DAUR ULANG LIMBAH BOTOL PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) MENJADI *CARBON NANODOTS* UNTUK PIGMEN FLUORESENSI

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh

Ita Rahmawati
4211414025

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2018

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 10 Juli 2018

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.	Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP 19810815 200312 1 003	NIP 19630821 198803 1 004

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya, bukan jiplakan dan karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip dan dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

rang, Juli 2018

Ita Rahmawati

NIM 4211414025

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Daur Ulang Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Menjadi *Carbon Nanodots* untuk Pigmen Fluoresensi

Disusun oleh

Ita Rahmawati

4211414025

Telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 10 Juli 2018.

Panitra:

Ketua

Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.
NIP 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP 19680714 199603 1 005

Ketua Penguji

Dr. Sulhadi, M.Si.
NIP 19710816 199802 1 001

Anggota Penguji/
Pembimbing I

Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.
NIP 19810815 200312 1 003

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP 19630821 198803 1 004

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya (Q.S. Al-Baqarah: 286).

Niscaya Allah akan meninggikan orang-orang di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat (Q.S. Al-Mujadalah: 11).

Man jadda wa jada!

Tiada kekayaan yang lebih utama daripada akal, tiada keadaan yang lebih menyedihkan daripada kebodohan, tiada warisan yang lebih baik daripada pendidikan, dan tiada pembantu yang lebih baik daripada musyawarah (Sayyidina Ali bin Abi Thalib).

PERSEMBAHAN

Untuk Allah & Rasul-Nya

Ibu & Bapakku tercinta

Kakak-kakak dan adik-adikku tersayang

Fisika 2014

Applied Physics Laboratory

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga beliau, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman.

Alhamdullilah, setelah melalui perjuangan dengan berbagai kendala akhirnya penulis berhasil menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **"Daur Ulang Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Menjadi *Carbon Nanodots* untuk Pigmen Fluoresensi"** dengan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum dan menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. sebagai dosen pembimbing I dan dosen wali yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan kepada penulis serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.

2. Dr. Putut Marwoto, M.S. sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan skripsi.
3. Bapak Fatih Khusno Satrio yang telah membantu menganalisis spektroskopi Raman di PT. Horiba Indonesia Tangerang, Banten.
4. Ibu dan Bapak tercinta yang telah memberikan dukungan baik berupa doa, moril, materiil, semangat, motivasi, dan saran yang tak henti-hentinya kepada penulis.
5. Mbak Dewi, Dek Fafa, Dek Ufi (Zayn), Mas Ali, dan Mas Teguh tercinta yang memberikan doa, semangat, motivasi, serta canda tawa yang sangat berarti bagi penulis.
6. Sahabat-sahabat tersayang, Okti, Ana, Diza, Mas'ud yang penuh kesabaran mendengarkan keluh kesah penulis dan bersedia memberikan motivasi serta saran kepada penulis.
7. Keluarga di *Applied Physics Laboratory*: Intan, Nila, Anik, Pungki, Mas Aan, Mbak Nisa, Mas Adi, Mas Devin, Dek Jenny, Dek Arum, Dek Tari, Dek Ika, dan Dek Fina atas bantuan, canda tawa, serta motivasinya.
8. Teman-teman Fisika 2014 atas motivasi dan dukungan selama menjalani perkuliahan dan penelitian.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini ada beberapa kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan yang dimiliki penulis.

Sebagai akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian, dan juga penulis mengharapkan saran dan kritik demi menyempurnakan kajian ini. Semoga penelitian yang telah dilakukan dapat menjadikan sumbangsih bagi kemajuan dunia riset Indonesia.

Amin.

Semarang, Juli 2018

Penulis

ABSTRAK

Rahmawati, Ita. 2018. *Daur Ulang Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Menjadi Carbon Nanodots untuk Pigmen Fluoresensi*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Putut Marwoto, M.S.

Kata kunci: C-Dots, botol plastik, PET, pigmen, fluoresensi

Limbah botol plastik merupakan salah satu jenis limbah plastik. Penggunaan botol plastik yang tinggi untuk kemasan air minum mengakibatkan dihasilkannya limbah botol-botol plastik. Pada umumnya bahan penyusun botol plastik berbahan dasar polimer *polyethylene terephthalate* (PET) dengan kandungan rantai karbon sekitar 62,5%. Dengan kandungan rantai karbon yang tinggi, penelitian ini bertujuan untuk mendaur ulang botol plastik PET menjadi C-Dots dan mengetahui karakteristik sifat optik dan strukturnya. Daur ulang botol plastik PET dilakukan melalui proses pemanasan di sekitar titik lelehnya yaitu 200°C, 220°C, 240°C, 260°C, 280°C, dan 300°C pada waktu pemanasan yang tetap yaitu 2,5 jam, serta variasi waktu pemanasan 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam, dan 3 jam pada temperatur yang tetap yaitu 260°C. Plastik hasil daur ulang menunjukkan sifat fluoresensi dengan warna emisi biru kehijauan saat diradiasi sinar UV. Perpendaran tersebut mengindikasikan terbentuknya C-Dots. Spektrum absorbansi C-Dots dari daur ulang botol plastik PET berada pada rentang panjang gelombang 210-310 nm. Intensitas absorpsi maksimum berada pada panjang gelombang 240 nm dan 285 nm mengindikasikan adanya transisi elektron π–π^* dan transisi n–π^*, sedangkan intensitas emisi maksimum pada panjang gelombang 421 nm (2,94 eV) dan 451 nm (2,75 eV). Mekanisme fluoresensi C-Dots dari botol plastik PET mengindikasikan adanya transisi elektron dari pita ke trap. Hal ini ditunjukkan dari energi emisi yang dipancarkan lebih kecil dari energi gap C-Dots, yaitu pada rentang energi 4,69-5,12 eV. Proses daur ulang botol plastik PET mengakibatkan perubahan struktur. Pemanasan mengakibatkan bertambahnya ikatan C=C pada bilangan gelombang 1650 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya proses karbonisasi untuk membentuk inti karbon yang berstruktur grafitik. Sifat fluoresensi dari C-Dots daur ulang botol plastik PET berpotensi digunakan sebagai pigmen fluoresensi dengan warna biru.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i

PERSETUJUAN PEMBIMBING ii

PERNYATAAN iii

PENGESAHAN iv

MOTTO DAN PERSEMBAHAN v

PRAKATA vi

ABSTRAK ix

DAFTAR ISI x

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

BAB

1. BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Rumusan Masalah 5

1.3 Batasan Masalah 5

1.4 Tujuan Penelitian 6

1.5 Manfaat Penelitian 6

1.6 Sistematika Penulisan 7

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik 8

2.2 *Polyethylene Terephthalate* 11

2.3 Pita D dan G pada Spektrum Raman 12

2.4 *Carbon Nanodots* 14

2.4.1 Metode Sintesis C-Dots 16

2.4.2 Karakterisasi Morfologi dan Struktur C-Dots 17

2.4.3 Sifat Absorpsi C-Dots 19

2.4.4 Sifat Fluoresensi C-Dots 21

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian 24

3.2 Alat dan Bahan 26

3.2.1 Bahan 26

3.2.2 Alat 26

3.3 Prosedur Penelitian 26

3.3.1 Sintesis C-Dots 26

3.3.2 Karakterisasi C-Dots 27

3.3.3 Aplikasi Pigmen Fluoresensi 28

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Optik C-Dots 32

4.1.1. Absorpsi C-Dots 32

4.1.2. Fluoresensi C-Dots 39

4.2. Struktur C-Dots 42

4.2.1 Karakterisasi FTIR 42

4.2.2 Karakterisasi Raman 45

4.3 Aplikasi Pigmen Fluoresensi 48

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan 53

5.2 Saran 53

DAFTAR PUSTAKA 53

LAMPIRAN 57

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Penggunaan beberapa jenis plastik dalam kehidupan sehari-hari 8

2.2 Temperatur transisi *glass* dan temperatur leleh plastik..... 10

4.1 Energi gap C-Dots botol plastik PET variasi waktu pemanasan 38

4.2 Energi gap C-Dots botol plastik PET variasi waktu pemanasan 38

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1. Kode jenis-jenis plastik..... 9

2.2. Struktur kimia PET..... 12

2.3. Spektrum Raman pada: (a) *graphene* kristal, (b) *graphene* cacat, (c) *graphene* tidak teratur 14

2.4. Contoh fluoresensi C-Dots yang dihasilkan dari kulit buah jeruk 16

2.5. Ilustrasi metode sintesis *bottom-up* dan *top-down* C-Dots..... 17

2.6. Ilustrasi struktur C-Dots 17

2.7. Hasil FTIR C-Dots..... 19

2.8. Spektroskopi Raman C-Dots 19

2.9. Spektrum absorbansi C-Dots..... 20

2.10. Mekanisme transisi elektron pada fenomena fluoresensi..... 22

2.11. Spektrum fluoresensi C-Dots..... 23

3.1. Diagram alir penelitian 24

4.1. Hasil sintesis C-Dots dari botol plastik PET variasi waktu pemanasan 30

4.2. Hasil sintesis C-Dots dari botol plastik PET variasi temperatur pemanasan 31

4.3. Ilustrasi mekanisme pembentukan carbon nanodots (C-Dots)..... 32

4.4 Spektrum absorbansi C-Dots dari daur ulang limbah botol plastik PET variasi (a) waktu pemanasan (b) temperatur pemanasan..... 33

4.5. Orbital ikatan π dan anti ikatan π^*..... 36

4.6. Skema transisi elektron π-π^* dan n-π^* 37

4.7. Spektrum fluoresensi C-Dots botol plastik PET variasi (a) waktu pemanasan (b) temperatur pemanasan..... 39

4.8. Mekanisme fluoresensi C-Dots dari daur ulang limbah botol plastik PET 41

4.9. Hasil FTIR botol plastik PET setelah mengalami proses pemanasan dengan variasi (a) waktu pemanasan (b) temperatur pemanasan 43

4.10. Spektrum Raman C-Dots botol plastik PET variasi (a) waktu pemanasan, dan (b) temperatur pemanasan 46

4.11. Pigmen fluoresensi C-Dots dari daur ulang limbah botol plastik PET pada keadaan (a) *daylight* (b) *UV light.*..... 48

4.12. Aplikasi pigmen fluoresensi C-Dots dari botol plastik PET 49

4.13. Diagram kromatisitas pigmen fluoresensi dari C-Dots botol plastik variasi (a) waktu pemanasan (b) temperatur pemanasan..... 50

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Absorpsi C-Dots 57

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Energi Gap C-Dots 58

Lampiran 3. Hasil Pengukuran FTIR C-Dot.....62

Lampiran 4. Hasil Pengukuran Spektrum Raman C-Dots 65

Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian. 69

Lampiran 6. Dokumentasi Karakterisasi Penelitian.....71

Lampiran 7. Surat Tugas Pembimbing.....72

Lampiran 8. Surat Tugas Penguji.....73

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Plastik menjadi material yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua aspek kehidupan manusia menggunakan material plastik, misalnya dalam bidang pertanian, medis, furnitur, dan kemasan. Material plastik secara umum telah menggantikan penggunaan kayu, logam, dan gelas yang menjadi material dasar sebelumnya. Hal ini disebabkan material plastik memiliki sifat yang ringan, tahan air, anti karat, isolator panas dan listrik, serta harganya murah. Keunggulan sifat tersebut menjadikan produksi plastik di seluruh dunia naik mencapai 130 juta ton per tahun (Nasution, 2015). Kenaikan jumlah produksi tersebut sebanding dengan kenaikan jumlah konsumsinya yaitu hampir 100 kg per orang setiap tahunnya. Konsumsi plastik tertinggi terletak pada plastik untuk produk kemasan, yaitu sekitar 40% dari material plastik di seluruh dunia (Siddiqui & Pandey, 2013).

Plastik untuk produk kemasan yang sering dijumpai di lingkungan sekitar adalah botol plastik. Botol plastik yang paling banyak dihasilkan industri yaitu botol plastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET) dengan penggunaan sekitar 31% dari jenis botol plastik lainnya (Sarker *et al.*, 2011). Hal ini disebabkan karena PET memiliki sifat yang unggul yaitu kuat, transparan, dan murah sehingga baik digunakan untuk produk kemasan seperti botol air minum. Banyaknya keunggulan tersebut menjadikan penggunaan botol plastik PET naik

secara signifikan. Setiap tahun kurang lebih 200 miliyar botol plastik dikonsumsi oleh masyarakat global (Abdulkarim & Abiodun, 2012). Tingginya tingkat konsumsi ini sebanding dengan limbah yang dihasilkan.

Botol plastik PET merupakan jenis plastik yang hanya digunakan untuk satu kali pemakaian. Hal ini karena botol plastik PET mempunyai kandungan zat beracun yang akan masuk ke dalam makanan atau minuman jika dipakai terus-menerus (Aghaee *et al*., 2014). Akibatnya setelah satu kali pemakaian botol plastik PET akan dibuang dan semakin menumpuk menjadi limbah. Limbah tersebut menjadi masalah yang sangat serius bagi lingkungan karena botol plastik PET memiliki sifat *non-biodegradable*, yaitu membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk bisa diurai oleh mikroorganisme. Adanya sifat ini berdampak langsung pada terganggunya lingkungan tanah dan air (Tawiah *et al.*, 2016). Untuk itu diperlukan suatu upaya untuk menanggulangi limbah botol plastik PET.

Salah satu upaya yang telah dilakukan untuk menanggulangi limbah ini yaitu dengan pembakaran. Upaya ini kurang efektif dilakukan karena berdampak buruk pada lingkungan sekitar. Selama proses pembakaran terjadi pelepasan gas CO_2, CO, NO_x, dan SO_x yang sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia dan dapat menimbulkan efek rumah kaca (Wicaksono & Arijanto, 2017). Upaya lain yang telah dilakukan peneliti adalah mengkonversi limbah botol plastik PET menjadi bahan bakar. Hal itu dapat dilakukan karena pada dasarnya botol plastik PET berasal dari minyak bumi atau petroleum. Upaya tersebut menjadi upaya yang menarik dalam penanganan limbah botol plastik PET, tetapi membutuhkan biaya yang mahal karena proses pengolahannya menggunakan teknologi yang

tinggi. Oleh karena itu diperlukan alternatif lain untuk mengolah limbah botol plastik PET menjadi material tepat guna dengan metode yang sederhana dan murah.

Ditinjau dari segi struktur molekularnya, material botol plastik PET tersusun atas rantai karbon panjang yang berasal dari perulangan monomer *ethylene terephthalate* ($C_{10}H_8O_4$). PET terdiri atas Hidrogen (H) sebanyak 4,2%, Oksigen (O) sebanyak 33,3%, dan kandungan Karbon (C) yang tinggi yaitu 62,5% (Sarker *et al.*, 2011). Tingginya kandungan karbon dalam beberapa bahan seperti kulit jeruk, minyak jelantah, asam sitrat, dan susu dapat dijadikan *carbon nanodots* (C-Dots) (Bhaisare *et al.*, 2015; Prasannan & Imae, 2013; Aji *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016). Kandungan karbon yang tinggi dalam botol plastik PET berpotensi menjadi sumber karbon dalam pembuatan *carbon nanodots* (C-Dots).

C-Dots merupakan salah satu karbon nanopartikel yang berukuran kurang dari 10 nm dimana banyaknya ikatan rantai karbon menjadi sumber dalam pembuatannya. C-Dots menjadi topik yang paling banyak diperbincangkan peneliti dalam dekade terakhir karena memiliki sifat yang menjanjikan, yaitu memiliki sifat fluoresensi, tidak mudah larut dalam air, tidak beracun, dan biokompatibilitas. Sifat-sifat tersebut menjadikan C-Dots mempunyai aplikasi yang luas seperti fotokatalis, optoelektronik, tinta, *bioimaging*, dan *removal heavy metal* (Lin *et al.*, 2014).

Sintesis C-Dots telah banyak dilakukan oleh peneliti. Kebanyakan sintesis tersebut menggunakan sumber karbon dari bahan organik sehingga mudah larut dalam air. Sifat mudah larut dalam air menyebabkan *lifetime* C-Dots tidak dapat

bertahan lama. Di samping itu, C-Dots yang tidak larut dalam air (hidrofob) mempunyai keuntungan yaitu dapat bertahan lama (Gude, 2014). Botol plastik PET merupakan material yang selain mempunyai kandungan karbon tinggi juga mempunyai sifat tidak larut dalam air (hidrofob). Oleh karena itu, botol plastik PET sangat berpotensi untuk pengembangan material C-Dots.

Material C-Dots memiliki banyak aplikasi, salah satunya menjadi pigmen fluoresensi. Pigmen fluoresensi mengalami perkembangan sejak 15 tahun terakhir, terutama sejak ditemukannya kristal alkali tanah didoping dengan Eu^{2+} dan Dy^{3+} yang mempunyai sifat emisi kuat dan waktu hidup yang lama (Perez *et al.*, 2009). Dalam perkembangannya, pigmen fluoresensi penting digunakan untuk berbagai hal misalnya sebagai tinta pengaman yang efektif untuk melindungi dokumen-dokumen penting. C-Dots dari botol plastik PET menjadi kandidat material fluoresensi yang baik karena memiliki sifat fluoresensi serta teknologi pembuatannya yang mudah, murah, dan ramah lingkungan.

Sintesis C-Dots dari botol plastik PET menyebabkan terjadinya perubahan struktur baik secara fisis maupun kimia. Perubahan tersebut dapat diamati pada rentang variabel bebas yang dilakukan dari metode sintesisnya. Metode pemanasan merupakan salah satu metode sintesis C-Dots yang sederhana untuk dilakukan. Menurut Ogi dkk (2016), perubahan variabel bebas pada proses pemanasan akan menyebabkan perubahan struktur C-Dots menjadi karbon arang. Perubahan tersebut dapat mengubah sifat optik yang dihasilkan sehingga berpengaruh pada hasil pigmen fluoresensinya. Dengan demikian mengetahui hasil yang optimum pada sintesis C-Dots menggunakan proses pemanasan sangat

penting dilakukan. Karakterisasi yang dapat dilakukan untuk mengetahui hasil optimum dari C-Dots yang dihasilkan yaitu dengan karakterisasi sifat optik dan strukturnya.

Penelitian ini berfokus untuk memanfaatkan ikatan-ikatan rantai karbon yang terdapat di dalam material botol plastik PET menjadi material C-Dots. C-Dots dari daur ulang botol plastik PET diharapkan memiliki sifat hidrofob sehingga mempunyai *lifetime* panjang dan dapat diaplikasikan menjadi pigmen fluoresensi. Selain itu, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi daur ulang limbah botol plastik sekaligus sebagai acuan dalam perkembangan sintesis dan aplikasi C-Dots.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana sintesis *carbon nanodots* (C-Dots) dari daur ulang limbah botol plastik?
2. Bagaimana karakteristik sifat optik dan struktur *carbon nanodots* (C-Dots) dari limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang dihasilkan?
3. Bagaimana potensi *carbon nanodots* (C-Dots) dari limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) sebagai pigmen fluoresensi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini berfokus untuk melakukan sintesis C-Dots dari limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dan pengaplikasiannya sebagai pigmen fluoresensi.
2. Karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada karakterisasi UV-Vis, Fotoluminesensi (PL), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan Spektroskopi Raman.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mempelajari cara sintesis *carbon nanodots* (C-Dots) dari limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET).
2. Mempelajari karakteristik sifat optik dan struktur *carbon nanodots* (C-Dots) dari limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang dihasilkan.
3. Mempelajari potensi *carbon nanodots* (C-Dots) dari limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) sebagai pigmen fluoresensi.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang dan tujuan yang telah disebutkan di atas dapat diperoleh manfaat dalam penelitian ini antara lain:

1. Memberikan alternatif lain dalam penanganan limbah botol plastik PET.
2. Menambah khasanah ilmu pengetahuan tentang sumber karbon baru dalam pembuatan C-Dots yaitu botol plastik PET.
3. Mengetahui potensi aplikasi C-Dots dari daur ulang limbah botol plastik PET sebagai pigmen fluoresensi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi disusun dan dibagi menjadi tiga bagian untuk memudahkan pemahaman struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian pendahuluan, bagian isi, dan bagian akhir.

Bagian pendahuluan skripsi terdiri dari halaman judul, sari (abstrak), halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang tersusun dari bab 1 yang meliputi pendahuluan, berisi latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi; bab 2 yang berisi landasan teori yang mendukung penelitian; bab 3 memuat metode penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian; bab 4 meliputi hasil penelitian dan pembahasan yang membahas tentang hasil-hasil penelitian; dan terakhir bab 5 yaitu penutup yang berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.

Bagian akhir skripsi memuat tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik menjadi material yang penting dalam berbagai bidang dan aplikasi karena sifatnya yang ringan, insulator panas dan listrik, serta proses pengolahannya lebih mudah dan murah. Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang dibentuk melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) yang membentuk rantai melalui proses kimia (Surono, 2013). Jika rantai tersebut bertumpuk dalam suatu pola acak menyerupai tumpukan jerami disebut amorf, tetapi jika tumpukan tersebut teratur hampir sejajar disebut kristalin dengan sifat yang lebih keras dan tegar. Unsur utama penyusun plastik adalah karbon dan hidrogen. Bahan baku pembuatan plastik adalah minyak dan gas sebagai sumber alami. Dalam perkembangannya, minyak dan gas ini mulai digantikan oleh bahan-bahan sintetis sehingga dapat diperoleh sifat-sifat plastik yang diinginkan.

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *termosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. *Thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis plastik yang

memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya (Surono, 2013). Gambar 2.1 menunjukkan berbagai macam kode plastik.

Gambar 2.1 Kode jenis-jenis plastik

Material plastik telah berkembang pesat dan mempunyai peranan yang sangat penting di bidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, *furniture*, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak-anak, dan produk-produk industri lainnya. Tabel 2.1 menunjukkan penggunaan berbagai jenis plastik dalam kehidupan sehari-hari.

Tabel 2.1 Penggunaan beberapa jenis plastik dalam kehidupan sehari-hari

Jenis Plastik	**Contoh Penggunaan**
***Polyethylene Terephthalate* (PET)**	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
***High Density Polyethylene* (HDPE)**	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, botol kosmetik
***Polyvynil Chloride* (PVC)**	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, botol sampo, dan botol sambal
***Low Density Polyethylene* (LDPE)**	Kantong kresek, tutup plastik, dan plastik pembungkus daging
***Polypropylene* (PP)**	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan kantong plastik es
***Polystyrene* (PS)**	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan

	plastik transparan
***Other*, jenis plastik lainnya**	Botol susu bayi, plastik kemasan, galon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, sikat gigi, dan alat-alat elektronik

Sifat termal yang dimiliki plastik sangat berguna untuk melakukan proses daur ulang terhadap plastik itu sendiri. Sifat termal tersebut yaitu temperatur leleh (T_m) dan temperatur transisi *glass* (T_g). Temperatur transisi *glass* merupakan temperatur saat struktur plastik mengalami perengganan sehingga kondisi plastik yang awalnya kaku menjadi lebih fleksibel. Temperatur leleh adalah temperatur saat struktur plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Di atas titik leleh, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi termal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Surono, 2013). Tabel 2.2 menunjukkan temperatur transisi dan temperatur leleh dari beberapa jenis plastik.

Tabel 2.2 Temperatur transisi *glass* dan temperatur leleh plastik (Callister & Rethwisch, 2009)

Material	**Temperatur Transisi *Glass* (^oC)**	**Temperatur Leleh (^oC)**
Polyethylene (low density)	-110	115
Polytetrafluoroethylene	-97	327
Polyethylene (high density)	-90	137
Polypropylene	-18	175

Nylon 6,6	57	265
Polyethylene terephthalate (PET)	69	265
Polyvinyl chloride	87	212
Polystyrene	100	240
Polycarbonate	150	265

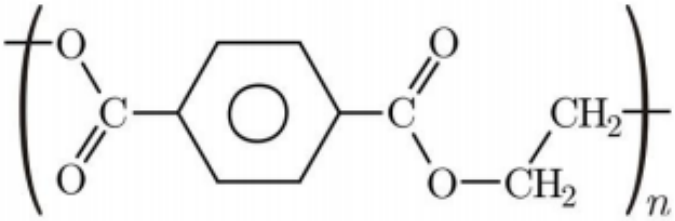
2.2 Polyethylene Terephthalate

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan polimer termoplastik dari keluarga poliester yang banyak diproduksi karena keunggulan sifat mekanik dan kimianya. PET memiliki titik leleh kristalin yang tinggi (260°C) dan rantai polimer yang kaku dalam PET mengakibatkan PET mempunyai sifat mekanik yang kuat, ketahanan terhadap bahan kimia dan pelarut yang baik. Polimer ini banyak digunakan untuk membuat botol untuk minuman ringan, bir, alkohol, produk makanan, dan obat-obatan. PET juga dapat digunakan sebagai rekayasa plastik yang menggantikan baja, aluminium dan logam lainnya untuk peralatan elektronik, rumah tangga, maupun suku cadang kendaraan (Venkatachalam *et al.*, 2012). Kebanyakan (sekitar 60%) dari produksi PET dunia digunakan dalam serat sintetis, dan produksi botol mencapai 30% dari permintaan dunia. Dalam penggunaannya di bidang tekstil, PET biasanya disebut poliester saja (Ismail *et al.*, 2010).

PET secara umum didapatkan dari polimerisasi fase lelehnya untuk mendapatkan resin yang mempunyai viskositas pada rentang 0,5-0,7 dL/g. Untuk mendapatkan polimer dengan berat molekul yang lebih tinggi misalnya viskositasnya lebih besar dari 0,7 dL/g, dilakukan polimerisasi pada keadaan padat. Proses selanjutnya yaitu memanaskan polimer padatan yang berat

molekularnya masih rendah dengan temperatur di bawah titik lelehnya tetapi di atas titik lelehnya (Venkatachalam *et al.*, 2012).

PET dapat bersifat amorf (transparan) atau semikristal bergantung pada proses dan mekanisme termal pembuatannya. Polimer ini diturunkan dari reaksi antara asam *terephthalic* dan *ethyleneglycol.* Sifat PET bergantung pada berat molekular, struktur molekular, kristalinitas, dan adanya pengotor (Sarker & Rashid, 2013). Struktur kimianya merupakan perulangan dari monomer *ethylene terephthalate* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Masing-masing monomer mempunyai panjang fisik sekitar 1,09 nm dan berat molekular ~200.



Gambar 2.2 Struktur kimia PET (Venkatachalam *et al.*, 2012)

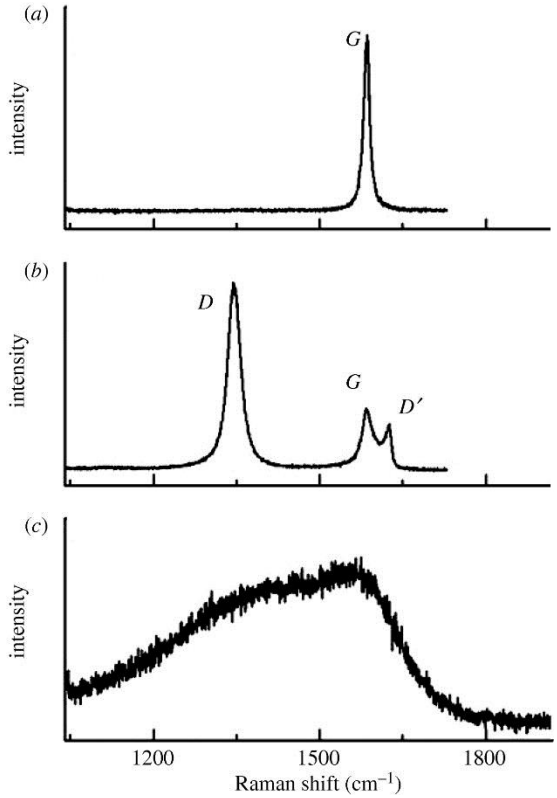
2.3 Pita D dan G pada Spektrum Raman

Ketika sebuah berkas cahaya dilewatkan melalui substansi transparan, sejumlah kecil dari energi radiatif tersebut dihamburkan. Jika radiasi monokromatik atau radiasi dengan pita frekuensi yang sangat sempit digunakan, energi yang terhamburkan akan sama dengan energi dari frekuensi datang (hamburan Rayleigh). Jika energi yang dihamburkan lebih besar atau lebih kecil dari energi frekuensi datang maka disebut hamburan Raman.

Spektroskopi Raman dapat digunakan untuk mempelajari struktur material. Tiap-tiap pita pada spektrum Raman berkaitan dengan frekuensi vibrasi ikatan

dalam molekul. Pada spektrum Raman biasanya berkaitan dengan pita G dan pita D. Pita G berasal dari mode C=C *stretching* dan biasanya berada pada bilangan gelombang sekitar 1580 cm^{-1}. Dalam *single walled carbon nanotubes*, pita ini biasanya terpecah menjadi sisi lebih tinggi dari 1580 cm^{-1} dan sisi lebih rendah dari 1580 cm^{-1} yaitu G^{+} dan G^{-}. Hal itu biasanya disebabkan oleh adanya pelengkungan pada lembar *graphene.* Intensitas pita D pada spektrum Raman biasanya digunakan untuk menghitung cacat atau pengotor pada sampel. Intensitas pita D yang lebih besar dibandingkan dengan pita G menunjukkan bahwa sampel mempunyai sejumlah besar cacat atau pengotor, sedangkan intensitas G yang lebih besar dibandingkan pita D menunjukkan bahwa cacat atau pengotor dalam sampel hanya sedikit atau bahkan tidak ada.

Raman dapat digunakan untuk mengidentifikasi *disorder* atau ketidakteraturan dalam struktur karbon seperti karbon yang menyerupai kristal, karbon amorf, *graphene*, karbon nanotube, dan lain-lain. Spektrum Raman dari grafit kristalin ditandai dengan keberadaan dua pita kuat pada bilangan gelombang 1580 cm^{-1} dan 2700 cm^{-1}, yaitu pita G dan G’, dimana label G merujuk pada grafit. Gambar 2.3 menunjukkan contoh spektrum Raman dari *graphene* berstruktur kristal, *graphene* yang mempunyai cacat, dan *graphene* yang strukturnya tidak teratur.



Gambar 2.3 Spektrum Raman pada: (a) *graphene* kristal, (b) *graphene* cacat, dan (c) *graphene* tidak teratur (Dresselhaus *et al.*, 2010)

2.4 Carbon Nanodots

Material yang memiliki sifat fotoluminesensi mendapat perhatian lebih karena aplikasinya yang bermacam-macam dan menjanjikan, mulai dari bidang optoelektronik hingga medis seperti *imaging*, sensor, dan *drug delivery*. Material fluoresensi yang paling banyak digunakan adalah pewarna organik dan CdSe/ZnS *quantum dots* (QDs). Sifat QDs yang beracun menjadi keterbatasan dalam pengaplikasiannya. Saat ini *carbon nanodots* (C-Dots) merupakan kelas baru dalam karbon nanomaterial yang dapat menjadi alternatif dari material fluoresensi karena memiliki sifat fluoresensi yang tinggi, mudah larut dalam air, tidak beracun, dan biokompatibilitas.

C-Dots dipertimbangkan sebagai kelas nanomaterial karbon 0 dimensi yang biasanya mengandung struktur karbon sp^2/sp^3 dan gugus fungsi seperti amino, karbonil, hidroksil, dan asam karboksilik pada permukaannya (Roy *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2013). C-Dots pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh peneliti pada tahun 2004 menggunakan metode elektroforesis untuk memurnikan *single-walled carbon nanotubes* (SWCNTs). Hasil yang didapatkan material justru memiliki sifat fluoresensi yang diduga merupakan bagian dari SWCNTs. Dua tahun kemudian, peneliti mendapatkan karbon nanomaterial berfluoresensi berukuran 10 nm menggunakan ablasi laser dari sumber karbon grafit. Setelah itu, karbon nanopartikel yang berukuran kurang dari 10 nm dikenal sebagai *carbon dots*, *carbon quantum dots*, *carbon nanodots*, atau *carbogenic nanodots* (Sun *et al.*, 2006).

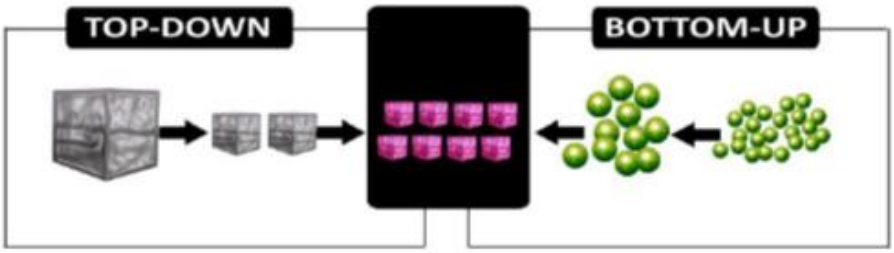
Melimpahnya sumber karbon di alam menjadikan C-Dots banyak diteliti. Berbagai sumber karbon telah diteliti untuk menghasilkan C-Dots seperti asam citric, minyak jelantah, susu, dan kulit buah jeruk (Bhaisare *et al.*, 2015; Prasannan & Imae, 2013; Aji *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016). Gambar 2.4 menunjukkan contoh C-Dots yang dihasilkan dari sumber karbon kulit buah jeruk.

Gambar 2.4 Contoh fluoresensi C-Dots yang dihasilkan dari kulit buah jeruk (Prasannan & Imae, 2013)

2.4.1 Metode Sintesis C-Dots

Untuk mendapatkan C-Dots yang berkualitas tinggi, murah, sederhana, dan dapat disintesis dalam skala besar, bermacam-macam metode sintesis telah dilaporkan. Metode tersebut secara umum diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu metode *top-down* dan *bottom-up*. Metode *top-down* yaitu metode sintesis nanomaterial dengan cara memecah partikel yang berukuran besar menjadi partikel berukuran nano. Pada metode ini, C-Dots diperoleh dari pemotongan sumber karbon seperti *carbon nanotubes* (CNTs), *carbon fiber*, *carbon black*, dan lain-lain. Metode pemotongan yang biasanya digunakan adalah dengan menggunakan asam oksida (HNO_3, HSO_4, atau campuran). Contoh dari metode *top-down* yaitu metode *arc-discharger*, *laser ablation* dan oksidasi elektrokimia (Roy *et al.*, 2015).

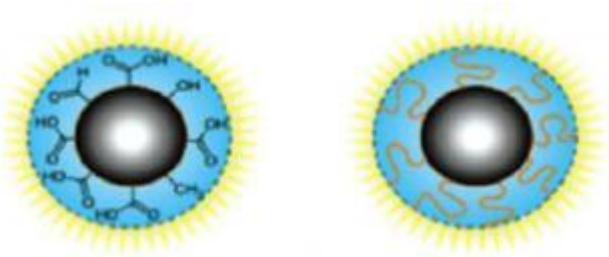
Metode *bottom-up* merupakan metode sintesis yang dimulai dari molekul-molekul kecil menjadi partikel berukuran nanometer seperti yang dikehendaki, misalnya molekul-mlekul kecil seperti glukosa dan fruktosa yang dipersiapkan untuk sintesis C-Dots. Metode *bottom-up* merupakan metode yang efisien untuk menghasilkan C-Dots dalam skala besar. Contoh dari metode ini yaitu hidrotermal, *combustion*, *microwave*, dan ultrasonik. Gambar 2.5 merupakan ilustrasi metode sintesis *top-down* dan *bottom-down* (Roy *et al.*, 2015).



Gambar 2.5 Ilustrasi metode sintesis *bottom-up* dan *top-down* C-Dots (Zhu *et al*., 2013)

2.4.2 Karakterisasi Morfologi dan Struktur C-Dots

C-Dots didefinisikan sebagai nanopartikel berbentuk quasi-sferis yang berdiameter kurang dari 10 nm dengan gugus fungsi pada permukaannya dan inti grafit sp^2 berupa kristal atau amorf yang mana memiliki efek *quantum confinement*. Gambar 2.6 menunjukkan ilustrasi bentuk C-Dots.

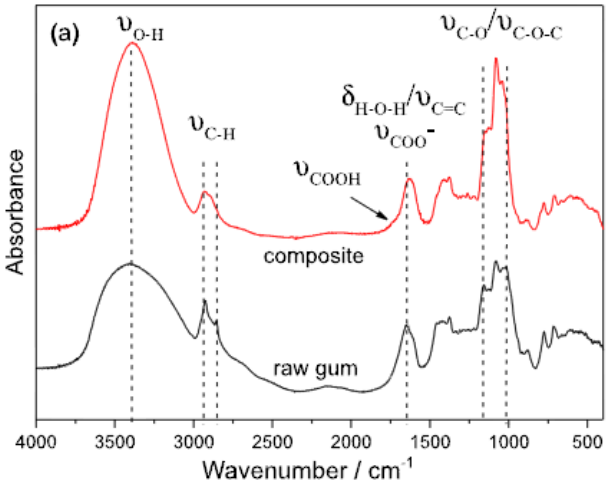


Gambar 2.6 Ilustrasi struktur C-Dots (Namdari *et al.*, 2017)

Untuk C-Dots yang dihasilkan menggunakan metode *top-down*, morfologi C-Dots dipengaruhi oleh prekusor dasarnya. Untuk contoh, oksidasi kimia menggunakan HNO_3 dapat menghasilkan nanopartikel dengan diameter sekitar 5 nm dari jelaga karbon menggunakan ablasi laser dari bubuk grafit, dan *graphene nanosheets* dengan ukuran 2-6 nm dari jelaga lilin, dan *graphene nanosheets* dengan ukuran 10 nm dari batubara. Morfologi C-Dots mungkin juga dipengaruhi oleh metode sintesis yang digunakan. Misalnya *Graphene Oxide* (GO) yang dapat

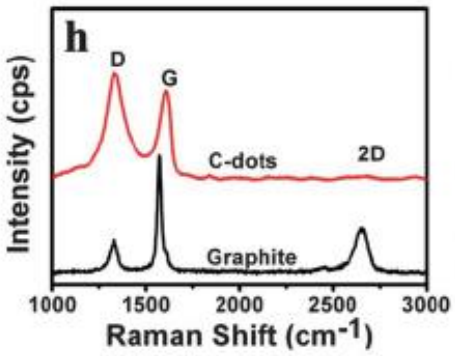
menjadi C-Dots dengan ukuran 3-5 nm menggunakan metode oksidasi elektrokimia, tetapi bisa menjadi C-Dots dengan ukuran 2,5 nm dengan menggunakan metode hidrotermal dalam larutan amonia. Perubahan kecil dari kondisi eksperimen akan dapat mempengaruhi morfologi C-Dots yang didapatkan. Ukuran C-Dots yang didapatkan semakin naik seiring dengan penurunan temperatur reaksi yang digunakan (Yang *et al.*, 2016). Secara umum, rata-rata ukuran C-Dots yang dihasilkan dari metode *top-down* yaitu di bawah 10 nm.

Biasanya karakteristik struktur C-Dots dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-ray Photoelectron Spectroscopy* (XPS), *X-ray Diffraction* (XRD), Spektroskopi Raman, dan HRTEM. Spektra XPS mengindikasikan bahwa kebanyakan C-Dots disusun oleh karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen (jika C-Dots didopping menggunakan nitrogen). Spektra FTIR C-Dots biasanya memperlihatkan puncak absorbsi dari C=C (1615 cm^{-1}), C-O (1230 cm^{-1}), -OH (3405 cm^{-1}), C=O (1720 cm^{-1}), dan C-N untuk C-Dots dopping N (1110 cm^{-1}). Hasil eksperimen XPS dan FTIR mengindikasikan bahwa kebanyakan dari C-Dots yang diperoleh tersusun atas struktur karbon sp^2 dan gugus fungsi yang terdiri atas gugus karboksil, karbonil, hidroksil, dan *epoxy*. Gambar 2.7 menunjukkan contoh hasil FTIR C-Dots.



Gambar 2.7 Hasil FTIR C-Dots (Pires *et al.*, 2015)

Spektroskopi Raman menunjukkan pita D di sekitar 1350 cm^{-1} dan pita G di sekitar 1590 cm^{-1} yang mana berhubungan dengan mode vibrasi grafit dan struktur *deffect*. Rasio intensitas (I_D/I_g) C-Dots digunakan untuk membandingkan struktural antara kristal dan keadaan cacatnya. Nilai I_D/I_g biasanya berada pada rentang ~0,5 hingga ~1,5, bergantung pada metode sintesis yang digunakan. Gambar 2.8 menunjukkan contoh spektroskopi Raman dari C-Dots.



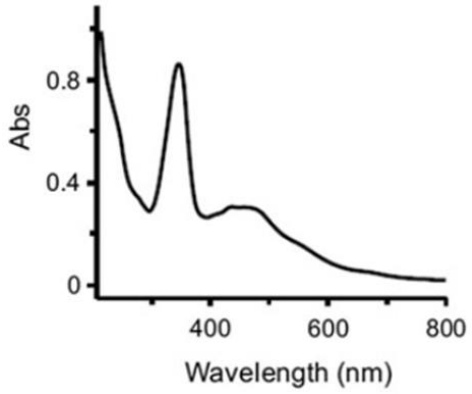
Gambar 2.8 Spektroskopi Raman C-Dots (Li *et al.*, 2012)

2.4.3 Sifat Absorpsi C-Dots

Sifat absorpsi merupakan fenomena penyerapan cahaya dari suatu material yang ditandai dengan adanya transisi elektron dari keadaan energi rendah ke

energi yang lebih tinggi. Mekanisme transisi elektron yang umumnya terjadi pada material C-Dots yaitu transisi elektron pada *Highest Occupied Molecular* (HOMO) dan *Lowest Unccupied Molecular Orbital* (LUMO). C-Dots biasanya menampakan absorpsi optik di daerah UV, dengan *tail* (ekor) yang memanjang ke daerah cahaya tampak. C-Dots biasanya menunjukkan absorpsi optik yang jelas di daerah UV, yaitu pada rentang panjang gelombang 250–320 nm dengan ekor (*tail*) yang memanjang ke daerah tampak, sedangkan C-Dots yang telah mengalami modifikasi permukaan akan menunjukkan absorbsi optik pada 350–550 nm (Wang *et al.*, 2017).

Absorpsi C-Dots biasanya menunjukkan pita pada 250-300 nm yang mengindikasikan adanya transisi π-π^*. Daerah tersebut mempresentasikan adanya mekanisme transisi elektron π yaitu transisi elektron C-Dots pada orbital $n \rightarrow \pi^*$ yang merupakan transisi dari ikatan C=C dan transisi dari sp^2 yang terdiri dari ikatan C=O dan C=N pada orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ ((Lu *et al*., 2017; Niu *et al*., 2014). Gambar 2.9 menunjukkan contoh absorpsi C-Dots.



Gambar 2.9 Spektrum absorbansi C-Dots (Jelinek, 2017)

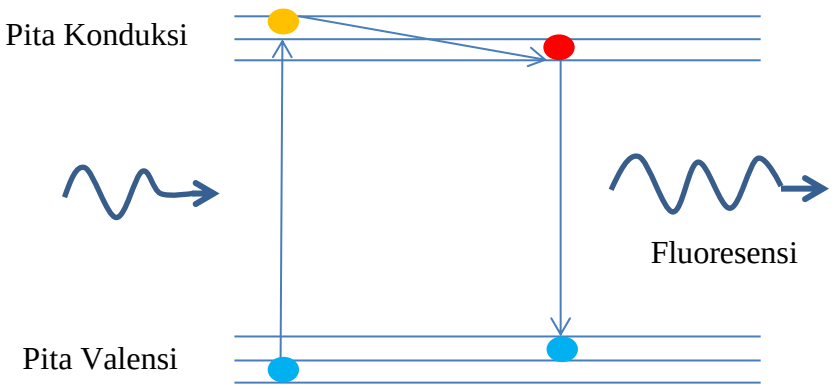
C-Dots yang diperoleh menggunakan metode *top-down* biasanya menunjukkan sifat optik yang bergantung pada ukurannya, yaitu berada pada rentang 6,20-4,92 eV (200-252 nm) seiring dengan kenaikan ukuran dari 12-22 nm. Gugus fungsi pada permukaan C-Dots memainkan peranan penting yang menentukan panjang gelombang absorpsi C-Dots. Untuk contoh, pita absorpsi C-Dots menunjukkan *red shift* setelah difungsionalisasikan dengan gugus amino. C-Dots yang diperoleh dengan metode yang berbeda akan menunjukkan sifat absorpsi optik yang berbeda pula, misalnya C-Dots yang diperoleh dari sumber karbon glukosa akan memiliki bentuk pita absorpsi yang berbeda berkisar 250-300 nm saat di sintesis menggunakan metode hidrotermal, *microwave*, dan *ultrasonic*.

2.4.4 Sifat Fluoresensi C-Dots

Beberapa material ada yang bersifat mudah menyerap/mengabsorbsi energi dan kemudian memancarkan kembali energi tersebut dalam bentuk cahaya tampak. Fenomena tersebut dinamakan luminesensi. Foton dari cahaya yang dipancarkan kembali tersebut berasal dari transisi elektron dalam zat padat. Energi yang diserap membuat elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Di daerah pita konduksi ini, elektron berada pada keadaan tidak stabil sehingga akan kembali ke pita valensi sambil memancarkan cahaya. Energi yang diserap bisa berasal dari radiasi gelombang elektromagnetik berenergi tinggi seperti sinar UV, atau bisa juga berasal dari sumber lain, seperti energi panas, energi mekanik, atau energi kimia. Luminesensi yang sumbernya berasal dari optik disebut

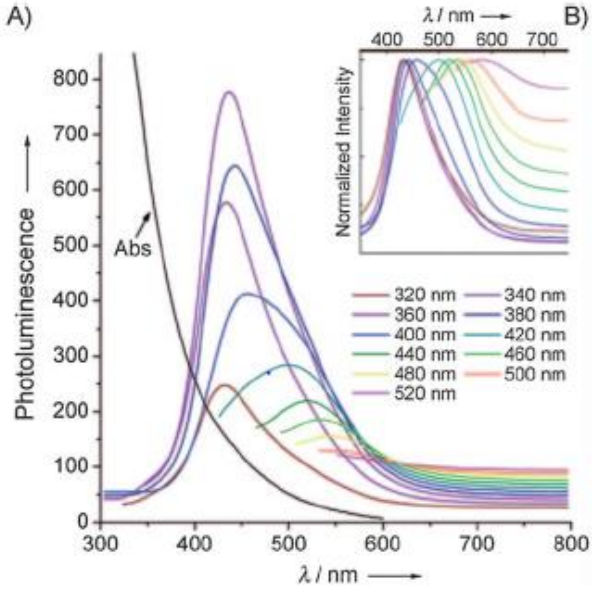
fotoluminesensi, sedangkan jika sumbernya berasal dari energi listrik maka disebut elektroluminesensi.

Luminesensi diklasifikasikan berdasarkan waktu tunda antara saat mengabsorbsi dengan saat memancarkan kembali dibagi menjadi dua, yaitu fluoresensi dan fosforesensi. Jika rentang waktu antara saat mengabsorbsi dengan memancarkan kembali berlangsung singkat (kurang dari 1 detik) disebut fluoresensi, sedangkan untuk rentang waktu yang lama disebut fosforesensi. (Callister & Rethwisch, 2009). Gambar 2.10 menunjukkan mekanisme eksitasi elektron pada fluoresensi.



Gambar 2.10 Mekanisme transisi elektron pada fenomena fluoresensi

Fluoresensi merupakan salah satu sifat yang sangat menarik dari C-Dots. Sampai sekarang, C-Dots yang memiliki warna fluoresensi yang berbeda-beda dapat diperoleh menggunakan berbagai metode sintesis. Meskipun mekanisme fluoresensi yang sebenarnya masih menjadi perdebatan, fluoresensi C-Dots biasanya dimungkinkan disebabkan adanya emisi pada keadaan instrinsik atau emisi yang berasal dari struktur permukaannya. Gambar 2.11 merupakan contoh spektrum fluoresensi C-Dots.



Gambar 2.11 Spektrum fluoresensi C-Dots (Li *et al.*, 2012)

Sifat fotoluminisensi pada C-Dots merupakan hal paling penting untuk menginvestigasi mekanisme fotoluminisensi dan untuk mendapatkan aplikasi terbaru yang dapat diterapkan. Hingga sekarang, mekanisme fotoluminisens pada C-Dots masih menjadi perdebatan para peneliti. Terdapat 4 hal yang berkaitan dengan mekanisme fotoluminisens yang telah dikonfirmasi, yaitu :

1. Efek *quantum confinement* atau konjugate domain-pi, yang mana ditentukan oleh inti karbon.
2. *Surface state* (keadaan permukaan), ditentukan oleh hibridisasi tulang punggung karbon dan berhubungan dengan grup-grup kimia.
3. *Molecule state* (keadaan molekul), ditentukan semata-mata oleh molekul fluoresens yang terhubung pada permukaan atau bagian dalam C-Dots.
4. Efek *cross-link* untuk mempertinggi emisi (Wang *et al.*, 2014).

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, maka kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Sintesis C-Dots dari daur ulang limbah botol plastik telah berhasil dilakukan melalui proses pemanasan.
2. Sifat optik C-Dots daur ulang limbah botol plastik memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 240 nm dan 285 nm dan puncak emisi pada 421 nm (2,94 eV) dan 451 nm (2,75 eV).
3. Struktur C-Dots daur ulang limbah botol plastik memiliki struktur grafitik dan amorf.
4. Fluoresensi C-Dots daur ulang limbah botol plastik memiliki perpendaran warna hampir mendekati biru yang berpotensi diaplikasikan pada pigmen fluoresensi pada uang kertas dan dokumen penting lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan C-Dots berbahan dasar botol plastik PET memiliki potensi aplikasi yang lain misalnya untuk *bioimaging*, deteksi ion logam berat, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulkarim, I. A., & Abiodun, A. O. (2012). a Study of Problems Associated With Pet Bottles Generation and Disposal in Kano Metropolis Background of the Study. *Academic Research International*, *3*(2), 2223–9553.

Aghaee, E. M., *et al.* (2014). Effects of storage time and temperature on the antimony and some trace element release from polyethylene terephthalate (PET) into the bottled drinking water. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *12*(1), 1–7.

Aji, M. P., Susanto, Wiguna, P. A., & Sulhadi. (2017). Facile synthesis of luminescent carbon dots from mangosteen peel by pyrolysis method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, *11*(2), 119–126.

Aji, M. P., *et al*. (2018). Polymer carbon dots from plastics waste upcycling. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, *9* (October 2017), 136–140.

Aji, M.P., Wiguna, P. A., Susanto, Wicaksono, R., & Sulhadi. (2015). Identification of Carbon Dots in Waste Cooking Oil. *Advanced Materials Research*, *1123*, 402–405.

Bao, *et al*. (2011). Electrochemical tuning of luminescent carbon nanodots: From preparation to luminescence mechanism. *Advanced Materials*, *23*(48), 5801–5806.

Bhaisare, M. L., Talib, A., Khan, M. S., Pandey, S., & Wu, H. F. (2015). Synthesis of fluorescent carbon dots via microwave carbonization of citric acid in presence of tetraoctylammonium ion, and their application to cellular bioimaging. *Microchimica Acta*, *182*(13–14), 2173–2181.

Bowden, M., & Gardiner, D. J. (1997). Stress and structural images of microindented silicon by Raman microscopy. *Applied Spectroscopy*, *51*(9), 1405–1409.

Callister, William D. & David G. Rethwisch. 2009. *Material Science and Engineering An Introduction*. USA: John Willey and Sons.

Emam, A. N., Loutfy, S. A., Mostafa, A. A., Awad, H., & Mohamed, M. B. (2017). Cyto-toxicity, biocompatibility and cellular response of carbon dots-plasmonic based nano-hybrids for bioimaging. *RSC Advances*, *7*(38), 23502–23514.

Fessenden, Ralp J. & Joan S. Fessenden. 1982. Kimia Organik Edisi Ketiga. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Gude, V. (2014). Synthesis of hydrophobic photoluminescent carbon nanodots by using L-tyrosine and citric acid through a thermal oxidation route. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, *5*(1), 1513–1522.

Gurses, *et al.* 2016. *Dyes and Pigments.* USA: Springer.

Ismail, B., Sc, F. B., & Yassin, E. E. (2010). Management of PET Plastic Bottles Waste Through Recycling In Khartoum State. *Sudan Academy of Science*, 90.

Jelinek, R. (2017). *Carbon Quantum Dots Synthesis, Properties and Applications*. (A. Paulo, Ed.). USA.

Li, H., Kang, Z., Liu, Y., & Lee, S. T. (2012). Carbon nanodots: Synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry*, *22*(46), 24230–24253.

Lin, P. Y., *et al*. (2014). Eco-friendly synthesis of shrimp egg-derived carbon dots for fluorescent bioimaging. *Journal of Biotechnology*, *189*, 114–119.

Lu, L., Feng, C., Xu, J., Wang, F., Yu, H., Xu, Z., & Zhang, W. (2017). Hydrophobic-carbon-dot-based dual-emission micelle for ratiometric fluorescence biosensing and imaging of Cu2+in liver cells. *Biosensors and Bioelectronics*, *92* (January), 101–108.

Lu, S., Sui, L., Liu, J., Zhu, S., Chen, A., Jin, M., & Yang, B. (2017). Near-Infrared Photoluminescent Polymer–Carbon Nanodots with Two-Photon Fluorescence. *Advanced Materials*, *29*(15), 1–6.

Margraf, J. T., Strauss, V., Guldi, D. M., & Clark, T. (2015). The Electronic Structure of Amorphous Carbon Nanodots.

Namdari, P., Negahdari, B., & Eatemadi, A. (2017). Synthesis, properties and biomedical applications of carbon-based quantum dots: An updated review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, *87*(88), 209–222.

Nasution, R. S. (2015). Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik. *Journal of Islamic Science and Technology*, *1*(1), 97–104.

Niu, J., Gao, H., *et al.* (2014). Facile synthesis and optical properties of nitrogen-doped carbon dots. *New Journal of Chemistry*, *38*(4), 1522–1527.

Ogi, T., Aishima, K., Permatasari, F. A., Iskandar, F., Tanabe, E., & Okuyama, K. (2016). Kinetics of nitrogen-doped carbon dot formation: Via hydrothermal synthesis. *New Journal of Chemistry*, *40*(6), 5555–5561.

Papaioannou, N., *et al*. (2018). Structure and solvents effects on the optical properties of sugar-derived carbon nanodots. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–10.

Park, Y., Yoo, J., Lim, B., Kwon, W., & Rhee, S. W. (2016). Improving the

functionality of carbon nanodots: Doping and surface functionalization. *Journal of Materials Chemistry A*, *4*(30), 11582–11603.

Pereira, A. P. dos S., Silva, M. H. P. da, Júnior, É. P. L., Paula, A. dos S., & Tommasini, F. J. (2017). Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete Waste. *Materials Research*, *20*, 411–420.

Perez, M. J., Gonzalez, I., Saiz, J. M., Moreno, F., & Gonzalez, F. (2009). Saturation processes of photoluminescent pigments embedded in sinterized glass. *Journal of Modern Optics*, *56*(13), 1466–1474.

Pires, N. R., Santos, C. M. W., Sousa, R. R., de Paula, R. C. M., Cunha, P. L. R., & Feitosa, J. P. A. (2015). Novel and fast microwave-assisted synthesis of carbon quantum dots from raw cashew gum. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *26*(6), 1274–1282.

Prasannan, A., & Imae, T. (2013). One-pot synthesis of fluorescent carbon dots from orange waste peels. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *52*(44), 15673–15678.

Puvvada, N., Kumar, B. N. P., Konar, S., Kalita, H., Mandal, M., & Pathak, A. (2012). Synthesis of biocompatible multicolor luminescent carbon dots for bioimaging applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, *13*(4).

Roy, P., Chen, P. C., Periasamy, A. P., Chen, Y. N., & Chang, H. T. (2015). Photoluminescent carbon nanodots: Synthesis, physicochemical properties and analytical applications. *Materials Today*, *18*(8), 447–458.

Sarker, M., Kabir, A., Rashid, M. M., Molla, M., & Din Mohammad, A. S. M. (2011). Waste Polyethylene Terephthalate (PETE-1) Conversion into Liquid Fuel. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, *1*, 1–5.

Sarker, M., & Rashid, M. M. (2013). Thermal Degradation of Poly (ethylene terephthalate) Waste Soft Drinks Bottles and Low Density Polyethylene Grocery Bags. *International Journal of Sustainable Energy and Environment*, *1*(3), 78–86.

Shi, Q. Q., Li, Y. H., Xu, Y., Wang, Y., Yin, X. B., He, X. W., & Zhang, Y. K. (2014). High-yield and high-solubility nitrogen-doped carbon dots: Formation, fluorescence mechanism and imaging application. *RSC Advances*, *4*(4), 1563–1566.

Siddiqui, J., & Pandey, G. (2013). A Review of Plastic Waste Management Strategies, *2*(12), 84–88.

Sun, Y. P., *et al.* (2006). Quantum-sized carbon dots for bright and colorful

photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, *128*(24), 7756–7757.

Surono, U. B. (2013). Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik. *Jurnal Teknik*, *3*(1), 32–40.

Tawiah, P. O., Andoh, P. Y., & Nyarko, F. (2016). Characterization of Recycled Plastics for Structural Applications, *5*(6), 259–267.

Venkatachalam, *et al*. (2012). Degradation and Recyclability of Poly (Ethylene Terephthalate). *Polyester*.

Wang, D., Zhu, L., McCleese, C., Burda, C., Chen, J. F., & Dai, L. (2016). Fluorescent carbon dots from milk by microwave cooking. *RSC Advances*, *6*(47), 41516–41521.

Wang, L., *et al.* (2014). Common origin of green luminescence in carbon nanodots and graphene quantum dots. *ACS Nano*, *8*(3), 2541–2547.

Wang, R., Lu, K.-Q., Tang, Z.-R., & Xu, Y. J. (2017). Recent progress in carbon quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalysis. *J. Mater. Chem. A*, *5*(8), 3717–3734.

Wei, J., *et al*. (2014). Simple one-step synthesis of water-soluble fluorescent carbon dots from waste paper. *New Journal of Chemistry*, *38*(3), 906–909.

Wicaksono & Arijanto (2017). Pengolahan sampah plastik jenis PET *5*(1), 9–15.

Wu, Z. L., Liu, Z. X., & Yuan, Y. H. (2017). Carbon dots: Materials, synthesis, properties and approaches to long-wavelength and multicolor emission. *Journal of Materials Chemistry B*, *5*(21), 3794–3809.

Yang, Z., *et al*. (2013). Controllable Synthesis of Fluorescent Carbon Dots and Their Detection Application as Nanoprobes. *Nano-Micro Letters*, *5*(4).

Yang, *et al*. (2016). *Carbon Nanoparticles and Nanostructures*. USA: Springer.

Zhu, *et al*. (2013). Highly photoluminescent carbon dots for multicolor patterning, sensors, and bioimaging. *Angewandte Chemie - International Edition*, *52*(14), 3953–3957.