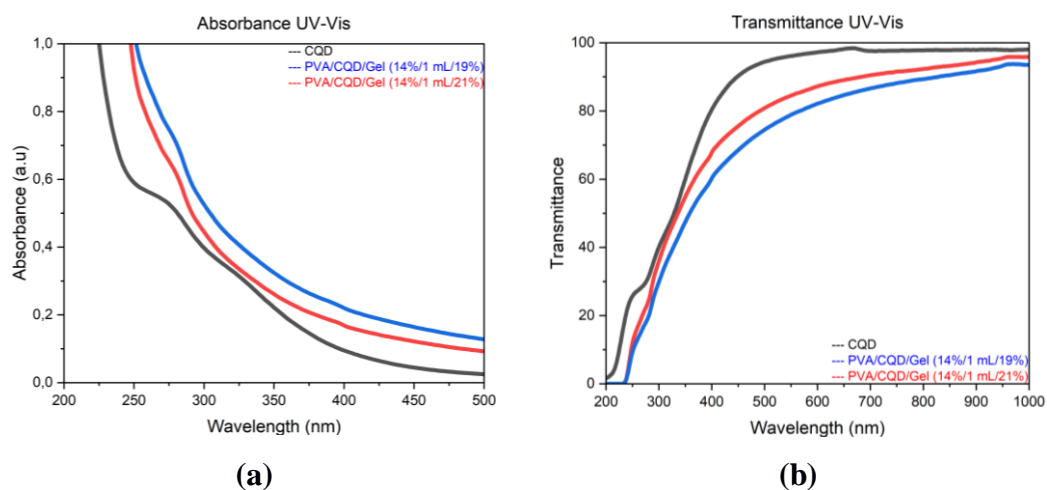
elektron, termasuk sifat pendaran (Nallayagari et al., 2022; Zhuo et al., 2019). CQD teremisi pendarannya secara luas pada panjang gelombang 400-500 nm, sehingga banyak diaplikasikan sebagai biomedis, optoelektronik dan anti-pemalsuan (Y. Li et al., 2021; Magesh et al., 2022). CQD berbahan dasar urea yang telah dibuat dengan metode microwave sebelumnya menunjukkan pendaran yang tinggi, ramah lingkungan, ekonomis dan mudah untuk dilakukan karena proses sintesisnya berasal dari bahan organik, serta penyimpanan yang mudah dengan kestabilan yang tinggi (De Medeiros et al., 2019; Simões et al., 2016; Tohamy et al., 2023).

Ketika sifat pendaran yang unik milik CQD dikombinasikan dengan polimer PVA/Gel, maka banyak metode fabrikasi yang dapat dilakukan selanjutnya untuk memanfaatkan potensi pendaran dan ketahanan yang lebih baik seperti *ink*, hydrogel, membran film dan nanofiber (He et al., 2018). Penelitian ini melakukan fabrikasi nanofiber dari kombinasi PVA/CQD/gel karena berdasarkan referensi nilai QY dari nanofiber yang tinggi dibanding dengan metode fabrikasi lainnya, sekitar 22,57% (He et al., 2018). PVA/CQD/Gel sebelum di-*electrospinning* dilakukan pengujian UV-Vis dan fotoluminesensi untuk mengetahui QY dari larutan tersebut jika dibandingkan dengan CQD murni. Kemudian nanofiber dari PVA/CQD/Gel dilakukan pengujian fotoluminesensi tanpa pengujian UV-Vis karena mesin UV-Vis tidak diperbolehkan melakukan pengujian selain bahan cair.

Gambar 4.6 (a) menunjukkan grafik Absorbansi dari larutan yaitu CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Grafik absorbansi menggambarkan bagaimana serapan suatu zat berubah pada panjang gelombang sinar UV dan cahaya tampak yang biasanya berkisar 200-800 nm (Nallayagari et al., 2022). Ketika sinar ditembakkan dalam panjang gelombang yang telah ditentukan, bahan akan menyerap dan men-transmisikan sinar tersebut (Meija et al., 2016). Grafik absorbansi fokus pada jumlah cahaya yang diserap oleh suatu zat, sementara grafik transmitansi memberikan informasi tentang persentase cahaya yang ditransmisikan melalui zat tersebut (Chaudhary et al.,

2020; Chauhan et al., 2022; X. Hu et al., 2021; Jiao et al., 2019; Meija et al., 2016).

Bahan-bahan yang dilakukan uji UV-Vis diencerkan terlebih dahulu pada 10 mL air sehingga bahan tidak begitu pekat, karena bahan yang pekat akan memberikan grafik absorbansi UV-Vis yang tinggi. Semakin pekat suatu bahan, maka semakin tinggi absorpsi bahan tersebut pada sinar dan sedikit sinar yang dapat diteruskan (Meija et al., 2016). **Gambar 4.6** menunjukkan CQD urea sesuai dengan literatur memiliki nilai absorbansi puncak pada panjang gelombang 280 nm (Kumar M et al., 2022; Kumar et al., 2020; S. Y. Park et al., 2017). Puncak ini juga ditemukan pada kombinasi PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Hal itu terjadi karena sumber CQD berasal dari bahan yang sama, perbedaannya hanya pada intensitas absorpsi dan transmisi dari bahan yang diuji. PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) menunjukkan nilai absorpsi yang lebih tinggi daripada PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Hal itu karena pada **Gambar 4.9** terlihat bahwa PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) lebih pekat daripada PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Sehingga ketika melakukan UV-Vis PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) lebih sedikit menyerap sinar dan lebih banyak meneruskan sinar daripada PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%).



Gambar 4.6 UV-Vis (a) Absorbansi dan (b) transmittansi

Gambar 4.7 menunjukkan grafik fotoluminesensi dari larutan yaitu CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Fotoluminesensi adalah pendaran suatu bahan ketika disinari oleh sinar eksitasi dengan panjang gelombang tertentu (Gao et al., 2020; Muthamma et al., 2021; Shen et al., 2019). Sinar eksitasi yang digunakan adalah panjang gelombang 420 nm. CQD mengemisikan panjang gelombang yang lebih tinggi yaitu 493 nm. Begitu juga dengan kombinasi PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) yang memiliki puncak emisi pada panjang gelombang 493 karena sumber yang sama. Sesuai dengan grafik UV-Vis pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.9** PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) memiliki intensitas pendaran yang lebih tinggi daripada PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%).

Sementara gambar 4.8 adalah grafik fotoluminesensi dengan sinar eksitasi 420 nm dari nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%). Sesuai dengan penambahan intensitas pada **Gambar 4.7** pendaran nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) masih lebih tinggi daripada nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%). Namun ada perbedaan bentuk kurva dengan puncak yang bergeser pada panjang gelombang 593 nm. Shifting bisa terjadi karena variasi ukuran partikel CQD, Perubahan komposisi kimia, aglomerasi, dan modifikasi permukaan (Amin et al., 2021b; He et al., 2018; Lee et al., 2016; Lin et al., 2016). Ukuran partikel CQD dapat secara signifikan mempengaruhi tingkat energi dan cahaya yang dipancarkan, biasanya jumlah gugus sp^2 karbon mengatur ukuran dari bahan karbon (Lee et al., 2016). Mengolah bahan yang berbeda, memasukkan pengotor, atau mengubah matriks dapat memengaruhi tingkat energi dan mengubah sinar yang dipancarkan (Amin et al., 2021b). Selain itu aglomerasi partikel dalam suatu sampel dapat memengaruhi interaksi antarmolekul dan mengubah struktur elektronik, sehingga menyebabkan pergeseran (Rodrigues et al., 2018). Terakhir adalah modifikasi permukaan, seperti mengubah gugus fungsi PVA dan gelatin atau perubahan kimia permukaan CQD, dapat mempengaruhi sifat emisi dan menyebabkan pergeseran spektrum fotoluminesensi (Lin et al., 2016). Pada kasus ini, kemungkinan CQD ter-aglomerasi pada permukaan nanofiber PVA/CQD

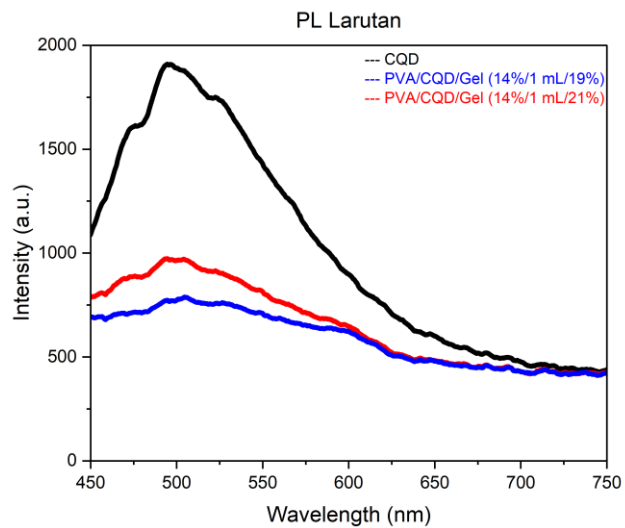
sehingga menggeser emisi yang cukup jauh dari larutan. Nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) juga menunjukkan intensitas pendaran yang lebih tinggi daripada nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), kemungkinan ini terjadi karena *beads* pada gelatin yang berisi protein yang terenkapsulasi ini juga diisi oleh CQD (Sabbatini et al., 2021). Masuknya CQD ke dalam struktur manik dapat meningkatkan sifat optik ini dan menciptakan material dengan karakteristik emisi yang menarik dan dapat disesuaikan (Sabbatini et al., 2021; X. Wang et al., 2019). Dengan demikian, nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) memiliki intensitas pendaran yang lebih tinggi daripada nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%).

Quantum Yield (QY) dari larutan yang telah dibuat dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Berdasarkan perhitungan QY dari CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dengan QY referensi Rodamin 6G 10 ppm 95% maka diketahui nilai QY CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) berturut turut adalah 13,56%, 3,49% dan 5,20%. QY CQD lebih besar daripada QY kombinasi PVA/CQD/Gel karena komposisi CQD masih murni. komposisi kimia, struktur, dan konfigurasi elektronik itu memainkan peran penting dalam menentukan hasil kuantum (Wenzel, n.d., 2023). Bahan yang berbeda menunjukkan hasil kuantum yang berbeda berdasarkan karakteristik intrinsiknya. Kotoran pada bahan dapat bertindak sebagai pusat rekombinasi non-radiasi, sehingga mengurangi rekombinasi radiasi dan menurunkan hasil kuantum (Siebrand, n.d., 1976). Bahan dengan kemurnian tinggi umumnya memiliki hasil kuantum yang lebih baik. Konsentrasi bahan pendar dapat mempengaruhi hasil kuantumnya (J. Wang et al., 2020; F. Yan et al., 2021). Aglomerasi partikel juga dapat menyebabkan peluruhan non-radiasi, sehingga bahan tidak berpendar sempurna (Kim et al., 2022; W. Zhao et al., 2020). Terakhir Hasil kuantum dapat bergantung pada panjang gelombang cahaya eksitasi (Geißler et al., 2017).

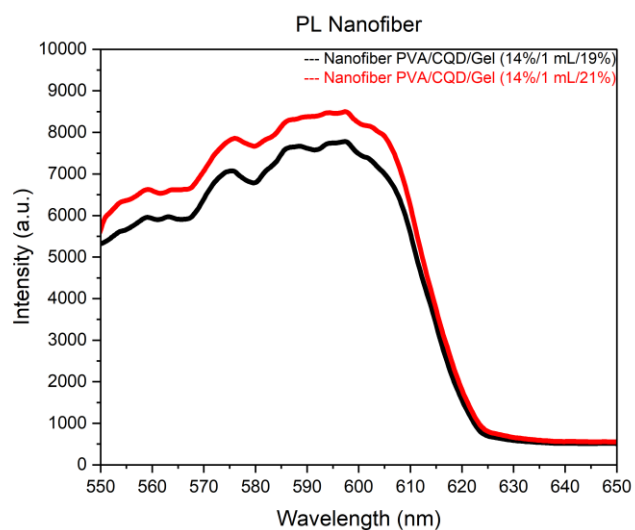
Tabel 4.3 *Quantum Yield*

Nama	QY (%)
------	--------

CQD	13,56
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%)	3,49
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)	5,20



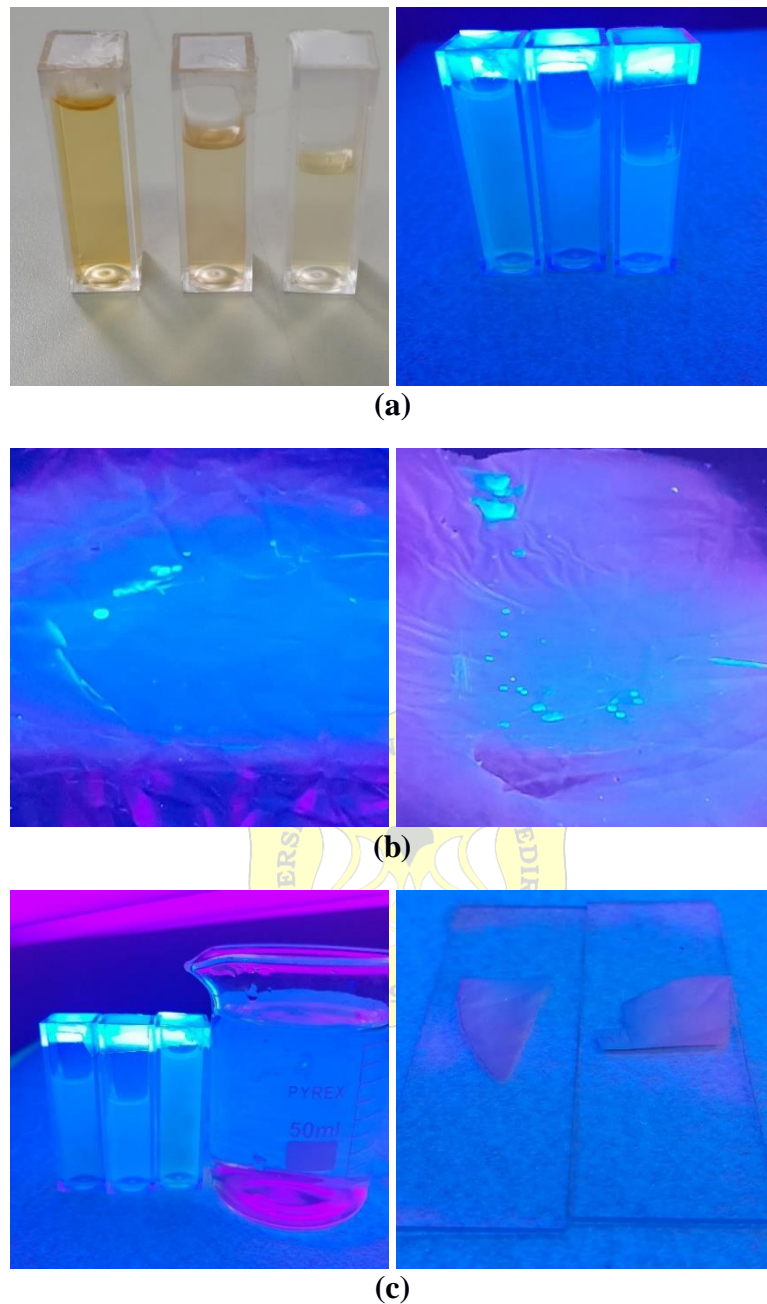
Gambar 4.7 Fotoluminesensi Larutan



Gambar 4.8 Fotoluminesensi Nanofiber

Gambar 4.9 Menunjukkan bebarapa sampel yang disinari dengan UV dengan panjang gelombang 385 nm. CQD merupakan bahan yang berpendar paling terang dari pada PVA/CQD/Gel dan air. Sesuai dengan referensi sebelumnya bahwa CQD merupakan bahan berpendar dengan QY paling tinggi (Y. Li et al., 2021; Magesh et al., 2022). Begitu juga dengan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) selalu lebih tinggi pendarannya daripada PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) baik larutan maupun nanofiber.

Dengan demikian, PVA/CQD/Gel dapat diarahkan pada aplikasi anti-pemalsuan karena strukturnya yang acak dan kuat, dapat berpendar dengan panjang gelombang tertentu, dan ramah untuk lingkungan. Struktur material yang acak dan kuat dapat menyulitkan barang tersebut untuk ditiru. Struktur yang rumit memiliki pola yang tidak teratur, sehingga menyulitkan pemalsu untuk mereproduksi secara akurat. Hal ini dapat meningkatkan keamanan materi terhadap duplikasi yang tidak sah (X. Wang et al., 2018). CQD memiliki sifat berpendar yang unik. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk tindakan anti-pemalsuan. Bahan berpendar sering kali digunakan dalam fitur keamanan karena mudah dideteksi menggunakan panjang gelombang atau filter tertentu. Otentikasi dapat dilakukan dengan memverifikasi karakteristik pendaran, sehingga memberikan metode yang cepat dan andal untuk membedakan produk asli dan produk palsu (Vahedigharehchopogh et al., 2021). Penggunaan bahan ramah lingkungan sejalan dengan tujuan keberlanjutan dan dapat menjadi aspek positif bagi produsen dan konsumen (P. Zhang et al., 2022). Gelatin dapat memberikan fitur keamanan tambahan. Sifat-sifatnya dapat berkontribusi terhadap kekokohan dan keunikan bahan secara keseluruhan (Hudson, n.d.).



Gambar 4.9 Penyinaran UV 385 nm pada sampel (a) CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) dengan sinar matahari dan sinar UV, (b) nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%), (c) Sampel larutan CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%), PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%), air dan sampel nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) serta nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil Penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Electrospinning* nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) berhasil dibuat dengan parameter tegangan 20 kV dan laju suntikan 0,5 mL/jam selama 3 jam. Hasil SEM yang didapat terlihat bahwa nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) tersusun dengan nanofiber yang rapih tanpa kusut dan *beads* dengan diameter rata-rata 192,12 nm sementara diameter rata-rata nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) adalah 147,8 nm. Konsentrasi gelatin yang besar menghasilkan nanofiber dengan diameter yang lebih tipis dan memunculkan *beads*, karena gelatin tidak menyebar diseruluh matriks PVA melainkan terenkapsulasi didalamnya.
2. Nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) memiliki intensitas pendaran yang lebih tinggi daripada nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) pada panjang gelombang 593 nm ketika dieksitasi sinar dengan panjang gelombang 420 nm. CQD pada nanofiber dengan gelatin lebih banyak cenderung teraglomerasi dan menumpuk dalam *beads* sehingga pendaran lebih tinggi daripada CQD yang tersebar merata. Perhitungan QY dari CQD, PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%) dan PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%) adalah 13,56%, 3,49%, 5,20%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini yaitu karakterisasi UV-Vis dan fotoluminesensi harus segera dilakukan setelah larutan selesai diaduk. Karena pengadukan mencegah pengerasan atau aglomerasi khususnya

pada larutan yang telah dikombinasikan dengan bahan-bahan polimer. Aglomerasi akan memengaruhi pengujian pendaran secara keseluruhan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amin, N., Afkhami, A., Hosseinzadeh, L., Amin, A., & Madrakian, T. (2021a). Flexible electrospun nanofibrous film integrated with fluorescent carbon dots for smartphone-based detection and cellular imaging application. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119944>
- Amin, N., Afkhami, A., Hosseinzadeh, L., Amin, A., & Madrakian, T. (2021b). Flexible electrospun nanofibrous film integrated with fluorescent carbon dots for smartphone-based detection and cellular imaging application. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119944>
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), MR17–MR71. <https://doi.org/10.1116/1.2815690>
- Chaudhary, N., Gupta, P. K., Eremin, S., & Solanki, P. R. (2020). One-step green approach to synthesize highly fluorescent carbon quantum dots from banana juice for selective detection of copper ions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103720>
- Chauhan, P., Mundekkad, D., Mukherjee, A., Chaudhary, S., Umar, A., & Baskoutas, S. (2022). Coconut Carbon Dots: Progressive Large-Scale Synthesis, Detailed Biological Activities and Smart Sensing Aptitudes towards Tyrosine. *Nanomaterials*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/nano12010162>
- Chi, H. Y., Chi, H. Y., Chang, N. Y., Li, C., Li, C., Chan, V., Hsieh, J. H., Tsai, Y. H., Lin, T., & Lin, T. (2022). Fabrication of Gelatin Nanofibers

- by Electrospinning—Mixture of Gelatin and Polyvinyl Alcohol. *Polymers*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/polym14132610>
- Choi, J., Panthi, G., Liu, Y., Kim, J., Chae, S. H., Lee, C., Park, M., & Kim, H. Y. (2015). Keratin/poly (vinyl alcohol) blended nanofibers with high optical transmittance. *Polymer*, 58, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2014.12.052>
- Cotrim, M., & Oréface, R. (2021). Biocompatible and fluorescent polycaprolactone/silk electrospun nanofiber yarns loaded with carbon quantum dots for biotextiles. *Polymers for Advanced Technologies*, 32(1), 87–96. <https://doi.org/10.1002/pat.5063>
- De Medeiros, T. V., Manioudakis, J., Noun, F., Macairan, J. R., Victoria, F., & Naccache, R. (2019). Microwave-assisted synthesis of carbon dots and their applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 7(24), 7175–7195. <https://doi.org/10.1039/c9tc01640f>
- Ding, C., Fang, H., Duan, G., Zou, Y., Chen, S., & Hou, H. (2019). Investigating the draw ratio and velocity of an electrically charged liquid jet during electrospinning. *RSC Advances*, 9(24), 13608–13613. <https://doi.org/10.1039/c9ra02024a>
- El-Seedi, H. R., Said, N. S., Yosri, N., Hawash, H. B., El-Sherif, D. M., Abouzid, M., Abdel-Daim, M. M., Yaseen, M., Omar, H., Shou, Q., Attia, N. F., Zou, X., Guo, Z., & Khalifa, S. A. M. (2023). Gelatin nanofibers: Recent insights in synthesis, bio-medical applications and limitations. In *Heliyon* (Vol. 9, Issue 5). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16228>
- Fathurin, N., Diah, D., & Kusumawati, H. (2022). Fabrikasi Nanofiber PVA/Fe₃O₄ dengan Metode Elektrospinning. In *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* (Vol. 10, Issue 01).

- Gangwar, A. K., Gupta, A., Kedawat, G., Kumar, P., Singh, B. P., Singh, N., Srivastava, A. K., Dhakate, S. R., & Gupta, B. K. (2018). Highly Luminescent Dual Mode Polymeric Nanofiber-Based Flexible Mat for White Security Paper and Encrypted Nanotaggant Applications. *Chemistry - A European Journal*, 24(38), 9477–9484. <https://doi.org/10.1002/chem.201800715>
- Gao, Y., Zhang, H., Shuang, S., & Dong, C. (2020). Visible-Light-Excited Ultralong-Lifetime Room Temperature Phosphorescence Based on Nitrogen-Doped Carbon Dots for Double Anticounterfeiting. *Advanced Optical Materials*, 8(7). <https://doi.org/10.1002/adom.201901557>
- Geißler, D., Würth, C., Wolter, C., Weller, H., & Resch-Genger, U. (2017). Excitation wavelength dependence of the photoluminescence quantum yield and decay behavior of CdSe/CdS quantum dot/quantum rods with different aspect ratios. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(19), 12509–12516. <https://doi.org/10.1039/c7cp02142a>
- Gugulothu, D., Barhoum, A., Nerella, R., Ajmer, R., & Bechelany, M. (2019). Fabrication of Nanofibers: Electrospinning and Non-electrospinning Techniques. In *Handbook of Nanofibers* (pp. 45–77). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53655-2_6
- He, J., He, Y., Chen, Y., Zhang, X., Hu, C., Zhuang, J., Lei, B., & Liu, Y. (2018). Construction and multifunctional applications of carbon dots/PVA nanofibers with phosphorescence and thermally activated delayed fluorescence. *Chemical Engineering Journal*, 347, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.110>
- Helga Lovely Wibowo, Z., Syakir, N., Faizal, F., & Safriani, L. (2022). *KARAKTERISTIK SERAT NANO PVA YANG DIBUAT MENGGUNAKAN ELEKTROSPINNING DENGAN KOLEKTOR STATIK* (Vol. 12, Issue 01).

- Hou, X., Ke, C., Bruns, C. J., McGonigal, P. R., Pettman, R. B., & Stoddart, J. F. (2015). Tunable solid-state fluorescent materials for supramolecular encryption. *Nature Communications*, 6. <https://doi.org/10.1038/ncomms7884>
- Hu, M., Gu, X., Hu, Y., Deng, Y., & Wang, C. (2016). PVA/Carbon Dot Nanocomposite Hydrogels for Simple Introduction of Ag Nanoparticles with Enhanced Antibacterial Activity. *Macromolecular Materials and Engineering*, 301(11), 1352–1362. <https://doi.org/10.1002/mame.201600248>
- Hu, X., Li, Y., Xu, Y., Gan, Z., Zou, X., Shi, J., Huang, X., Li, Z., & Li, Y. (2021). Green one-step synthesis of carbon quantum dots from orange peel for fluorescent detection of Escherichia coli in milk. *Food Chemistry*, 339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127775>
- Huang, X., Jin, L., Wang, C., Xu, Y., Peng, Z., Xie, M., Zhang, C., Yang, W., & Lu, J. (2020). Electrospun luminescent piezo webs as self-powered sensing platform for small accelerations at low frequency. *Composites Communications*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.04.014>
- Hudson, C. B. (n.d.). *GELATINE-RELATING STRUCTURE AND CHEMISTRY TO FUNCTIONALITY*.
- Jafari, A., Kebria, M. R. S., Rahimpour, A., & Bakeri, G. (2018). Graphene quantum dots modified polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofibrous membranes with enhanced performance for air Gap membrane distillation. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 126, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.03.010>
- Jiao, X. Y., Li, L. shuang, Qin, S., Zhang, Y., Huang, K., & Xu, L. (2019). The synthesis of fluorescent carbon dots from mango peel and their multiple applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and*

Engineering Aspects, 577, 306–314.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.073>

Kalytchuk, S., Wang, Y., Poláková, K., & Zbořil, R. (2018). Carbon Dot Fluorescence-Lifetime-Encoded Anti-Counterfeiting. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(35), 29902–29908.
<https://doi.org/10.1021/acsami.8b11663>

Kim, Y., Park, Y., Han, S., Park, W., Kim, M., Kim, K., Joo, J., Hahn, S. K., & Kwon, W. (2022). Radiative and non-radiative decay pathways in carbon nanodots toward bioimaging and photodynamic therapy. *Nanomaterials*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/nano12010070>

Kumar M, S., K, Y. Y., Das, P., Malik, S., Kothurkar, N. K., & Batabyal, S. K. (2022). Urea-mediated synthesized carbon quantum dots to tune the electrochemical performance of polyaniline nanorods for supercapacitor device. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 7(2). <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2021.11.005>

Kumar, P., Bhatt, G., Kaur, R., Dua, S., & Kapoor, A. (2020). Synthesis and modulation of the optical properties of carbon quantum dots using microwave radiation. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 28(9), 724–731.
<https://doi.org/10.1080/1536383X.2020.1752679>

Kusumawati, D. H., Istiqomah, K. V. N., Husnia, I., & Fathurin, N. (2021). Synthesis of nanofiber polyvinyl alcohol (PVA) with electrospinning method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2110(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2110/1/012010>

Lee, C., Pant, B., Alam, A. M., An, T., Chung, H. J., Hong, S. T., Park, S. J., Park, M., & Kim, H. Y. (2016). Biocompatible and photoluminescent keratin/poly(vinyl alcohol)/carbon quantum dot nanofiber: A novel multipurpose electrospun mat. *Macromolecular Research*, 24(10), 924–930. <https://doi.org/10.1007/s13233-016-4124-3>

- Li, J., Wu, Y., & Gong, X. (2023). Evolution and fabrication of carbon dot-based room temperature phosphorescence materials. In *Chemical Science* (Vol. 14, Issue 14, pp. 3705–3729). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d3sc00062a>
- Li, Y., Liu, D., Wang, Y. Q., Wang, F. F., & Qiu, H. X. (2021). Eu³⁺-functionalized CQD hybrid material: Synthesis, luminescence properties and sensing application for the detection of Cu²⁺. *Materials Advances*, 2(10), 3346–3352. <https://doi.org/10.1039/d1ma00059d>
- Lin, M., Zou, H. Y., Yang, T., Liu, Z. X., Liu, H., & Huang, C. Z. (2016). An inner filter effect based sensor of tetracycline hydrochloride as developed by loading photoluminescent carbon nanodots in the electrospun nanofibers. *Nanoscale*, 8(5), 2999–3007. <https://doi.org/10.1039/c5nr08177g>
- Linh, N. T. B., & Lee, B. T. (2012). Electrospinning of polyvinyl alcohol/gelatin nanofiber composites and cross-linking for bone tissue engineering application. *Journal of Biomaterials Applications*, 27(3), 255–266. <https://doi.org/10.1177/0885328211401932>
- Liu, Y., Roy, S., Sarkar, S., Xu, J., Zhao, Y., & Zhang, J. (2021). A review of carbon dots and their composite materials for electrochemical energy technologies. In *Carbon Energy* (Vol. 3, Issue 5, pp. 795–826). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/cey2.134>
- Magesh, V., Sundramoorthy, A. K., & Ganapathy, D. (2022). Recent Advances on Synthesis and Potential Applications of Carbon Quantum Dots. In *Frontiers in Materials* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.906838>
- Meija, J., Coplen, T. B., Berglund, M., Brand, W. A., De Bièvre, P., Gröning, M., Holden, N. E., Irrgeher, J., Loss, R. D., Walczyk, T., & Prohaska, T. (2016). Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). In *Pure and Applied Chemistry* (Vol. 88, Issue 3, pp.

265–291). Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0305>

Muthamma, K., Sunil, D., & Shetty, P. (2021). Carbon dots as emerging luminophores in security inks for anti-counterfeit applications - An up-to-date review. In *Applied Materials Today* (Vol. 23). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101050>

Nallayagari, A. R., Sgreccia, E., Pizzoferrato, R., Cabibbo, M., Kaciulis, S., Bolli, E., Pasquini, L., Knauth, P., & Di Vona, M. L. (2022). Tuneable properties of carbon quantum dots by different synthetic methods. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 12(4), 565–580. <https://doi.org/10.1007/s40097-021-00431-8>

Park, M., Lee, K. S., Shim, J., Liu, Y., Lee, C., Cho, H., Kim, M. J., Park, S. J., Yun, Y. J., Kim, H. Y., & Son, D. I. (2016). Environment friendly, transparent nanofiber textiles consolidated with high efficiency PLEDs for wearable electronics. *Organic Electronics*, 36, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2016.05.030>

Park, S. Y., Thongsai, N., Chae, A., Jo, S., Kang, E. B., Paoprasert, P., Park, S. Y., & In, I. (2017). Microwave-assisted synthesis of luminescent and biocompatible lysine-based carbon quantum dots. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 47, 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.12.002>

Perez-Puyana, V., Jiménez-Rosado, M., Romero, A., & Guerrero, A. (2018). Development of PVA/gelatin nanofibrous scaffolds for Tissue Engineering via electrospinning. *Materials Research Express*, 5(3). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aab164>

Rodrigues, B. V. M., Cabral, T. S., Sgobbi, L. F., Delezuk, J. A. M., Pessoa, R. S., Triboni, E. R., de Moraes, T. B. F., & Lobo, A. O. (2018). A simple and green method for the production of nanostructured materials from poly(vinyl alcohol)/graphene quantum dots. *Materials Chemistry*

and *Physics*, *219*, 242–250.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.08.030>

Sabbatini, B., Cambriani, A., Cespi, M., Palmieri, G. F., Perinelli, D. R., & Bonacucina, G. (2021). An overview of natural polymers as reinforcing agents for 3D printing. In *ChemEngineering* (Vol. 5, Issue 4). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/chemengineering5040078>

Shen, C. L., Lou, Q., Lv, C. F., Zang, J. H., Qu, S. N., Dong, L., & Shan, C. X. (2019). Bright and Multicolor Chemiluminescent Carbon Nanodots for Advanced Information Encryption. *Advanced Science*, *6*(11).
<https://doi.org/10.1002/advs.201802331>

Siebrand, W. (n.d.). *Nonradiative Processes in Molecular Systems*.

Simões, E. F. C., Leitão, J. M. M., & da Silva, J. C. G. E. (2016). Carbon dots prepared from citric acid and urea as fluorescent probes for hypochlorite and peroxyxynitrite. *Microchimica Acta*, *183*(5), 1769–1777.
<https://doi.org/10.1007/s00604-016-1807-6>

Sun, H., Liu, S., Lin, W., Zhang, K. Y., Lv, W., Huang, X., Huo, F., Yang, H., Jenkins, G., Zhao, Q., & Huang, W. (2014). Smart responsive phosphorescent materials for data recording and security protection. *Nature Communications*, *5*. <https://doi.org/10.1038/ncomms4601>

Tohamy, H. A. S., El-Sakhawy, M., & Kamel, S. (2023). Eco-friendly Synthesis of Carbon Quantum Dots as an Effective Adsorbent. *Journal of Fluorescence*, *33*(2), 423–435. <https://doi.org/10.1007/s10895-022-03085-z>

Vahedigharehchopogh, N., Kıbrıslı, O., Erol, E., Çelikkilek Ersundu, M., & Ersundu, A. E. (2021). A straightforward approach for high-end anti-counterfeiting applications based on NIR laser-driven lanthanide doped luminescent glasses. *Journal of Materials Chemistry C*, *9*(6), 2037–2046. <https://doi.org/10.1039/d0tc05631f>

- Wang, J., Yang, Y., & Liu, X. (2020). Solid-state fluorescent carbon dots: Quenching resistance strategies, high quantum efficiency control, multicolor tuning, and applications. In *Materials Advances* (Vol. 1, Issue 9, pp. 3122–3142). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d0ma00632g>
- Wang, X., Feng, Y., Dong, P., & Huang, J. (2019). A Mini Review on Carbon Quantum Dots: Preparation, Properties, and Electrocatalytic Application. In *Frontiers in Chemistry* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00671>
- Wang, X., Han, Y., Han, X. X., Hou, X., Wang, J. J., & Fu, F. (2018). Highly selective and sensitive detection of Hg²⁺, Cr₂O₇²⁻, and nitrobenzene/2,4-dinitrophenol in water via two fluorescent Cd-CPs. *New Journal of Chemistry*, 42(24), 19844–19852. <https://doi.org/10.1039/c8nj04683b>
- Wen, X., Xiong, J., Lei, S., Wang, L., & Qin, X. (2022). Diameter Refinement of Electrospun Nanofibers: From Mechanism, Strategies to Applications. In *Advanced Fiber Materials* (Vol. 4, Issue 2, pp. 145–161). Springer. <https://doi.org/10.1007/s42765-021-00113-8>
- Wenzel, T. (n.d.). *MOLECULAR AND ATOMIC SPECTROSCOPY*. <https://LibreTexts.org>
- Xue, J., Xie, J., Liu, W., & Xia, Y. (2017). Electrospun Nanofibers: New Concepts, Materials, and Applications. *Accounts of Chemical Research*, 50(8), 1976–1987. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.7b00218>
- Yan, F., Yi, C., Sun, J., Zang, Y., Wang, Y., Xu, M., & Xu, J. (2021). Self-quenching-resistant solid-state carbon dots for mechanism and applications. In *Microchimica Acta* (Vol. 188, Issue 12). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00604-021-05068-6>

- Yan, X., & Gevelber, M. (n.d.). *IMECE2008-68299 ANALYSIS OF ELECTROSPINNING NANOFIBERS: DIAMETER DISTRIBUTION, PROCESS DYNAMICS, AND CONTROL*. <http://asme.org/terms>
- Yang, D., Li, Y., & Nie, J. (2007). Preparation of gelatin/PVA nanofibers and their potential application in controlled release of drugs. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 538–543. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.01.008>
- Yang, G., Wan, X., Liu, Y., Li, R., Su, Y., Zeng, X., & Tang, J. (2016). Luminescent Poly(vinyl alcohol)/Carbon Quantum Dots Composites with Tunable Water-Induced Shape Memory Behavior in Different pH and Temperature Environments. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(50), 34744–34754. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b11476>
- Yarin, A. L., Koombhongse, S., & Reneker, D. H. (2001). Taylor cone and jetting from liquid droplets in electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Physics*, 90(9), 4836–4846. <https://doi.org/10.1063/1.1408260>
- Zargham, S., Bazgir, S., Tavakoli, A., Rashidi, A. S., & Damerchely, R. (n.d.). *The Effect of Flow Rate on Morphology and Deposition Area of Electrospun Nylon 6 Nanofiber* (Vol. 7). <http://www.jeffjournal.org>
- Zhang, C., Wang, B., Li, W., Huang, S., Kong, L., Li, Z., & Li, L. (2017). Conversion of invisible metal-organic frameworks to luminescent perovskite nanocrystals for confidential information encryption and decryption. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01248-2>
- Zhang, P., Ren, G., Tian, L., Li, B., Li, Z., Yu, H., Wang, R., & He, J. (2022). Environmentally Friendly Waterproof and Breathable Nanofiber Membranes with Thermal Regulation Performance by One-Step Electrospinning. *Fibers and Polymers*, 23(8), 2139–2148. <https://doi.org/10.1007/s12221-022-4146-8>

- Zhao, S., Zhou, Q., Long, Y. Z., Sun, G. H., & Zhang, Y. (2013). Nanofibrous patterns by direct electrospinning of nanofibers onto topographically structured non-conductive substrates. *Nanoscale*, *5*(11), 4993–5000. <https://doi.org/10.1039/c3nr00676j>
- Zhao, W., Chen, H., Fan, Y., & Cui, W. (2020). Effect of Size and Content of SiO₂ Nanoparticle on Corona Resistance of Silicon–Boron Composite Oxide/SiO₂/Epoxy Composite. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, *30*(11), 4753–4763. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01733-0>
- Zheng, F., Wang, S., Wen, S., Shen, M., Zhu, M., & Shi, X. (2013). Characterization and antibacterial activity of amoxicillin-loaded electrospun nano-hydroxyapatite/poly(lactic-co-glycolic acid) composite nanofibers. *Biomaterials*, *34*(4), 1402–1412. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.10.071>
- Zhuo, S., Guan, Y., Li, H., Fang, J., Zhang, P., Du, J., & Zhu, C. (2019). Facile fabrication of fluorescent Fe-doped carbon quantum dots for dopamine sensing and bioimaging application. *Analyst*, *144*(2), 656–662. <https://doi.org/10.1039/c8an01741g>
- Zulfajri, M., Sudewi, S., Ismulyati, S., Rasool, A., Adlim, M., & Huang, G. G. (2021). Carbon dot/polymer composites with various precursors and their sensing applications: A review. In *Coatings* (Vol. 11, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/coatings11091100>

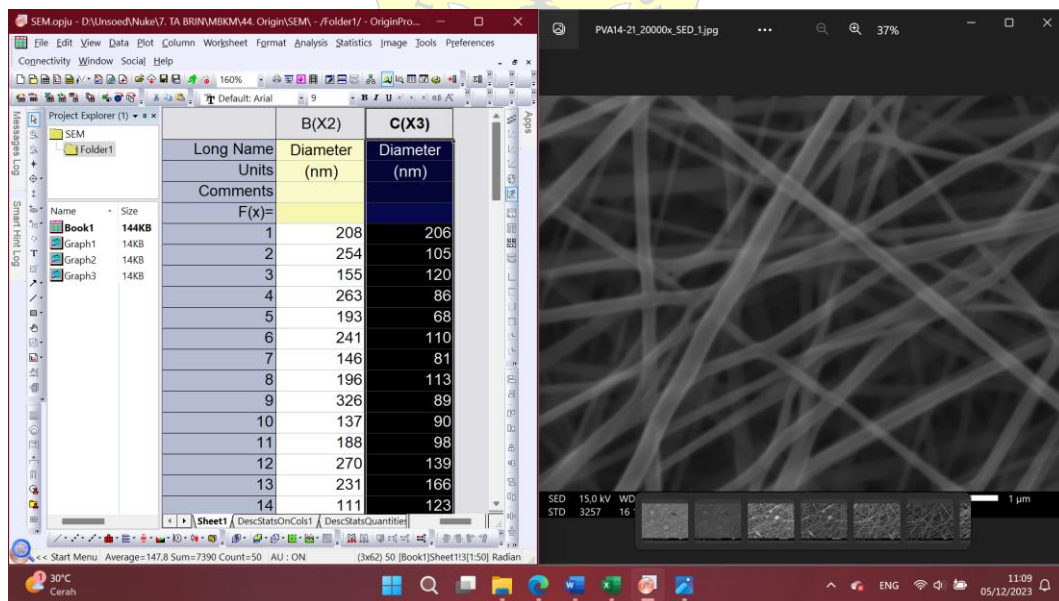
LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Quantum Yield

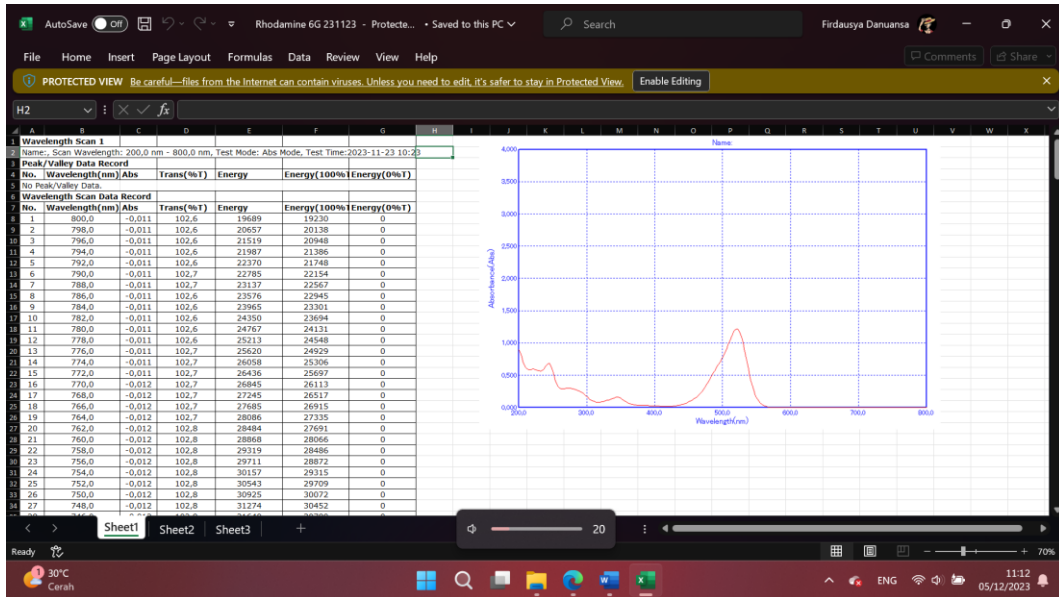
$$QY_1 = QY_2 \times \frac{PL_1 \times UV_2 \times R_1^2}{PL_2 \times UV_1 \times R_2^2}$$

Name	Quantum Yield (%)	Quantum Yield (QY1)	PL Area under peak (A1)	UV Absorbion (UV1)	Refraction Index (R1)	Quantum Yield (QY2)	PL Area under peak (A2)	UV Absorbion (UV2)	Refraction Index (R2)
CQD CAU	13,56%	0,135588546	204037,01	5,0518	1,33	0,95	344500,27	1,21738	1,33
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%)	3,49%	0,034864929	73571,0815	7,084	1,33	0,95	344500,27	1,21738	1,33
PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)	5,20%	0,051966046	95595,7605	6,1756	1,33	0,95	344500,27	1,21738	1,33
Nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/19%)	-	-	516242,6255	-	1,33	0,95	344500,27	1,21738	1,33
Nanofiber PVA/CQD/Gel (14%/1 mL/21%)	-	-	716387,188	-	1,33	0,95	344500,27	1,21738	1,33

Lampiran 2 Pengolahan SEM



Lampiran 3 Pengolahan UV-Vis



Lampiran 4 Pengolahan fotoluminesensi

