



TUGAS AKHIR - TF 141581

SINTESIS KARBON DOT BERBAHAN DASAR LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI ION LOGAM BERAT

NADHIRA NURFATHIYA
NRP. 0231 16 45000 011

Dosen Pembimbing
Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Dr. Isnaeni, M. Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TF 141581

SYNTHESIS OF ORGANIC WASTE-BASED CARBON DOTS AS HEAVY METAL ION DETECTION SENSOR

**NADHIRA NURFATHIYA
NRP. 023116 45000 011**

**Supervisors
Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Dr. Isnaeni, M. Sc.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - TF 141581

SINTESIS KARBON DOT BERBAHAN DASAR LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI ION LOGAM BERAT

**NADHIRA NURFATHIYA
NRP. 023116 45000 011**

**Dosen Pembimbing
Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Dr. Isnaeni, M. Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nadhira Nurfathiya

NRP : 02311645000011

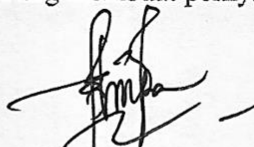
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS (Lintas Jalur)

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul **“Sintesis Karbon Dot Berbahan Dasar Limbah Organik sebagai Sensor Pendeteksi Ion Logam Berat”** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Nadhira Nurfathiya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**SINTESIS KARBON DOT BERBAHAN DASAR
LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SENSOR
PENDETEKSI ION LOGAM BERAT**

TUGAS AKHIR

Oleh :

NADHIRA NURFATHIYA

NRP : 023116 45000 011

Surabaya, Juli 2018

Mengetahui/ Menyetujui,

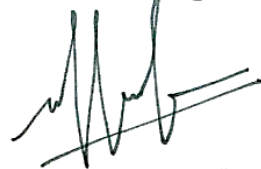
Pembimbing I



Dyah Sawitri, S.T., M.T.

NIP. 19700101 199512 2 001

Pembimbing II



Dr. Isnaeni, M.Sc.

NIP. 19780210 200012 1 004

**Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI - ITS**



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D.

NIP. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SINTESIS KARBON DOT BERBAHAN DASAR LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI ION LOGAM BERAT

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
NADHIRA NURFATHIYA
NRP. 023116 45000 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dyah Sawitri, S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Dr. Isnaeni, M.Sc. (Pembimbing II)
3. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. (Ketua Penguji)
4. Ir. Zulkifli, M.Sc. (Penguji I)

**SURABAYA
JULI 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SINTESIS KARBON DOT BERBAHAN DASAR LIMBAH ORGANIK SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI ION LOGAM BERAT

Nama Mahasiswa : NADHIRA NURFATHIYA
NRP : 02311645000011
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing I : Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Isnaeni, M.Sc.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai karbon dot berbahan dasar limbah organik untuk diaplikasikan sebagai sensor pendeteksi ion logam berat. Karbon dot berbahan dasar limbah organik basah diekstraksi kulit buah semangka, sedangkan karbon dot berbahan dasar limbah organik kering diekstraksi dari kulit kacang. Metode sintesis yang digunakan adalah metode *bottom-up* dengan dua variasi teknik, yaitu teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro. Dilakukan tiga variasi waktu pada tiap teknik sintesis. Produk karbon dot kemudian dipelajari dengan beberapa teknik karakterisasi yaitu karakterisasi absorbansi, fotoluminesens, TRPL, dan FTIR. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan, absorbansi, fotoluminesens, dan TRPL dari produk karbon dot berada antara 300 nm, 500 nm, dan 2,54 ns hingga 4,14 ns. Dari seluruh variasi karbon dot, dipilih dua jenis karbon dot yang memiliki karakteristik yang hampir sama untuk dibandingkan sebagai pendeteksi ion logam berat. Kedua karbon dot dibandingkan berdasarkan performansi sebagai sensor ion logam Fe^{3+} dan Pb^{2+} dengan variasi konsentrasi mulai dari 1 nM hingga 10^{-9} M dengan interval sebesar 10^{-1} kali. Karakteristik terbaik didapat oleh karbon dot kulit kacang dalam mendeteksi ion logam berat besi dengan nilai regresi sebesar 0,6542 (absorbansi); 0,6567 (PL); dan 0,6168 (TRPL).

Kata Kunci: Carbon Dots, Limbah Organik, Deteksi Logam Berat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SYNTHESIS OF ORGANIC WASTE BASED CARBON DOTS AS HEAVY METAL ION DETECTION SENSOR

Student's Name : NADHIRA NURFATHIYA
NRP : 02311645000011
Department : Engineering Physics
Supervisor I : Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Supervisor II : Dr. Isnaeni, M.Sc.

Abstract

A study of dry and wet organic waste-based carbon dots for heavy metal ion detection sensor in aqueous medium had been prepared. Wet organic wastes were extracted from watermelon rind, while dry organic wastes were extracted from peanut shells. The synthesis method used was bottom-up with hydrothermal and microwave irradiation techniques. Three time variations were performed on each synthesis technique. The characterizations were investigated on carbon dots absorbance, photoluminescence, TRPL, and functional groups using FTIR spectroscopy. Based on those characterizations, the absorbance, photoluminescence, and TRPL of watermelon rind and peanut shells carbon dots are around 300 nm, 500 nm, and 2.54 ns to 4.14 ns. Of the four types, two products with similar characteristics were selected for further investigation. Both products were compared based on their performance as Fe^{3+} and Pb^{2+} sensors which are varied from 1 nM to 10^{-1} M with 10^{-1} interval. The best performance was achieved by peanut shells carbon dots in Fe^{3+} detection, due to its consistency in optical characteristics degradations with regression value of 0.6542 (absorbance); 0.6567 (PL); and 0.6168 (TRPL).

Keywords: Carbon Dots, Organic Waste, Heavy Metal Detection.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan dengan baik.

Laporan tugas akhir yang berjudul **“Sintesis Karbon Dot Berbahan Dasar Limbah Organik Sebagai Sensor Pendeteksi Ion Logam Berat”** ini disusun berdasarkan hasil pelaksanaan tugas akhir yang termasuk dalam mata kuliah yang wajib ditempuh oleh mahasiswa Program Studi Lintas Jalur S1 Jurusan Teknik Fisika-ITS untuk dapat menyelesaikan program Sarjana.

Dalam melaksanakan tugas akhir ini, terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang turut membantu dan membimbing selama kegiatan berlangsung, diantaranya kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Ibu Dyah Sawitri, S.T., M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir di Teknik Fisika ITS.
3. Bapak Dr. Isnaeni, M.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing Tugas Akhir di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
4. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku Dosen Wali di Teknik Fisika ITS.
5. Kedua orang tua, kakak, adik, dan teman-teman tercinta yang senantiasa memberikan dukungan dan do'a.
6. Teman-teman departemen Teknik Fisika ITS LJ 2016 yang selalu memberikan dukungan dan dorongan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala bantuan dan dukungannya.

Penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu, saran serta kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2018
Penulis,

Nadhira Nurfathiya
0231 1645 000 011

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PERSETUJUAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Nanosains dan Nanoteknologi	7
2.2 Karbon Dot	8
2.3 Teknik Sintesis Karbon Dot	9
2.4 Tinjauan dari Sifat dan Aplikasi Karbon Dot	11
2.5 Karbon Dot sebagai Sensor Analitik	12
2.6 Limbah Organik sebagai Bahan Dasar Karbon Dot ..	13
2.7 Logam Berat	16
2.8 FRET (<i>Förster Resonance Energy Transform</i>)	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2 Studi Literatur	25
3.3 Alat dan Bahan	25
3.4 Metode Sintesis Karbon Dot dengan Teknik Hidrotermal	26
3.5 Metode Sintesis Karbon Dot dengan Teknik Iradiasi Gelombang Mikro	28
3.6 Karakterisasi dengan Teknik Spektroskopi	30
3.7 Karakterisasi Waktu Peluruhan Fotoluminesens	32

3.8 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR	33
3.9 Uji Sensor Karbon Dot untuk Deteksi Logam Berat.	35
3.10 Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Sintesis Karbon Dot	39
4.2 Uji Sensor Karbon Dot sebagai Detektor Ion Logam Berat	59
4.3 Interpretasi Hasil	72
BAB V PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Metodologi sintesis nanomaterial (Marin, 2016).....	8
Gambar 2.2	Urutan kronologis dari penemuan struktur yang berbeda dari karbon nanopartikel (Marin, 2016).....	9
Gambar 2.3	Gambar optik dari CD di bawah sinar putih dan UV, dengan masing-masing spektrum emisi maksimum (eksitasi pada 315 nm) (Liu, 2006).....	10
Gambar 2.4	Spektrum FTIR dari kulit buah semangka (Laksmipathy, 2015).....	14
Gambar 2.5	Spektrum FTIR dari kulit kacang (Ossman dkk, 2013).....	16
Gambar 2.6	Spektrum absorbansi dan fluoresens ideal pasangan donor-akseptor pada fenomena FRET (Hussain, 2016).....	21
Gambar 3.1	Diagram alir tahap sintesis karbon dot.....	23
Gambar 3.2	Diagram alir karakterisasi dan uji sensor CD..	24
Gambar 3.3	Skema sintesis karbon dot kulit semangka dengan teknik hidrotermal.....	26
Gambar 3.4	Skema sintesis karbon dot kulit kacang dengan teknik hidrotermal.....	27
Gambar 3.5	Skema sintesis karbon dot kulit semangka dengan teknik iradiasi gelombang mikro.....	28
Gambar 3.6	Skema sintesis karbon dot kulit kacang dengan teknik iradiasi gelombang mikro.....	29
Gambar 3.7	Skematik sistem karakterisasi absorbansi.....	31
Gambar 3.8	Skematik instrumen pengukuran fotoluminesens (PPF LIPI, 2018).....	32
Gambar 3.9	Skematik pengujian TRPL (PPF LIPI, 2018)..	33
Gambar 3.10	Skematik alat spektrometer inframerah.....	33
Gambar 4.1	(a) Sampel CD KS pada kondisi cahaya ruang; (b) Sampel CD KS ketika dieksitasi dengan laser UV (405 nm).....	41

Gambar 4.2	(a) Sampel CD KS' pada kondisi cahaya ruang; (b) Sampel CD KS' ketika dieksitasi dengan laser UV (405 nm).....	42
Gambar 4.3	(a) Sampel CD KK pada kondisi cahaya ruang; (b) Sampel CD KK ketika dieksitasi dengan laser UV (405 nm).....	42
Gambar 4.4	Grafik spektrum normalisasi absorbansi CD KS.....	44
Gambar 4.5	Grafik spektrum normalisasi absorbansi CD KS'.....	44
Gambar 4.6	Grafik spektrum normalisasi absorbansi CD KK.....	47
Gambar 4.7	Grafik spektrum fotoluminesens CD KS.....	49
Gambar 4.8	Grafik spektrum fotoluminesens CD KS'.....	49
Gambar 4.9	Grafik spektrum fotoluminesens CD KK.....	51
Gambar 4.10	Grafik TRPL pada <i>software Time Harp 260</i> .	53
Gambar 4.11	<i>Fitting</i> grafik TRPL menggunakan <i>software Origin 2017</i>	54
Gambar 4.12	Grafik FTIR karbon dot kulit semangka.....	56
Gambar 4.13	Grafik FTIR karbon dot kulit kacang.....	58
Gambar 4.14	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas absorbansi CD KS.....	61
Gambar 4.15	Daerah absobansi karbon dot kulit semangka dan logam berat besi.....	62
Gambar 4.16	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas emisi CD KS.....	62
Gambar 4.17	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap TRPL CD KS.....	63
Gambar 4.18	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas absorbansi CD KS.....	65
Gambar 4.19	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas emisi CD KS.....	65
Gambar 4.20	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap TRPL CD KS.....	66

Gambar 4.21	Hubungan penambahan variasi ion timbal terhadap intensitas absorbansi CD KS.....	68
Gambar 4.22	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas emisi CD KS....	68
Gambar 4.23	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap TRPL CD KS.....	69
Gambar 4.24	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas absorbansi CD KK.....	70
Gambar 4.25	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas emisi CD KK...	71
Gambar 4.26	Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap TRPL CD KK.....	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik fisikokimia dari kulit buah semangka (Lakshmipathy, 2015).....	15
Tabel 2.2	Sifat-sifat fisika timbal (Pb).....	17
Tabel 3.1	Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan.....	35
Tabel 4.1	Daftar jenis, sumber karbon, perlakuan, teknik, dan waktu sintesis karbon dot.....	40
Tabel 4.2	Puncak intensitas dan panjang gelombang absorbansi CD KS dan CD KS'.....	45
Tabel 4.3	Peak dan panjang gelombang absorbansi CD KK.....	47
Tabel 4.4	Puncak intensitas dan panjang gelombang emisi CD KS dan CD KS'.....	49
Tabel 4.5	Panjang gelombang fotoluminesens CD KK.....	50
Tabel 4.6	TRPL CD KS, CD KS', dan CD KK.....	57
Tabel 4.7	Tabel FTIR karbon dot kulit semangka.....	59
Tabel 4.8	Perbandingan FTIR ekstrak KS dan CD KS.....	64
Tabel 4.9	Persamaan linearitas dan regresi grafik hubungan perubahan konsentrasi Fe^{3+} terhadap karakteristik optik CD KS.....	66
Tabel 4.10	Persamaan linearitas dan regresi grafik hubungan perubahan konsentrasi Fe^{3+} terhadap karakteristik optik CD KK.....	69
Tabel 4.11	Persamaan linearitas dan regresi grafik hubungan perubahan konsentrasi Pb^{2+} terhadap karakteristik optik CD KS.....	72
Tabel 4.12	Persamaan linearitas dan regresi grafik hubungan perubahan konsentrasi Pb^{2+} terhadap karakteristik optik CD KK.....	72

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zou dkk. (2015) menyatakan bahwa kontaminasi ion logam berat telah menjadi perhatian utama dikarenakan dapat menghasilkan polusi lingkungan dan efek kumulatif berbahaya yang bergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat pada tubuh serta tingkat dosis paparannya. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, menyebabkan alergi, bersifat mutagen, teratogen, atau karsinogen bagi makhluk hidup. Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990), toksisitas logam berat dapat dibagi ke dalam tiga kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn, bersifat toksik sedang yang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, serta bersifat toksik rendah yang terdiri dari unsur Mn dan Fe. Logam berat tersebut dapat mencemari berbagai medium, seperti medium padat, cair, dan gas. Pada penelitian ini, pencemaran logam berat pada medium cair dipelajari lebih lanjut. Studi dilakukan dengan variasi logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi berupa ion timbal (Pb^{2+}), dan logam berat dengan tingkat toksisitas rendah berupa ion besi (Fe^{3+}).

Sejauh ini, beberapa penelitian telah melaporkan metode yang digunakan untuk deteksi ion logam berat yaitu, metode *Atomic Absorption Spectrometry* (Kunkel & Manahan, 1973; Orhan, 2005; Pohl, 2009), *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (Bings dkk., 2006; Ashoka dkk. 2009; Caroli dkk., 1999), *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (Boukraa dkk., 2006; Saracoglu dkk., 2006), *High Performance Liquid Chromatography* (Nolan & Lippard, 2008; Liu dkk., 2006), dan *Enzymatic Inhibition Method* (Hua & Lu, 2003; Shyuan dkk., 2008). Namun, metode-metode tersebut

memiliki beberapa kekurangan yaitu, membutuhkan peralatan yang besar dan mahal, melibatkan proses deteksi yang tidak praktis, persiapan sampel yang ekstensif, serta tidak spesifik. Hingga saat ini, metode yang paling mudah dan menjanjikan berdasarkan kesederhanaan dan keterbatasan deteksi yang rendah adalah metode deteksi optik (Zhou, 2015).

Salah satu metode deteksi optik yang menjanjikan adalah metode deteksi menggunakan teknik fluoresens spektroskopi dengan material nano karbon dot. Sun dkk. (2017) melaporkan beberapa sifat unggul karbon dot, diantaranya adalah material ini memiliki biokompatibilitas yang tinggi, kelarutan yang baik, sintesis yang relatif mudah dan murah, sifat optik yang luar biasa, toksisitas yang rendah, serta stabilitas kelarutan yang baik. Aplikasi karbon dot diterapkan berdasarkan sifat fotoluminesensinya yang bergantung pada panjang gelombang eksitasi dan emisi dalam bentuk fenomena fluoresens. Fenomena fluoresens dari karbon dot diduga berasal dari perbedaan distribusi ukuran, variasi cacat permukaan, perbedaan keadaan permukaan, dan perbedaan derajat konjugasi π (Gao dkk., 2016).

Dibandingkan dengan semikonduktor tradisional (*quantum dots*) yang disintesis dari material toksik, seperti kadmium dan selenium. Karbon dot dapat disintesis dari material apa pun yang mengandung ikatan karbon sehingga memiliki sifat yang ramah lingkungan. Salah satu sumber karbon yang jarang dimanfaatkan adalah limbah organik yang dapat diperoleh dari sisa kulit buah, rempah-rempah, daun, maupun kacang-kacangan. Limbah organik sendiri terbagi menjadi dua jenis secara umum, yaitu limbah organik basah dan limbah organik kering. Limbah organik basah memiliki kandungan air yang dapat menyebabkan limbah lebih mudah membusuk dari pada limbah organik kering. Pada tugas akhir ini, dua jenis limbah tersebut digunakan sebagai bahan dasar karbon dot. Limbah organik basah diwakili oleh kulit buah semangka, sedangkan limbah organik kering diwakili oleh kulit

kacang sehingga diketahui pengaruh perbedaan jenis limbah tersebut terhadap karbon dot yang disintesis.

Metode sintesis karbon dot sendiri terbagi menjadi dua macam, yaitu metode *bottom-up* dan metode *top-down*. Metode *bottom-up* tercatat memiliki tahapan yang lebih mudah dibandingkan dengan metode *top-down*. Metode *bottom-up* yang sering digunakan adalah metode hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro. Sedangkan metode *top-down* yang sering digunakan adalah metode laser ablasi yang memerlukan peralatan yang mahal dengan tingkat keberhasilan yang relatif rendah. Berdasarkan kemudahan dan tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dari metode sintesis *top-down*, maka dipilih metode sintesis *bottom-up* untuk dipelajari lebih lanjut. Dalam penelitian ini, kedua teknik sintesis dari metode *bottom-up* yaitu teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang dibandingkan untuk mencari perbedaan pada produk karbon dot yang dihasilkan.

Maka secara garis besar, dalam tugas akhir ini dilakukan sintesis nanomaterial karbon dot berbahan dasar limbah organik basah dan kering, yaitu kulit semangka dan kulit kacang menggunakan metode sintesis *bottom-up* dengan teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro. Produk karbon dot kemudian diaplikasikan dalam deteksi ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} dalam pelarut akuades, konsentrasi ion logam berat divariasikan hingga didapatkan performansi karbon dot sebagai sensor ion logam berat. Performansi karbon dot dinyatakan dalam linearitas yang menyatakan hubungan antara variasi konsentrasi ion logam berat dengan karakteristik optik yang diuji (absorbansi, fotoluminesens, dan TRPL).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang diangkat dari latar belakang pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana mensintesis karbon dot berbahan dasar limbah organik menggunakan teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro?
- b. Bagaimana karakteristik terbaik yang dimiliki karbon dot yang disintesis dengan teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro?
- c. Bagaimana performansi nanomaterial karbon dot berbahan dasar limbah organik sebagai sensor ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan sintesis karbon dot berbahan dasar limbah organik dengan teknik hidrotermal dan teknik iradiasi gelombang mikro.
- b. Mengetahui karakteristik terbaik dari karbon dot yang disintesis dengan teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro.
- c. Mengetahui performansi nanomaterial karbon dot berbahan dasar limbah organik sebagai sensor pendeteksi ion logam berat.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Sumber karbon dot berasal dari bahan organik basah yaitu kulit buah semangka dan bahan organik kering yaitu kulit kacang tanah. Material tersebut dipilih karena ketersediaannya yang melimpah sehingga mudah didapatkan dan harganya yang terjangkau.

- b. Perlakuan awal limbah organik basah sebelum disintesis dibagi menjadi dua, yaitu dipanaskan hingga kandungan airnya menghilang dan tidak (langsung disintesis), sedangkan limbah organik kering dapat langsung disintesis.
- c. Proses sintesis dilakukan menggunakan metode *bottom-up* dengan teknik hidrotermal dan teknik iradiasi gelombang mikro.
- d. Logam berat yang digunakan adalah ion logam berat Pb^{2+} yang berasal dari larutan timbal (II) asetat trihidrat/ $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan ion logam berat Fe^{3+} yang berasal dari larutan besi (III) klorida/ FeCl_3 dalam pelarut akuades.
- e. Karakterisasi sifat optik karbon dot dilakukan dengan spektrometer MAYA PL (*Photoluminescence*) 2000 Pro, spektrometer UV-Vis MAYA 2000 Pro, dan TRPL (*Time Resolved Photoluminescence*).
- f. Karakterisasi kandungan gugus fungsi karbon dot menggunakan instrumen FTIR (*Fourier Transform Infrared*).
- g. Uji sensor dilakukan dengan melakukan variasi konsentrasi ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} terhadap karbon dot hingga didapatkan linearitas karbon dot dalam mendeteksi ion logam berat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

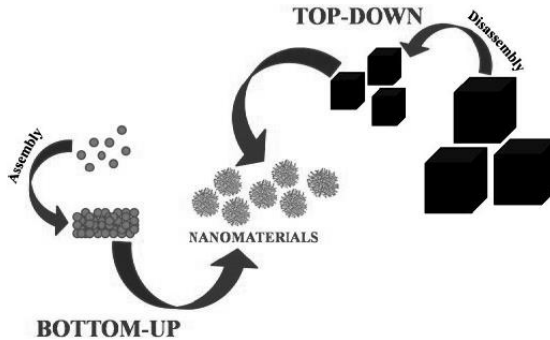
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanosains dan Nanoteknologi

Nanosains dapat didefinisikan sebagai area sains yang muncul untuk mempelajari dan mengembangkan material dalam skala nano, sedangkan nanoteknologi merupakan teknologi bahan dan struktur yang keduanya berada pada level ukuran nano dengan banyak variasi dari aplikasi yang mengandalkan ukuran nano dan sifat-sifat luar biasa dari bahan nano. Nanosains dan nanoteknologi telah mengubah dunia ilmiah pada beberapa dekade ke belakang berdasarkan kemampuannya untuk mempersiapkan, mengukur, memanipulasi, materi terorganisasi pada skala nano yang meliputi rentang 1 nm hingga 100 nm (Marin, 2016). Walaupun nanoteknologi masih berada pada masa pertumbuhan, sifat-sifat yang mengagumkan, dan potensi aplikasi dari benda nano telah menghasilkan ekspektasi yang besar, hal ini membawa banyak peneliti dan pejabat publik berkecimpung dalam dunia ini. Ada beberapa jenis perbedaan definisi antara sains dan teknik dalam hal skala nano, tetapi sangat krusial untuk menyadari bahwa istilah nanoteknologi tidak bisa diperhitungkan secara terpisah dari nanosains; perhatian lebih diberikan untuk kegiatan praktikal keduanya, namun yang terpenting adalah nanoteknologi melingkupi munculnya aplikasi baru dari nanosains.

Istilah “*nanoparticles*” (NPs) telah didefinisikan oleh beberapa penulis namun definisi yang paling sesuai adalah desinisi yang berasal dari IUPAC yang menyatakan bahwa NPs adalah “*Particles of any shape with dimensions in the range of 1×10^{-9} and 1×10^{-7} m* (Partikel dalam bentuk apapun yang berada dalam rentang antara 1×10^{-9} hingga 1×10^{-7} m)”. NPs dapat ditemukan secara alami di lingkungan atau disintesis oleh manusia melalui dua metodologi yaitu *bottom-up* dan *top-down* (Gambar 2.1). Metode *bottom-up* berdasarkan pembentukan dari struktur nano kompleks dari molekul atau atom untuk mencapai ukuran materi nano, sedangkan pada metodologi *top-down*, sintesis dilakukan dari partikel dengan

ukuran yang lebih besar atau nanomaterial lain sebagai prekursor yang biasanya melibatkan metode fisis.

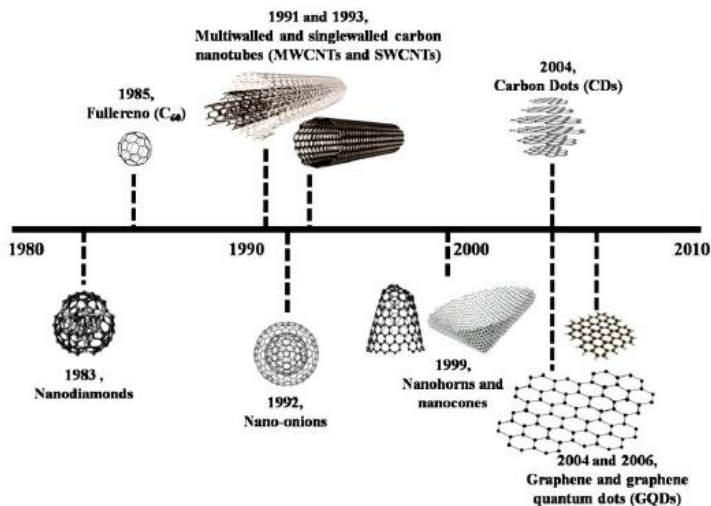


Gambar 2.1 Metodologi sintesis nanomaterial (Marin, 2016)

2.2 Karbon Dot

Karbon dot yang selanjutnya disebut CD (*carbon dots*), merupakan nanopartikel berisi atom karbon dengan campuran hibridisasi sp^2 dan sp^3 yang ditemukan pada tahun 2004 (Xu dkk., 2004) ketika pemurnian CNT (*carbon nanotube*). CD merupakan definisi komprehensif untuk beberapa material karbon berukuran nano. Dalam arti luas, semua material berukuran nano, yang terutama terdiri dari karbon dapat disebut sebagai CD. CD selalu memiliki setidaknya satu dimensi kurang yang dari 10 nm dan fluoresensi sebagai sifat alamiah mereka (Zhu dkk., 2014). CD disintesis dengan dua metodologi yaitu *top-down* dan *bottom-up* (Peng dkk., 2009). Dalam beberapa kasus, untuk mendapatkan CD diperlukan penambahan langkah seperti pasivasi untuk meningkatkan fotoluminesensinya (Mao dkk., 2010) atau fungsionalisasi untuk memberikan CD reaktivitas kimia yang spesifik (Goncalves dkk., 2010). Nanomaterial ini dicirikan berdasarkan karakteristik fotoluminesensinya, kelarutan dalam air, *photobleaching*, sifat inertensi kimia, biokompatibilitas, non-toksitas, kemudahan sintesis, dan fungsionalisasi permukaan yang bersifat *tunable*. Berdasarkan hal tersebut, beberapa aplikasi menggunakan CD telah dilaporkan dengan memanfaatkan

fluoresens nanodots sebagai sensor analitik, deteksi ion logam (Ding dkk., 2015), katalisis (Qu dkk., 2014), dan pencitraan bio (Fernando dkk., 2015).



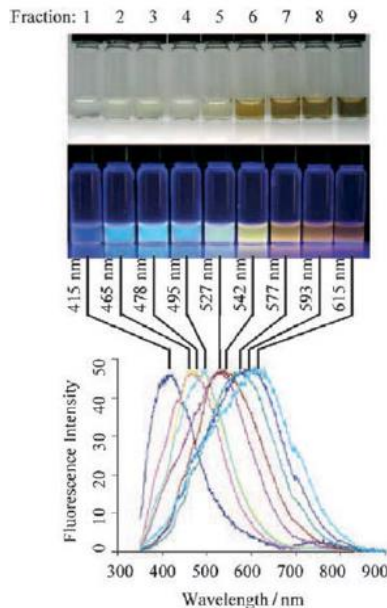
Gambar 2.2 Urutan kronologis dari penemuan struktur yang berbeda dari karbon nanopartikel (Marin, 2016)

Karbon menunjukkan beragam topologi valensi yang ditentukan oleh hibridisasi sp , sp^2 , dan sp^3 nya, menghantarkan nanokarbon menuju variasi bentuk yang luas dalam hal penampilan dan sifatnya. Beberapa variasi bentuk nanostruktur karbon yang telah ditemukan diantaranya adalah *nanodiamonds*, *fullerene*, *nano-onions*, *carbon nanotubes*, *nanohorns*, *nanocones*, *graphene*, dan *fluorescent dots* (*carbon dots* dan *graphene quantum dots*) (Marin, 2016). Kronologis penemuan struktur yang berbeda pada karbon nanopartikel dapat dilihat pada Gambar 2.2.

2.3 Teknik Sintesis Karbon Dot

Sintesis CD pertama kali didapatkan pada tahun 2004 dengan metode *arc discharge* (debit busur). Di tahun selanjutnya, potensi dari metode fisika atau kimia tambahan untuk mensintesis

CD juga diuji coba dengan hasil yang positif. Sun dkk. (2017) melaporkan metode yang berhasil dilakukan untuk mendapatkan fotoluminesensi CD yang berwarna-warni dengan ablasi laser dari campuran bubuk grafit dan semen (Gambar 2.3). Setahun setelahnya, pendekatan kimia diperkenalkan saat Liu dkk. memperoleh nanopartikel karbon dengan fluoresens yang multiwarna dari pembakaran jelaga lilin. Pada saat bersamaan, tim Zhou melakukan sintesis nanokristal dengan luminesensi biru dengan cara perendaman elektrokimia. Teknik-teknik yang disebutkan di atas kemudian dikembangkan dengan beragam pendekatan; baik menurut rute *top-down* yakni produk akhir yang berasal dari sebuah proses dimana materi dipecah, atau dengan rute *bottom-up* dimana CD disintesis dari prekursor molekul yang sesuai.



Gambar 2.3 Gambar optik dari CD di bawah sinar putih dan UV, dengan masing-masing spektrum emisi maksimum (eksitasi pada 315 nm). (Liu, 2006)

Selanjutnya, Bourlinos dan rekan kerjanya menghasilkan permukaan titik kuantum karbogenik dengan satu langkah sederhana, yakni dengan dekomposisi termal dari prekursor molekul yang tepat. Hampir bersamaan pada tahun 2009, Peng dkk. dan Liu dkk. melaporkan metode sintesis CD dalam bentuk cairan. Metode yang pertama berasal dari karbohidrat yang didapat dari oksidasi kimia dengan asam kuat, dan yang terakhir dengan sintesis yang didukung dari resol menggunakan bola-bola sebagai pembawa. Pada tahun yang sama, metode sintesis CD pirolitik dengan bantuan gelombang mikro dari poli (etilena glikol) (PEG-200) dan campuran sakarida dilaporkan oleh kelompok Zhu. Jiang dan rekan kerja menggambarkan metode fisik ketiga, setelah *arc discharge* dan ablasi laser, contohnya perlakuan plasma benzena dengan etilenadiamina, sedangkan Lu dkk. berhasil merumuskan CD pada pembukaan sangkar *fullerene* dengan katalis.

2.4 Tinjauan dari Sifat dan Aplikasi Karbon Dot

CD memiliki serangkaian sifat yang menempatkannya sebagai pengganti potensial dari semikonduktor titik kuantum konvensional. Pertama, mereka menunjukkan fotoluminesensi yang kuat, dapat dikendalikan, dan diset dalam ukuran nanopartikel. Dikarenakan CD adalah bahan berbasis karbon yang memiliki gugus fungsi oksigen, permukaannya dapat difungsikan dengan mudah dengan molekul organik, memperkenalkan berbagai heteroatom dan menyesuaikan emisi panjang gelombang dengan aplikasinya. Hidrofilisitas atau hidrofobisitasnya juga dapat disesuaikan dan CD dapat larut dalam H_2O yang biasanya diinginkan. Seperti disebutkan sebelumnya, CD dapat diperoleh dari berbagai bahan baku dengan biaya efektif dan beragam metode, selain itu ramah lingkungan dan juga tidak berbahaya. Sebagian besar CD menampilkan sifat inert kimiawi, stabilitas tinggi dan resistivitas terhadap *photobleaching*. Terakhir, CD memiliki dua karakteristik tambahan dan sangat penting; sitotoksitas rendah dan biokompatibilitas yang sangat baik yang membuat mereka lebih unggul dibandingkan semikonduktor titik

kuantum konvensional sehingga memiliki potensi penggunaan biologis.

Menurut jurnal yang dilaporkan oleh Ali dkk., sifat fluoresens dari titik kuantum karbon biasanya bergantung pada tingginya area cacat dan rasio antara karbon sp^3 dan sp^2 . Meningkatnya domain sp^2 akan berbanding lurus dengan meningkatnya ikatan terkonjugasi ganda. Peran dari oksigen dan nitrogen terdoping pada proses sintesis titik kuantum karbon adalah untuk mengontrol domain sp^2 . Selain itu, sifat fotoluminesens berkorelasi dengan gugus fungsi dan doping heteroatom. Oleh karena itu, telah ditunjukkan bahwa doping dengan elemen elektronegatif lebih banyak daripada C, seperti N, mendorong pergeseran emisi biru fotoluminesens, sementara doping dengan atom yang kurang elektronegatif seperti S dan Se mengarah ke pergeseran merah. Telah ditunjukkan pula bahwa beragam fungsi oksigen atau pelarut dapat mengubah panjang gelombang emisi fotoluminesens.

CD telah digunakan untuk foto-reduksi dan foto-oksidasi, reagen elektrokimiawi, sensor, katalis fotoelektrik, perangkat fotovoltai organik, detektor, dioda pemancar cahaya, perangkat sel surya, pola percetakan cetak bebas tinta, transfer energi, dan sebagainya. Selain itu, berdasarkan sifat biokompatibilitasnya, CD telah digunakan secara luas untuk *bioimaging*, untuk terapi teranistik fotodinamis, sebagai agen antimikroba, sebagai gen pembawa nano, terapi kanker, sebagai sistem pengiriman obat, dan lain sebagainya.

2.5 Karbon Dot sebagai Sensor Analitik

Teknik spektroskopi optik mencakup segala sesuatu yang berkaitan dengan interaksi iradiasi elektromagnetik dengan bahan, interaksi ini dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu interaksi hamburan, absorpsi, dan emisi iradiasi elektromagnetik. Dalam kasus ini, informasi kualitatif dan kuantitatif diberikan terkait dengan konsentrasi, identitas molekul, dan interaksi dengan lingkungan. Dengan demikian, sifat CD yang sangat baik menjadikannya ideal sebagai sensor optik untuk mendeteksi

beberapa analit target. CD menggunakan teknik fluoresens sebagai sensor optik, hal ini dikarenakan CD memiliki karakteristik fluoresens yang tinggi dan kurangnya karakteristik *photobleaching*. Sebagian besar jurnal telah melaporkan penggunaan CD sebagai sensor ion logam melalui proses *quenching* fotolumenesens, misalnya seperti deteksi ion logam Hg^{2+} , Pb^{2+} , atau Cu^{2+} (Zhou dkk., 2012) sebagai yang paling banyak dipelajari. Menariknya, ion anion seperti PO_4^{2-} , CN^- , F^- , atau I^- (Wang dkk., 2015) ditemukan dapat mengembalikan fotolumenesensi CD ketika telah mengalami proses *quenching* oleh ion logam berat, sehingga dapat menjadi sensor anion. (Marin, 2016).

2.6 Limbah Organik sebagai Bahan Dasar Karbon Dot

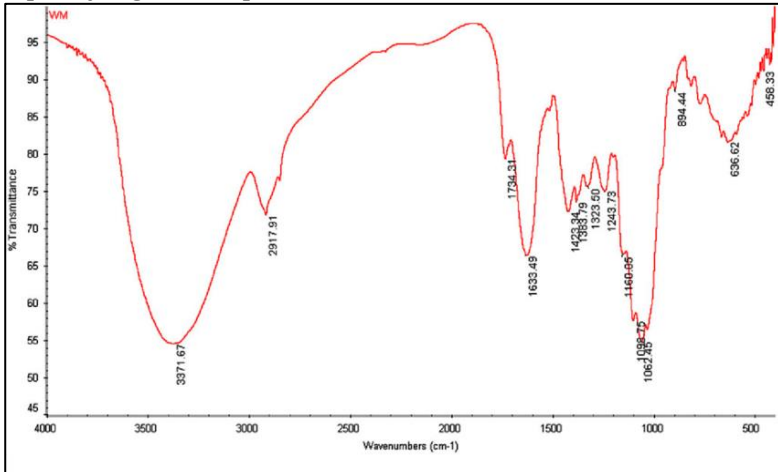
Limbah organik adalah limbah yang dapat diuraikan secara sempurna oleh proses biologi baik aerob atau anaerob. Limbah organik mudah membusuk, seperti sisa makanan, sayuran, daun-daunan kering, potongan-potongan kayu, dan sebagainya. Limbah organik terdiri atas bahan-bahan yang bersifat organik seperti dari kegiatan rumah tangga maupun kegiatan industri. Limbah ini mempunyai sifat kimia yang stabil sehingga zat tersebut akan mengendap kedalam tanah, dasar sungai, danau, serta laut dan selanjutnya akan mempengaruhi organisme yang hidup didalamnya. Limbah organik memiliki potensi kandungan karbon yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan dasar pembuatan karbon dot. Limbah organik sendiri dibagi menjadi dua, yaitu:

- a. Limbah organik basah. Limbah ini memiliki kandungan air yang cukup tinggi. Contohnya kulit buah dan sisa sayuran.
- b. Limbah organik kering. Limbah ini memiliki kandungan air yang relatif sedikit. Contohnya kayu, ranting pohon, dedaunan kering, dan lain lain.

Pada penelitian ini, digunakan kedua jenis limbah organik. Limbah organik basah didapatkan dari sisa kulit buah semangka, sedangkan limbah organik kering didapatkan dari kulit kacang tanah. Adapun keterangan lebih lanjut mengenai kedua jenis kandungan limbah organik tersebut adalah sebagai berikut.

2.6.1 Kandungan Kulit Buah Semangka

Pada penelitian yang dilakukan oleh Lakshmipathy (2015), diketahui kandungan gugus fungsi dari kulit buah semangka berdasarkan data spektrum yang didapat melalui pengujian FTIR seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Spektrum FTIR dari kulit buah semangka (Lakshmipathy, 2015)

Spektrum FTIR menampilkan sejumlah puncak pada berbagai variasi panjang gelombang yang berkaitan dengan gugus fungsi yang berbeda. Luas dan intensitas puncak berada sekitar 3.378 cm^{-1} sesuai dengan getaran *stretching* –OH dari selulosa, pectin, dan lignin. Puncak pada 2.917 cm^{-1} merujuk pada getaran *stretching* –CH dari gugus fungsi metil dan metoksi. Puncak pada 1.728 cm^{-1} sesuai dengan *stretching* –C=O dari asam karboksilat atau ester dan getaran asimetris dan simetris gugus karboksilat ionik (–COO–), masing-masing, muncul pada 1.621 dan 1.421 cm^{-1} . Puncak pada 1.383 cm^{-1} ditugaskan untuk peregangkan simetris –COO– pektin. Puncak dari 1.350 sampai 1.000 cm^{-1} dapat diberikan untuk meregangkan getaran asam karboksilat dan alkohol. Hal ini ditunjukkan dengan baik dari spektrum FTIR WR bahwa gugus karboksilat dan hidroksil banyak hadir dan sebagai

biopolimer kelompok ini bertindak sebagai donor proton untuk mengikat kation. Adapun karakteristik fisikokimia kulit buah semangka dapat dilihat pada Tabel 2.1.

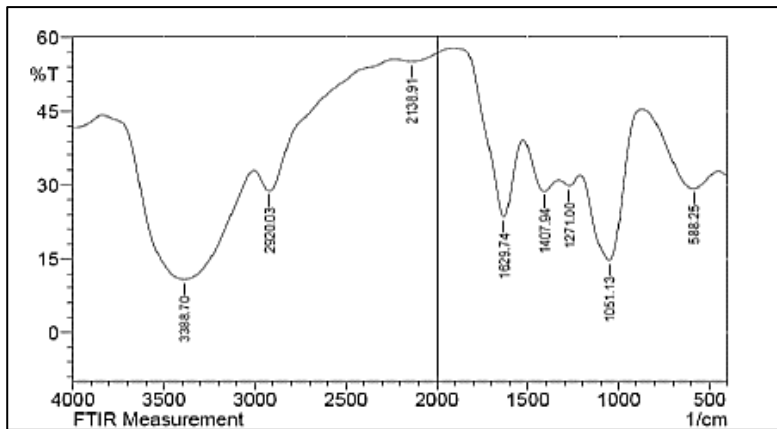
Tabel 2.1 Karakteristik Fisikokimia dari Kulit Buah Semangka (Lakshmipathy, 2015)

Parameter	Kulit Buah Semangka
Kelembapan	13%
Ukuran Partikel	$\sim 74 \mu\text{m}$
Massa Jenis	0,356 g/cc
Karbon	61,47%
Oksigen	30,31%
Kandungan Kation Total	2,102 meq g ⁻¹
pH _{pzc}	5,1
Keadaan Asam	2,51 mmol g ⁻¹
Keadaan Basa	0,71 mmol g ⁻¹

2.6.2 Kandungan Kulit Kacang Tanah

Berdasarkan jurnal yang dilaporkan Ossman dkk. (2013), kulit kacang tanah terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kulit kacang tanah utamanya terdiri dari polisakarida, protein, dan lemak, sehingga memiliki banyak gugus fungsi seperti karboksil, karbonil, hidroksil, dan amino dengan karakteristik struktur kimia.

Puncak pada data FTIR pada Gambar 2.5, lebar pita (*broad band*) sekitar 3388 cm⁻¹ dikaitkan dengan permukaan gugus hidroksil (-OH), yang kemungkinan besar disebabkan interaksi dan adanya alkoholik, fenolik, amino, dan turunan karboksilik. Puncak pada 2920 cm⁻¹ dikaitkan dengan pita regangan asimetrik C-H untuk kebanyakan gugus fungsi aromatik, alifatik, dan olefins. Grup-grup ini juga muncul pada struktur lignin. Puncak yang berlokasi pada 2138 cm⁻¹ merupakan karakteristik pita regangan C-C, mewakili gugus alkin. Puncak yang terkait dengan regangan pada (senyawa karbonil) C=O dan C=C diverifikasi pada 1629 cm⁻¹ dan dianggap berasal dari keton, aldehyd, akena, ester, dan gugus aromatik.



Gambar 2.5 Spektrum FTIR dari kulit kacang (Ossman dkk, 2013)

Puncak absorbansi pada 1480 dan 1271 cm^{-1} dapat dikaitkan getaran regangan C-O, C-H, atau C-C. Puncak yang diobservasi pada 1051 cm^{-1} dikaitkan dengan gugus C-O dalam kelompok alkokolik dan karboksilik. Pita dari gugus C-O lebih intens dari gugus C=O, dimungkinkan karena munculnya atau berlebihnya gugus C-O pada kulit kacang tanah. Puncak pada 588 cm^{-1} disebabkan ikatan vibrational pada senyawa aromatik dari lignin.

2.7 Logam Berat

Logam berat (*heavy metals*) merupakan sekelompok elemen-elemen logam yang dikategorikan berbahaya jika masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Logam berat dalam konsentrasi yang sangat rendah disebut sebagai logam renik. Logam-logam seperti merkuri (Hg), nikel (Ni), kromium (Cr), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) dapat ditemukan dalam lingkungan perairan yang tercemar limbah (Nugroho, 2006). Logam berat merupakan logam yang memiliki nilai densitas lebih dari 5 g/cm^3 (Hutagalung, 1991). Logam berat dapat bereaksi membentuk ikatan koordinasi dengan ligan dalam tubuh berbentuk -OH, -COO, -OPO₃H -, -C=O, -SH, -S-S-, -NH₂ dan =NH (Darmono, 1995).

Logam berdasarkan toksisitasnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

- Toksisitas tinggi, contohnya merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), arsen (As), tembaga (Cu), dan seng (Zn).
- Toksisitas sedang, contohnya kromium (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co).
- Toksisitas rendah, contohnya mangan (Mn) dan besi (Fe) (Darmono, 1995).

2.7.1 Senyawa Timbal

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007). Adapun keterangan sifat fisika timbal dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Sifat-Sifat Fisika Timbal (Pb)

Sifat Fisika Timbal	Keterangan
Nomor atom	82
Densitas (g/cm^3)	11,34
Titik lebur ($^{\circ}\text{C}$)	327,46
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	1.749
Kalor peleburan (kJ/mol)	4,77
Kalor penguapan (kJ/mol.K)	179,5
Kapasitas pada 25°C (J/mol.K)	26,65
Konduktivitas termal pada 300K (W/mK)	35,5
Ekspansi termal 25°C ($\mu\text{m/mK}$)	28,9
Kekerasan (skala Brinell=MPa)	38,6

Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,20. Titik leleh timbal adalah 1740°C dan memiliki massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$ (Widowati, 2008). Palar (1994) mengungkapkan

bahwa logam Pb pada suhu 500-600 °C dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO).

Timbal adalah logam toksik yang bersifat kumulatif sehingga mekanisme toksitasnya dibedakan menurut beberapa organ yang dipengaruhi, yaitu sebagai berikut:

- a. Sistem hemopoeitik: timbal akan menghambat sistem pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia
- b. Sistem saraf pusat dan tepi: dapat menyebabkan gangguan ensefalopati dan gejala gangguan saraf perifer
- c. Sistem ginjal: dapat menyebabkan aminoasiduria, fosfaturia, glukosuria, nefropati, fibrosis dan atrofi glomerular
- d. Sistem gastro-intestinal: dapat menyebabkan kolik dan konstipasi
- e. Sistem kardiovaskular: menyebabkan peningkatan permeabilitas kapiler pembuluh darah
- f. Sistem reproduksi: dapat menyebabkan kematian janin pada wanita dan hipospermi dan teratospermia (Darmono, 2001).

Di perairan, timbal ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal cukup rendah sehingga kadar timbal dalam air relatif sedikit. Bahan bakar yang mengandung timbal juga memberikan kontribusi yang berarti bagi keberadaan timbal dalam air (Effendi, 2003).

2.7.2 Senyawa Besi (III) Klorida

Besi adalah elemen kimiawi yang dapat ditemukan hampir di setiap tempat di bumi pada semua lapisan-lapisan geologis dan badan air. Besi dalam air tanah dapat berbentuk Fe (II) dan Fe (III) terlarut. Fe (II) terlarut dapat bergabung dengan zat organik membentuk suatu senyawa kompleks. Pada kadar 1-2 ppm besi dapat menyebabkan air berwarna kuning, terasa pahit, meninggalkan noda pada pakaian dan porselin. Keracunan besi menyebabkan permeabilitas dinding pembuluh darah kapiler meningkat sehingga plasma darah merembes keluar. Akibatnya

volume darah menurun dan hipoksia jaringan menyebabkan asidosis darah. (Peni dkk, 2009)

Kandungan Besi III dapat ditentukan dengan beberapa metode, salah satunya yaitu dengan spektrofotometer sinar tampak. Salah satu metode yang cukup handal pada spektrofotometer adalah dengan penambahbakuan atau adisi standar. Metode ini merupakan suatu pengembangan metode spektrofotometer sinar tampak dengan biaya relatif lebih murah. (Watulingas, 2008).

Besi dapat terikat dalam bentuk kompleks dengan sejumlah makromolekul, sebagai akibatnya akan mengurangi aktivitas normal dari kompleks tersebut. Kelebihan Fe intraseluler menyebabkan terjadinya perubahan formasi dan deposisi dari hemosiderin yang menyebabkan disfungsi dan kerusakan seluler. “Hemokromatosis” adalah istilah terjadinya gangguan metabolisme Fe yang terciri dengan terjadinya kelebihan absorpsi Fe. Kejenuhan ikatan protein Fe dan deposisi hemosiderin terjadi dalam jaringan. Pengaruh dan gejala pertama terjadi pada hati, pankreas dan kulit. Kelebihan deposit Fe dalam hati dapat menyebabkan cirrhosis dan dalam pankreas dapat menyebabkan diabetes. Kelebihan deposit Fe menyebabkan pigmentasi warna perunggu (kuning abu-abu) pada organ dan kulit (Mira dkk, 2011).

2.8 FRET (*Förster Resonance Energy Transform*)

Förster Resonance Energy Transfer (FRET) antara dua molekul merupakan fenomena fisik yang penting dengan minat yang besar untuk memahami beberapa sistem biologis dan dengan aplikasi potensial dalam pengembangan perangkat *thin film* dan optoelektronik. FRET adalah transfer energi non radiasi yang bergantung terhadap jarak dari fluorophore donor yang tereksitasi ke fluorophore akseptor yang cocok. FRET adalah salah satu dari beberapa metode yang tersedia untuk mengukur skala nanometer dan perubahan jarak, baik secara *in vitro* maupun *in vivo*. Karena kepekaannya terhadap jarak, FRET telah digunakan untuk menyelidiki interaksi tingkat molekuler. Kemajuan terbaru dalam teknik ini telah mengarah pada peningkatan kualitatif dan

kuantitatif, termasuk peningkatan resolusi spasial, jarak jangkauan dan sensitivitas (Hussain, 2016).

Fluoresens dikarakterisasi dengan beberapa parameter seperti intensitas, hasil kuantum (*quantum yield*), dan masa hidup. Intensitas dari fluoresens pada suatu panjang gelombang yang telah ditentukan akan sama dengan jumlah foton yang diemisikan oleh fluoresens dikalikan dengan energi foton:

$$I_F = nE \quad (2.1)$$

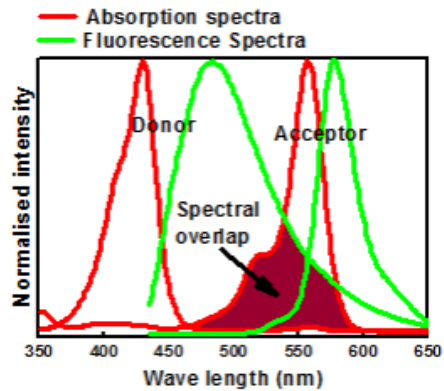
Hasil kuantum fluoresens (Φ_F) sama dengan jumlah foton yang diemisikan oleh fluoresens dibagi dengan jumlah foton yang diserap. Secara umum, I_F dan Φ_F proporsional satu sama lain. Masa hidup fluoresens τ_0 merupakan waktu yang dihabiskan fluorofor pada level tereksitasi.

Molekul eksternal yang ditambahkan ke sistem fluoresens dapat memadamkan intensitas fluoresens dan hasil kuantumnya. Molekul yang disebut sebagai *quencher* ini akan menurunkan fluoresens ketika bertumbukan dengan fluorofor. Fenomena ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu pemadaman dinamik dan pemadaman statik. Fenomena pemadaman ini akan memengaruhi tiga parameter karakterisasi fluoresens, yaitu intensitas, hasil kuantum, dan masa hidup fluoresens.

Fourier/ Fluorescence Energy Transfer (FRET) yang terjadi selama proses pemadaman fluoresens, muncul pada suatu jarak antara molekul donor (fluorofor yang tereksitasi) dan akseptor (kromofor). Energi ditransfer oleh resonansi, yaitu elektron dari molekul yang tereksitasi menginduksi medan listrik beresilasi yang memadamkan elektron akseptor. Sebagai hasil dari transfer energi ini, intensitas fluoresens dan hasil kuantum emitor akan menurun. Kecepatan perpindahan tersebut bergantung pada:

- a. Tumpang tindih spektrum antara spektrum emisi dari donor dan spektrum absorpsi dari penerima/akseptor (Gambar 2.6)
- b. Hasil kuantum (*quantum yield*) dari donor.

- c. Orientasi relatif dari transisi dipol oleh zendonor dan penerima.
- d. Jarak antara donor dan penerima.



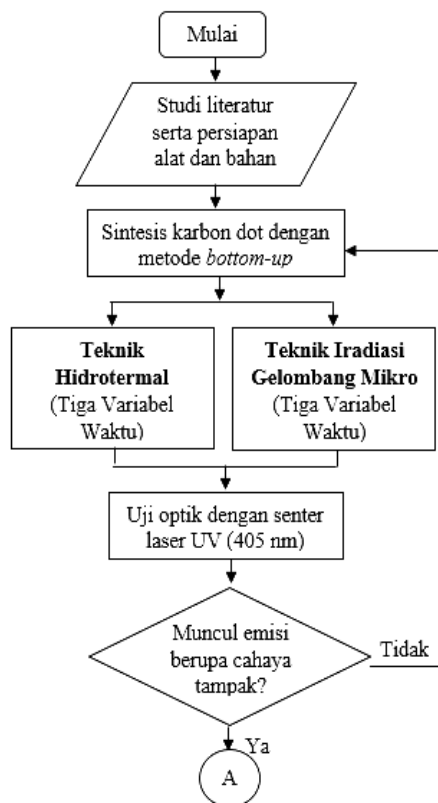
Gambar 2.6 Spektrum absorbansi dan fluoresens ideal pasangan donor-akseptor pada fenomena FRET (Hussain, 2016)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

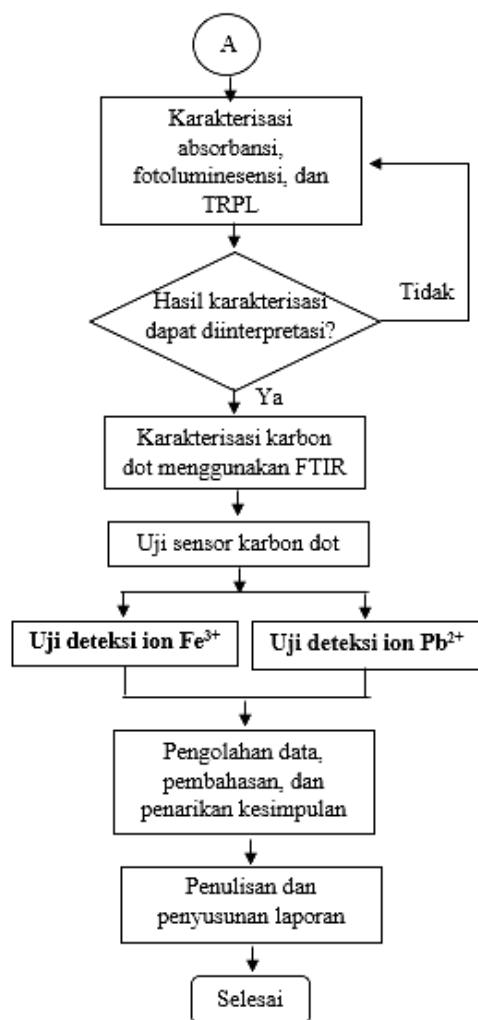
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai rangkaian metode penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan pada tugas akhir sesuai dengan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir tahap sintesis karbon dot



Gambar 3.2 Diagram alir karakterisasi dan uji sensor CD

Diagram alir pada Gambar 3.1 dan 3.2 merupakan gambaran tahap pengerjaan tugas akhir secara sistematis yang dijelaskan secara lebih rinci pada penjelasan berikut.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal 20 Desember 2017 hingga tanggal 16 Maret 2018. Tahap sintesis dilaksanakan di Laboratorium Laser Pulsa, Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, Tangerang Selatan. Tahap karakterisasi optik hasil sintesis dan uji karbon dot sebagai sensor ion logam berat dilaksanakan di Laboratorium Laser *Pico* (Pusat Penelitian Fisika LIPI).

3.2 Studi Literatur

Studi literatur mengenai karbon dot secara umum, tinjauan sifat, serta aplikasinya didapatkan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, dan internet. Selain itu, pengetahuan mengenai karbon dot serta karakterisasinya didapatkan dari kegiatan diskusi dengan pembimbing.

3.3 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah gelas ukur (50 mL, 100 mL, dan 500 mL), spatula, *centrifuge Scilogex D2012*, mikropipet 100-1000 uL, mikropipet 10-100 uL, tip mikropipet, senter laser UV, botol sampel (20 mL dan 40 mL), *autoclave* 50 mL, tungku pemanas, *microwave LG MH6042D* 450 Watt, blender *Panasonic MX-GX1462*, timbangan digital *Precisa 125 A*, kuvet plastik, kuvet kuarsa (*Quartz Cuvette* 3,8 mL), filter kopi Hario V60, masker, sarung tangan nitril, aluminium foil, plastik *Parafilm*, spektrofotometer *Ocean Optic Maya2000Pro*, spektrofourometer *Ocean Optic Maya2000Pro*, UV-Vis *Ubest* dengan sumber cahaya lampu deuterium dan halogen, FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), serta sistem karakterisasi optik *Time Resolve Photoluminescence* (menggunakan sensor foton *Micro Photon Detector*).

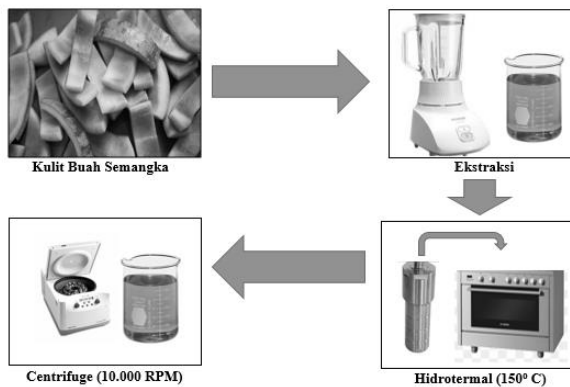
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah organik basah berasal dari kulit buah semangka (*Citrullus Lanatus*), limbah organik kering berasal dari kulit kacang tanah (*Arachis Hypogaea*), ion Fe^{3+} yang berasal dari besi (III) klorida (FeCl_3), dan ion Pb^{2+} yang berasal dari timbal (II) asetat/ ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_{2.3}\text{H}_2\text{O}$), dan akuades.

3.4 Metode Sintesis Karbon Dot dengan Teknik Hidrotermal

a. Karbon Dot dari Limbah Organik Basah

Tahap sintesis karbon dot dari limbah organik basah menggunakan sumber karbon berupa kulit semangka yang dibagi menjadi dua perlakuan. Perlakuan pertama, kulit semangka dipanaskan pada temperatur 120°C selama 2 jam hingga kandungan airnya menghilang kemudian disintesis menggunakan teknik hidrotermal. Perlakuan kedua, kulit semangka yang telah dihilangkan bagian hijaunya langsung disintesis menggunakan teknik hidrotermal. Kulit buah semangka tersebut kemudian dicampur dengan akuades hingga konsentrasinya menjadi $0,1\text{ mg/mL}$ dan dihancurkan menggunakan blender. Setelah itu, ekstrak kulit semangka disaring menggunakan kertas filter.

Sebanyak 40 mL ekstrak kulit semangka dimasukkan ke dalam *autoclave* kemudian disimpan ke dalam oven pada temperatur 150°C . Teknik hidrotermal dibagi menjadi tiga variasi waktu, yaitu 2 jam, 4 jam, dan 8 jam pada temperatur yang dijaga konstan. Setelah melalui tahap tersebut, partikel pengotor pada sampel dipisahkan menggunakan *centrifuge* dengan kecepatan sebesar 10.000 RPM selama 5 menit. Adapun skema sintesis dapat dilihat pada Gambar 3.3.

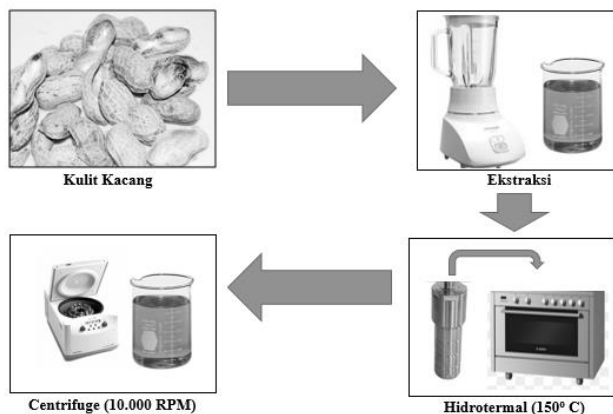


Gambar 3.3 Skema sintesis karbon dot kulit semangka dengan teknik hidrotermal

b. Karbon Dot dari limbah Organik Kering

Tahap sintesis karbon dot dari limbah organik kering diawali dengan mempersiapkan kulit kacang sebanyak 100 gram. Kulit kacang tersebut dilarutkan dalam akuades sebanyak 1000 mL lalu diblender halus, sehingga konsentrasi awal mencapai 0,1 g/mL. Bahan yang sudah dihaluskan kemudian disaring menggunakan kertas filter sehingga didapatkan ekstrak kulit kacang.

Sebanyak 40 mL ekstrak kulit kacang dimasukkan ke dalam *autoclave* yang berfungsi untuk menjaga uap air ekstrak kulit kacang agar tidak menguap selama proses pemanasan, sehingga volume karbon dot mendekati volume awal (ekstrak). *Autoclave* kemudian dimasukan ke dalam tungku pemanas dengan temperatur 150° C hingga terjadi reaksi karbonisasi. Waktu reaksi pada teknik hidrotermal divariasikan mulai dari 2 jam, 4 jam, dan 8 jam pada temperatur yang dijaga konstan. Sampel yang telah melalui tahap tersebut masih mengandung partikel pengotor (agregat), untuk memisahkan agregat dengan sampel karbon dot digunakan *centrifuge* dengan kecepatan sebesar 10.000 RPM selama 5 menit. Skema sintesis karbon dot berbahan dasar limbah organik dengan teknik hidrotermal dapat dilihat pada Gambar 3.4.



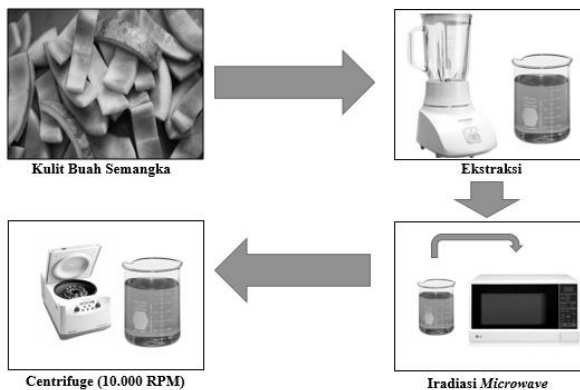
Gambar 3.4 Skema sintesis karbon dot kulit kacang dengan teknik hidrotermal

3.5 Metode Sintesis Karbon Dot dengan Teknik Iradiasi Gelombang Mikro

a. Karbon Dot dari Limbah Organik Basah

Tahap sintesis karbon dot dari limbah organik basah menggunakan sumber karbon berupa kulit semangka dibagi menjadi dua perlakuan. Perlakuan pertama, kulit semangka dipanaskan pada temperatur 120°C selama 2 jam hingga kandungan airnya menghilang kemudian disintesis menggunakan teknik iradiasi gelombang mikro. Perlakuan kedua, kulit semangka yang telah dihilangkan bagian hijaunya langsung disintesis. Kulit buah semangka tersebut kemudian dicampur dengan akuades hingga konsentrasinya menjadi $0,1\text{ mg/mL}$ dan dihancurkan menggunakan blender. Setelah itu, ekstrak kulit semangka disaring menggunakan kertas filter.

Sebanyak 40 mL ekstrak kulit semangka dimasukkan ke dalam *beaker glass* 500 mL atau 1000 mL kemudian disimpan ke dalam *microwave* 450 Watt. Teknik iradiasi gelombang mikro dibagi menjadi tiga variasi yaitu 20 menit, 40 menit, dan 80 menit. Setelah melalui tahap tersebut terbentuk serbuk karbon dot. Serbuk tersebut dilarutkan dengan akuades sebanyak 40 mL kemudian di-*centrifuge* selama 5 menit (10.000 RPM). Sedangkan untuk pengujian FTIR, sampel dipreparasi dalam bentuk serbuk. Adapun skema sintesis dapat dilihat pada Gambar 3.5.

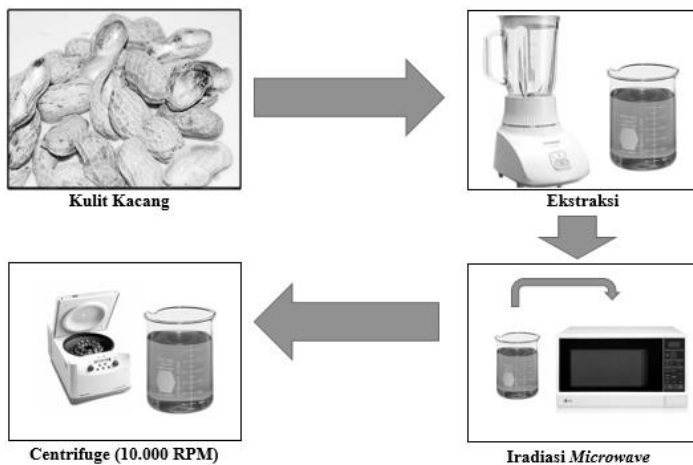


Gambar 3.5 Skema sintesis karbon dot kulit semangka dengan teknik iradiasi gelombang mikro

b. Karbon Dot dari Limbah Organik Kering

Tahap sintesis karbon dot dari limbah organik kering diawali dengan mempersiapkan kulit kacang sebanyak 100 gram. Kulit kacang tersebut dilarutkan dalam akuades sebanyak 1000 mL lalu diblender halus, sehingga konsentrasi awal mencapai 0,1 g/mL. Bahan yang sudah dihaluskan kemudian disaring menggunakan kertas filter sehingga didapatkan ekstrak kulit kacang.

Sebanyak 40 mL ekstrak kulit kacang dimasukkan ke dalam *beaker glass* 500 mL atau 1000 mL. *Beaker glass* tersebut kemudian dimasukan ke dalam *microwave* 450 Watt hingga terjadi reaksi karbonisasi. Waktu reaksi pada metode hidrotermal divariasikan mulai dari 20 menit, 40 menit, dan 80 menit. Setelah melalui tahap tersebut terbentuk serbuk karbon dot, serbuk tersebut dilarutkan dengan akuades sebanyak 40 mL kemudian di-*centrifuge* selama 5 menit (10.000 RPM). Sedangkan untuk pengujian FTIR, sampel dipreparasi dalam bentuk serbuk. Skema sintesis karbon dot berbahan dasar limbah organik dengan metode hidrotermal dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema sintesis karbon dot kulit kacang dengan teknik iradiasi gelombang mikro

3.6 Karakterisasi dengan Teknik Spektroskopi

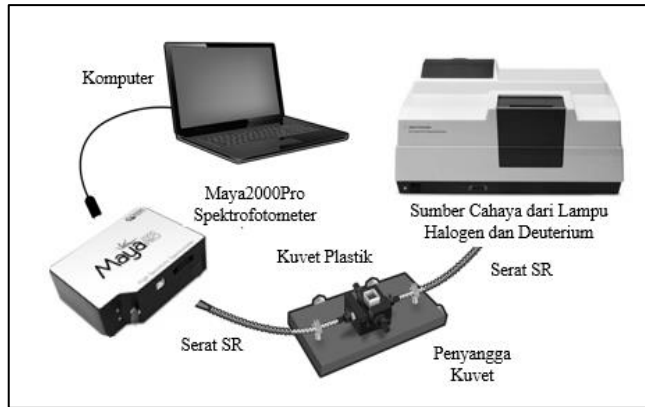
Karakterisasi sampel karbon dot dilakukan dengan teknik spektroskopi. Dalam studi ini, digunakan spektrofotometer *Ocean Optic Maya2000Pro* baik untuk karakterisasi absorbansi maupun karakterisasi fotoluminesens. Teknik ini memunculkan data dalam bentuk grafik intensitas variabel uji terhadap setiap perubahan panjang gelombang antara 200 hingga 700 nm.

3.6.1 Komponen Pengujian Absorbansi

Pengujian absorbansi dilakukan dengan memanfaatkan cahaya dari lampu deuterium dan halogen yang dipancarkan dari instrumen UV-Vis *Ubest*. Sampel karbon dot dipreparasi dalam bentuk larutan yang kemudian dimasukkan ke dalam kuvet plastik kapasitas 3,8 mL. Pada prinsipnya, spektrofotometer *Ocean Optic Maya2000Pro* merupakan gabungan dari alat spektrometer dan fotometer. Menurut artikel yang ditulis Elsa (2016), spektrometer adalah alat yang menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu. Spektrometer memiliki alat pengurai seperti prisma yang dapat menyeleksi panjang gelombang dari sinar putih. Prinsip kerja alat ini berdasarkan hukum Lambert Beer, bila cahaya monokromatik (I_0) melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap (I_a), sebagian dipantulkan (I_r), dan sebagian lagi dipancarkan (I_l). Adapun persyaratan dari Hukum Beer Lambert adalah sebagai berikut:

- a. Radiasi yang digunakan harus monokromatik,
- b. Energi radiasi yang diabsorpsi oleh sampel tidak menimbulkan reaksi kimia,
- c. Sampel (larutan) yang mengabsorpsi harus homogen,
- d. Larutan tidak pekat (harus encer).

Sedangkan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorbsikan. Pada fotometer terdapat filter dari berbagai warna yang memiliki spesifikasi melewatkan trayek panjang gelombang tertentu. Kemudian, grafik puncak absorbansi akan terbaca pada *software Spectra Suit*.



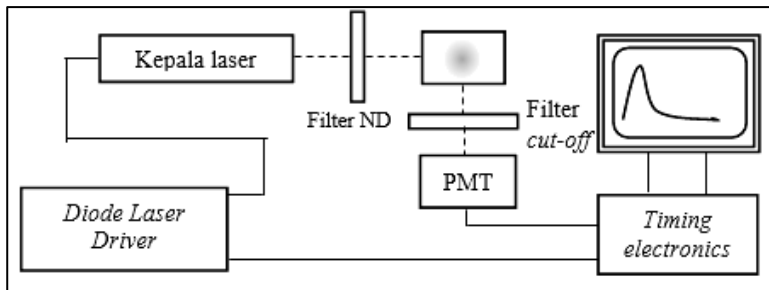
Gambar 3.7 Skematik sistem karakterisasi absorbansi

Untuk lebih memahami sistem pengujian pada tugas akhir ini, dapat dilihat Gambar 3.7. Gambar ini menunjukkan skematik dari sistem pengujian absorbansi yang terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut.

- a. Instrumen UV-Vis *Ubest*
- b. Penyangga Kuvet
- c. Spektrofotometer *Ocean Optic Maya2000Pro*
- d. Komputer yang terinstall *Spectra Suit*

3.6.2 Komponen Pengujian Fotoluminens (PL)

Pada pengujian fotoluminens, sumber cahaya yang digunakan adalah laser dioda dengan panjang gelombang 420 nm. Laser dengan mode *Continues Wavelength* (CW) ditembakkan pada sampel. Emisi cahaya yang dipancarkan sampel kemudian dilewatkan oleh *fiber optic* kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Ocean Optic Maya2000Pro* yang terintegrasi dengan aplikasi pada komputer. Foton dari emisi yang terbaca dicacah oleh *Photomultiplier Tube* dan diubah menjadi sinyal listrik hingga terbaca dalam bentuk grafik di *Spectra Suit*.



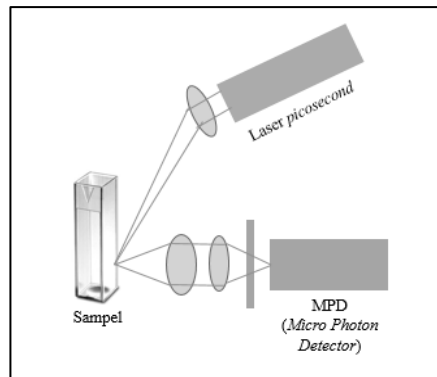
Gambar 3.8 Skematik instrumen pengukuran fotoluminesens (PPF LIPI, 2018)

Untuk memahami rangkaian pengujian PL, skematik rangkaian setiap komponen dapat dilihat pada Gambar 3.8. Sampel pada uji PL juga dipreparasi dalam bentuk larutan. Larutan sampel diletakkan dalam kuvet plastik berukuran 3,8 mL.

3.7 Karakterisasi Waktu Peluruhan Fotoluminesens

TRPL (*Time Resolved Photoluminescence*) merupakan teknik eksperimental yang mampu menunjukkan evolusi spektral dan temporal dari emisi sampel mengikuti iluminasi yang dimiliki dari pulsa cahaya pendek (CAPPA, 2018).

Uji TRPL memanfaatkan sumber cahaya yang sama dengan pengujian fotoluminesens yaitu laser dioda *picosecond* dengan panjang gelombang 420 nm. Namun, laser diatur dalam moda yang berbeda yaitu moda berpulsa. Moda tersebut diperlukan untuk memudahkan perhitungan TRPL. Foton yang diemisikan sampel dibaca dalam bentuk grafik seperti proses yang terjadi pada uji PL (Gambar 3.8). Pada uji TRPL digunakan *Long Pass Filter* (500 nm) untuk membedakan pantulan cahaya dari laser dan sampel. Adapun skematik rangkaian uji TRPL dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Skematik pengujian TRPL (PPF LIPI, 2018)

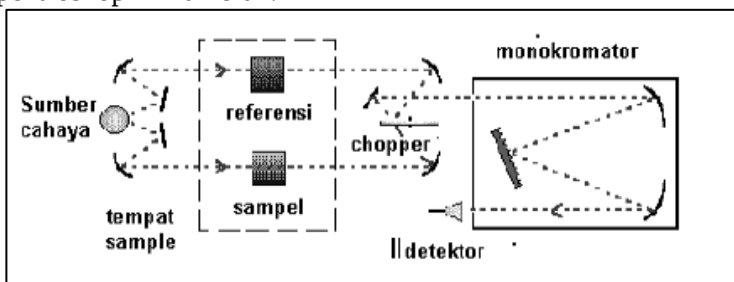
3.8 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Spektroskopi FTIR adalah teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Sinar pengukuran sampel diubah menjadi interferogram.

Pada umumnya, FTIR atau yang disebut juga spektroskopi inframerah digunakan untuk:

1. Menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik
2. Mengetahui informasi struktur suatu senyawa organik dengan membandingkan daerah sidik jarinya

Perhitungan secara matematika *Fourier Transform* untuk sinyal tersebut akan menghasilkan spektrum yang identik pada spektroskopi inframerah.



Gambar 3.10 Skematik alat spektrometer inframerah

Skematik spektrometer inframerah dapat dilihat pada Gambar 3.10 Adapun lima bagian utama dari FTIR menurut Griffiths (1975), adalah sebagai berikut.

- a. Sumber sinar, yang terbuat dari filament Nerst atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik hingga temperatur 1000-1800 °C.
- b. *Beam splitter*, berupa material transparan dengan indeks relatif, sehingga menghasilkan 50% radiasi akan direfleksikan dan 50% radiasi akan diteruskan.
- c. Interferometer, merupakan bagian utama dari FTIR yang berfungsi untuk membentuk interferogram yang akan diteruskan menuju detektor.
- d. Daerah cuplikan, dimana berkas acuan dan cuplikan masuk ke dalam daerah cuplikan dan masing-masing menembus sel acuan dan cuplikan secara bersesuaian.
- e. Detektor, merupakan piranti yang mengukur energi pancaran yang lewat akibat panas yang dihasilkan. Detektor yang sering digunakan adalah termokopel dan balometer.

Mekanisme yang terjadi pada FTIR dimulai dengan datangnya sinar yang diteruskan dan kemudian dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin, yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut interferogram. Interferogram ini akan diubah menjadi spectra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid, 1994).

Berdasarkan buku yang ditulis oleh Dachriyanus (2004), Beberapa daerah serapan yang khas pada Tabel 3.1 dapat digunakan pada interpretasi awal dari spektrum inframerah.

Tabel 3.1 Daftar Bilangan Gelombang dari Berbagai Jenis Ikatan

Bilangan gelombang (ν , cm^{-1})	Jenis Ikatan
3750-3000	regang O-H, N-H
3000-2700	regang $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$, C-H, C-H aldehyd
2400-2100	regang $-\text{C}=\text{C}-$, $\text{C}=\text{N}$
1900-1650	regang $\text{C}=\text{O}$ (asam, aldehyd, keton, amida, ester, adhidrida)
1675-1500	regang $\text{C}=\text{C}$ (aromatik dan alifatik, $\text{C}=\text{N}$)
1475-1500	C-H <i>bending</i>
1000-650	$\text{C}=\text{C}-\text{H}$, Ar-H <i>bending</i>

Pada tugas akhir ini, sampel karbon dot dipreparasi dalam bentuk serbuk dan dikarakterisasi pada FTIR dalam rentang bilangan gelombang 4000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1} .

3.9 Uji Sensor Karbon Dot untuk Deteksi Logam Berat

Uji sensor dilakukan untuk mengetahui pengaruh setiap variasi konsentrasi ion logam berat terhadap karakteristik optik dari karbon dot kulit semangka dan kulit kacang. Metode karakterisasi yang dilakukan adalah karakterisasi absorbansi, fotoluminesens, dan TRPL.

3.9.1 Deteksi Logam Berat Besi

Deteksi logam berat besi oleh sampel karbon dot dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

- Ion Fe^{3+} yang berasal dari besi (III) klorida (FeCl_3) didapatkan dengan melarutkannya pada akuades dengan beberapa variasi konsentrasi yaitu konsentrasi 0,1 M hingga 10^{-9} M dengan interval sebesar 10^{-1} . Total variasi konsentrasi adalah 9 macam.

- b. Sampel karbon dot disiapkan pada kuvet kuarsa dengan volume sebanyak 1 mL.
- c. Akuades dengan volume sebesar 25 μL dilarutkan dalam 1 mL karbon dot, larutan ini berfungsi sebagai variabel kontrol.
- d. Cairan ion besi dengan volume sebanyak 25 μL dilarutkan dalam 1 mL karbon dot. Dikarenakan adanya variasi konsentrasi logam berat, maka jumlah total sampel menjadi 9 sampel.
- e. Seluruh sampel larutan yang telah disiapkan pada poin c dan d dikarakterisasi dengan tiga teknik karakterisasi yaitu uji absorpsi, fotoluminesens, dan TRPL.
- f. Data yang didapatkan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi ion logam berat besi terhadap ketiga karakteristik optik yang diuji.

3.9.2 Deteksi Logam Berat Timbal

Deteksi logam berat timbal oleh sampel karbon dot dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

- a. Ion Pb^{2+} yang berasal dari timbal (II) asetat/ ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) didapatkan dengan melarutkannya pada akuades dengan beberapa variasi konsentrasi yaitu konsentrasi 0,1 M hingga 10^{-9} M dengan interval sebesar 10^{-1} . Total variasi konsentrasi adalah 9 macam.
- b. Sampel karbon dot disiapkan pada kuvet kuarsa sebesar 1 mL.
- c. Akuades dengan volume sebesar 25 μL dilarutkan dalam 1 mL karbon dot, larutan ini berfungsi sebagai variabel kontrol.
- d. Cairan ion timbal dengan volume sebesar 25 μL dilarutkan dalam 1 mL karbon dot. Dikarenakan adanya variasi konsentrasi logam berat, maka jumlah total sampel menjadi 9 sampel.
- e. Seluruh sampel larutan yang telah disiapkan pada poin c dan d dikarakterisasi dengan tiga teknik karakterisasi yaitu uji absorpsi, fotoluminesens, dan TRPL.

- f. Data yang didapatkan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi ion logam berat timbal terhadap ketiga karakteristik optik yang diuji.

3.10 Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan

Data karakterisasi absorbansi dan fotoluminesens didapatkan dari aplikasi *Spectra Suit*. Sedangkan data TRPL didapatkan dari aplikasi *Time Harp 260*.

Pengolahan data yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan aplikasi *Origin 2017* dan *Microsoft Excel 2013*. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan tugas akhir. Laporan akhir merupakan rekaman dan bentuk pertanggungjawaban dalam bentuk tertulis dari serangkaian kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian berlangsung.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV berisi hasil dan pembahasan dari penelitian ini yang terdiri dari hasil dan pembahasan mengenai sintesis karbon dot, karakterisasi karbon dot, dan uji sensor karbon dot sebagai sensor pendeteksi ion logam berat.

4.1 Hasil Sintesis Karbon Dot

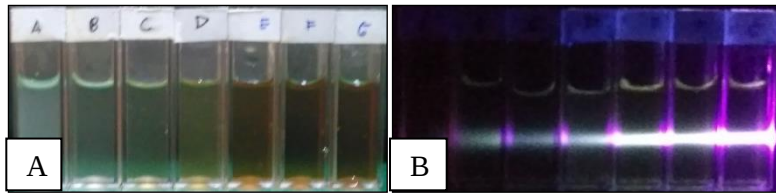
Sampel karbon dot berbahan dasar limbah organik basah dan kering yang telah disintesis dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada proses sintesis karbon berbahan dasar limbah organik basah, terdapat 2 variasi perlakuan, 2 variasi teknik sintesis, dan 3 variasi waktu sintesis per teknik sintesis. Sedangkan, pada proses sintesis limbah organik kering terdapat 2 variasi teknik sintesis dan 3 variasi waktu per teknik sintesis, sehingga didapatkan jumlah total sampel sebanyak 18 sampel. Semua sampel yang disintesis dengan teknik iradiasi gelombang mikro direaksikan dengan *microwave* 450 W. Sedangkan, semua sampel yang disintesis dengan teknik hidrotermal direaksikan pada oven dengan temperatur yang dijaga konstan sebesar 150 °C. Pada laporan, penamaan sampel ditulis dalam bentuk singkatan dengan keterangan sebagai berikut.

- a. CD merupakan singkatan dari *carbon dots* (karbon dot).
- b. KS merupakan singkatan dari kulit semangka tanpa pengeringan.
- c. KS' merupakan singkatan dari kulit semangka dengan pengeringan.
- d. KK merupakan singkatan dari kulit kacang.
- e. HT merupakan singkatan dari teknik sintesis hidrotermal.
- f. M merupakan singkatan dari teknik sintesis *microwave*.
- g. Angka pada akhir penamaan merupakan waktu sintesis dalam satuan menit untuk teknik *microwave* dan jam untuk teknik hidrotermal.

Tabel 4.1 Daftar Jenis, Sumber Karbon, Perlakuan, Teknik, dan Waktu Sintesis Karbon Dot

Jenis Sampel	Sumber	Perlakuan	Teknik Sintesis	Waktu Sintesis (menit)
Limbah Organik Basah	Kulit Semangka	Ekstraksi Tanpa Penge-ringan (CD KS)	Iradiasi Gelombang Mikro (M)	20 menit
				40 menit
				80 menit
			Hidro-thermal (HT)	2 jam
				4 jam
				8 jam
Limbah Organik Basah	Kulit Semangka	Ekstraksi dengan Penge-ringan (CD KS')	Iradiasi Gelombang Mikro (M)	20 menit
				40 menit
				80 menit
			Hidro-thermal (HT)	2 jam
				4 jam
				8 jam
Limbah Organik Kering	Kulit Kacang	Ekstraksi Tanpa Penge-ringan (CD KK)	Iradiasi Gelombang Mikro (M)	20 menit
				40 menit
				80 menit
			Hidro-thermal (HT)	2 jam
				4 jam
				8 jam

Sampel yang telah disintesis disinari dengan laser UV dengan panjang gelombang 405 nm. Berdasarkan referensi (Gao dkk, 2016), karbon dot mengemisikan sinar dalam rentang cahaya tampak ketika dieksitasi oleh sinar UV. Hasil pemeriksaan menggunakan sinar laser UV pada produk sintesis karbon dot yang berasal dari kulit semangka (CD KS) dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 (a) Sampel CD KS pada kondisi cahaya ruang;
(b) Sampel CD KS ketika dieksitasi dengan laser UV (405 nm)

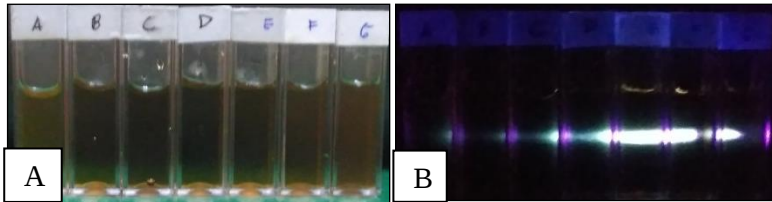
Sampel karbon dot pada Gambar 4.1 (a) dan (b) disusun secara berurutan, dengan urutan sebagai berikut.

- A. Original (ekstrak kulit semangka);
- B. CD KS HT 2 (hidrotermal 2 jam);
- C. CD KS HT 4 (hidrotermal 4 jam);
- D. CD KS HT 8 (hidrotermal 8 jam);
- E. CD KS M 20 (*microwave* 20 menit);
- F. CD KS M 40 (*microwave* 40 menit);
- G. CD KS M 80 (*microwave* 80 menit).

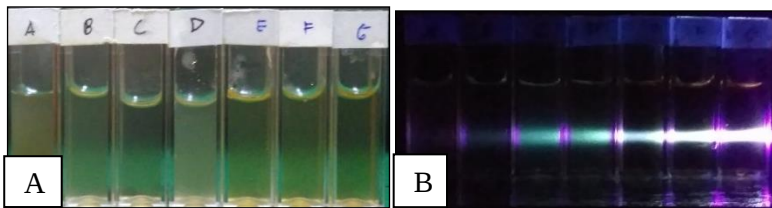
Pada Gambar 4.1 (a), terlihat bahwa larutan sampel tidak mengemisikan cahaya ketika berada pada kondisi cahaya ruang (*ambience light*). Namun, ketika sampel dieksitasi menggunakan laser UV, tampak suatu pendaran berwarna cyan dan hijau. Terlihat perbedaan antara sampel original (belum disintesis (A)), dan sampel yang sudah disintesis (B hingga G), yaitu sampel A tidak mengemisikan cahaya tampak ketika disinari dengan laser UV. Selain itu, terdapat pula perubahan warna dari larutan sampel setelah disintesis, warna sampel berubah kecoklatan, hal ini menunjukkan bahwa partikel karbon telah mengalami reaksi karbonisasi dan larut dalam bentuk karbon dot di larutan akuades (Isnaeni dkk, 2018).

Fenomena optik yang serupa juga dimiliki oleh sampel karbon dot kulit semangka (ekstraksi dengan pengeringan/ CD KS') yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 serta sampel karbon dot kulit kacang (CD KK) yang dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada

tiap gambar, keterangan urutan variasi teknik dan waktu sintesis serupa dengan Gambar 4.1.



Gambar 4.2 (a) Sampel CD KS' pada kondisi cahaya ruang;
(b) Sampel CD KS' ketika dieksitasi dengan laser UV (405 nm).



Gambar 4.3 (a) Sampel CD KK pada kondisi cahaya ruang;
(b) Sampel CD KK ketika dieksitasi dengan laser UV (405 nm)

Berdasarkan pengamatan optik dengan laser UV, **secara fisik semua sampel yang disintesis telah mengandung partikel karbon dot karena mampu mengemisikan cahaya dari laser UV yang dilewatkan pada sampel tersebut** (Gao, 2016).

Sedangkan jika dilihat dari panas (*heat*) yang dihasilkan dari kedua teknik sintesis karbon dot, panas yang dihasilkan *microwave* sangat berbeda dengan panas yang dihasilkan dari oven. *Microwave* bekerja dengan menggetarkan molekul pada sampel tertentu (molekul yang dapat menyerap radiasi gelombang mikro) sehingga menghasilkan panas, *microwave* juga memiliki meja putar yang membuat pemanasan molekul menyebar secara merata ke seluruh bagian sampel. Selain itu, perlu dipertimbangkan juga

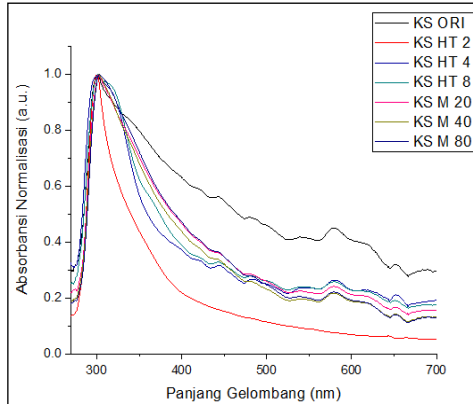
hilangnya energi radiasi gelombang mikro akibat pantulan pada ruang *microwave* maupun wadah sampel yaitu gelas *beaker* yang mengakibatkan gelombang tidak langsung mengenai sampel karbon. Sehingga daya sebesar 450 W tidak bisa secara langsung dibandingkan dengan panas sebesar 150 °C yang dihasilkan oleh oven. Namun, pada proses sintesis dengan teknik iradiasi gelombang mikro, kandungan air pada larutan karbon menghilang setelah pemanasan selama 5-6 menit, diasumsikan bahwa daya sebesar 450 W telah mencapai temperatur 100° C (titik didih air) pada rentang waktu tersebut dan panas meningkat seiring dengan penambahan waktu sintesis. Walaupun pemanasan tidak dapat dibandingkan dengan korelasi yang jelas, namun efisiensi radiasi gelombang mikro dianggap lebih baik dengan rentang waktu yang singkat (20-80 menit) dikarenakan larutan sampel sudah mampu menunjukkan salah satu sifat karbon dot dalam mengemisikan cahaya tampak dibandingkan dengan teknik hidrotermal yang membutuhkan waktu minimal 2 jam pemanasan. Selain itu, produk yang dihasilkan dari teknik sintesis iradiasi gelombang mikro memiliki warna coklat (menunjukkan reaksi karbonisasi pada sampel (Isnaeni, 2018)) yang lebih pekat dari produk karbon dot yang disintesis dengan teknik hidrotermal (gambar B-D dibandingkan dengan gambar E-G pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3).

Selanjutnya, dilakukan karakterisasi optik untuk mengetahui karakteristik absorbansi, fotoluminesens, dan waktu peluruhan fotoluminesens (*Time Resolved Photoluminescence*) pada semua produk karbon dot.

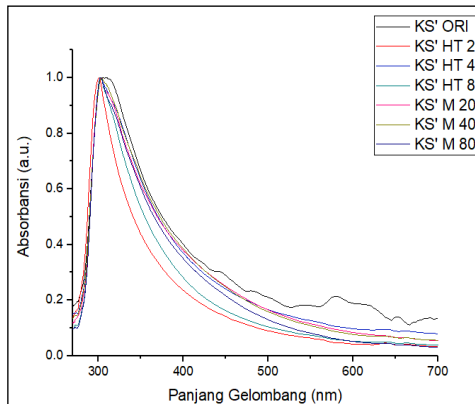
4.1.1 Karakterisasi Absorbansi Karbon Dot

Karakterisasi pertama yang dilakukan adalah karakterisasi absorbansi karbon dot menggunakan spektrofotometer UV-Vis *Ocean Optics Maya2000Pro*. Absorbansi sendiri merupakan suatu polarisasi cahaya yang terserap oleh bahan pada panjang gelombang tertentu sehingga memberikan warna tertentu pada bahan. Absorbansi sendiri digunakan untuk menganalisis kandungan bahan tertentu (Putri, 2017).

a. Absorbansi Karbon Dot Kulit Semangka



Gambar 4.4 Grafik spektrum normalisasi absorbansi CD KS



Gambar 4.5 Grafik spektrum normalisasi absorbansi CD KS'

Karakteristik absorbansi sampel kulit semangka terbagi menjadi dua jenis, yaitu absorbansi kulit semangka tanpa pengeringan (CD KS, Gambar 4.4) dan dengan pengeringan (CD KS', Gambar 4.5). Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 menunjukkan grafik normalisasi intensitas absorbansi karbon dot kulit semangka pada panjang gelombang 270 nm hingga 700 nm. Grafik dinormalisasi untuk memudahkan pembacaan puncak intensitas

absorbansi pada setiap variasi produk CD KS dan CD KS', adapun grafik sebelum normalisasi dapat dilihat pada Lampiran A. Selain itu, pada kedua grafik tersebut juga disertakan absorbansi sampel kulit semangka original yang belum mendapat perlakuan teknik sintesis sebagai variabel kontrol.

Puncak intensitas absorbansi sampel CD KS dan CD KS' dengan variasi teknik dan waktu sintesis dapat dilihat pada Tabel 4.2. Diketahui bahwa ekstrak kulit semangka (CD KS original) memiliki puncak absorbansi pada dua panjang gelombang yaitu 298 nm dan 579 nm. Sedangkan, CD KS' original juga memiliki dua puncak intensitas absorbansi pada 300 nm sedangkan puncak kedua berada pada panjang gelombang 583 nm. Berdasarkan perubahan puncak intensitas absorbansi, kedua teknik sintesis menghasilkan karakteristik puncak absorbansi yang berdekatan.

Tabel 4.2 Puncak Intesitas dan Panjang Gelombang Absorbansi CD KS dan CD KS'

Sampel Kulit Semangka	Panjang Gelombang (nm)	
	Tanpa Pemanasan (KS)	Dengan Pemanasan (KS')
Original	298 dan 579	300 dan 583
Hidrotermal 2 Jam	298	294
Hidrotermal 4 Jam	297 dan 579	306
Hidrotermal 8 Jam	306 dan 578	305
Microwave 20 Menit	300 dan 578	305
Microwave 40 Menit	300 dan 579	308
Microwave 80 Menit	303 dan 578	302

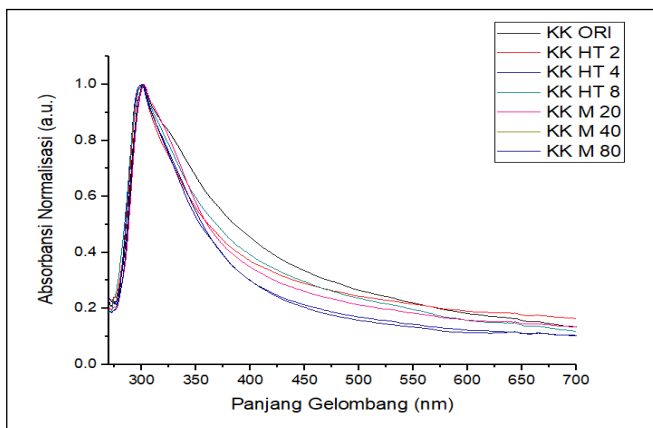
Berdasarkan grafik normalisasi absorbansi pada Gambar 4.4, CD KS mengalami penurunan absorbansi pada puncak yang kedua (579 nm) ketika disintesis dengan teknik hidrotermal maupun iradiasi gelombang mikro. Puncak penyerapan pada 579 nm merupakan titik serapan dari zat klorofil yang dimiliki oleh ekstrak kulit semangka (Porra, 1989). Hasil ini menunjukkan bahwa teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro pada

proses sintesis CD KS berperan dalam menurunkan kandungan klorofil pada sampel. Penurunan yang paling signifikan didapatkan dengan teknik hidrotermal selama 2 jam. Adapun puncak absorbansi pada 298 nm, tidak mengalami pergeseran yang signifikan. Berdasarkan penelitian yang dilaporkan oleh Gao (2016), diketahui bahwa absorbansi karbon dot berada pada rentang panjang gelombang sinar UV, sehingga diasumsikan bahwa puncak pada 298 nm mengindikasikan larutan sampel CD KS sudah mengandung partikel karbon dot.

Pada grafik absorbansi normalisasi CD KS' (Gambar 4.5), diketahui bahwa ekstrak kulit semangka dengan pengeringan memiliki dua puncak absorbansi seperti pada ekstrak kulit semangka tanpa pengeringan. Puncak pertama berada pada panjang gelombang 300 nm sedangkan puncak kedua berada pada panjang gelombang 583 nm. Pada teknik ini, ekstraksi dengan pengeringan untuk menghilangkan kandungan air pada kulit semangka dapat menurunkan kandungan klorofil walaupun belum memasuki tahap sintesis, namun tidak sampai benar-benar hilang seperti yang terlihat pada garis hitam Gambar 4.5. Pada sampel ini, sampel CD KS' tidak lagi memiliki puncak di panjang gelombang 583 nm, artinya teknik sintesis ini mampu menghasilkan karbon dot yang terbebas dari klorofil. Adapun daerah serapan CD KS' yang menyerupai daerah serapan CD KS yaitu sebesar 300 nm.

Karakterisasi absorbansi pada kedua jenis sampel menunjukkan bahwa puncak pada panjang gelombang sekitar 300 nm (daerah sinar UV) mengindikasikan adanya partikel karbon dot. Selain itu, tahap ekstraksi kulit semangka dengan pemanasan berperan dalam menurunkan kandungan klorofil yang dianggap sebagai pengotor. Variasi waktu sintesis pun tidak memiliki pengaruh yang signifikan dalam mengubah karakteristik absorbansi sampel. Jika dilihat dari waktu reaksi sintesis, teknik iradiasi gelombang mikro membutuhkan waktu sintesis yang lebih pendek dari teknik hidrotermal. Sehingga teknik iradiasi gelombang mikro dianggap lebih efisien dari teknik hidrotermal.

b. Absorbansi Karbon Dot Kulit Kacang



Gambar 4.6 Grafik spektrum normalisasi absorbansi CD KK

Berbeda dengan hasil sintesis karbon dot kulit semangka tanpa pengeringan dan dengan pengeringan (CD KS dan CD KS'), karbon dot kulit kacang hanya memiliki satu panjang gelombang absorbansi yang terletak pada 300 nm yang dapat diamati pada Gambar 4.6. Artinya karbon dot kulit kacang (CD KK) tidak memiliki pengotor berupa klorofil. Perbedaan teknik dan waktu sintesis CD KK tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Adapun detail mengenai panjang gelombang absorbansi dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Peak dan Panjang Gelombang Absorbansi CD KK

Sampel Kulit Kacang	Panjang Gelombang KK (nm)
Original	301
Hidrotermal 2 Jam	300
Hidrotermal 4 Jam	299
Hidrotermal 8 Jam	301
Microwave 20 Menit	302
Microwave 40 Menit	301
Microwave 80 Menit	301

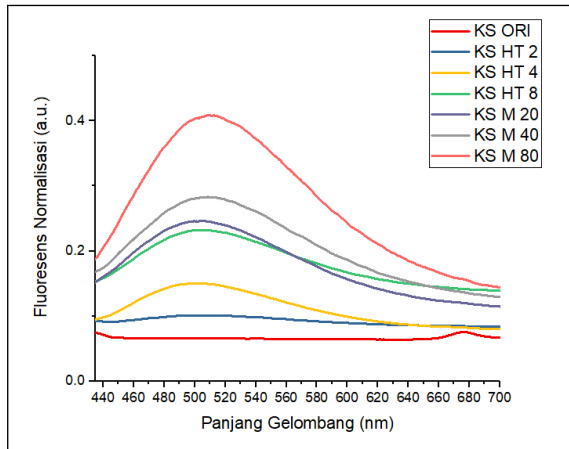
Berdasarkan pengamatan absorbansi, **ketiga jenis karbon dot (CD KS, CD KS', dan CD KK) memiliki daerah serapan di rentang 298-307 nm**. Tidak ada perbedaan signifikan antara produk karbon dot yang disintesis dengan teknik hidrotermal dan teknik iradiasi gelombang mikro. Jika dibandingkan, teknik iradiasi gelombang mikro dapat mensintesis karbon dot pada daerah absorbansi yang berdekatan dengan teknik hidrotermal. Proses sintesis iradiasi gelombang mikro yang dilakukan dalam waktu yang relatif lebih singkat dari proses sintesis hidrotermal mengindikasikan bahwa **teknik iradiasi gelombang mikro unggul dalam hal efisiensi waktu sintesis**.

4.1.2 Karakterisasi Fotoluminens Karbon Dot

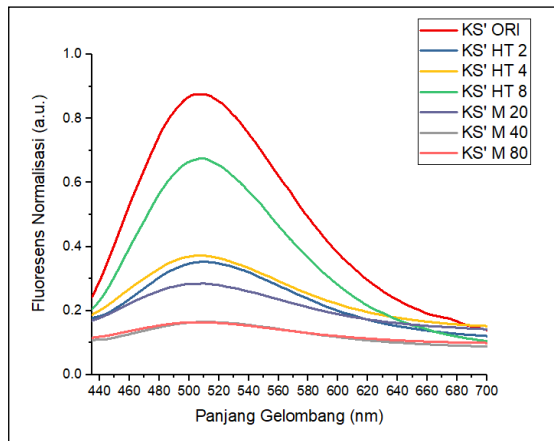
Karakterisasi fotoluminesens (PL) karbon dot dilakukan menggunakan spektrofotometer *Ocean Optics MayaPro2000* yang membaca emisi cahaya dari sumber laser dioda *picosecond* dengan panjang gelombang 420 nm. Fotoluminesens sendiri adalah emisi cahaya dari suatu materi setelah penyerapan foton (partikel radiasi elektromagnetik). Spektrum PL beragam bergantung pada jenis materialnya. Sehingga melalui karakterisasi, sifat khas dari material dapat dipelajari. Pada penelitian sebelumnya, Gao dkk (2016) melaporkan bahwa partikel karbon dot mengemisikan cahaya pada daerah tampak.

a. Fotoluminesens Karbon Dot Kulit Semangka

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan grafik PL dari karbon kulit semangka tanpa (CD KS) dan dengan pengeringan (CD KS'). Pada pengukuran PL CD KS dan CD KS' ini, disertakan juga pengukuran ekstrak kulit semangka tanpa dan dengan pengeringan sebagai variabel kontrol.



Gambar 4.7 Grafik spektrum fotoluminesens CD KS



Gambar 4.8 Grafik spektrum fotoluminesens CD KS'

Gambar 4.7 menunjukkan grafik intensitas PL pada panjang gelombang 440 hingga 700 nm dari CD KS, sedangkan data intensitas dan panjang gelombang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Ekstrak kulit semangka original ditunjukkan oleh garis merah, terlihat bahwa walaupun kulit semangka mengabsorbansi energi

dengan panjang gelombang 298 nm, ekstrak tidak mengemisikan cahaya pada daerah tampak karena partikel karbon dot belum terbentuk. Adapun absorbansi ekstrak pada panjang gelombang 579 nm, menghasilkan emisi pada pada panjang gelombang 676 nm yang dimiliki oleh pengotor klorofil. Emisi berwarna merah yang dimiliki oleh klorofil ini menurun pada produk sampel yang telah disintesis dengan teknik hidrotermal maupun iradiasi gelombang mikro, sehingga diindikasikan bahwa partikel karbon dot pada CD KS berhasil disintesis.

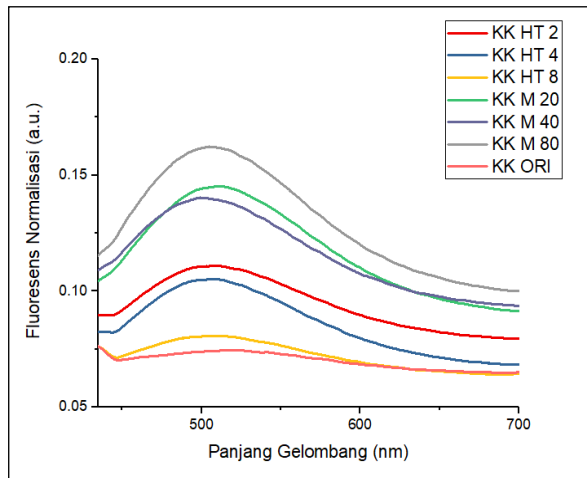
Tabel 4.4 Puncak Intesitas dan Panjang Gelombang Emisi CD KS dan CD KS'

Sampel	Panjang Gelombang (nm)	
	Tanpa Pemanasan (KS)	Dengan Pemanasan (KS')
Original	676	508
Hidrotermal 2 Jam	518	507
Hidrotermal 4 Jam	507	506
Hidrotermal 8 Jam	509	511
Microwave 20 Menit	507	508
Microwave 40 Menit	500	510
Microwave 80 Menit	510	508

Sedangkan Gambar 4.8 menunjukkan fotoluminensi normalisasi dari CD KS'. Tampak bahwa ekstrak kulit semangka original dengan pengeringan menghasilkan emisi yang cukup tinggi pada panjang gelombang 508 nm, selain itu emisi klorofil juga sudah tidak muncul. Diduga bahwa sebelum ekstrak kulit semangka mengalami teknik sintesis hidrotermal atau iradiasi gelombang mikro, telah terbentuk partikel karbon dot yang mengemisikan cahaya tersebut. Selain itu, dapat dilihat pada Tabel 4.6 mengenai perubahan intensitas dan panjang gelombang fotoluminesens. Diketahui bahwa teknik sintesis menurunkan intensitas fotoluminesens CD KS', penurunan paling rendah didapatkan dengan teknik sintesis iradiasi gelombang mikro

selama 80 menit. Intensitas CD KS' yang didapatkan dengan teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro tidak menunjukkan pola perubahan yang signifikan, begitu pula dengan pola pergeseran panjang gelombang fotoluminesens CD KS'.

b. Fotoluminesens Karbon Dot Kulit Kacang



Gambar 4.9 Grafik spektrum fotoluminesens CD KK

Berdasarkan Gambar 4.9, diketahui bahwa ekstrak kulit kacang original memiliki intensitas fotoluminesensi yang rendah dibandingkan dengan intensitas yang dimiliki oleh sampel karbon dot kulit kacang. Teknik hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro berpengaruh dalam meningkatkan intensitas fotoluminesensi karbon dot kulit kacang. Diketahui bahwa teknik iradiasi gelombang mikro lebih baik dalam meningkatkan intensitas CD KK, dan intensitas tertinggi didapatkan oleh teknik iradiasi gelombang mikro selama 80 menit. Sedangkan, pergeseran titik emisi puncak fluoresensi tidak mengalami perubahan signifikan, emisi berada dalam rentang 496 hingga 516 nm. Keterangan detail mengenai panjang gelombang emisi CD KK dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Panjang Gelombang Fotoluminesens CD KK

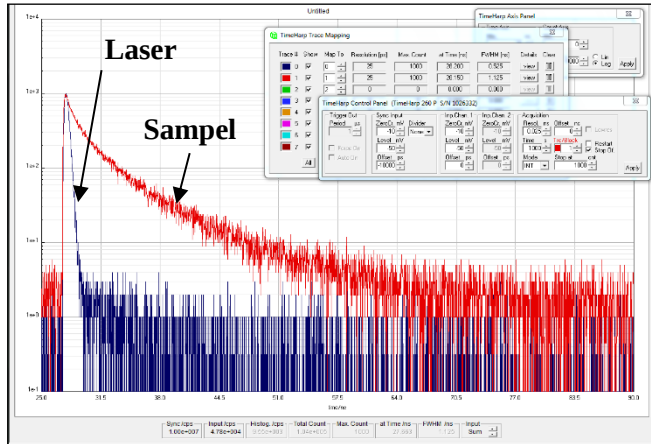
Sampel	Panjang Gelombang KK (nm)
Original	518
Hidrotermal 2 Jam	514
Hidrotermal 4 Jam	508
Hidrotermal 8 Jam	503
<i>Microwave</i> 20 Menit	509
<i>Microwave</i> 40 Menit	497
<i>Microwave</i> 80 Menit	508

Berdasarkan karakterisasi fotoluminesens yang telah dilakukan, diketahui bahwa **emisi karbon dot kulit semangka dan kulit kacang berada pada panjang gelombang sekitar 500 nm (497–518 nm)**. Pengaruh variasi teknik dan waktu sintesis tidak begitu signifikan dalam mengubah karakteristik fotoluminesens sampel karbon dot. Kemudian, **emisi klorofil pada ekstrak kulit semangka di 676 nm berhasil dihilangkan** setelah ekstrak kulit semangka disintesis dengan teknik hidrotermal atau iradiasi gelombang mikro. Selain itu, ekstrak kulit semangka dengan pengeringan mengemisikan sinar laser 420 nm, sehingga diduga pengeringan yang dilakukan selama dua jam telah menghasilkan partikel karbon dot. Hal ini membuat **sampel CD KS' tidak digunakan dalam pengujian sensor karbon dot** untuk mendeteksi ion logam berat besi dan timbal. Namun, untuk memastikan hal tersebut dilakukan karakterisasi lanjut yaitu karakterisasi waktu hidup/ peluruhan fotoluminesens (TRPL).

4.1.3 Karakterisasi Waktu Peluruhan Fotoluminensi (TRPL) Karbon Dot

Karakterisasi selanjutnya adalah karakterisasi waktu peluruhan fotoluminesens (*Time Resolved Photoluminescence*) yang disingkat menjadi TRPL. TRPL merupakan metode dimana sampel dieksitasi oleh pulsa cahaya hingga mengalami PL *decay* (pembusukan fluoresens) terhadap waktu diukur. Pada tugas akhir ini, karakterisasi TRPL dilakukan menggunakan sumber cahaya

laser dioda *picosecond* dengan panjang gelombang 420 nm. Pulsa cahaya kemudian dideteksi oleh MPD (*Micro Photon Detector*) untuk diolah dalam perangkat lunak *Time Harp 260*. Metode ini berguna menentukan umur fluoresens sampel.



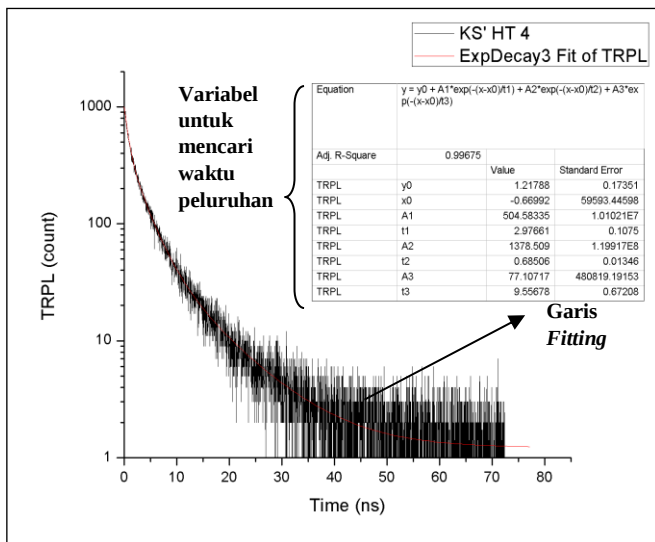
Gambar 4.10 Grafik TRPL pada software *Time Harp 260*

TRPL dari sampel dibandingkan dengan TRPL laser dioda sebagai pembanding *background noise*. Selama pengujian, kondisi ruangan harus dipastikan minim gangguan cahaya karena akan menyebabkan MDP saturasi, sehingga tidak dapat mendeteksi foton dari emisi sampel. Selanjutnya, data harus di-*fitting* untuk mendapatkan persamaan eksponensial grafik yang nanti dimasukkan pada persamaan waktu peluruhan (4.1).

Fitting grafik dilakukan menggunakan software *Origin 2017*. *Fitting* hanya dilakukan pada grafik sampel, sehingga didapatkan variabel yang dapat dimasukkan pada persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$\tau_{average} = \Sigma(A_i \cdot \tau_i^2) / \Sigma(A_i \cdot \tau_i) \quad (4.1)$$

Adapun gambar hasil *fitting*, dapat dilihat pada gambar 4.11. Variabel yang digunakan adalah nilai A_n , B_n , dan t_n (bergantung mode *fitting*).



Gambar 4.11 Fitting grafik TRPL menggunakan software Origin 2017

Setelah nilai dimasukkan pada persamaan, semua produk karbon dot menunjukkan waktu TRPL dalam rentang ns (nano sekon) yang dapat diamati pada Tabel 4.8. Adapun data fitting dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.6 TRPL CD KS, CD KS', dan CD KK

Sampel	TRPL (ns)		
	CD KS	CD KS'	CD KK
Original	0.335	3.213	0.369
Hidrotermal 2 Jam	2.757	3.271	3.094
Hidrotermal 4 Jam	2.549	3.176	3.387
Hidrotermal 8 Jam	4.143	2.836	2.541
Microwave 20 Menit	3.026	3.098	2.633
Microwave 40 Menit	3.389	3.282	3.058
Microwave 80 Menit	2.916	3.319	3.164

Waktu dalam rentang piko sekon hingga nano sekon menunjukkan bahwa sampel termasuk bahan fluoresens. Pada CD KK, terjadi perubahan pada ekstrak kulit kacang. Ekstrak memiliki waktu peluruhan selama 0,37 ns, setelah disintesis sampel mengalami peningkatan waktu peluruhan hingga 2-3 ns. Hal ini juga berlaku pada CD KS, ekstrak kulit semangka memiliki waktu peluruhan selama 0,34 ns, sedangkan produk sintesis menaikkan waktu peluruhan hingga 2-4 ns. Namun pada CD KS', ekstrak kulit semangka yang mengalami pemanasan awal telah memiliki waktu peluruhan yang sesuai dengan waktu peluruhan fluoresens. Diasumsikan bahwa **proses sintesis mampu menaikkan TRPL dari karbon dot**. Seperti pada karakterisasi PL, diduga bahwa selama teknik pemanasan karbon dot sudah terbentuk. Sehingga CD KS' tidak diobservasi lebih lanjut.

Dari ketiga karakteristik optik yang telah dikarakterisasi, dapat disimpulkan bahwa teknik iradiasi gelombang mikro menghasilkan produk karbon dot dalam waktu yang lebih singkat, sehingga dianggap sebagai teknik yang lebih efektif dari teknik hidrotermal. Selain itu, **hanya CD KS dan CD KK saja yang digunakan untuk observasi lebih lanjut dalam aplikasi karbon sebagai sensor pendeteksi ion logam berat besi dan timbal**.

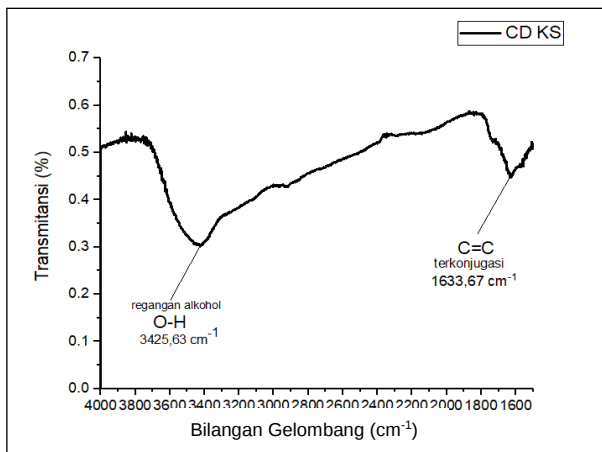
4.1.4 Karakterisasi FTIR Karbon Dot

Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan menggunakan spektrofotometer *Thermo Scientific Nicolet Series iS10 Smart iTR* pada panjang gelombang 500-4000 cm^{-1} . FTIR adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau Raman *Scattering* dari sampel padat, cair dan gas. FTIR dapat digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik. Selain itu, FTIR juga dapat digunakan untuk analisa kualitatif meliputi analisa gugus fungsi (adanya 'peak' dari gugus fungsi spesifik) beserta polanya dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Newport, 2012). Pada tugas akhir ini,

CD KS dan CD KK dikarakterisasi menggunakan FTIR dalam bentuk serbuk untuk mengetahui kandungan senyawanya.

a. Hasil Uji FTIR Karbon Dot Kulit Semangka

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari serbuk kulit semangka yang telah disintesis menjadi karbon dot melalui teknik iradiasi gelombang mikro selama 20 menit. Adapun *datasheet* hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran D. Identifikasi kandungan senyawa pada karbon dot kulit semangka dianalisis berdasarkan puncak serapan infra merah di daerah diagnostik yaitu pada bilangan gelombang 4000 cm^{-1} sampai 1500 cm^{-1} . Pada daerah serapan antara 1500 cm^{-1} hingga 500 cm^{-1} , biasanya spektrum mengandung bentuk absorban yang sangat kompleks sehingga akan sangat sulit untuk diidentifikasi. Hal ini disebabkan karena seluruh jenis vibrasi *bending* molekul menyerap pada daerah ini. Daerah ini disebut dengan daerah sidik jari (Dachriyanus, 2004).



Gambar 4.12 Grafik FTIR karbon dot kulit semangka

Berdasarkan Gambar 4.12, identifikasi dimulai dari daerah serapan ikatan tunggal dengan hidrogen, yaitu antara 4000 cm^{-1} hingga 2500 cm^{-1} . Pada daerah tersebut muncul puncak transmittansi yang berbentuk melebar. Puncak ini berada pada

bilangan gelombang 3425,63 cm^{-1} , yang diidentifikasi sebagai regangan alkohol O-H (Dachriyanus, 2004). Sedangkan pada daerah ikatan tripel yaitu antara 2500 cm^{-1} hingga 2000 cm^{-1} , tidak ditemukan puncak sehingga diidentifikasi bahwa tidak ada senyawa dengan ikatan tripel pada CD KS. Puncak lain ditemukan pada daerah ikatan dubel antara bilangan gelombang 1800 cm^{-1} hingga 1500 cm^{-1} , pada daerah ini muncul puncak pada 1633,67 cm^{-1} yang diidentifikasi sebagai ikatan C=C terkonjugasi (Dachriyanus, 2004). Interpretasi kandungan senyawa CD KS kemudian dibandingkan dengan kandungan senyawa pada ekstrak kulit semangka original berdasarkan referensi (Lakshmipathy, 2015) yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel FTIR karbon dot kulit semangka

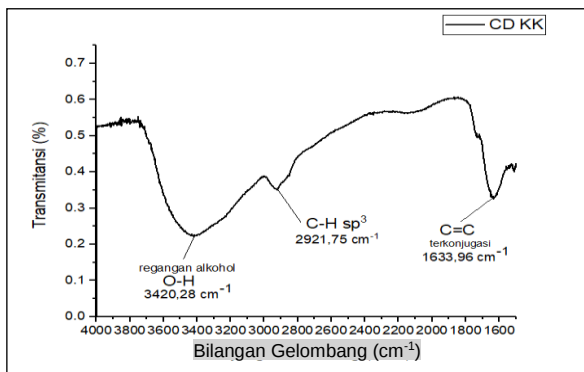
Bilangan Gelombang KS (cm^{-1})	Interpretasi Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang CD KS (cm^{-1})	Interpretasi Gugus Fungsi
3371,67	Regangan O-H	3850,82	
2917,91	Regangan C-H	3768,03	
1734,31	Regangan – C=O	3741,84	
1633,49		3425,63	Regangan O-H
1423,34	Daerah <i>fingerprint</i>	1633,67	C=C terkonjugasi
1383,79		1557,85	Daerah <i>fingerprint</i>
1323,50		1504,91	
1243,73		1402,52	
1160,05		1073,87	
1098,75		663,40	
1062,45		619,96	
894,44		607,15	
636,62		593,17	
458,33		584,78	

Ikatan O-H CD KS pada $3425,6 \text{ cm}^{-1}$ diidentifikasi sebagai -OH dari selulosa, pektin, dan lignin (Lakshmipathy, 2015) yang juga dimiliki kulit semangka original ($3371,67 \text{ cm}^{-1}$). Dibandingkan dengan kandungan senyawa kulit semangka original, CD KS tidak memiliki ikatan C=O ester. Pada karbon dot, puncak bergeser di daerah $1633,67 \text{ cm}^{-1}$ yang diidentifikasi sebagai ikatan C=C terkonjugasi. Spektrum FTIR ini juga menunjukkan bahwa banyak gugus karboksilat dan hidroksil (Lakshmipathy, 2015). Sebagai biopolimer, kelompok ini bertindak sebagai donor proton untuk mengikat kation yang berperan dalam proses *quenching* fotoluminesens dari karbon dot.

Dari hasil pengujian data diatas dan berdasarkan hasil pengujian absorbansi CD KS. Dapat diketahui bahwa pada serapan pada 300 nm, terjadi akibat ikatan $\pi-\pi^*$ dengan ikatan C=C dari *core state* karbon dot.

b. Hasil Uji FTIR Karbon Dot Kulit Kacang

Gambar 4.13 dan Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari serbuk kulit kacang yang telah disintesis menjadi karbon dot melalui teknik iradiasi gelombang mikro selama 40 menit. Berbeda dari kandungan senyawa yang dimiliki karbon dot kulit semangka, karbon dot kulit kacang memiliki serapan pada bilangan gelombang $2921,25 \text{ cm}^{-1}$. Pada bilangan gelombang ini, diidentifikasi bahwa karbon dot kulit kacang memiliki ikatan C-H terhibridisasi sp^3 .



Gambar 4.13 Grafik FTIR karbon dot kulit kacang

Tabel 4.8 Perbandingan FTIR Ekstrak KS dan CD KS

Bilangan Gelombang Ekstrak KS (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang CD KS (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
3388,70	Regangan alkohol O-H	3851,02	
2920,03	Regangan aimetrik C-H	3799,17	
2138,91	Regangan C-C	3741,92	
1829,74	Regangan senyawa karbonil C=O dan C=C	3420,46	Regangan alkohol O-H
1407,94	Daerah <i>fingerprint</i>	2921,79	C-H sp ³
1271,00		1634,17	C=C terkonjugasi
1051,13		1511,71	Ikatan nitro asimetris
588,25		1417,32	Daerah <i>fingerprint</i>
		1269,37	
		1030,81	
		896,40	
		816,40	
		737,46	
		692,36	
		663,50	
		633,76	
		612,24	
		594,08	

Berdasarkan jurnal yang dilaporkan Ossman dkk (2014), kulit kacang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, kulit kacang juga memiliki kandungan polisakarida, protein, dan lemak, sehingga memiliki banyak gugus fungsi seperti

karboksil, karbonil, hidroksil, dan amino. Dari spektrum FTIR pada Gambar 4.11, terlihat puncak sekitar 3420 cm^{-1} yang dikaitkan dengan permukaan gugus hidroksil (-OH), munculnya puncak ini kemungkinan besar disebabkan oleh interaksi dan kehadiran alkoholik, turunan fenolik, amino, dan karboksilat. Puncak yang terletak di 2921 cm^{-1} adalah karakteristik dari ikatan C-H terhibridisasi sp^3 . Puncak yang terkait dengan regangan pada karbon (C = C) muncul pada $1634,17\text{ cm}^{-1}$. Seperti pada karbon dot kulit semangka, serapan pada 300 nm terjadi akibat interaksi $n-\pi^*$ dengan ikatan C=C dari *core state* karbon dot.

Sehingga berdasarkan pengujian FTIR, dapat disimpulkan bahwa kedua karbon dot memiliki ikatan hidroksil dan karboksil yaitu ikatan O-H dan C=C. **Ikatan C=C pada kedua karbon dot menyebabkan interaksi $n-\pi^*$ yang berpengaruh pada pengikatan ion kation pada logam.** Pada karbon dot kulit kacang ditemukan ikatan yang tidak dimiliki karbon dot kulit semangka, yaitu ikatan C-H terhibridisasi sp^3 .

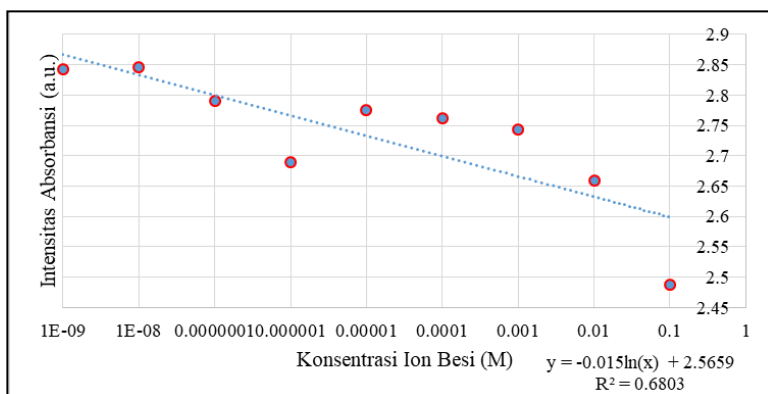
4.2 Uji Sensor Karbon Dot sebagai Detektor Ion Logam Berat

Uji sensor pada karbon dot kulit semangka dan karbon dot kulit kacang dilakukan menggunakan metode optik, yaitu dengan mencari pengaruh variasi konsentrasi logam berat terhadap perubahan absorbansi, fotoluminesens, dan TRPL (Lampiran C).

Metode pengujian pengaruh penambahan konsentrasi ion logam berat terhadap absorbansi karbon dot dilakukan menggunakan instrumen UV-Vis yang dihubungkan dengan spektrofotometer Maya2000Pro. Pengujian pengaruh penambahan konsentrasi ion logam berat terhadap emisi karbon dot dilakukan menggunakan spektrofotometer PL (*photoluminescence*). Pengaruh terhadap waktu peluruhan PL, dicari menggunakan *set up* TRPL dengan menghitung waktu atom tereksitasi hingga kembali ke kondisi *ground state* menggunakan MDP (*Micro Photon Detector*). Sedangkan, variasi konsentrasi logam berat baik ion logam besi maupun timbal pada uji sensor ini dimulai dari 10^{-9} nM hingga 0.1 M dengan interval sebesar 10.

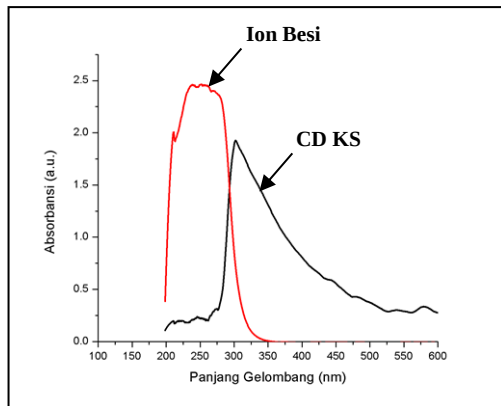
4.2.1 Karbon Dot Kulit Semangka Sebagai Sensor Pendeteksi Ion Fe^{3+}

Uji sensor ion karbon dot kulit semangka dilakukan menggunakan CD KS yang telah disintesis selama 20 menit menggunakan teknik iradiasi gelombang mikro. Medium yang digunakan sebagai pelarut partikel karbon dot adalah medium akuades. Pengujian dilakukan dengan melarutkan 1 mL karbon dot dengan 1 μL logam berat besi. Logam berat besi diuji dalam variasi konsentrasi dengan volume yang konstan.

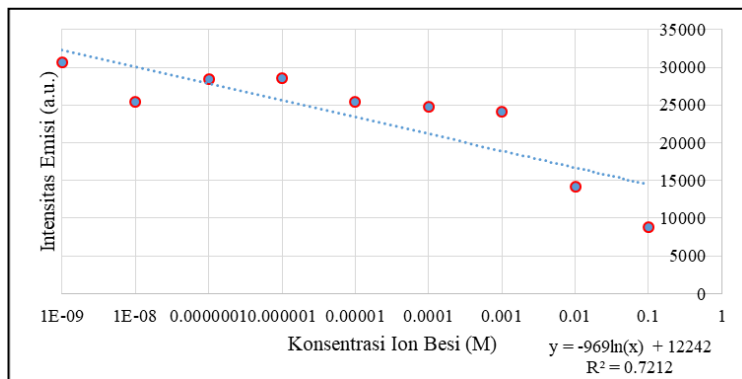


Gambar 4.14 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas absorbansi CD KS

Gambar 4.14 menunjukkan grafik hubungan penambahan variasi konsentrasi ion logam berat besi terhadap absorbansi karbon dot. Grafik tersebut diambil pada daerah serapan karbon dot di 370 nm. Daerah ini dipilih karena daerah serapan karbon dot tidak tumpang tindih dengan daerah serapan ion logam berat besi, seperti yang terlihat pada Gambar 4.15. Gambar 4.15 sendiri merupakan grafik yang menunjukkan puncak absorbansi ion logam berat besi (garis merah) dengan karbon dot kulit semangka (garis hitam). Berdasarkan Gambar 4.14, grafik memiliki kecenderungan untuk menurun dengan persamaan $y = -0,015\ln(x) + 2,5659$ dan regresi sebesar $R^2=0,6803$.



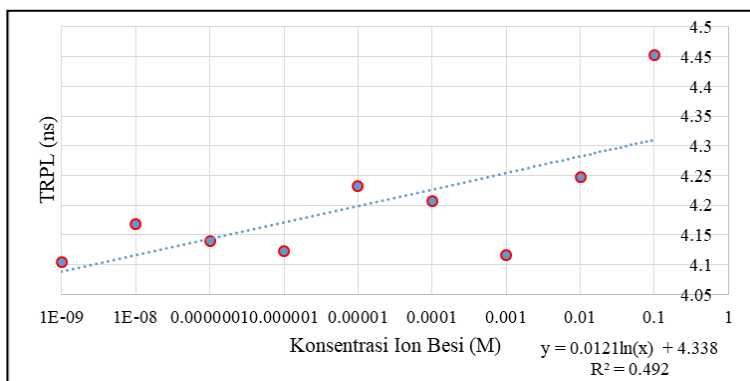
Gambar 4.15 Daerah absobansi karbon dot kulit semangka dan logam berat besi



Gambar 4.16 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas emisi CD KS

Selanjutnya, dicari pengaruh penambahan variasi konsentrasi ion logam berat besi terhadap intensitas emisi karbon dot. Intensitas emisi berasal dari eksitasi sumber cahaya dengan panjang gelombang 420 nm, yakni berada pada daerah absorbansi karbon dot. Dalam Gambar 4.16 terlihat bahwa intensitas emisi juga mengalami penurunan dengan persamaan $y = -969\ln(x) + 12242$ dan regresi sebesar $R^2 = 0,7212$.

Intensitas emisi diambil pada panjang gelombang emisi 500 nm yaitu daerah puncak emisi karbon dot kulit semangka. Penurunan yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu pengaruh senyawa C=C yang mengikat kation logam berat sehingga merusak *layer* karbon dot, selain itu beberapa jurnal melaporkan bahwa hal ini terjadi akibat fenomena FRET (*Förster Resonance Energy Transfer*). FRET sendiri merupakan mekanisme transfer energi yang terjadi antara dua molekul yang sensitif terhadap cahaya, mekanisme ini terjadi melalui transfer non-radiatif antara donor dan akseptor. Namun, mekanisme ini dipengaruhi oleh jarak, sehingga dalam studi ini tidak dapat dibuktikan bahwa fenomena penurunan emisi terjadi akibat FRET. Hanya saja fenomena ini dapat dijadikan sebagai salah satu kemungkinan terjadinya penurunan intensitas emisi pada fluorofoor (karbon dot).



Gambar 4.17 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap TRPL CD KS

Gambar 4.17 menunjukkan hubungan penambahan variasi konsentrasi ion logam besi terhadap waktu peluruhan fotoluminesens yang diambil menggunakan *software Time Harp 260*. Pada Gambar 4.17, waktu fotoluminesens karbon dot mengalami kenaikan seiring dengan penambahan konsentrasi ion logam berat besi dengan persamaan $y = 0,0121\ln(x) + 4,338$ dan regresi sebesar $R^2=0,492$.

Tabel 4.9 Persamaan linearitas dan regresi grafik hubungan perubahan konsentrasi Fe^{3+} terhadap karakteristik optik CD KS

Karakteristik	Persamaan	Regresi
Absorbansi	$y = -0,015\ln(x) + 2,5659$	0,6803
Fotoluminesens	$y = -969\ln(x) + 12242$	0,7212
TRPL	$y = 0,0121\ln(x) + 4,338$	0,492

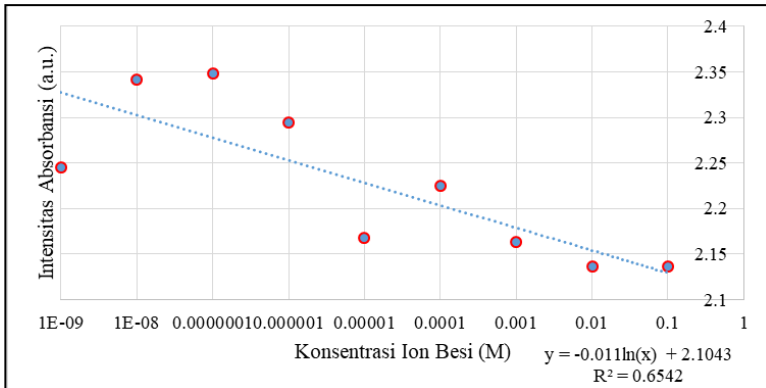
Tabel 4.9 menampilkan persamaan hubungan karakteristik optik karbon dot kulit semangka terhadap penambahan konsentrasi ion logam berat besi. Linearitas dinyatakan dalam logaritmik natural dikarenakan variabel 'x' yang berupa konsentrasi ion logam berat Fe^{3+} dinyatakan dalam skala log.

Berdasarkan persamaan linear tersebut, diketahui bahwa absorbansi dan emisi menurun dengan penambahan konsentrasi logam berat, sedangkan TRPL bertambah.

4.2.2 Karbon Dot Kulit Kacang Sebagai Sensor Pendeteksi Ion Fe^{3+}

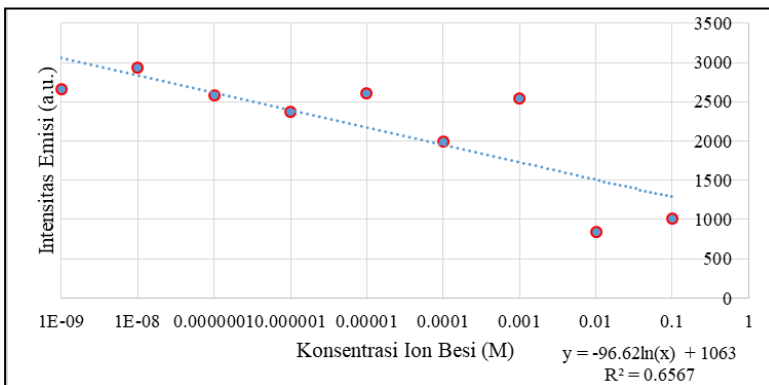
Studi mengenai hubungan penambahan variasi konsentrasi ion logam berat besi juga dilakukan pada larutan karbon dot kulit kacang. Korelasi absorbansi dengan variasi konsentrasi ion logam besi dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Sampel CD KK ini diuji dengan kondisi peralatan dan pengaturan (*setting*) yang sama dengan sampel CD KS. Grafik absorbansi CD KK dan logam besi dapat dilihat pada Lampiran C. Berdasarkan grafik tersebut, data absorbansi diambil pada daerah 370 nm.

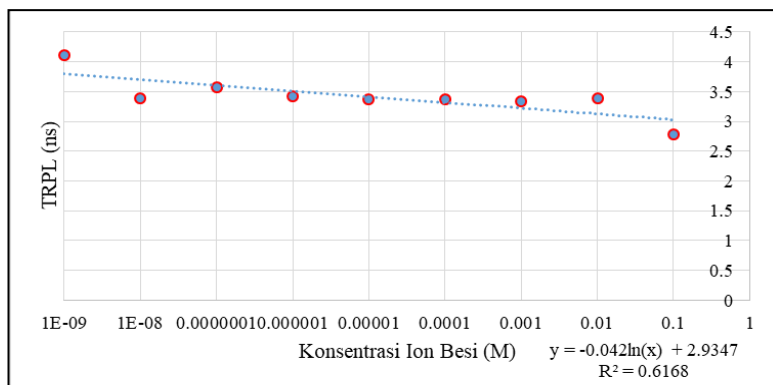


Gambar 4.18 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas absorbansi CD KS

Data yang diambil pada tiap penambahan konsentrasi kemudian dicari tingkat korelasinya menggunakan regresi linier logaritmik. Diketahui bahwa absorbansi CD KK semakin menurun seiring dengan penambahan ion logam berat, dengan persamaan $y = -0,011\ln(x) + 2,1043$ dan regresi $R^2=0,6542$.



Gambar 4.19 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap intensitas emisi CD KS



Gambar 4.20 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion besi terhadap TRPL CD KS

Korelasi intensitas emisi karbon dot kulit kacang dengan penambahan ion logam berat besi juga dicari pada emisi 500 nm, yaitu puncak emisi karbon dot kulit kacang. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.19, didapatkan persamaan $y = -96,62\ln(x) + 1063$ dan regresi sebesar $R^2 = 0,6567$. Dalam hal ini, intensitas emisi kulit kacang cenderung menurun dengan penambahan konsentrasi ion logam berat besi.

Hubungan antara variasi konsentrasi logam berat Fe^{3+} dengan TRPL juga dicari dan dapat dilihat pada Gambar 4.20. Didapatkan persamaan $y = -0,042\ln(x) + 2,9347$ dengan regresi sebesar $R^2 = 0,6168$.

Tabel 4.10 Persamaan Linearitas dan Regresi Grafik Hubungan Perubahan Konsentrasi Fe^{3+} terhadap Karakteristik Optik CD KK

Karakteristik	Persamaan	Regresi
Absorbansi	$y = -0,011\ln(x) + 2,1043$	0,6542
Fotoluminesens	$y = -96,62\ln(x) + 1063$	0,6567
TRPL	$y = -0,042\ln(x) + 2,9347$	0,6168

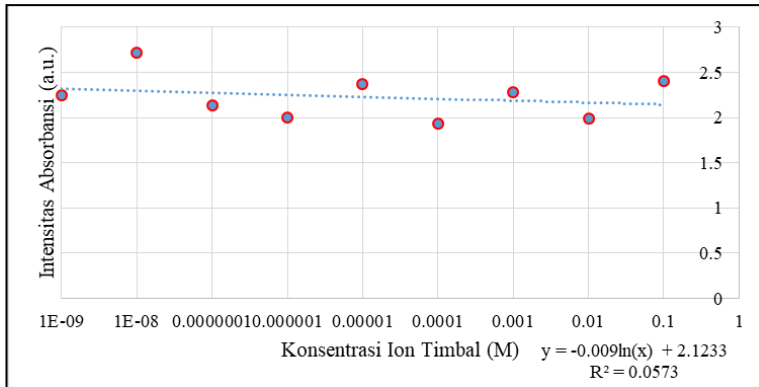
Data pada Tabel 4.10 menunjukkan keterkaitan persamaan grafik dan regresi dari seluruh pengujian CD KK untuk mendeteksi

ion logam besi. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa karbon dot kulit kacang sebagai sensor pendeteksi ion logam berat besi memiliki pola yang berbeda dengan karbon dot kulit semangka. Dalam hal ini, pengaruh penambahan konsentrasi ion logam berat besi justru menurunkan TRPL. TRPL sendiri mengukur waktu emisi pada sampel, kebanyakan jurnal melaporkan bahwa penambahan ion kation akan menurunkan waktu TRPL yang artinya waktu ketika atom berada pada fase relaksasi hingga kembali lagi ke *ground state* terjadi lebih cepat. Hal ini berkaitan dengan penurunan intensitas emisi yang dimiliki karbon dot kulit kacang, sehingga penggunaan karbon dot kulit kacang untuk mendeteksi ion logam berat besi memiliki korelasi kausal yang berkaitan satu sama lain (antara ketiga karakteristik optik CD), sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai sensor ion logam berat besi.

4.2.3 Karbon Dot Kulit Semangka Sebagai Sensor Pendeteksi Ion Pb^{2+}

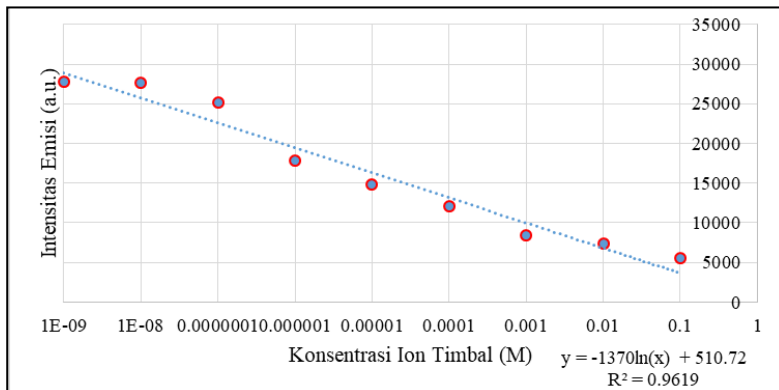
Pengujian karbon dot sebagai sensor pendeteksi ion logam berat timbal juga dilakukan pada karbon dot kulit semangka dan karbon dot kulit kacang. Variasi konsentrasi ion logam berat, pengujian, medium pelarut karbon dot, dan volume larutan ketika diuji sama dengan uji sensor pada ion logam berat besi.

Hasil pengujian yang pertama adalah uji hubungan absorbansi dengan penambahan ion logam berat timbal yang dapat dilihat pada Gambar 4.21. Ion logam berat timbal yang memiliki tingkat toksisitas tinggi dilarutkan pada akuades kemudian diuji menggunakan spektrofotometer UV *Maya2000Pro*. Didapatkan persamaan grafik $y = -0,009\ln(x) + 2,1233$ dengan regresi sebesar 0,0573. Tingkat korelasi yang ditunjukkan regresi bernilai sangat kecil dibandingkan dengan hasil yang didapat pada uji CD KS sebagai pendeteksi ion logam berat besi. Dapat dikatakan bahwa penambahan konsentrasi ion logam berat timbal tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada perubahan absorbansi dari karbon dot kulit semangka.



Gambar 4.21 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas absorbansi CD KS

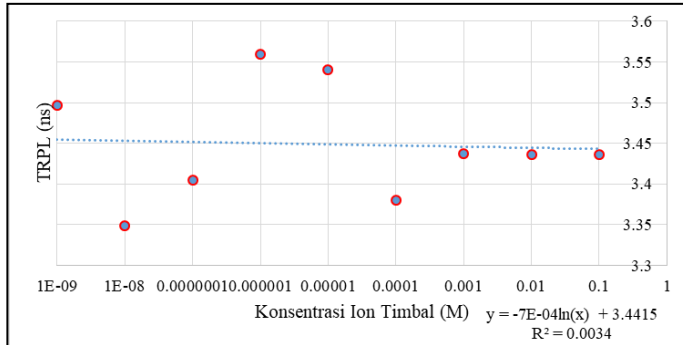
Sedangkan untuk karakteristik emisi (Gambar 4.22), karbon dot kulit semangka memiliki penurunan dengan korelasi yang sangat tinggi dengan persamaan $y = -23968x + 3556,5$ dengan regresi $R^2 = 0,9619$. Hal ini tidak memiliki hubungan kausal yang sesuai dengan teori.



Gambar 4.22 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas emisi CD KS

Karakteristik TRPL (Gambar 4.23) juga diuji dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.23. Pada gambar tersebut, grafik cenderung tidak menunjukkan penurunan

yang signifikan. Jika dilihat dari persamaan linearitas didapatkan $y = -7E-04 \ln(x) + 3,4415$ dengan regresi sebesar $R^2 = 0,0034$. Nilai regresi ini berkaitan dengan karakteristik absorbansi karbon dot, namun karakteristik emisi menunjukkan hasil yang berlawanan.



Gambar 4.23 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap TRPL CD KS

Tabel 4.11 menunjukkan persamaan linearitas dan regresi ketiga karakteristik optik yang diuji pada uji sensor CD KS untuk mendeteksi ion logam berat Pb^{2+} . Diketahui bahwa uji emisi CD KS memiliki kaitan yang berlawanan dengan karakteristik absorbansi dan TRPL yang cenderung tidak memiliki korelasi dengan penambahan ion logam berat timbal.

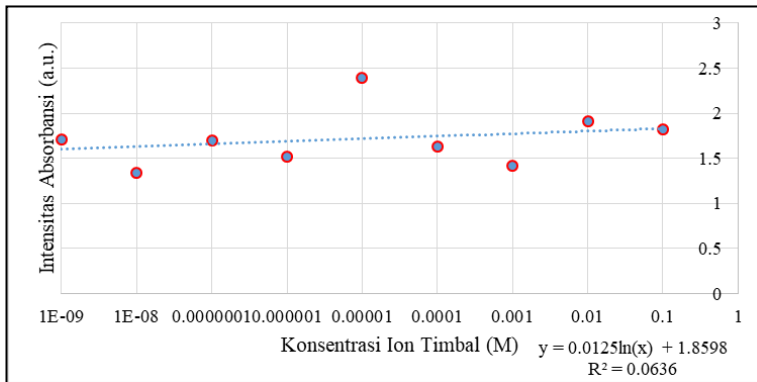
Tabel 4.11 Persamaan Linearitas dan Regresi Grafik Hubungan Perubahan Konsentrasi Pb^{3+} terhadap Karakteristik Optik CD KS

Karakteristik	Persamaan	Regresi
Absorbansi	$y = -0,009 \ln(x) + 2,1233$	0,0573
Fotoluminesens	$y = -23968x + 3556,5$	0,9619
TRPL	$y = -7E-04 \ln(x) + 3,4415$	0,0034

Jika diasumsikan terjadi kesalahan saat pengujian emisi CD KS, dapat disimpulkan bahwa CD KS tidak dapat digunakan untuk mendeteksi ion logam berat timbal dalam konsentrasi 0,1 M hingga 10^{-9} M.

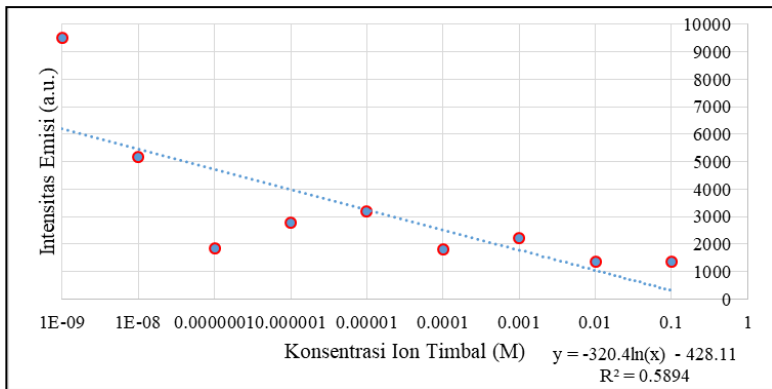
4.2.4 Karbon Dot Kulit Kacang Sebagai Sensor Pendeteksi Ion Pb^{2+}

Hubungan antara perubahan konsentrasi logam berat Pb^{3+} dengan karakteristik optik absorbansi, fotoluminesens, dan TRPL CD KS ditunjukkan pada Gambar 4.24 hingga 4.26. Dari grafik-grafik tersebut dapat diketahui persamaan linearitas dan regresi dari hubungan antar keduanya seperti yang terlihat pada Tabel 4.12.



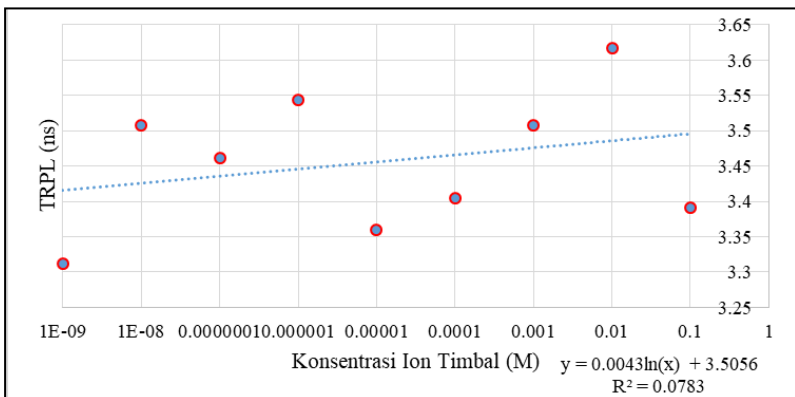
Gambar 4.24 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas absorbansi CD KK

Grafik 4.24 menunjukkan korelasi hubungan karbon dot kulit kacang dengan penambahan konsentrasi ion logam berat timbal. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan persamaan $y = 0,0125\ln(x) + 1,8598$ dengan regresi sebesar 0,0636. Nilai regresi menunjukkan rendahnya tingkat keterkaitan ion logam berat timbal dalam memengaruhi karakteristik absorbansi karbon dot kulit kacang.



Gambar 4.25 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap intensitas emisi CD KK

Grafik hubungan intensitas emisi diperlihatkan pada Gambar 4.25. Diketahui bahwa keterkaitan intensitas emisi dengan penambahan ion logam berat timbal tidak memiliki hubungan yang kuat. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan grafik $y = -320,4\ln(x) - 428,11$ dengan regresi sebesar 0,5894.



Gambar 4.26 Hubungan penambahan variasi konsentrasi ion timbal terhadap TRPL CD KK

Grafik hubungan TRPL (Gambar 4.26) dengan variasi konsentrasi karbon dot juga menunjukkan korelasi yang rendah dengan persamaan $y=0.0043\ln(x) + 3.5056$ dan regresi $R^2=0.0783$.

Tabel 4.12 Persamaan Linearitas dan Regresi Grafik Hubungan Perubahan Konsentrasi Pb^{2+} terhadap Karakteristik Optik CD KK

Karakteristik	Persamaan	Regresi
Absorbansi	$y=0,0125\ln(x) + 1,8598$	0,0636
Fotoluminesens	$y = -320,4\ln(x) - 428,11$	0,5894
TRPL	$y=0,0043\ln(x) + 3,5056$	0,0783

Uji sensor yang dilakukan pada sampel CD, didapatkan persamaan garis hubungan perubahan karakteristik optik terhadap penambahan konsentrasi ion logam berat besi maupun timbal. Berdasarkan penelitian Zou dkk. (2015) mengenai aplikasi CD sebagai sensor logam berat, karakteristik yang menjadi indikator deteksi adalah karakteristik emisi (fotoluminesens) karbon dot. Diharapkan terjadi *quenching* fluoresens, yaitu keadaan dimana intensitas fluoresens semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion logam berat. Pada keempat sampel (CD KS+Fe, CDKS+Fe, CD KK+Fe, CDKS+Pb) didapatkan persamaan dengan gradien negatif (sesuai dengan yang diharapkan).

Tidak semua menunjukkan penurunan absorbansi yang seharusnya berbanding lurus dengan penurunan emisi (karena energi yang diserap mengeksitasi partikel CD). Dalam mendeteksi Pb (CD KS+Pb dan CD KK+Pb), hubungan CD dan ion logam berat (Fe dan Pb) memiliki regresi yang rendah yaitu 0,0573 dan 0,063 sehingga dianggap tidak terpengaruh oleh adanya perubahan konsentrasi ion logam berat, hal ini juga diperkuat dengan karakteristik TRPL yang memiliki regresi yang rendah yaitu 0,0034 dan 0,0783 secara berurutan. Sedangkan dalam mendeteksi Fe, kedua CD menghasilkan adanya penurunan emisi dan absorbansi yang ditunjukkan dengan nilai gradien negatif. Namun, dalam mendeteksi kandungan Fe, hanya CD KK yang mengalami penurunan waktu TRPL dengan regresi sebesar 0,6168, penurunan

waktu TRPL menunjukkan bahwa waktu atom berputar ketika baru tereksitasi dan kembali lagi ke *ground state* semakin cepat, sehingga emisi CD semakin lemah. Berdasarkan analisis persamaan dan regresi tersebut, hanya CD KK+Fe yang mengalami perubahan karakteristik optik yang berkaitan satu sama lain yakni antara absorbansi, fotoluminesens, dan TRPL. Maka, diasumsikan bahwa dalam penelitian ini, **performansi terbaik ditunjukkan oleh karbon dot kulit kacang dalam mendeteksi ion logam berat besi** yang berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi sensor logam berat.

4.3 Interpretasi Hasil

Kedua teknik sintesis (hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro) berhasil dilakukan untuk mensintesis produk karbon dot. Diketahui bahwa teknik sintesis yang paling efisien adalah teknik iradiasi gelombang mikro, karena dapat menghasilkan produk karbon dot dalam waktu yang relatif lebih singkat dari teknik hidrotermal, yaitu mulai dari 20 menit reaksi sintesis. Selain itu, kedua teknik sintesis karbon dot berperan dalam menurunkan kandungan klorofil (pengotor) pada ekstrak kulit semangka.

Karakteristik karbon dot kulit semangka dan kulit kacang menunjukkan karakteristik optik yang hampir sama. Daerah serapan kedua CD berada pada panjang gelombang 300 nm, emisi fotoluminesens pada panjang gelombang 500 nm, dan TRPL selama 3-4 ns. Produk karbon dot yang dipilih untuk observasi lebih lanjut adalah produk CD KS dan CD KK. Sedangkan CD KS' sudah menunjukkan karakteristik karbon dot sebelum disintesis. Diduga bahwa pemanasan kulit semangka telah membentuk partikel karbon dot. Berdasarkan uji FTIR, CD KS dan KK memiliki gugus karboksil yang berpengaruh pada ikatan $n-\pi^*$ terhadap kation logam berat.

Berdasarkan percobaan uji sensor dari kedua CD, kedua jenis karbon dot dianggap memiliki potensi sebagai pendeteksi ion Fe^{3+} . Dalam mendeteksi ion besi, produk CD yang menunjukkan performansi paling baik dimiliki oleh CD KK karena menunjukkan konsistensi korelasi kausal (gradien negatif) pada ketiga karakteristik optik (absorbansi, fotoluminesens/ emisi, dan TRPL) dengan nilai regresi 0,6542 (absorbansi), 0,6567 (PL), dan 0,6168 (TRPL). Kedua produk karbon dot dianggap tidak mampu mendeteksi kandungan ion logam berat Pb^{2+} pada akuades. Hal ini disebabkan linearitas hubungan karakteristik optik karbon dot dengan perubahan konsentrasi logam berat yang lemah dan korelasi ketiga karakteristik optik yang tidak sesuai (gradien tidak seragam). Untuk CD KS nilai regresi karakteristik optik yang dimiliki adalah 0,0573 (absorbansi), 0,9619 (PL), dan 0,0034 (TRPL). Sedangkan CD KK memiliki nilai regresi yaitu 0,0636 (absorbansi), 0,5894 (PL), dan 0,0783 (TRPL).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut.

- a. Karbon dot kulit semangka dan kulit kacang berhasil disintesis dengan teknik hidrotermal maupun iradiasi gelombang mikro. Teknik sintesis iradiasi gelombang mikro dianggap lebih efisien dikarenakan waktu sintesisnya yang singkat yaitu antara 20 menit – 80 menit.
- b. Karakteristik karbon dot kulit semangka dan kulit kacang menunjukkan karakteristik optik yang hampir sama. Daerah serapan kedua CD berada pada panjang gelombang 300 nm, emisi fotoluminesens pada panjang gelombang 500 nm, dan TRPL selama 3-4 ns. Variasi waktu sintesis tidak berpengaruh secara signifikan pada produk karbon dot. Kedua karbon dot memiliki gugus karboksil yang berpengaruh pada ikatan n- π^* terhadap kation logam berat.
- c. Uji sensor karbon dot menunjukkan bahwa CD KS dan CD KK memiliki korelasi kausal lebih tinggi pada ion logam berat besi dibandingkan timbal. Performansi terbaik pada pengujian sensor ion besi dimiliki oleh karbon dot kulit kacang yang menunjukkan konsistensi korelasi (gradien negatif) pada ketiga karakteristik optik (absorbansi, fotoluminesensi, dan TRPL) dengan nilai regresi sebesar 0,6542; 0,6567; dan 0,6168.

5.2 Saran

Adapun saran dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah absorbansi ion logam berat perlu dikarakterisasi sebelum proses sintesis karbon dot. Hal ini diperlukan untuk mencari tahu absorbansi dari karbon dot yang tidak *overlap* dengan ion logam berat.

“Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ashoka S. dkk. 2009. "Comparison of digestion methods for ICP-MS determination of trace elements in fish tissues." *Anal. Chim. Acta* 653 (2): 191-199.
- Bings N. H., Bogaerts A., dan Broekaert J. A.C. 2006. "Atomic spectroscopy." *Anal. Chem.* 78 (12): 3917-3946.
- Boukraa, Y., D. Barkat, T. Benabdellah, A. Tayeb, dan M. Kameche. 2006. "Liquid-Liquid Extraction of Cu(II), Co(II) and Ni(II) with Salicylideneaniline from Sulfate Media." *Physics and Chemistry of Liquids* 44: 693-700.
- CAPPA. t.thn. Analysis, Center of Advance Photonics & Process. Diakses 04 10, 2018. <http://www.cappa.ie/advanced-research/techniques/time-resolved-photoluminescence/>.
- Caroli S. dkk. 1999. "Determination of essential and potentially toxic trace elements in honey by inductively coupled plasma-based techniques." *Talanta* 50 (2): 327-336.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta: UI – Press.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Ding X., Yang R., Zhou Y., dan Li J. 2015. "A highly selective and simple fluorescent sensor for mercury(II) ion detection based on cysteamine-capped CdTe quantum dots synthesized by the reflux method." *Luminescence* 30: 465-471.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Elsa. 2016. Lab Satu News. 9 November. Diakses May 12, 2018. <https://news.labsatu.com/mengenal-spektrofotometer-dan-prinsip-kerjanya/>.
- Fernando K.A.S., Sahu S.P., Liu Y., Lewis W.K., Guliants E., Jafariyan A., Wang P., Bunker C.E., dan Sun Y.P. 2015. "Carbon quantum dots and applications in photocatalytic

- Energy Conversion.*” *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 7: 8363-8376.
- Gao X., Du C., Zhuang Z., dan Chen W. 2016. “Carbon quantum dots-based nanoprobes for metal ions detection.” *Journal of Materials Chemistry C* 1-21.
- Goncalves, H. M. R., A.J. Duarte, J. C. G. Esteves da Silva. 2010. “Optical fiber sensor for Hg (II) based on carbon dots.” *Biosens. Bioelectron.* 26: 1302-1306.
- Griffiths, P.R. 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform Spectroscopy*. New York: Wiley-Interscience.
- Hua, Y.F., and Y.T. Lu. 2003. “Urease Inhibition Method for Heavy Metalions Detection in Environmental Samples.” *Shanghai Environmental Sciences* 22: 939-942.
- Hussain, S.A. 2016. “An Introduce to Fluorescence Resonance Energy Transfer.” *Tripura University* 1-3.
- Hutagalung, H.P. 1991. “Pencemaran Laut Oleh Logam Berat.” *Puslitbang Oseanologi: Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya* (LIPI).
- Isnaeni, dkk. 2018. “Photoluminescence study of carbon dots from ginger and galangal herbs using microwave technique.” *J. Phys.: Conf. Ser.*
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-51/2004 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut. Jakarta: Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kunkel R. dan Manahan S.E. 1973. “Atomic absorption analysis of strong heavy metal chelating agents in water and waste water.” *Anal. Chem.* 45 (8): 1465-1468.
- Lakshmipathy, R. dan N.C. Sarada. 2015. “Methylene blue adsorption onto native watermelon rind: batch and fixed bed column studies.” *Desalination and Water Treatment*.
- Liu, L., Y.W. Lam, and W.Y. Wong. 2006. “Complexation Of 4,4-di (Tert-Butyl)-5-Ethynyl-2, 2-Bithiazole with Mercury (II) Ion.” *Journal of Organometallic Chemistry* 691: 1092-1110.

- Mao, X.J., H.Z. Zheng, Y.J. Long J. Du, J.Y. Hao, L.L. Wang, D.B. Zhou. 2010. "Study on the fluorescence characteristics of carbon dots." *Spectrochim. Acta. Part A* 75: 553-557.
- Marin, Angelina Canyuela. 2016. *Contributions to Developments of Carbon (Quantum) Dots as Fluorescent Sensors*. Andalusia: Cordoba University.
- Nolan, E.M., and S.J. Lippard. 2008. "Tools and Tactics for the Optical Detection of Mercuric Ion." *Chemical Reviews* 108.
- Nugroho, A. 2006. *Bioindikator Kualitas Air*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Orhan A. 2005. "Determination of cadmium, copper, and lead in soils, sediments, and sea water samples by ETAAS using a Sc + Pd + NH₄NO₃ chemical modifier." *Talanta* 65 (3): 672-677.
- Ossman, M. E., Mansour, M. S., Fattah, M. A., Taha, N. 2014. "Peanut shells and talc powder for removal of hexavalent chromium from aqueous solutions." *BULGARIAN CHEMICAL COMMUNICATIONS* 46 (3): 629-639.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Peng, H., J. Travas-Sejdic. 2009. "Simple Aqueous Solution Route to Luminescent Carbogenic Dots from Carbohydrates." *Chem. Mater* 21: 5563-5565.
- Pohl P. 2009. "Determination of metal content in honey by atomic absorption and emission spectrometries." *TrAC Trends Anal. Chem.* 28 (1): 117-128.
- Putri, Kadek Ceria Sukma. 2017. *Karakterisasi dan Uji Absorbansi Nanotitania dengan Doping Fosfor (P) terhadap Fenol*. Master Thesis, Lampung: Universitas Lampung.
- Qu, H., L. Cao, G. Su, W. Liu, R. Gao, C. Xia, J. Qin. 2014. "Silica-coated ZnS quantum dots as fluorescent probes for the sensitive detection of Pb²⁺ ions." *J. Nanopart. Res.* 16: 1-12.
- Saracoglu, S., M. Soylak, D.S.K. Peker, L. Elci, W.N.L. dos Santos, V.A. Lemos, dan S.L.C. Ferreira. 2006. "Pre-

- Concentration Procedure Using Coprecipitation for Detennination of Lead and Iron in Several Samples Using Flame Atomic Absorption Spectrometry.” Analytical Chimica* 575: 33-137.
- Shyuan, L.K., L.Y. Heng, M. Ahmad, and S.A. Aziz, and Z. Ishak. 2008. “Evaluation of Pesticide Andheavy Metal Toxicity Using Immobilized Enzyme Alkaline Phosphatase with an Electrochemical Biosensor.” *Asian Journal of Biochemistry* 3: 359-365.
- Sun, X., Y. Lei. 2017. “Fluorescent carbon dots and their sensing applications.” *Trends in Analytical Chemistry*.
- Sunarya, Y. 2007. Kimia Umum. Bandung: Garfisindo.
- Tahid. 1994. Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier No II Th VIII. Bandung: Warta Kimia Analitis.
- Wang Q., Zhang S., Ge H., Tian G., Cao N., dan Li Y. 2015. “A fluorescent turn-off/on method based on carbon dots as fluorescent probes for the sensitive determination of Pb^{2+} and pyrophosphate in an aqueous solution.” *Sens. Actuators. B.* 25-33.
- Watulingas, Maasje Catherine. 2008. “Aplikasi Teknik Adisi Standar pada Penetapan Kadar Besi (III) dalam Air Sungai Karang Mumus dengan Spektronic 21-D.” *Jurnal Kimia Mulawarman*.
- Widowati, W. 2008. Efek Toksik Logam. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Xu X.Y., Ray R., Gu Y., Ploehn H.J., Gearheart L., Raker K., dan Scrivens W.A. 2004. “Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments.” *J. Am. Chem. Soc* 126: 12736-12737.
- Zhou L., LIn Y., Huang Z., Ren J., dan Qu X. 2012. “Carbon nanodots as fluorescence probes for rapid, sensitive, and label-free detection of Hg^{2+} and biothiols in complex matrices.” *Chem. Commun.* 1147-1149.
- Zhu S., Song Y., Zhao X., Shao J., Zhang J., dan Yang B. 2014. “The photoluminescence mechanism in carbon dots (graphene quantum dots, carbon nanodots, and polymer

dots): current state and future perspective.” Nano Research.

Zou, L., Z. Gu, dan M. Sun. 2015. “Review of the application of quantum dots in the heavy-metal detection.” *Toxicological & Environmental Chemistry* 97: 477-490.

“Halaman ini memang dikosongkan

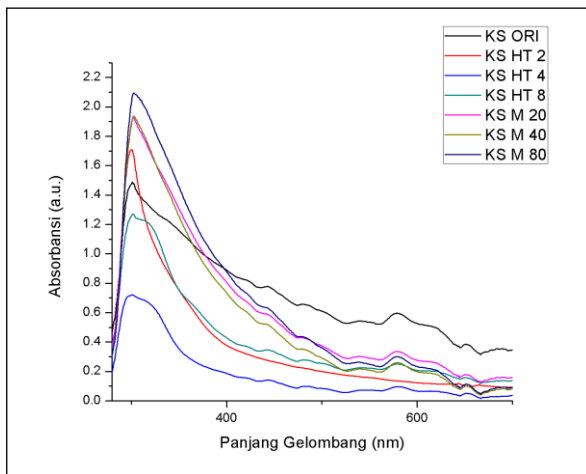
LAMPIRAN

“Halaman ini memang dikosongkan”

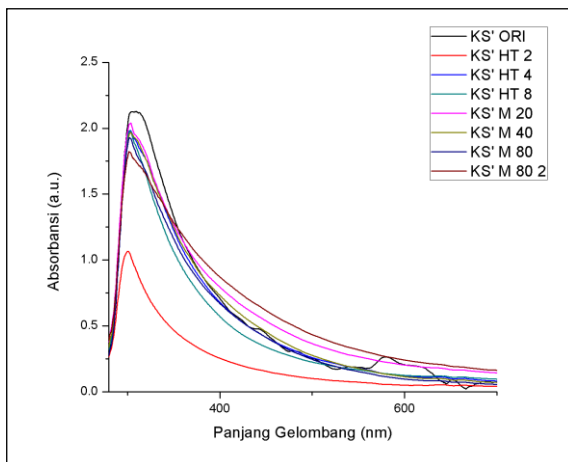
LAMPIRAN A

Grafik Absorbansi dan Fotoluminesens Karbon Dot

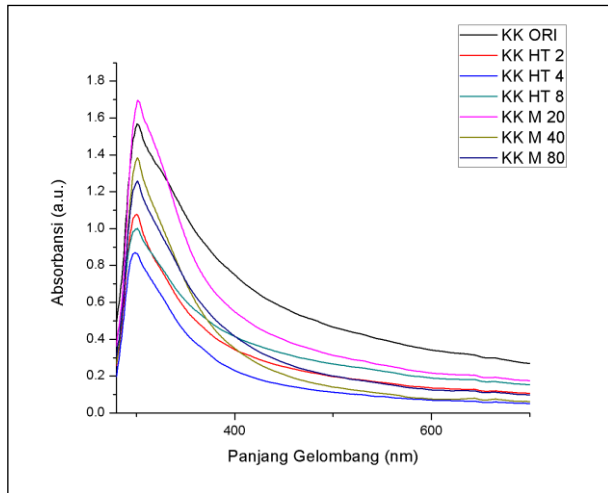
A. Grafik Absorbansi Karbon Dot



Gambar A.1. Grafik Absorbansi CD KS

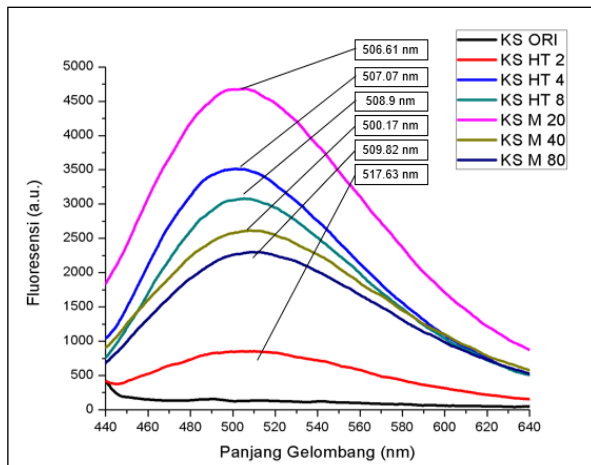


Gambar A.2. Grafik Absorbansi CD KS'

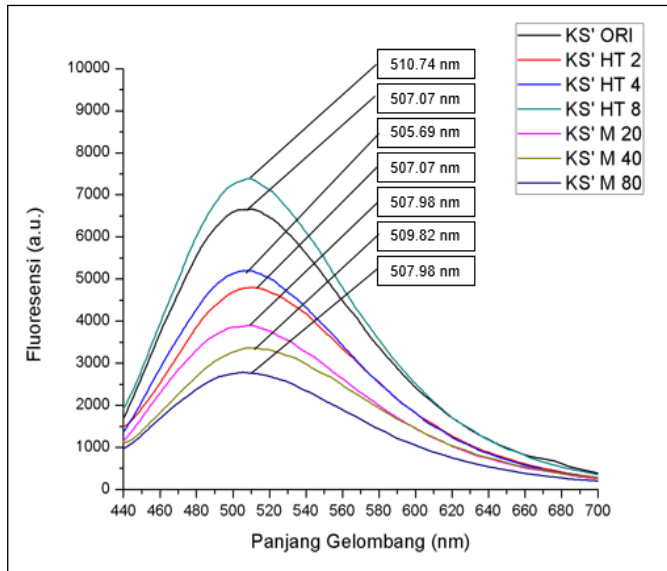


Gambar A.3. Grafik Absorbansi CD KK

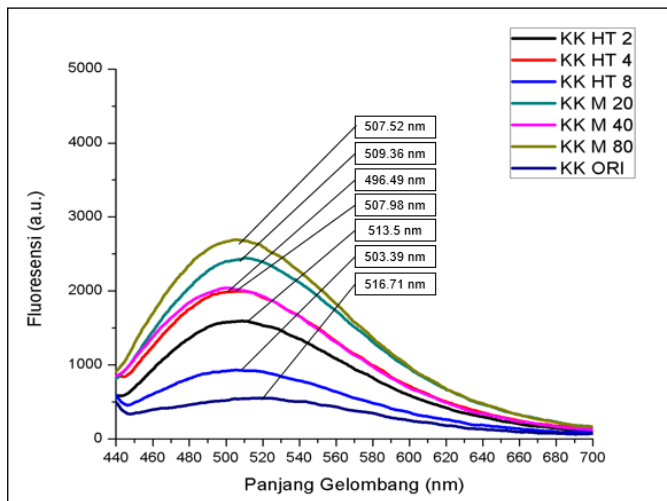
B. Grafik fotoluminesens (PL) Karbon Dot



Gambar A.4. Grafik Fotoluminesens CD KS



Gambar A.5. Grafik Fotoluminesens CD KS'



Gambar A.6. Grafik Fotoluminesens CD KK

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN B

Data TRPL Sintesis Karbon Dot

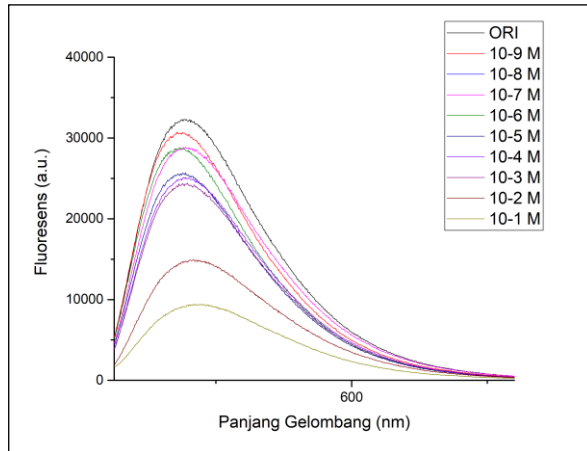
Data	A ₁	A ₂	τ ₁	τ ₂	τ ₁ ²	τ ₂ ²	Σ(Ai.τi ²)	Σ(Ai.τi)	τ _{average}
TRPL									
KK ORI	585.35734	585.36369	0.36901	0.36899	0.1361684	0.1361536	159.40655	431.99606	0.369
KK HT 2	178.12671	921.51572	4.46445	0.44661	19.931314	0.1994605	3734.1053	1206.7959	3.094231
KK HT 4	572.09898	572.09898	0.38703	0.38706	0.1497922	0.1498154	171.40524	442.8561	0.387045
KK HT 8	47.46557	1061.4429	5.52996	0.33499	30.580458	0.1122183	1570.6322	618.05545	2.541248
KK M 20	946.48844	114.98918	0.33595	4.15963	0.1128624	17.302522	2096.4257	796.28523	2.6327573
KK M 40	853.93702	176.94002	0.37831	4.2178	0.1431185	17.789837	3269.9482	1069.3505	3.0878825
KK M 80	836.30174	215.01254	0.40099	4.19234	0.160793	17.575715	3913.4705	1236.7543	3.1643072
KS ORI	520.17745	572.72027	0.3349	0.33491	0.112158	0.1121647	122.58107	366.01717	0.3349052
KS HT 2	57.23779	1042.0873	5.49188	0.34143	30.160746	0.1165744	1847.8152	670.14292	2.7573449
KS HT 4	1064.12426	49.54674	0.35263	5.54814	0.1243479	30.781857	1657.4623	650.13439	2.5494149
KS HT 8	675.81039	363.74189	0.72011	5.04972	0.5185584	25.499672	9625.7461	2323.4525	4.1428633
KS M 20	773.52567	224.10786	0.40153	3.94779	0.1612263	15.585046	3617.444	1195.3245	3.0263279
KS M 40	785.66446	259.34138	0.63248	4.55039	0.400031	20.706049	5684.2255	1677.0215	3.3894768
KS M 80	974.62178	148.2561	0.4547	4.53768	0.2067521	20.59054	3254.1782	1115.8993	2.9161935
KS' ORI	266.38957	696.25444	3.97561	0.41464	15.805475	0.1719263	4330.1181	1347.756	3.2128354
KS' HT 2	755.73519	251.46314	0.39591	4.10397	0.1567447	16.84257	4353.743	1331.2003	3.2705394
KS' HT 4	840.75562	210.53516	0.41657	4.25458	0.1735306	18.101451	3956.8887	1245.9722	3.1757438
KS' HT 8	121.60501	970.62171	4.3956	0.34486	19.321299	0.1189284	2465.0013	869.25558	2.8857613
KS' M 20	185.47309	939.72516	4.54614	0.49994	20.667389	0.24994	4068.1194	1312.9928	3.0983561
KS' M 40	256.50807	778.66148	4.32181	0.54026	18.678042	0.2918809	5018.3448	1529.2588	3.2815537
KS' M 80	267.1124	719.12249	4.30469	0.57458	18.530356	0.3301422	5187.1005	1563.0295	3.3186198

“Halaman ini memang dikosongkan”

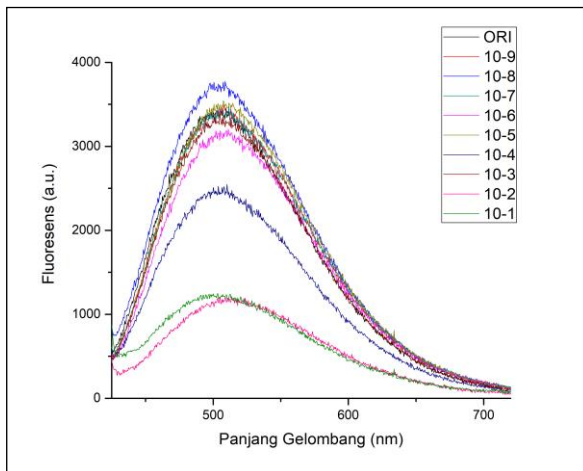
LAMPIRAN C

Grafik Uji Sensor

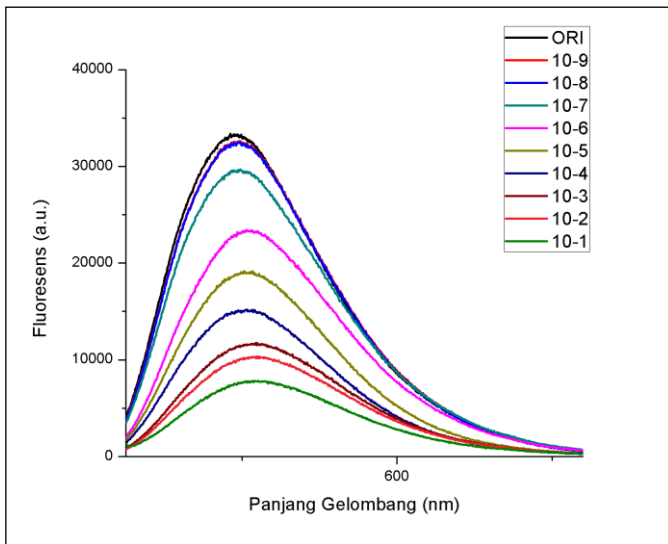
A. Grafik Uji Fotoluminesens terhadap Variasi Logam Berat



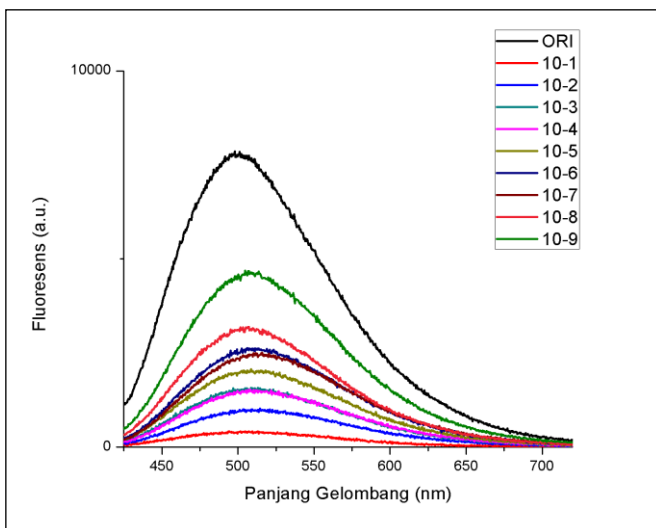
Gambar C.1. Grafik Uji PL CD KS terhadap Ion Besi



Gambar C.2. Grafik Uji PL CD KK terhadap Ion Besi



Gambar C.3. Grafik Uji PL CD KS terhadap Ion Timbal



Gambar C.4. Grafik Uji PL CD KK terhadap Ion Timbal

Tabel C.6. Data TRPL Uji Sensor CD KK terhadap Ion Besi

Data TRPL	A ₁	A ₂	τ ₁	τ ₂	τ ₁ ²	τ ₂ ²	Σ(Ai.τi ²)	Σ(Ai.τi)	τ average
CD KK ORI	661.72651	318.28077	0.67863	5.14874	0.46053868	26.509524	8742.222231	2087.81239	4.187264267
FE 10-9 M	662.46885	304.74555	0.63518	5.05305	0.40345363	25.533314	8048.439374	1960.68147	4.104919394
FE 10-8 M	789.80506	261.62514	0.62535	4.53411	0.39106262	20.558153	5687.393024	1680.14176	3.385067359
FE 10-7 M	696.62129	261.16436	0.62239	4.64043	0.38736931	21.533591	5893.656114	1645.48506	3.581713546
FE 10-6 M	759.72942	270.87913	0.59833	4.48441	0.35799879	20.109933	5719.343381	1669.30198	3.426188574
FE 10-5 M	748.49469	268.9946	0.58992	4.4141	0.34800561	19.484279	5501.646133	1628.92105	3.377478687
FE 10-4 M	703.38154	268.96458	0.56009	4.3247	0.31370081	18.70303	5251.10399	1557.14809	3.322527294
FE 10-3 M	718.97665	267.83098	0.5824	4.3334	0.33918976	18.777836	5273.155616	1579.3347	3.338846172
FE 10-2 M	728.6064	256.30294	0.58863	4.44354	0.34648528	19.745048	5313.165174	1567.77195	3.38899109
FE 10-1 M	542.52804	402.46162	0.53841	3.28383	0.28988533	10.783539	4497.231683	1613.71806	2.786875715

Tabel C.7. Data TRPL Uji Sensor CD KS terhadap Ion Timbal

Data TRPL	A ₁	A ₂	τ ₁	τ ₂	τ ₁ ²	τ ₂ ²	Σ(Ai.τi ²)	Σ(Ai.τi)	τ average
CD KK ORI	734.74656	254.92918	0.56526	4.37454	0.319518868	19.13660021	5115.243189	1530.520736	3.340851953
PB 10-9 M	765.15131	279.07441	0.57377	4.31151	0.329212013	18.58911848	5439.644275	1642.252977	3.312305931
PB 10-8 M	775.80105	264.13525	0.64267	4.66628	0.413024729	21.77416904	6071.750601	1731.113095	3.507425724
PB 10-7 M	737.52392	279.18772	0.56793	4.43859	0.322544485	19.70108119	5738.184211	1658.061782	3.46078286
PB 10-6 M	794.86932	272.38446	0.66466	4.7259	0.441772916	22.33413081	6434.621897	1815.579562	3.544114526
PB 10-5 M	658.16178	286.19343	0.53083	4.18452	0.281780489	17.51020763	5196.76353	1546.954149	3.359352009
PB 10-4 M	721.58802	280.94373	0.57854	4.3663	0.334708532	19.06457569	5597.594672	1644.152141	3.404547871
PB 10-3 M	792.52358	260.29335	0.64856	4.70683	0.420630074	22.15424865	6099.962849	1739.155642	3.507427802
PB 10-2 M	778.59339	261.22652	0.65906	4.82134	0.434360084	23.24531194	6410.483782	1772.60163	3.616426655
PB 10-1 M	707.4851	292.93268	0.55557	4.28014	0.308658025	18.31959842	5584.780015	1646.850378	3.391188471

Tabel C.8. Data TRPL Uji Sensor CD KK terhadap Ion Timbal

Data TRPL	A1	A2	τ_1	τ_2	$\tau_1^{\wedge 2}$	$\tau_2^{\wedge 2}$	$\Sigma(A_1\tau_1^{\wedge 2})$	$\Sigma(A_1\tau_1)$	τ average
CD KS ORI	662.97427	316.85106	0.68146	5.18499	0.464387732	26.8841213	8826.139448	2094.660024	4.213638179
PB 10-9 M	753.32069	261.9793	0.66774	4.66187	0.445876708	21.7330319	6029.492632	1724.335797	3.496704437
PB 10-8 M	707.74966	287.14289	0.59599	4.29048	0.35520408	18.40821863	5537.184664	1653.792547	3.348173673
PB 10-7 M	718.41661	282.20544	0.62298	4.40662	0.38810408	19.41829982	5758.770264	1691.131316	3.405276817
PB 10-6 M	733.06508	267.30987	0.63292	4.65152	0.400587726	21.63663831	6077.343848	1707.368757	3.559479359
PB 10-5 M	825.30844	262.85493	0.71102	4.84456	0.50554944	23.46976159	6586.376761	1860.227287	3.54063012
PB 10-4 M	707.29813	293.39749	0.59946	4.31237	0.359352292	18.59653502	5710.345901	1689.235471	3.380432153
PB 10-3 M	785.7084	272.0662	0.67573	4.60751	0.456611033	21.2291484	6134.496859	1784.474474	3.43770502
PB 10-2 M	782.93771	275.99215	0.66296	4.57624	0.439515962	20.94197254	6123.933646	1782.062701	3.436429955
PB 10-1 M	782.93771	275.99215	0.66296	4.57624	0.439515962	20.94197254	6123.933646	1782.062701	3.436429955

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN D
Data Uji FTIR Karbon Dot Kulit Semangka dan Kulit
Kacang

“Halaman ini memang dikosongkan”



Penulis bernama Nadhira Nurfathiya, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Bandung, 14 April 1995. Penulis memulai pendidikan formal dari TK Al-Yahya Bandung, dilanjutkan di SDN Impres II Cigadung Bandung (kelas I-II), MI Al-Islamiyyah Padalarang (kelas III-VI), SMPN 1 Padalarang dan SMAN 2 Cimahi. Usai lulus SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikannya di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi Institut Teknologi Bandung (ITB). Setelah lulus dan mendapat gelar ahli madya pada bulan Agustus 2016, penulis lalu melanjutkan studinya pada program S1 lintas jalur di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama melangsungkan studi di TF ITS, penulis sempat melakukan kegiatan magang internasional di laboratorium nanosains dan nanoteknologi *King Mongkut's University of Technology Thonburi* (KMUTT) Thailand selama 2 bulan. Penulis juga mengikutsertakan penelitiannya pada kegiatan *Commtech (Community and Technological) Ideas* ITS dan mendapatkan juara dua kategori *three best presenters for undergraduate level*. Selain itu, penulis juga mendapatkan kesempatan untuk mempresentasikan hasil penelitiannya di forum internasional (*Strategic Forum: Linking The Engineering Colleges*) di NCKU Taiwan pada bulan September 2018. Penulis juga masuk ke dalam 10 besar finalis TICA (*Tokyo Tech-Indonesia Commitment Award*) Tokodai 2018, dan berkesempatan untuk mempresentasikan penelitiannya di Jepang pada bulan Oktober 2018. Penulis terbuka terhadap kritik dan saran untuk penelitian ini. Penulis dapat dihubungi melalui email **nurfathianadhira@gmail.com**.