

**PEMBUATAN KARBON DOT DARI AMPAS KOPI DENGAN VARIASI
DOPING NITROGEN (N), SULFUR (S), DAN BORON (B) SEBAGAI
DETEKTOR LOGAM BERAT**

SKRIPSI

Oleh:
AHMAD RIKIH
NIM. 19640007



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

HALAMAN PENGANTAR

**PEMBUATAN KARBON DOT DARI AMPAS KOPI DENGAN VARIASI
DOPING NITROGEN (N), SULFUR (S), DAN BORON (B) SEBAGAI
DETEKTOR LOGAM BERAT**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:
AHMAD RIKIH
NIM. 19640007

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

PEMBUATAN KARBON DOT DARI AMPAS KOPI DENGAN VARIASI
DOPING NITROGEN (N), SULFUR (S), DAN BORON (B) SEBAGAI
DETEKTOR LOGAM BERAT

SKRIPSI

Oleh:
AHMAD RIKIH
NIM. 19640007

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal: 27 September 2023

Penguji Utama	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji	<u>Utuya Hikmah, M.Si</u> NIP. 198800605 202321 2 054	
Sekretaris Penguji	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	<u>Dr. Umayyatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Rikih

Nim : 19640007

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : Pembuatan Karbon Dot dari Ampas Kopi dengan Variasi Doping Nitrogen (N), Sulfur (S), dan Boron (B) sebagai Detektor Logam Berat

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dalam naskah ini yang disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka yang saya gunakan. Apabila hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 September 2023
Yang Membuat Pernyataan



Ahmad Rikih
NIM. 19640007

MOTTO

“ONE DAY OR DAY ONE”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ayahanda Arifin dan Ibunda Ernawati yang telah menjadi inspirasi dan memberikan berbagai dukungan serta do'a yang tiada henti untuk kesuksesan saya. Ucapan terimakasih saja tidak akan cukup untuk membalas kebaikan orang tua
2. Adik kandung saya tercinta yang selalu memberi do'a dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Diri saya sendiri, terimakasih telah berjuang sampai titik ini
4. Ibu Dr. Erna Hastuti, M.Si, serta segenap dosen program studi fisika UIN Malang, terimakasih atas segala ilmu yang diberikan, dukungan, bimbingan, semangat, dan motivasi
5. Teman-teman fisika angkatan 2019 terimakasih atas kebersamaannya selama menempuh kuliah. Dan juga seluruh sahabat saya yang senantiasa memberikan dukungan semangat, motivasi, dan candaan serta hiburan mereka yang menemani proses saya

Terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan memberi semangat kepada saya. Semoga Allah senantiasa membalas kebaikan dan menjadikan kita manusia yang berguna serta selamat baik didunia dan akhirat.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmat berupa kesehatan, kesempatan, dan kesabaran sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Pembuatan Karbon Dot dari Ampas Kopi dengan Variasi Doping Nitrogen (N), Sulfur (S), dan Boron (B) sebagai Detektor Logam Berat”.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan penulisan proposal skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Orang tua tercinta beserta keluarga yang telah memberikan nasihat, do'a, dan dukungan serta memotivasi penulis untuk senantiasa pantang menyerah hingga saat ini.
2. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si, selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Dr. Erna Hastuti, M.Si, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, dukungan, dan bantuan dalam penyusunan proposal skripsi ini.
4. Segenap dosen, laboran dan admin program studi fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
5. Segenap mahasiswa fisika angkatan 2019, yang telah mendukung dan memberi semangat kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.

6. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan ini. Serta penulis berharap semoga proposal skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pembaca..

Malang, 16 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ASTRACT	xvi
ملخص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Ampas Kopi	7
2.2 Karbon Dot	8
2.3 Metode Pembuatan Karbon Dot	11
2.4 Doping Karbon Dot	13
2.5 Karbon Dot Sebagai Detektor Logam Berat	14
2.6 Logam Berat	17
2.7 Karakterisasi	18
2.7.1 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)	18
2.7.2 X-Ray Diffraction (XRD)	20
2.7.3 Spektrofotometer UV-Vis	22
2.7.4 Photoluminescence (PL)	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Jenis Penelitian	27
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan	27
3.3.1 Alat Penelitian	27
3.3.2 Bahan Penelitian	28
3.3.3 Alat Karakterisasi	29
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.5.1 Pembuatan Karbon Dot Ampas Kopi	31

3.5.2 Karakterisasi	32
3.5.3 Rencana Analisis Data	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data Hasil Penelitian	37
4.1.1 Karakteristik Karbon Dot	38
4.1.2 Kemampuan Karbon Dot sebagai Detektor Logam Berat	45
4.2 Pembahasan	52
4.3 Kajian Keislaman	55
BAB V PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Limbah Ampas Kopi	7
Gambar 2.2 Struktur Karbon Dot.....	9
Gambar 2.3 Metode Sintesis Karbon Dot	12
Gambar 2.4 Skema Pembuatan Karbon Dot Ampas Kopi.....	13
Gambar 2.5 Berbagai Doping Karbon Dot dan Aplikasinya	14
Gambar 2.6 Fluoresensi Karbon Dot	15
Gambar 2.7 Deteksi Ion Logam Fe^{3+} dan Pb^{2+} dengan Karbon Dot.....	16
Gambar 2.8 Spektrum FTIR Karbon Dot.....	19
Gambar 2.9 Hasil XRD Karbon Dot.....	22
Gambar 2.10 Spektrum Absorbansi Karbon Dot	24
Gambar 2.11 Prinsip Photoluminescence	25
Gambar 2.12 Karakterisasi Photoluminescence Karbon Dot	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1 Grafik FTIR CD, CD-N, CD-S, dan CD-B	38
Gambar 4.2 Grafik XRD CD, CD-N, CD-S, dan CD-B	40
Gambar 4.3 Daerah Amorf Karbon Dot.....	41
Gambar 4.4 Absorbansi dan Energi Gap CD, CD-N, CD-S, dan CD-B.....	42
Gambar 4.5 Karbon Dot pada Sinar Tampak dan UV-Light 395 nm	44
Gambar 4.6 Grafik PL CD, CD-N, CD-S, dan CD-B	45
Gambar 4.7 Absorbansi CD, CD-N, CD-S, dan CD-B dengan Pb^{2+}	46
Gambar 4.8 Absorbansi CD, CD-N, CD-S, dan CD-B dengan Fe^{3+}	47
Gambar 4.9 PL CD, CD-N, CD-S, dan CD-B dengan Pb^{2+} dan Fe^{3+}	50
Gambar 4.10 Endapan CD-S dengan ion Pb^{2+} dan Fe^{3+}	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keunggulan dan Kelemahan Metode Sintesis CD.....	12
Tabel 2.2 Daftar Bilangan Gelombang dari Berbagai Gugus Fungsi	20
Tabel 3.1 Rencana Analisis Data FTIR.....	33
Tabel 3.2 Rencana Analisis Data XRD.....	34
Tabel 3.3 Rencana Analisis Data Spektrofotometer UV-Vis.....	35
Tabel 3.4 Rencana Analisis Data Kemampuan Sensor Ion Logam Berat.....	36
Tabel 3.5 Rencana Analisis Data PL.....	36
Tabel 4.1 Nama Sampel Karbon Dot	38
Tabel 4.2 Gugus Fungsi Karbon Dot Ampas Kopi	39
Tabel 4.3 Nilai Energi Gap Karbon Dot Ampas Kopi	43
Tabel 4.4 Kode Sampel dengan Ion Logam Pb^{2+} dan Fe^{3+}	46
Tabel 4.5 Hasil Pendaran Karbon Dot dengan Ion Pb^{2+}	48
Tabel 4.6 Hasil Pendaran Karbon Dot dengan Ion Fe^{3+}	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Skema Penelitian	67
Lampiran 2 Data FTIR	70
Lampiran 3 Data XRD	72
Lampiran 4 Data UV-Vis	74
Lampiran 5 Uji Pendaran menggunakan UV-Light 395 nm	78
Lampiran 6 Data PL	79
Lampiran 7 Uji Kemampuan Deteksi Logam Berat dengan UV-Light 395 nm	80
Lampiran 8 Endapan Karbon Dot dengan Ion Logam Pb ²⁺ dan Fe ³⁺	82

ABSTRAK

Rikih, Ahmad. 2023. **Pembuatan Karbon Dot dari Ampas Kopi dengan Variasi Doping Nitrogen (N), Sulfur (S), dan Boron (B) sebagai Detektor Logam Berat**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Erna Hastuti, M.Si (II) Dr. Umayiyatus Syarifah, M.A.

Kata Kunci: Karbon dot; Ampas kopi; Doping; Detektor; Logam berat

Produksi kopi yang semakin meningkat setiap tahun berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan. Dalam skala besar, limbah ampas kopi memberikan dampak negatif karena dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu perlu adanya pemanfaatan limbah ampas kopi secara optimal. Melimpahnya senyawa karbon pada limbah ampas kopi menjadikannya berpotensi sebagai bahan baku karbon dot berfluoresensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik karbon dot dari limbah ampas kopi yang digunakan sebagai detektor logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Pembuatan karbon dot dari ampas kopi dilakukan dengan pendekatan *top-down* melalui proses sonikasi dan pemanasan pada temperatur $200^{\circ}C$ selama 2 jam. Karbon dot dari ampas kopi memiliki karakteristik gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang 1630 cm^{-1} yang berasal dari gugus fungsi aromatik. Proses pemanasan menghasilkan gugus fungsi C-H, O-H, dan C=O yang mengindikasikan terbentuknya gugus fungsi pada permukaan karbon dot. Penambahan doping mengakibatkan munculnya gugus fungsi C=N, S=O, dan B-O. Karbon dot ampas kopi memiliki fasa amorf pada $10-35^{\circ}$. Spektrum absorbansi karbon dot dari ampas kopi berada pada rentang panjang gelombang $200-270\text{ nm}$ dan $300-340\text{ nm}$. Energi gap karbon dot dari ampas kopi berada pada rentang energi $3,27-3,34\text{ eV}$. Karbon dot ampas kopi menunjukkan sifat fotoluminesensi dengan warna emisi biru kehijauan (cyan) dibawah sinar UV 395 nm . Pendaran tersebut mengindikasikan terbentuknya karbon dot. Intensitas emisi maksimum karbon dot ampas kopi berada pada rentang panjang gelombang $456-473\text{ nm}$. Hasil pengujian karbon dot sebagai pendeteksi ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} menunjukkan hilangnya puncak absorbansi, meredupnya pendaran, dan menurunnya intensitas emisi dari karbon dot.

ABSTRACT

Rikih, Ahmad. 2023. **Production of Carbon Dots from Coffee Grounds with Various Doping of Nitrogen (N), Sulfur (S), and Boron (B) as Heavy Metal Detectors.** Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor: (I) Dr. Erna Hastuti, M.Si (II) Dr. Umaiyatus Syarufah, M.A.

Keywords: Carbon dot; Coffee grounds; Doping; Detecor; Heavy metal

Increased coffee production in every year is directly proportional to the waste produced. On a large scale, coffee grounds have a negative impact because they can pollute the environment. Therefore, it is necessary to optimally utilize coffee grounds. The abundance of carbon compounds in coffee grounds makes it has a potential as a raw material for fluorescent carbon dots. This study aims to determine the characteristics of the carbon dot from coffee grounds used as a detector for Pb^{2+} and Fe^{3+} heavy metal ions. Fabrication of carbon dots coffee grounds is carried out using a top-down approach through a sonication process and heating at $200^{\circ}C$ for 2 hours. The carbon dot from coffee grounds has the C=C functional group at wavenumber 1630 cm^{-1} , which is comes from the aromatic functional group. The heating process produced C-H, O-H, and C=O functional groups, which is indicate the formation of functional groups on the carbon dot surface. The addition of doping resulted in the appearance of the functional groups C=N, S=O, and B-O. Coffee ground carbon dot has an amorphous phase at $10-35^{\circ}$. The absorbance spectrum of the carbon dot from coffee grounds is in the wavelength range of $200-270\text{ nm}$ and $300-340\text{ nm}$. The energy gap of the carbon dot from coffee grounds is in the energy range of $3.27-3.34\text{ eV}$. Coffee grounds carbon dot exhibits photoluminescent properties with a cyan emission colour when irradiated with UV light 395 nm . The fluorescent indicates the formation of a carbon dots. The maximum emission intensity of coffee grounds carbon dots is in the wavelength range at $456-473\text{ nm}$. The results of the carbon dot test as a detector for Pb^{2+} and Fe^{3+} metal ions showed a loss of absorbance peaks, quenched fluorescent, and the carbon dots emission intensity decreases.

ملخص البحث

ريكيه، أحمد. 2023. صنع نقاط الكربون من القهوة المطحونة مع أشكال المنشطات من النيتروجين (N) والكبريت (S) والبورون (B) كأجهزة للكشف عن المعادن الثقيلة. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. إرنا هاستوتي، الماجستير. المشرف الثاني: د. أمية الشريفة، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: نقاط الكربون، القهوة المطحونة، المنشطات، كاشف، المعادن الثقيلة.

إنتاج القهوة الذي يتزايد كل عام يتناسب طردياً مع النفايات المنتجة. على نطاق واسع، فإن نفايات القهوة المطحونة لها تأثير سلبي لأنها يمكن أن تلوث البيئة. لذلك، من الضروري الاستفادة المثلى من نفايات القهوة المطحونة. إن وفرة مركبات الكربون في نفايات القهوة المطحونة تجعلها محتملة كمادة خام من نقطة الكربون الفلورية. يهدف هذا البحث إلى تحديد خصائص نقاط الكربون من نفايات القهوة المطحونة المستخدمة كأجهزة للكشف عن المعادن الثقيلة Pb^{2+} و Fe^{3+} . يتم صنع نقاط الكربون من القهوة المطحونة بنهج من أعلى إلى أسفل من خلال عملية صوتية وتسخين عند درجة حرارة 200 درجة مئوية لمدة ساعتين. تحتوي نقاط الكربون من القهوة المطحونة على مجموعة وظيفية مميزة $C=C$ عند الرقم الموجي 1630 سم⁻¹ مشتقة من مجموعات وظيفية عطرية. أنتجت عملية التسخين مجموعات وظيفية $C-H$ و $O-H$ و $C=O$ والتي تشير إلى تكوين مجموعات وظيفية على سطح نقاط الكربون. تؤدي إضافة المنشطات إلى ظهور مجموعات وظيفية $C=N$ و $S=O$ و $B-O$. القهوة المطحونة ذات النقاط الكربونية لها مرحلة غير متبلورة عند 10-35 درجة مئوية. يتراوح طيف امتصاص نقطة الكربون من القهوة المطحونة في نطاق الطول الموجي 200-270 نانومتر و 300-340 نانومتر. تقع طاقة فجوة نقاط الكربون من القهوة المطحونة في نطاق الطاقة من 3.27-3.34 فولت. تتميز القهوة المطحونة ذات نقاط الكربون بخصائص تألؤ ضوئي بلون انبعاث أزرق مخضر (مماوي) تحت ضوء الأشعة فوق البنفسجية يبلغ 395 نانومتر. أشار التألؤ إلى تكوين نقاط الكربون. تقع كثافة الانبعاث القصى لنقاط الكربون من القهوة المطحونة في نطاق الطول الموجي 456-473 نانومتر. أظهرت نتائج اختبار نقاط الكربون ككاشف أيونات معدنية Pb^{2+} و Fe^{3+} فقدان قمم الامتصاص، وتعتيم التألؤ، وانخفاض كثافة الانبعاثات من نقاط الكربون.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan minuman yang banyak dikonsumsi di berbagai negara termasuk di Indonesia. Minat masyarakat terhadap kopi terus meningkat setiap tahunnya. Menurut Kementerian Pertanian, produksi kopi di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 765.415 ton. Jumlah itu meningkat sekitar 1,52% dari tahun sebelumnya dengan total 753.941 ton. Produksi kopi yang meningkat mengakibatkan limbah ampas kopi yang dihasilkan juga meningkat (Kasdi, 2020). Ampas kopi mengandung karbon sebesar 47,8-58,9%, nitrogen sebesar 1,9-2,3%, abu sebesar 0,43-1,6%, dan selulosa 8,6% (Caetano, 2012). Hingga saat ini limbah ampas kopi hanya dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan masker kecantikan, sedangkan sisanya dibiarkan membusuk secara alami. Dalam skala besar limbah ampas kopi yang terurai di ruangan terbuka dapat menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu penyebab pemanasan global (George, 2021).

Dalam Q.S Al-Jasiyah [45]: 13 disebutkan bahwa Allah telah menundukkan apa yang ada di langit dan di bumi agar manusia dapat memanfaatkannya,

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya : “Dia telah menundukkan (pula) untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir.”(QS. Al-Jasiyah [45]: 13)

Pada QS. Al-Jasiyah [45]: 13 terdapat lafal *wamaa fii al-ardhi* artinya semua yang ada di bumi seperti tanah, udara, air, tanaman, dan sebagainya merupakan rahmat yang semata-mata bersumber dari-Nya. Allah menetapkan hal tersebut dan mengilhami manusia tentang pengetahuan fenomena alam agar dapat

mereka manfaatkan untuk kemaslahatan dan kenyamanan hidup manusia (Shihab, 2006). Berdasarkan penafsiran tersebut, seluruh hal yang ada di bumi dapat dimanfaatkan termasuk limbah. Sehingga pada penelitian ini limbah ampas kopi dipilih sebagai bahan baku pembuatan karbon dot.

Karbon dot merupakan material karbon yang berukuran kurang dari 10 nm, berdimensi 0 (*zero dimension*) dan memiliki kemampuan memendarkan cahaya atau fluoresensi. Karbon dot memiliki beberapa keunggulan seperti mudah larut, tidak beracun jika disintesis dari biomassa, fotostabilitas tinggi, dan mampu difungsikan dengan molekul lain berdasarkan aplikasinya. Karbon dot dapat dibuat dari berbagai metode dengan biaya pembuatan yang terjangkau. Pada penelitian ini, karbon dot disintesis dari limbah ampas kopi dengan pendekatan *top-down* yaitu pemecahan material berukuran besar menjadi material berukuran nanometer. Limbah ampas kopi dipecah menggunakan metode sonikasi (Arum, 2018) dan dikombinasikan dengan metode pemasanan serta pengadukan (*stirring*) yang merujuk pada penelitian Sung Jung Park (2022).

Sung Jung Park, dkk., (2022) berhasil membuat karbon dot dari ampas kopi dengan puncak emisi 460 nm (biru kehijauan/cyan) serta bentuk partikel seragam yang berukuran antara 6-7 nm dengan nilai quantum yield sebesar 11%. Mao, dkk., (2010) menyatakan bahwa kualitas karbon dot dapat ditingkatkan dengan perlakuan tertentu untuk meningkatkan fotoluminesensi atau fungsionalisasi sehingga menghasilkan sifat yang selaras dengan aplikasinya (Goncalves, dkk., 2010). Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas karbon dot adalah doping. Berdasarkan

penelitian terdahulu, pemberian doping berpengaruh terhadap sifat struktural dan dapat mengubah spektrum pendaran karbon dot (Alvin, dkk., 2019).

Pendaran karbon dot atau fluoresensi dimanfaatkan sebagai metode deteksi optik (Long, dkk., 2021). Prinsip fluoresensi banyak diterapkan karena pengamatan dapat dilakukan dengan mata langsung, mudah (Zou, 2015), pembacaan cepat, dan biaya terjangkau, sehingga deteksi optik berdasarkan fluoresensi dapat mendorong analisis yang lebih cepat dan sederhana (Lewa, dkk., 2019). Dalam bidang deteksi optik, karbon dot banyak dimanfaatkan sebagai material deteksi ion logam (Yan, dkk., 2022). Sebagian besar jurnal melaporkan penggunaan karbon dot sebagai material sensor optik yang berhasil mendeteksi beberapa ion logam berat misalnya deteksi Fe^{3+} (Yan, dkk., 2022), Hg^{2+} (Bansod, dkk., 2017), Ag^+ (Luo, dkk., 2018), Cr^{6+} (Pacquiao, dkk., 2018), Pb^{2+} (Tabaraki, dkk., 2019), atau Cu^{2+} melalui proses *quenching fotoluminesens* (Hao, dkk., 2017).

Logam berat menjadi ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia karena logam berat bersifat toksik (beracun). Logam berat tidak dapat terdegradasi dan mudah terabsorpsi. Sifat mudah terabsorpsi yang menyebabkan logam berat dapat dengan mudah mencemari lingkungan. Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990), toksisitas logam berat dapat dibagi ke dalam tiga kelompok, yaitu logam berat 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. Pada penelitian ini dipilih ion logam timbal (Pb) dan besi (Fe) karena jumlah senyawanya semakin meningkat seiring dengan berkembangnya kegiatan manusia

seperti pertambangan (Igwe, dkk., 2006), manufaktur, pembakaran bahan bakar fosil, industri minyak, kosmetik, amunisi, dan sebagainya (Martin, dkk., 2009).

Berdasarkan uraian sebelumnya, pada penelitian ini dibuat karbon dot berbahan dasar limbah ampas kopi dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) sebagai material pendeteksi logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Penambahan doping diharapkan dapat mengubah spectrum pendaran karbon dot. Karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya Fourier Transform Infra Red (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari karbon dot yang dihasilkan, spektrofotometer UV Visible (UV-Vis) untuk mengetahui energi gap, X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk, spektroskopi Photoluminescence (PL) untuk mengetahui panjang gelombang emisi yang dihasilkan, dan uji kemampuan deteksi logam berat menggunakan UV-Light 395 nm untuk mengetahui pendaran warna dan mengetahui kemampuan karbon dot dalam mendeteksi logam berat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) terhadap gugus fungsi, fasa, panjang gelombang serapan, dan energi gap karbon dot dari ampas kopi?
2. Bagaimana pengaruh penambahan doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) terhadap warna pendaran karbon dot dari ampas kopi?
3. Bagaimana pengaruh variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) terhadap intensitas emisi dan warna pendaran karbon dot dari ampas kopi sebagai detektor logam berat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui gugus fungsi, fasa, panjang gelombang serapan, dan energi gap karbon dot dari ampas kopi dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B)
2. Mengetahui pengaruh penambahan doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) terhadap warna pendaran karbon dot dari ampas kopi
3. Mengetahui pengaruh variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) terhadap intensitas emisi dan warna pendaran karbon dot dari ampas kopi sebagai detektor logam berat

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas espresso dengan jenis kopi robusta yang didapatkan dari CO Coffee and Eatery.
2. Bahan *dopant* nitrogen (N) didapatkan dari urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), bahan *dopant* sulfur (S) didapatkan dari natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), dan bahan *dopant* boron (B) didapatkan dari asam borat (H_3BO_3).
3. Konsentrasi *dopant* pada karbon dot dibuat sama yaitu sebesar 25% dari berat ampas kopi yang digunakan.
4. Logam berat yang digunakan adalah 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 Fe^{3+} yang berasal dari larutan besi (III) klorida ($(\text{FeCl}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dalam pelarut aquades.
5. Alat uji kemampuan deteksi ion logam berat menggunakan UV-light dengan panjang gelombang 395 nm.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pembuatan karbon dot dari ampas kopi dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) sebagai detektor logam berat
2. Memperkenalkan penelitian tentang pembuatan karbon dot berbahan dasar ampas kopi yang mudah dan cepat
3. Mendapatkan informasi karakteristik karbon dot ampas kopi dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) sebagai detektor logam berat
4. Ikut berperan dalam pemanfaatan limbah ampas kopi menjadi material yang berdaya guna tinggi

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Ampas Kopi

Kopi merupakan minuman yang banyak digemari di seluruh dunia. Menurut data International Coffee Organization, konsumsi kopi global pada periode 2020-2021 mencapai 166,35 juta kantong berukuran 60 kilogram. Jumlah tersebut meningkat 1,3% dibandingkan periode sebelumnya yang sebanyak 164,2 juta kantong berukuran 60 kilogram. Indonesia berada pada urutan kelima dengan konsumsi kopi sebanyak 5 juta kantong berukuran 60 kg. Konsumsi kopi yang terus meningkat mengakibatkan limbah ampas kopi yang dihasilkan juga meningkat (ICO, 2022).



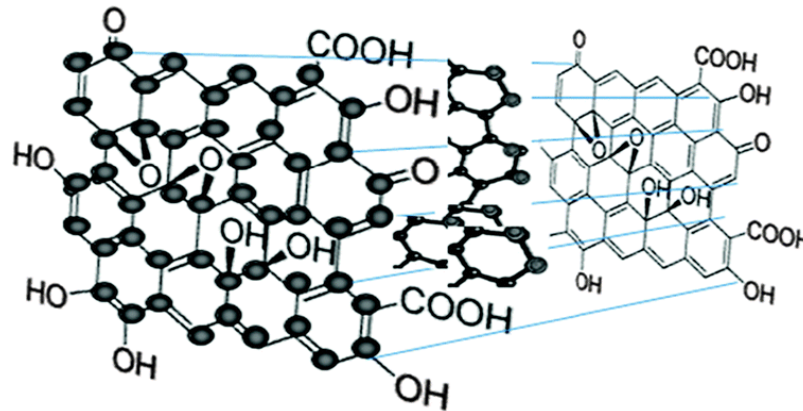
Gambar 2.1 Limbah Ampas Kopi

Ampas kopi adalah sisa bubuk kopi berbentuk padatan yang tidak larut dalam air selama proses ekstraksi kopi. Limbah ampas kopi yang tidak diolah dengan baik akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan karena mengandung zat kimia yang beracun seperti alkaloid, tanin, dan polifenol. Hal ini membuat lingkungan degradasi biologis terhadap material organik lebih sulit dan membutuhkan banyak sekali oksigen agar dapat mendegradasi limbah kopi tersebut. Selain itu, limbah ampas kopi dalam skala besar yang terurai di ruangan

terbuka dapat menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu penyebab pemanasan global (George, 2021). Ampas kopi berpotensi untuk dimanfaatkan kembali karena mengandung karbon 47,8-58,9%, nitrogen 1,9-2,3%, abu 0,43-1,6%, dan selulosa 8,6% (Caetano, 2012). Ampas kopi memiliki sifat yang sedikit asam dengan pH berkisar pada skala 6,2 (Cruz, dkk., 2012).

2.2 Karbon Dot

Karbon dot (CD) adalah sebuah material karbon yang berukuran kurang dari 10 nm, berdimensi 0 (*zero dimension*), dan memiliki kemampuan fluoresensi atau memancarkan cahaya (Sun, dkk., 2017). Karbon dot merupakan kelas baru dari nanomaterial fluoresensi berbasis inti karbon. Karbon dot pertama kali ditemukan secara tidak sengaja pada proses pemurnian *single-walled carbon nanotube* (SWCNT) melalui metode *arc discharge* pada tahun 2004 (Xu, dkk., 2004). Karbon dot terdiri dari bagian inti yang berasal dari gugus fungsi O-H, C-O, dan C=C pada rentang bilangan gelombang $3200-3600\text{ cm}^{-1}$, $2065-2080\text{ cm}^{-1}$, dan $1610-1680\text{ cm}^{-1}$ dan bagian permukaan yang berikatan dengan inti (Dwandaru, dkk., 2020). Karbon dot memiliki struktur amorf seperti bola, kerangka karbon sp^2 , dan permukaannya dilapisi dengan oksigen, polimer, dan sebagainya. Distribusi ukuran karbon dot yang heterogen terkonjugasi sp^2 dalam matrik sp^3 non-konjugasi sehingga menghasilkan tingkat energi sehingga menimbulkan perbedaan sifat optik, listrik, dan kimia dibanding dengan nanomaterial lain (Hasan, dkk., 2018).



Gambar 2.2 Struktur Karbon Dot (Shi, 2015)

Al-Qur'an menyebutkan atom atau nanomaterial sebagai dzarrah dalam Q.S

Yunus [10]: 61, Allah SWT berfirman:

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ ۗ وَمَا يَعْزُبُ عَنْ رَبِّكَ مِنْ مِثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ

Artinya: "Dan tidaklah engkau (Muhammad) berada dalam suatu urusan, dan tidak membaca suatu ayat Al-Qur'an serta tidak pula kamu melakukan suatu pekerjaan, melainkan Kami menjadi saksi atasmu ketika kamu melakukannya. Tidak lengah sedikit pun dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah, baik di bumi maupun di langit. Tidak ada sesuatu yang lebih kecil dan lebih besar daripada itu, melainkan semua tercatat dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuz)." (QS. Yunus [10]: 61)

Pada QS. Yunus [10]: 61 tertuang lafaz zarah yang diartikan dengan semut hitam kecil atau biji paling kecil. Abu Ja'far Muhammad bin Jarir Ath-Thabrani pada kitab Tafsir al-Jami' al-Bayanan Ta'wil Ayl al-Qur'an, menafsirkan dengan berat semut paling kecil. Abu Ja'far menjelaskan lafaz tersebut sebagai penegasan bahwa tiada hal sekecil apapun, meskipun memiliki timbangan yang ringan dan tiada pula hal paling besar yang dapat disembunyikan dari Allah SWT, karena Allah Maha Mengetahui (At-Thabari, 2008). Dalam Tafsir al-Mishbah Zarah diartikan dengan beberapa kata, seperti debu yang terlihat di celah matahari, kepala semut,

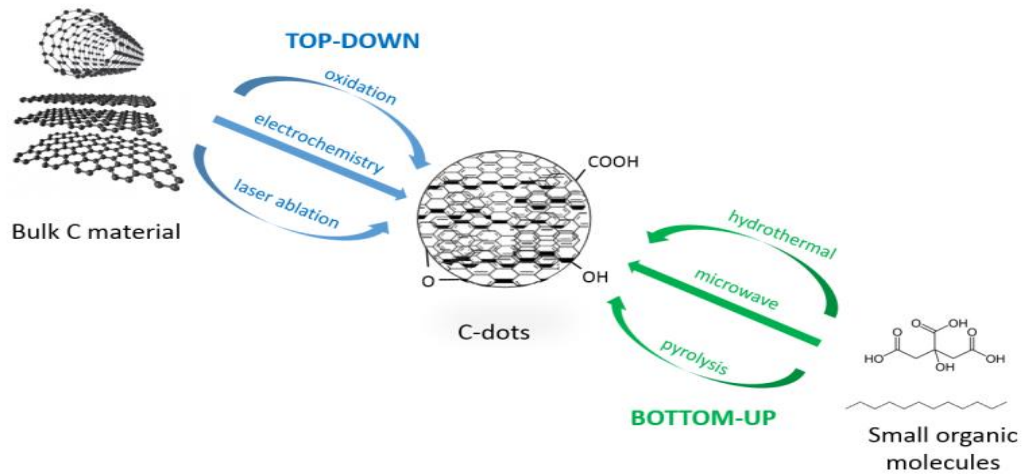
dan semut yang sangat kecil. Penggunaan kata zarah merujuk pada sesuatu yang paling kecil, sehingga maknanya terdapat perbedaan seperti yang disebutkan di atas (Shihab, 2002). Menurut Hamka pada Tafisr al-Azhar, dalam ilmu modern sekarang, lafaz zarah dikaitkan dengan atom. Penelitian mengenai atom telah dilakukan sedalam-dalamnya, dan sampai pada kesimpulan bahwa atom itu bertenaga, di mana dalam hitungan detik saja dapat menghancurkan ratusan ribu manusia, seperti yang terjadi di Hiroshima pada Agustus 1945. Atom berasal dari dua kata, yaitu a dan tom, atau tidak bisa terbagi lagi. Bahasa Arab menyebut atom dengan “al-Jauharul fard”. Penelitian terakhir tentang atom menjelaskan bahwa yang sebelumnya atom atau zarah tidak bisa terbagi lagi, adalah pemahaman yang salah. Hal ini dikarenakan atom ternyata masih terbagi menjadi eletron, neutron, dan proton (Hamka, 1990). Nanopartikel merupakan partikel berukuran kecil yang dapat menembus hambatan fisiologis dalam tubuh dan beredar dalam sistem peredaran darah dan banyak digunakan sebagai media penghantaran obat dalam tubuh. Nanopartikel memiliki bentuk yang sangat kecil sama seperti atom yang tidak dapat dilihat secara langsung dengan mata sehingga membutuhkan mikroskop untuk melihatnya. Al-Qur’an tidak membahas atom dengan spesifik, tetapi alQur’an menjelaskan secara tersirat dalam kata zarah. Para ulama dan mufassir menafsirkan zarah sebagai sesuatu yang berukuran kecil, dan mufassir modern selalu mengaitkannya dengan atom. Seiring dengan perkembangan zaman, terdapat teknologi baru dalam dunia sains yang dikenal dengan nanopartikel dan berukuran kecil seperti atom (Farah, dkk., 2023).

Terdapat banyak material berbasis nano karbon yang mempunyai sifat fluoresensi seperti *graphene quantum dots* (GDs), *nanodiamonds* (NDs), dan *carbon dots* (CDs). Semua material tersebut dibedakan berdasarkan strukturnya. Karbon dot berpotensi menjadi material alternatif karena memiliki struktur dan komposisi yang unik (Tuerhong, dkk., 2017). Keunggulan karbon dot diantaranya memiliki ukuran partikel yang lebih kecil, stabilitas tinggi dan tahan lama, ketahanan (resistansi) terhadap cahaya dan degradasi kimia, *high quantum yield*, pergeseran Stokes yang besar, larut dalam air, dan *low toxic* (Liu, dkk., 2019). Berdasarkan hal tersebut, karbon dot digunakan dalam beberapa aplikasi diantaranya sebagai sensor analitik, deteksi ion logam berat (Ding, dkk., 2015), fotokatalis (Qu, dkk., 2014), *bioimaging* (Fernando, dkk., 2015), pembuatan perangkat emisi cahaya, penginderaan, *drug delivery*, dan konversi energi (Barman, dkk, 2018).

2.3 Metode Pembuatan Karbon Dot

Karbon dot dapat disintesis dengan berbagai metode. Secara umum metode pembuatan karbon dot diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu pendekatan bottom-up dan top-down (Peng, dkk., 2009). Sintesis karbon dot dengan pendekatan bottom-up didasarkan pada pembentukan dari struktur nano kompleks dari suatu molekul atau atom untuk mencapai ukuran nano. Metode sintesis yang termasuk ke dalam pendekatan bottom-up diantaranya yaitu microwave, hidrotermal, ultrasonik dan oksidasi asam. Sedangkan, pendekatan top-down dilakukan dengan memecah rantai karbon besar (*bulk materials*) menjadi karbon berukuran sangat kecil (nanopartikel) dan biasanya melibatkan metode fisis. Metode sintesis yang termasuk ke dalam pendekatan top-down diantaranya yaitu

ablasi laser, elektrokimia, *plasma treatment* serta *arc-discharge*. (Sahu, dkk., 2012).



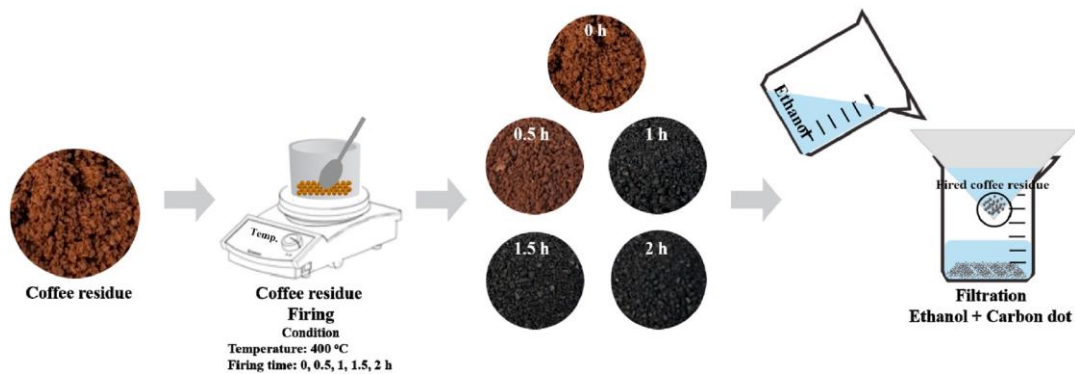
Gambar 2.3 Metode Sintesis Karbon Dot (Maria, 2019)

Tabel 2.1 Keunggulan dan kelemahan Metode Sintesis CD

Metode	Keunggulan	Kelemahan	Sumber
Laser Ablation	Prosesnya bebas kontaminasi dan produk samping sedikit	Pengoperasian rumit, sulit mengontrol ukuran	(Nguyen, dkk 2015), (Min, 2018), & (Kim, dkk., 2017)
Elektrokimia	Yield tinggi, kemurnian tinggi, serta murah.	Pengoperasian rumit, proses pemurniannya panjang	(Min, 2018)
Arc Discharge	Cacat produk yang dihasilkan rendah	Rendahnya quantum yield	(Prasad, 2019)
Hidrotermal	Murah, ramah lingkungan, non toksik, proses sederhana, serta efisien	Ukuran yang sulit dikontrol	(Wang & Hu, 2014), (Khan, dkk., 2020)
Microwave	Cepat dan sederhana, murah, ramah lingkungan, serta efisien.	Energi yang dibutuhkan cukup besar	(Wang & Hu, 2014), (Gu, dkk., 2016), (Min, 2018)

Sung Jung Park (2022) berhasil mengembangkan metode pembuatan karbon dot dengan cara yang mudah dan sederhana seperti pada gambar 2.5. Berdasarkan gambar 2.5, karbon dot dibuat dari limbah biomassa ampas kopi yang dipanaskan pada temperatur 400°C menggunakan magnetic stirrer dengan variasi waktu sintesis

selama 0, 0.5, 1, 1.5, dan 2 jam. Hasil dari pemanasan disaring dengan ethanol menggunakan filter membran 0,2 μm . Pada penelitian tersebut dihasilkan karbon dot berukuran rata-rata 6-7 nm yang memiliki warna pendaran biru kehijauan (cyan) di bawah sinar UV 365 nm.



Gambar 2.4 Skema Pembuatan karbon dot dari ampas kopi (Sung, dkk., 2022)

2.4 Doping Karbon Dot

Doping merupakan alternatif untuk meningkatkan kualitas karbon dot. Doping dapat diartikan sebagai penambahan pengotor atau atom-atom yang sesuai pada material tertentu. Tujuan doping adalah untuk memodifikasi struktur, sifat elektrik, dan sifat optik dari material tersebut (Wilson, 1965). Dalam proses sintesis karbon dot, efisiensi fluoresensi dari CD dapat ditingkatkan dengan doping heteroatom, seperti nitrogen (N), sulfur (S), fosfor (P), boron (B), serta atom lain. Peran dari nitrogen terdoping atau atom lain pada proses pembuatan karbon dot adalah mengontrol domain sp^2 sehingga dapat mengubah panjang gelombang emisi fotoluminesens (Nadhira, 2018). Doping dengan elemen elektronegatif seperti N akan mendorong pergeseran emisi biru, sedangkan doping dengan atom kurang elektronegatif seperti S mengakibatkan pergeseran emisi kuning-merah. Sementara itu, karakter fotoluminesensi akan berkorelasi dengan gugus fungsi dan doping heteroatom. Doping ganda CD atau *codoping* seperti doping N dan S (*NS codoped*)

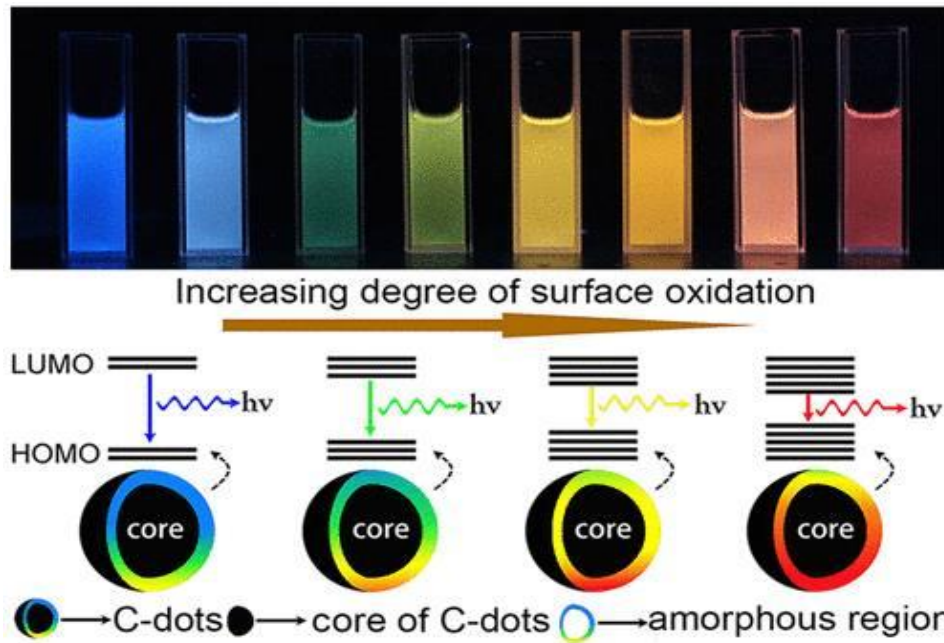
dapat diterapkan secara bersamaan untuk memunculkan lebih banyak tempat (sites) dalam mendeteksi ion-ion logam melalui ikatan kimia sehingga sensitifitas sensing meningkat (Ding, dkk., 2020).



Gambar 2.5 Berbagai Doping Karbon Dot dan Aplikasinya (Parya, dkk., 2022)

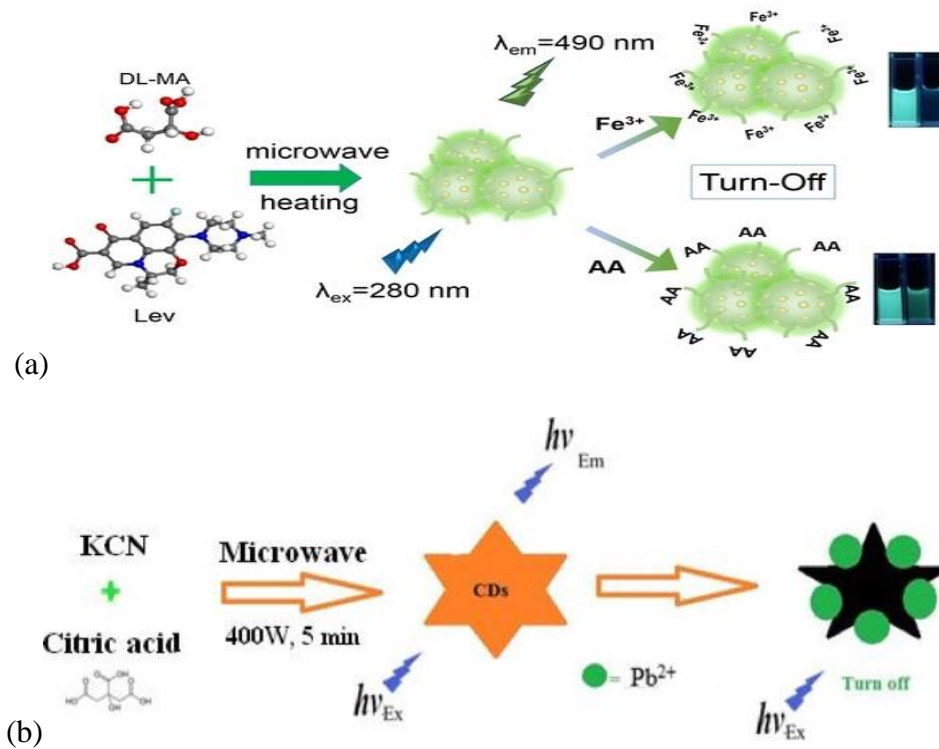
2.5 Karbon Dot Sebagai Detektor Logam Berat

Dengan hadirnya material karbon dot yang memiliki ciri fluoresensi, banyak peneliti yang mengembangkan teknik sederhana dalam mendeteksi logam berat dengan memanfaatkan sifat optik fluoresensi dari material karbon dot (Long, dkk., 2021). Fluoresensi merupakan terpancarnya sinar oleh suatu material yang telah menyerap sinar atau radiasi elektromagnetik (Douglas, dkk., 2006). Prinsip fluoresensi banyak diterapkan pada deteksi optik karena pengamatan dapat dilakukan dengan mata langsung (Zou, 2015), biaya terjangkau, serta kemudahan pengaplikasiannya sehingga mendorong analisis yang lebih cepat (Lewa, dkk., 2019). Prinsip terjadinya fluoresensi yaitu ketika sebuah sampel dipaparkan secara langsung dengan cahaya laser, kemudian sampel tersebut menyerap energi foton dari cahaya. Energi yang terserap menyebabkan elektron dari material melompat ke keadaan elektronik yang lebih tinggi lalu kembali ke keadaan dasar disertai pelepasan energi yang menghasilkan pendaran.



Gambar 2.6 Fluoresensi Karbon Dot (Hui Ding, dkk., 2015)

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa CD berhasil mendeteksi beberapa analit target melalui proses *quenching photoluminescence*, seperti deteksi ion logam berat Fe^{3+} (Yan, Z. dkk., 2022), Hg^{2+} (Bansod, dkk., 2017), Ag^+ (Luo, dkk., 2018), Cr^{6+} (Pacquiao, dkk., 2018), Pb^{2+} (Tabaraki, dkk., 2019), atau Cu^{2+} (Hao, dkk., 2017). Teknik deteksi yang dikembangkan dengan menggunakan material CD dibagi menjadi dua prinsip antara lain mekanisme *turn off* dan *turn on detection*. Perbedaan mekanisme deteksi ditandai dari reaksi yang muncul setelah proses pemberian ion logam berat. Apabila intensitas pendaran meredup (padam) yang disebut mekanisme *turn off detection*, sebaliknya apabila intensitas pendaran meningkat yang disebut mekanisme *turn on detection* (Shahbazi, dkk., 2019).



Gambar 2.7 Deteksi Ion Logam Fe^{3+} (Yan, Z. dkk., 2022) (a) dan Deteksi Ion Logam Pb^{2+} dengan Karbon Dot (Tabaraki, dkk., 2019) (b)

Pengaplikasian CD pada bidang sensor ion logam bekerja didasarkan pada penurunan emisi fotoluminesensi ketika diberikan analit (ion logam). Penurunan emisi pendaran atau yang disebut sebagai pemadaman (*quenching*) terjadi karena proses transfer muatan. Gambar 2.7 merupakan mekanisme fluoresensi sensor ion Fe^{3+} (gambar 2.7 a) yang bereaksi berdasarkan penurunan emisi CD. Mekanisme penambahan kation logam berat seperti Pb^{2+} (gambar 2.7 b) dalam larutan CD mengakibatkan intensitas pendaran menurun yang disebabkan oleh koordinasi antara kation dengan gugus fungsi yang terdapat pada permukaan CD sehingga terjadi transfer energi elektron non radiasi yang menyebabkan penurunan intensitas pendaran (Devi, dkk., 2018). Mekanisme penurunan emisi CD dengan ion logam berat dapat berupa *dynamic quenching* dan *static quenching*. *Dynamic quenching* mengacu pada mekanisme penurunan emisi ketika keadaan tereksitasi dari CD

kembali ke keadaan dasar yang merupakan akibat dari mekanisme transfer muatan. *Static quenching* pada CD terjadi ketika terjadi interaksi antara objek deteksi dan CD yang mengarah pada pembentukan kompleks kondisi dasar yang bersifat non-fluoresens. Dalam kondisi ini, pembentukan kompleks keadaan dasar dapat mengubah spektrum serapan CD. Adanya peningkatan suhu dapat mengakibatkan turunnya stabilitas kondisi dasar kompleks yang menyebabkan berkurangnya efek *static quenching* (Molaei, 2020). Dibanding dengan *static quenching*, pada *dynamic quenching* tidak ada perubahan dalam spektrum serapan CD yang dapat dideteksi dan penurunan hanya memengaruhi keadaan tereksitasi dari CD. Kemudian, waktu hidup CD dapat berubah dengan ada dan tidaknya objek deteksi. Peningkatan suhu akan menyebabkan peningkatan efek *dynamic quenching*. (Zu, dkk., 2017).

2.6 Logam Berat

Logam berat merupakan sekelompok elemen-elemen logam yang dikategorikan berbahaya jika masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Logam berat adalah logam yang memiliki nilai densitas lebih dari 5 g/cm^3 dengan nomor atom antara 21 (scandium) hingga 92 (uranium). Logam berat dapat dengan mudah masuk ke dalam tubuh manusia berbagai media seperti melalui makanan, air minum, dan udara. Logam berat memiliki massa atomik antara 63,5-200,6 gr/mol. Logam berat menjadi berbahaya atau beracun bagi tubuh ketika berada dalam kadar berlebihan di dalam tubuh (Irianti, 2017). Sifat racun muncul akibat ikatan logam dengan gugus fungsi thiol dari protein sehingga saat memasuki sel organisme, logam berat dapat mengubah siklus hidup sel yang ada dalam tubuh. Logam berat bisa bereaksi membentuk ikatan koordinasi dengan ligan dalam tubuh yang

berbentuk -OH, -COO, -OPO₃H⁻, -C=O, -SH, -S-S-, -NH₂ dan =NH. Logam berdasarkan toksisitasnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: (Darmono, 1995)

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

Logam-logam tertentu menjadi sangat berbahaya jika ditemukan dalam konsentrasi tinggi. Tetapi, logam berat juga berguna dalam proses kehidupan. Logam berat seperti besi, kobalt, seng, copper, serta mangan dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam konsentrasi rendah (Valko, dkk., 2005). Logam berat lain seperti kadmium, timbal, arsen, merkuri dan kromium dianggap sebagai logam yang berbahaya walaupun hanya dalam konsentrasi yang rendah (Bagal, dkk., 2008). Mekanisme toksisitas logam berat terjadi melalui penghambatan kinerja enzim, stress oksidatif, serta mengganggu metabolisme antioksidan di dalam tubuh (Gumpu, dkk., 2015).

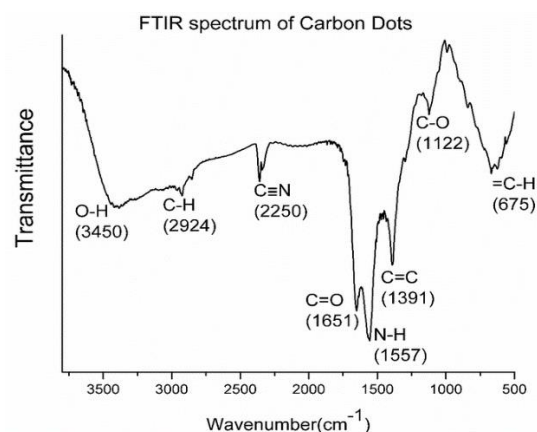
2.7 Karakterisasi

2.7.1 FTIR (Fourier Transform Infra-Red)

Spektrofotometer FTIR adalah salah satu alat karakterisasi yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya dengan melihat puncak-puncak spesifik yang mengindikasikan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Spektrum inframerah dihasilkan dari pentransmisiian cahaya yang melewati sampel, kemudian pengukuran intensitas cahaya oleh detektor yang selanjutnya dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah

yang diperoleh dapat diolah dan diplot sebagai intensitas fungsi energi dan bilangan gelombang (Marcott, 1986).

Apabila suatu radiasi gelombang elektromagnetik mengenai suatu materi, maka akan terjadi sebuah interaksi, seperti terjadinya absorpsi (penyerapan energy) oleh atom atau molekul-molekul dari materi tersebut. Absorpsi sinar ultraviolet dan cahaya tampak dapat mengakibatkan tereksitasinya elektron. Sementara itu absorpsi radiasi inframerah yang energinya tidak cukup untuk mengeksitasi elektron, sehingga hanya menyebabkan peningkatan amplitudo vibrasi (getaran) atom-atom dalam suatu molekul (Fessenden, 1997). Pada temperatur diatas nol absolut, seluruh atom dalam suatu molekul bergetar antara satu dengan yang lain. Saat frekuensi dari vibrasi spesifik sama dengan frekuensi dari radiasi inframerah (IR) yang mengenai secara langsung pada molekul, molekul itu akan menyerap radiasi. Gugus fungsi senyawa karbon merupakan gugus atom atau sekelompok atom yang menunjukkan sifat khas senyawa karbon tersebut. Gugus fungsi senyawa karbon merupakan suatu bagian yang aktif, sebab jika senyawa karbon bereaksi maka gugus fungsinya juga mengalami perubahan. Senyawa karbon dikelompokkan lagi menjadi alkohol, eter, aldehyd, keton, asam karboksilat, serta ester (Sudarmo, 2006).



Gambar 2.8 Spektrum FTIR Karbon Dot (Kurdekar, dkk., 2016)

Spektrum FTIR karbon dot dapat dijelaskan berdasarkan gambar 2.8. Adanya gugus fungsi O-H, C-O, C-C, dan C=C menunjukkan bahwa partikel karbon dot telah terbentuk dan hal itu berkaitan dengan struktur permukaan karbon dot (Wei, dkk., 2014). Struktur permukaan karbon dot sangat berkaitan dengan mekanisme fotoluminesensi yang dihasilkan. Gugus fungsi pada permukaan karbon dot dapat menjebak eksiton sehingga berpengaruh terhadap emisi yang dihasilkan karbon dot.

Tabel 2.2 Daftar Bilangan Gelombang Dari Beberapa Jenis Ikatan (Nadhira, 2018)

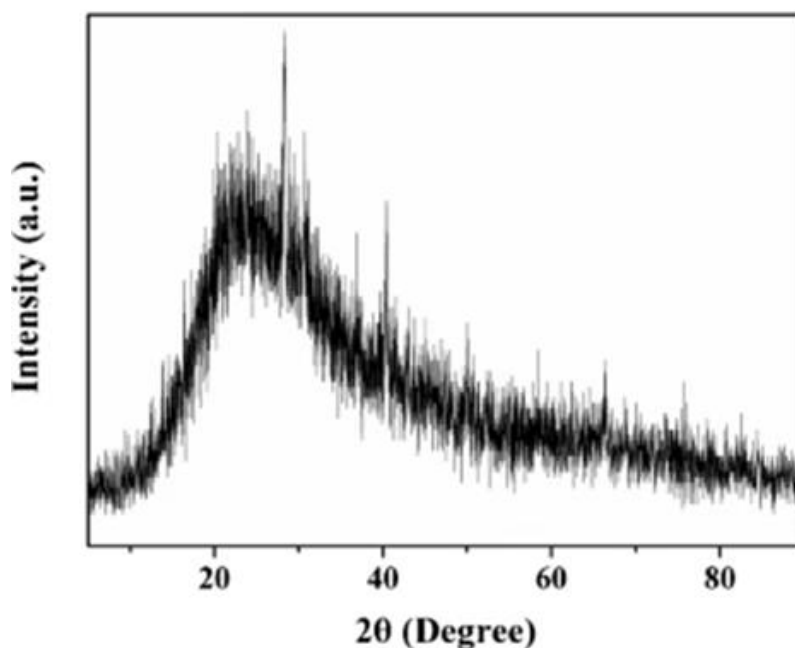
Bilangan Gelombang (cm⁻¹)	Gugus Fungsi
3750-3000	Regang O-H, N-H
3000-2700	Regang -CH ₃ , -CH ₂ , C-H, C-H aldehyd
2400-2100	regang -C=C-, C=N
1900-1650	regang C=O (asam, aldehyd, keton, amida, ester, adhidrida)
1675-1500	regang C=C (aromatik dan alifatik, C=N
1500-1475	C-H bending
1000-650	C=C-H, Ar-H bending

2.7.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan alat digunakan untuk menganalisis komposisi fasa atau senyawa pada suatu material serta karakterisasi kristal. Prinsip dasar XRD yaitu difraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini bisa terjadi apabila difraksi itu berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang dengan nilai setara terhadap jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Å. Radiasi yang digunakan adalah sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X adalah foton dengan energi radiasi tinggi yang memiliki panjang gelombang dengan nilai antara 0,5 sampai 2,5 Å. Prinsip dasar XRD yaitu dengan mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Saat berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material,

sehingga sebagian berkas sinar akan diabsorpsi atau ditransmisikan, serta sebagian yang lain akan dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi tersebut akan dideteksi oleh XRD. Berkas sinar-X yang terhambur sebagian ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan sebagian akan saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan dapat disebut sebagai berkas difraksi.

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik energi yang tinggi dan memiliki rentang energi antara 200 eV hingga 1 MeV, letaknya ada diantara sinar gamma (γ) dan radiasi ultraviolet (UV) dalam spektrum elektromagnetik (Rojikhi, 2011). Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang berasal dari penembakan logam dengan elektron yang berenergi tinggi. Elektron tersebut mengalami perlambatan ketika masuk ke dalam logam sehingga menyebabkan elektron yang berada pada kulit logam terpental dan membentuk kekosongan. Elektron dengan energi yang lebih tinggi akan masuk ke tempat kosong tersebut sehingga akan memancarkan kelebihan energi dalam bentuk foton sinar-X. Hukum Bragg adalah perumusan matematik tentang proses difraksi yang terjadi akibat interaksi antara sinar-X yang dipantulkan oleh material. Pantulan tersebut terjadi tanpa mengalami kehilangan energi sehingga menghasilkan pantulan elastis (*elastic scattering*). Bragg menunjukkan bahwa bidang yang memiliki atom-atom di dalam kristal dapat memantulkan radiasi dengan cara yang sama dengan peristiwa pemantulan cahaya oleh cermin (Setiabudi, dkk., 2012).



Gambar 2.9 Hasil XRD karbon dot (Min, dkk., 2019)

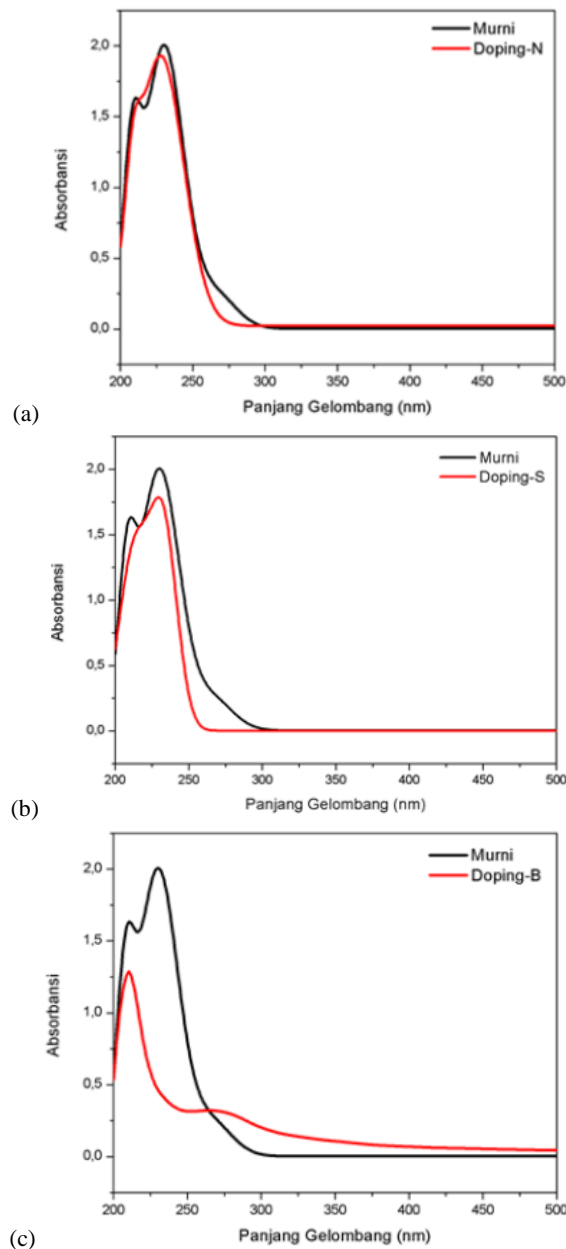
Gambar 2.9 menunjukkan hasil karakterisasi karbon dot menggunakan XRD. Pada penelitian Liu, dkk., (2014), karbon dot dari glukosa berhasil disintesis dengan menggunakan metode microwave, dan berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa karbon dot memiliki struktur amorf dengan puncak pada rentang sudut $10\text{--}35^\circ$. Hal ini terjadi karena hasil difraktogram tidak memiliki puncak spesifik (khas) pada sudut tertentu, sehingga jarak antar atom tidak mempunyai pola dan cenderung acak. Sehingga dari hasil karakterisasi XRD tersebut tidak dapat ditentukan secara pasti jarak antar atom.

2.7.3 Spektrofotometer Uv-vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan menggunakan instrumen spektrofotometer (Mulja, dkk., 1995). Spektrofotometer melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometer ini sebagian besar

digunakan untuk analisis kuantitatif. Spektrofotometer UV-Vis menganalisis terkait transisi elektronik dari suatu molekul yang menyerap cahaya pada daerah UV dan sinar tampak dari spektrum elektromagnetik. Spektroskopi UV-Vis diterapkan untuk mengukur absorbansi (panjang gelombang serapan) dan transmisi dari padatan atau larutan yang transparan.

Prinsip dasar spektrofotometer UV-Vis yaitu terjadinya transisi elektronik yang disebabkan penyerapan sinar UV-Vis yang dapat mengeksitasi elektron dari orbital yang kosong. Secara umum, transisi yang sangat mungkin adalah transisi pada tingkat tertinggi (HOMO) ke orbital molekul yang kosong pada tingkat terendah (LUMO). Absorpsi sinar UV-Vis menyebabkan transisi elektronik, yaitu perpindahan elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan dasar yang berenergi tinggi. Senyawa yang menyerap sinar pada daerah tampak mempunyai elektron yang lebih mudah berpindah daripada senyawa yang menyerap pada panjang gelombang UV yang lebih pendek. Biasanya absorbansi karbon dot diamati pada rentang panjang gelombang 230-270 nm yang menunjukkan transisi dari *core state* ($\pi \rightarrow \pi^*$) dari gugus fungsi aromatik C=C (Chan, dkk., 2018), sedangkan penyerapan pada 300-340 nm berkaitan dengan *surface state* ($n \rightarrow \pi^*$) yang merupakan transisi dari gugus fungsi C=O (Carbonaro, dkk., 2019).

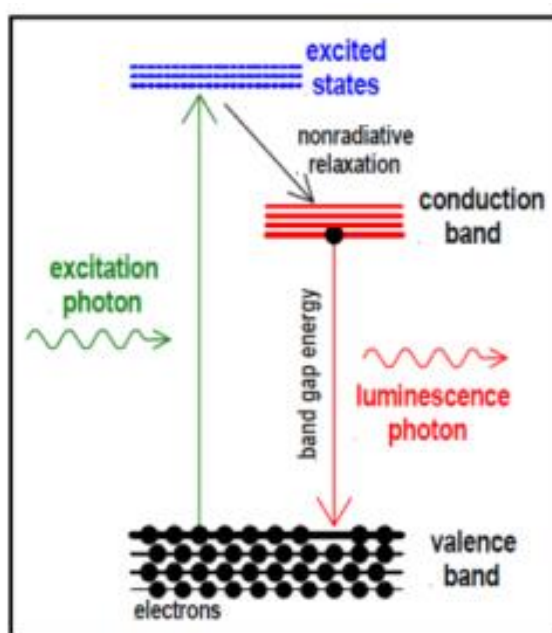


Gambar 2.10 Spektrum Absorbansi Karbon Dot Sebelum dan Sesudah Doping N (a), S (b), dan B (c) (Alvin, dkk., 2019)

2.7.4 Photoluminescence (PL)

Photoluminescence spectroscopy merupakan teknik analisis emisi cahaya. Fotoluminesensi ialah emisi cahaya spontan dari suatu material di bawah eksitasi optik. Pendaran cahaya yang dihasilkan berasal dari atom atau ion tereksitasi akibat menerima energi. Pendaran cahaya tersebut dikumpulkan kemudian dianalisis secara spektral, spasial serta temporal. Intensitas dan kandungan spektral dari

fotoluminesensi adalah ukuran langsung dari berbagai sifat penting suatu material. Saat sampel menyerap cahaya, akan terjadi eksitasi dari tingkat energi yang lebih rendah menuju tingkat energi yang lebih tinggi. Selanjutnya terjadi *nonradiative relaxation*, yang merupakan transisi energi melalui tumbukan molekul atau atom ke pita konduksi tanpa disertai dengan emisi foton. Elektron pada pita konduksi kemudian kembali ke tingkat energi yang lebih rendah (pita valensi) dengan melepaskan emisi cahaya yang disebut sebagai luminesensi. Jarak antara pita konduksi dengan pita valensi disebut sebagai band gap yang menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron.

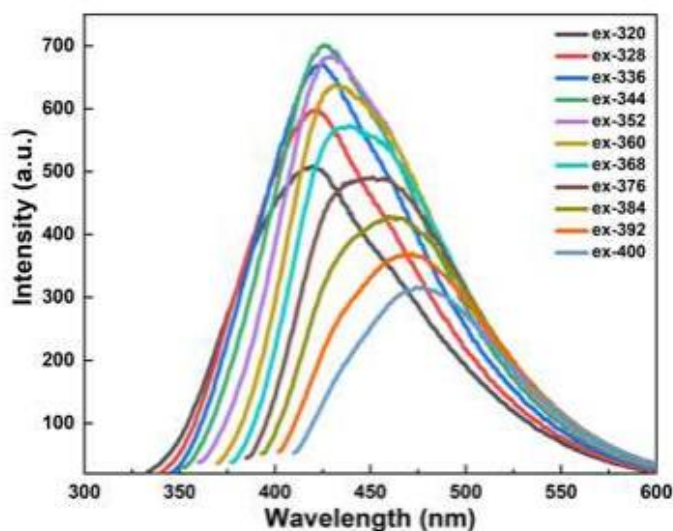


Gambar 2.11 Prinsip Photoluminescence (Patel, 2015)

Spektroskopi photoluminescence bersifat *contactless*, serbaguna, non destruktif, metode optik yang bagus untuk menganalisis struktur material elektronik. Cahaya diarahkan menuju sampel lalu diserap sehingga menanamkan energi berlebih ke dalam material yang disebut sebagai proses *photoexcitation*. Kelebihan energi tersebut dapat dihamburkan oleh sampel melalui emisi cahaya

atau *luminesensi*. Dalam fenomena *photoexcitation*, luminesensi yang terjadi disebut photoluminescence. Jadi *photoluminescence* merupakan emisi cahaya spontan dari material di bawah eksitasi optik (Patel, 2015).

Spektrum photoluminescence sangat berbeda dengan spektrum penyerapan dimana spektrum penyerapan digunakan untuk mengukur transisi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi, sedangkan photoluminescence mengukur transisi dari keadaan tereksitasi menuju keadaan dasar. Waktu antara penyerapan dan emisi biasanya sangatlah singkat. Spektrum eksitasi merupakan grafik intensitas emisi versus panjang gelombang eksitasi yang terlihat seperti spektrum penyerapan. Nilai panjang gelombang dimana molekulnya menyerap energi bisa digunakan sebagai panjang gelombang eksitasi yang memberikan emisi yang kuat pada panjang gelombang bergeser merah (*red shift*), dengan nilai yang secara umum dua kali dari eksitasi panjang gelombang (Patel, 2015). Gambar 2.12 merupakan contoh hasil karakterisasi PL pada karbon dot.



Gambar 2.12 Karakterisasi photoluminescence karbon dot (Hasan, dkk, 2021)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini ialah eksperimen dengan variabel yang dikehendaki dan pengujian karakteristik. Sampel yang digunakan adalah karbon dot dari ampas kopi dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B). Analisis gugus fungsi didasarkan hasil uji FTIR. Analisis fasa didasarkan hasil uji XRD. Analisis panjang gelombang serapan dan energi gap didasarkan hasil uji spektrofotometer UV-Vis. Analisis kemampuan mendeteksi logam berat dan intensitas pendaran didasarkan pada hasil pengamatan perubahan warna pendaran menggunakan *UV-Light* 395 nm dan PL.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2022 di Laboratorium Riset Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Timbangan digital
2. Magnetic stirrer bar
3. Hotplate magnetic stirrer
4. Oven
5. Spatula
6. Gelas ukur 100 ml

7. Gelas beaker 100 ml
8. Gelas beaker 250 ml
9. Gelas beaker 500 ml
10. Pipet ukur 1ml
11. Sonikator
12. Ayakan 250 mesh
13. Cawan petri
14. Erlenmeyer 250 ml
15. Corong kaca 90 ml
16. Mortar dan alu
17. Filter membran 0,2 μm
18. *Sentrifuge Machine*

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Ampas kopi
2. Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)
3. Natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
4. Asam borat (H_3BO_3)
5. Timbal (II) asetat trihidrat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
6. Besi (III) klorida ($(\text{FeCl}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
7. Aquades
8. Ethanol 70%

3.3.3 Alat Karakterisasi

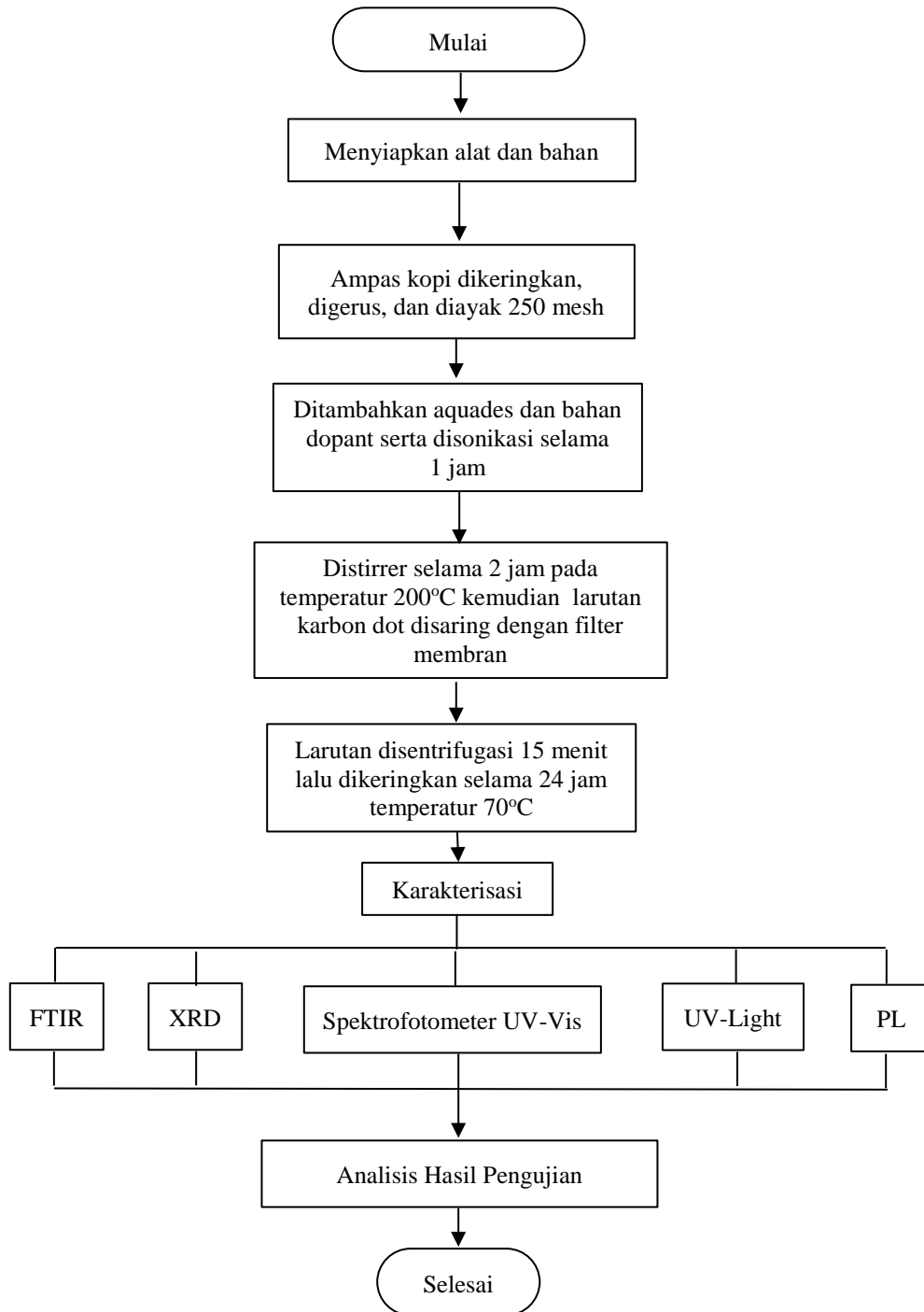
1. *Fourier Transformer Infrared Spectroscopy (FTIR)*

2. Spektrometer Ultra Violet-Visible (UV-vis)
3. *X-Ray Diffraction* (XRD)
4. *UV-light* 395 nm
5. *Photoluminescence* (PL)

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pembuatan karbon dot dari ampas kopi ini adalah variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) dengan proses *stirring* selama 2 jam pada temperatur 200°C. Konsentrasi bahan dopant dibuat sama yaitu sebesar 25% dari berat ampas kopi.

3.5 Prosedur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Pembuatan Karbon Dot Ampas Kopi

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan karbon dot dari ampas kopi adalah sebagai berikut:

1. Ampas kopi dikeringkan menggunakan oven selama 40 menit dengan temperatur 100°C
2. Ditumbuk hingga merata kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 250 mesh
3. Ampas kopi yang sudah diayak kemudian ditimbang 10 gr, kemudian ditambahkan variasi *dopant* sebesar 25% berupa nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B).
4. Ditambahkan aquades sebanyak 100 ml lalu diaduk hingga merata lalu disonikasi selama 1 jam
5. Dilakukan pengadukan (*stirring*) menggunakan magnetic stirrer selama 2 jam dengan temperatur 200°C
6. Ditambahkan ethanol 70% sebesar 50 ml
7. Setelah tercampur, larutan disaring menggunakan filter membran agar residu dan karbon dot terpisah
8. Dilakukan sentrifugasi selama 15 menit untuk meminimalisir adanya *bulk material* pada larutan karbon dot
9. Dikeringkan larutan karbon dot pada temperatur 70°C selama 21 jam
10. Dilakukan langkah yang sama untuk setiap variasi doping karbon dot
11. Diuji masing-masing sampel karbon dot pada beberapa karakterisasi seperti FTIR, spektrofotometer UV-Vis, XRD, UV-Light, dan uji kemampuan sensor logam berat dengan menggunakan PL.

3.5.2 Karakterisasi

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa karakterisasi untuk mengetahui karakteristik dari karbon dot ampas kopi yang dihasilkan. Berikut beberapa pengujian yang dilakukan:

1. Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari karbon dot dengan menampilkan grafik transmitansi dan bilangan gelombang dari masing-masing sampel yang diuji.

2. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi XRD dilakukan untuk menganalisis fasa atau senyawa serta untuk mengetahui struktur kristal pada karbon dot ampas kopi.

3. Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menganalisa panjang gelombang serapan dan absorbansi dari sampel karbon dot. Data hasil pengujian diolah menggunakan metode tauc plot agar diketahui nilai energy gap karbon dot ampas kopi.

4. UV-Light dan Kemampuan Deteksi Ion Logam Berat Pb^{2+} dan Fe^{3+}

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui pendaran cahaya dari masing-masing sampel karbon dot yang tercampur dan tidak tercampur ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} setelah disinari UV-light 395 nm. Pada tahap ini kemampuan deteksi ion logam didasarkan dari analisa nilai absorbansi dan perubahan warna pendaran pendaran karbon dot sebelum dan setelah tercampur dengan ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} .

5. Photoluminescence (PL)

Karakterisasi PL dilakukan untuk mengukur nilai intensitas pendaran dan mengetahui panjang gelombang emisi yang dihasilkan pada karbon dot yang tercampur dan tidak tercampur ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} .

3.5.3 Rencana Analisis Data

Data yang diperoleh dari masing-masing pengujian kemudian dianalisis lebih lanjut. Data yang diperoleh berupa data uji spektrofotometer UV-Vis, gugus fungsi, energi gap, absorbansi, dan uji sensor logam berat.

1. Karakterisasi Gugus Fungsi Menggunakan FTIR

Sampel larutan hasil sintesis diuji menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari karbon dot dengan menampilkan grafik transmitansi dan bilangan gelombang dari masing-masing sampel yang diuji lalu dicocokkan dengan hasil penelitian dari jurnal sebelumnya. Berikut rencana analisis yang akan dilakukan:

Tabel 3.1 Rencana Analisis Data FTIR

No.	Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
1	CD		
2	CD-N		
3	CD-S		
4	CD-B		

2. Karakterisasi XRD

Sampel larutan hasil sintesis dipanaskan dengan oven selama 21 jam agar sampel berupa serbuk. Setelah itu, serbuk karbon dot diuji dan menghasilkan pola XRD digunakan untuk menentukan fasa yang terbentuk. Hasil karakterisasi XRD

berupa sudut difaksi dan intensitas yang kemudian diplot untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari seluruh sampel karbon dot.

Tabel 3.2 Rencana Analisis XRD

No.	Sampel	2θ °	Intensitas a.u.
1	CD		
2	CD-N		
3	CD-S		
4	CD-B		

3. Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis

Sampel larutan hasil sintesis diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil karakterisasi UV-Vis (spektrum absorbansi) dapat digunakan untuk menghitung energi gap. Besarnya energi gap karbon dot dapat dihitung menggunakan metode Tauc Plot. Berikut langkah-langkah dalam menentukan nilai energi gap dengan metode Tauc Plot:

1. Nilai panjang gelombang (λ) dari hasil uji spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menghitung energi foton (ahv) dengan menggunakan persamaan:

$$hv = \frac{1240}{\lambda} \quad (3.1)$$

2. Nilai absorbansi (A) dari hasil uji digunakan untuk menghitung nilai α pada persamaan:

$$\alpha = 2,303 \times A \quad (3.2)$$

3. Nilai energi gap dihitung dengan memasukkan nilai α dan hv kedalam persamaan:

$$(\alpha hv)^2 \quad (3.3)$$

4. Dibuat plot grafik antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^2$ untuk mengetahui band gap. Dari seluruh plot yang diperoleh akan didapat garis lurus pada daerah tertentu. Ekstrapolasi dari garis lurus ini akan mengintersepsi pada sumbu $h\nu$ untuk menunjukkan nilai energi gap.

Tabel 3.3 Rencana Analisis Data Spektrofotometer UV-Vis

No.	Sampel	Energi Gap
1	CD	
2	CD-N	
3	CD-S	
4	CD-B	

4. Karakterisasi UV-Light dan Kemampuan Sensor Ion Logam Berat

Sampel larutan hasil sintesis dipanaskan dengan oven selama 21 jam agar sampel berupa serbuk. Sebanyak 0.025 gr serbuk CD dilarutkan dengan aquades pada labu takar 25 mL untuk membuat konsentrasi larutan 1 mg/mL. Masing-masing larutan CD dipipet sebanyak 2 mL dan dimasukkan ke dalam 4 buah vial kecil. Sampel larutan hasil sintesis diuji dengan menggunakan senter UV-Light dengan panjang gelombang 395 nm. Hal ini ditujukan untuk mengetahui pendaran warna dari masing-masing sampel karbon dot. Larutan dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan masing-masing ke dalam 4 buah vial kecil. Larutan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} dengan konsentrasi variasi konsentrasi 250, 500, 750, dan 1000 ppm masing-masing dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam vial tersebut lalu disinari dengan UV-light 395 nm. Seluruh sampel yang telah diuji UV-Light, dilakukan pengukuran nilai absorbansi untuk mengetahui kemampuan karbon dot sebagai pendeteksi ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} .

Tabel 3.4 Rencana Analisis Kemampuan Deteksi Logam Berat Pb^{2+} dan Fe^{3+}

No.	Sampel	Konsentrasi Ion Logam Berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} (ppm)			
		250	500	750	1000
1	CD				
2	CD-N				
3	CD-S				
4	CD-B				

5. Karakterisasi PL

Sampel larutan hasil sintesis dipanaskan dengan oven selama 21 jam agar sampel berupa serbuk. Sebanyak 0.025 gr serbuk CD dilarutkan dengan aquades pada labu takar 25 mL untuk membuat konsentrasi larutan 1 mg/mL. Larutan dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan masing-masing ke dalam 4 buah vial kecil. Larutan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} dengan konsentrasi variasi konsentrasi 250, 500, 750, dan 1000 ppm masing-masing dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam vial tersebut. Kemudian dilakukan karakterisasi PL untuk mengetahui panjang gelombang emisi yang dihasilkan. Hasil karakterisasi PL berupa grafik antara panjang gelombang dan intensitas. Berikut tabel rencana analisis data.

Tabel 3.5 Rencana Analisis Data PL

No.	Sampel	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas (a.u.)
1	CD		
2	CD-N		
3	CD-S		
4	CD-B		

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini dibuat material karbon dot berbahan dasar ampas kopi dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) yang dilakukan di Laboratorium Riset Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Karbon dot digunakan sebagai material deteksi optik ion logam Fe^{3+} dan Pb^{2+} . Seluruh sampel karbon dot dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, spektrofotometer UV-Vis, spektroskopi PL, dan uji kemampuan deteksi ion logam dengan UV-Light 395 nm.

Karbon dot dibuat dari limbah ampas kopi yang dikeringkan dengan temperature 100 °C selama 1 jam. Limbah ampas kopi yang sudah kering ditimbang sebesar 10 gr dan dicampur dengan 100 ml akuades serta ditambahkan variasi doping berupa nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) sebesar 2,5 gr. Larutan ampas kopi disonikasi selama 1 jam (Arum, 2018) kemudian diaduk (stirring) dengan kecepatan 350 rpm pada temperatur 200°C selama 2 jam (Sung, dkk. 2022). Selanjutnya larutan disaring menggunakan filter membran 0,2 μm . Hasil penyaringan disentrifugasi selama 15 menit untuk meminimalisir adanya bulk material. Setelah disentrifugasi, larutan dikeringkan dengan temperatur 70°C selama 21 jam. Sebelum digunakan untuk tahap berikutnya, serbuk karbon dot dilarutkan dalam akuades dengan konsentrasi 1000 ppm. Sampel karbon dot dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) diberi kode untuk memudahkan penjelasan yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

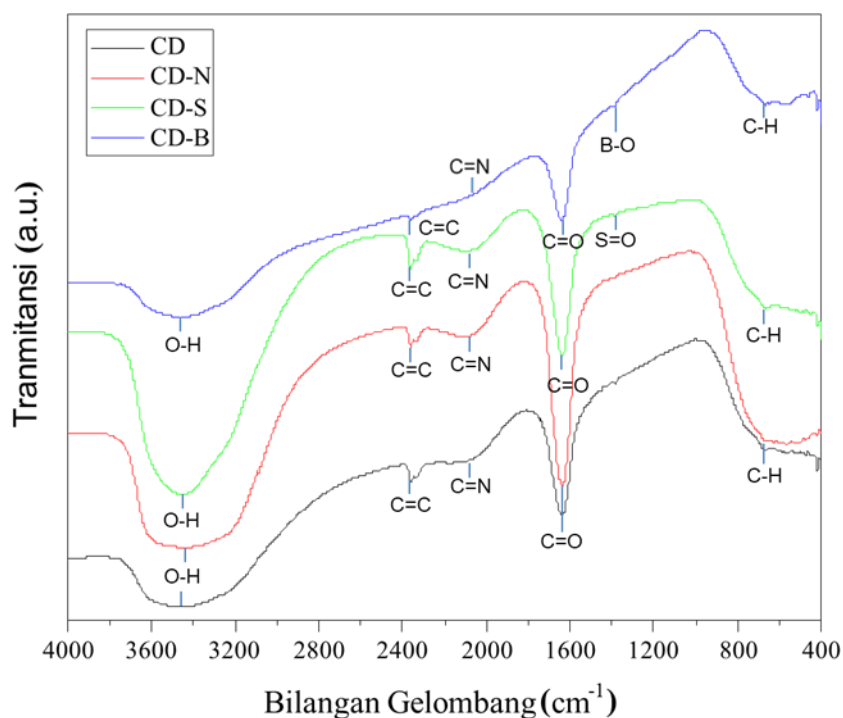
Tabel 4.1 Nama Sampel Karbon Dot

No.	Sampel	Kode
1	Karbon Dot	CD
2	Karbon Dot Nitrogen	CD-N
3	Karbon Dot Sulfur	CD-S
4	Karbon Dot Boron	CD-B

4.1.1 Karakteristik Karbon Dot

1. Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan di Laboratorium Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dari hasil sintesis terutama adanya ikatan kovalen antara ikatan karbon, yaitu ikatan C=C dan C=O (atom karbon sp^3 dan sp^2) (Nasir dkk., 2019). Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi FTIR berupa grafik hubungan bilangan gelombang dan transmitansi.



Gambar 4.1 Grafik FTIR (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d) CD-B

Hasil analisis data FTIR berupa gugus fungsi dari CD, CD-N, CD-S, dan CD-B ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Gugus Fungsi Karbon Dot Ampas Kopi

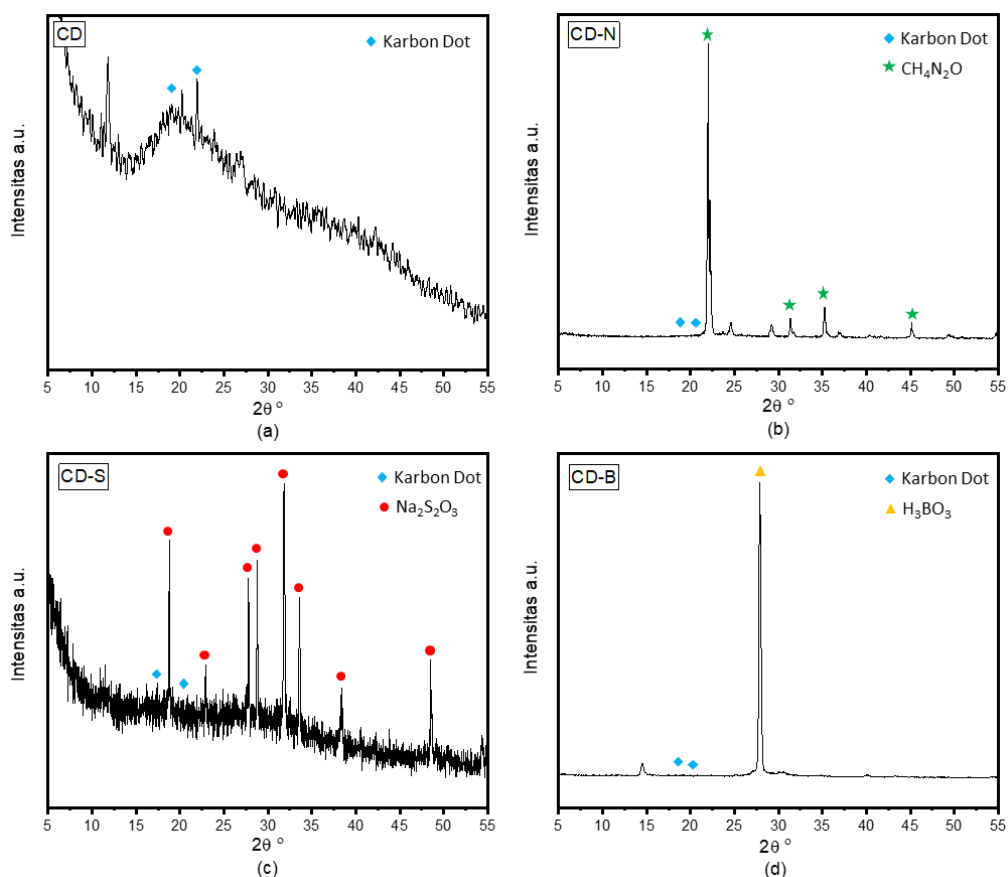
Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Nama Senyawa
CD	3464	O-H	Hidroksil
	2363	C=C	Aromatik
	2166	C=N	Nitril
	1639	C=O	Aromatik Karbonil
	667	C-H	Cincin Aromatik
CD-N	3437	O-H	Hidroksil
	2365	C=C	Aromatik
	2112	C=N	Nitril
	1638	C=O	Aromatik Karbonil
	628	C-H	Cincin Aromatik
CD-S	3459	O-H	Hidroksil
	2360	C=C	Aromatik
	2098	C=N	Nitril
	1638	C=O	Aromatik Karbonil
	1357	S=O	Sulfat
	668	C-H	Cincin Aromatik
CD-B	3458	O-H	Hidroksil
	2362	C=C	Aromatik
	2047	C=N	Nitril
	1640	C=O	Aromatik Karbonil
	1388	B-O	Boron Oksida
	668	C-H	Cincin Aromatik

Berdasarkan gambar 4.2 seluruh sampel memiliki gugus fungsi dan puncak transmitansi yang memiliki gugus fungsi O-H, C=C, C=O, dan C-H yang merupakan karakteristik karbon dot. Gugus fungsi O-H terdapat pada rentang bilangan gelombang antara 3400-3500 cm^{-1} , gugus fungsi C=C terdapat pada rentang bilangan gelombang 2350 cm^{-1} (Emami, dkk., 2021), gugus fungsi C=O terdapat pada bilangan gelombang 1600 cm^{-1} , dan pada bilangan gelombang 660 cm^{-1} terdapat gugus fungsi C-H (Nadhira, 2018). Penambahan doping menghasilkan gugus fungsi yang mengindikasikan bahan dopan yang digunakan yaitu gugus C=N terdapat pada bilangan gelombang 2112 cm^{-1} (Nadhira, 2018),

gugus S=O terdapat pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} (Fu, dkk., 2019), gugus B-O terdapat pada bilangan gelombang 1388 cm^{-1} (Tian, dkk., 2016),

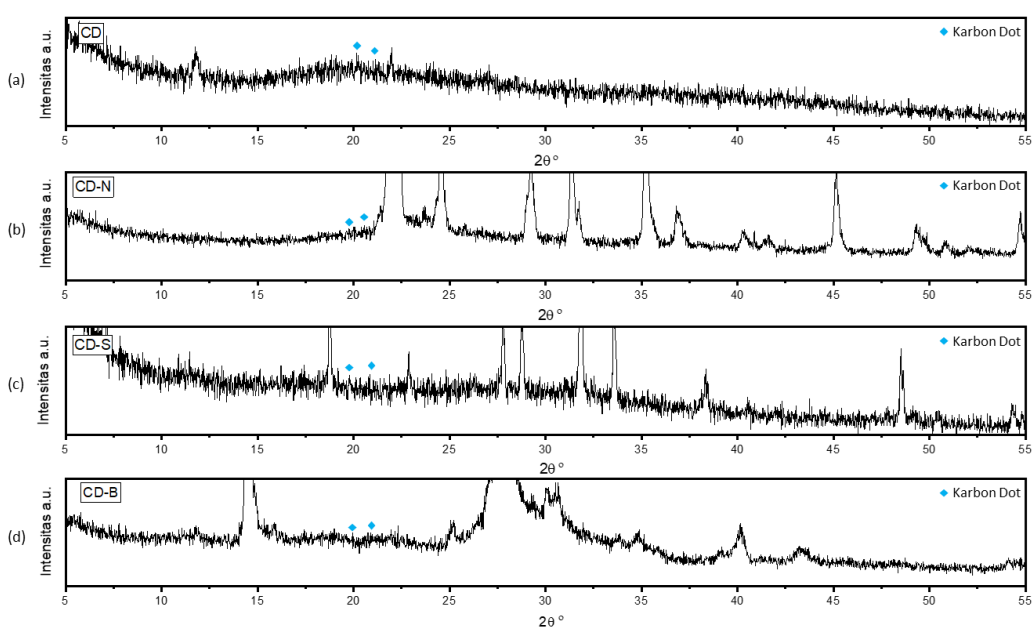
2. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Gelombang yang digunakan adalah Cu K-alpha dengan $\lambda=1,54\text{ \AA}$. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan ukuran kristal dari CD, CD-N, CD-S, dan CD-B. Hasil karakterisasi XRD berupa grafik hubungan intensitas terhadap sudut difraksi 2θ . Grafik XRD karbon dot ampas kopi dengan variasi doping N, S, dan B ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik XRD (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d) CD-B

Pada penelitian sebelumnya fasa karbon dot berupa amorf pada puncak yang berkisar antara $10-35^\circ$ (Liu dkk., 2014). Secara spesifik, Shen (2015) menyebutkan bahwa difraksi khas karbon dot berada pada sekitar $23,5^\circ$. Berdasarkan gambar 4.2 terlihat bahwa hasil analisis XRD pada sampel CD memiliki struktur amorf pada rentang $10-35^\circ$. Sedangkan sampel CD-N, CD-S, dan CD-B memiliki struktur kristal dengan ditandai adanya puncak yang menunjukkan kisi kristal dari bahan dopan yang digunakan pada proses sintesis. Garfik yang diperoleh diolah lebih lanjut menggunakan software origin untuk mengetahui fasa amorf pada $2\theta^\circ$ antara $10-35^\circ$ dari sampel karbon dot yang ditunjukkan pada gambar 4.3.

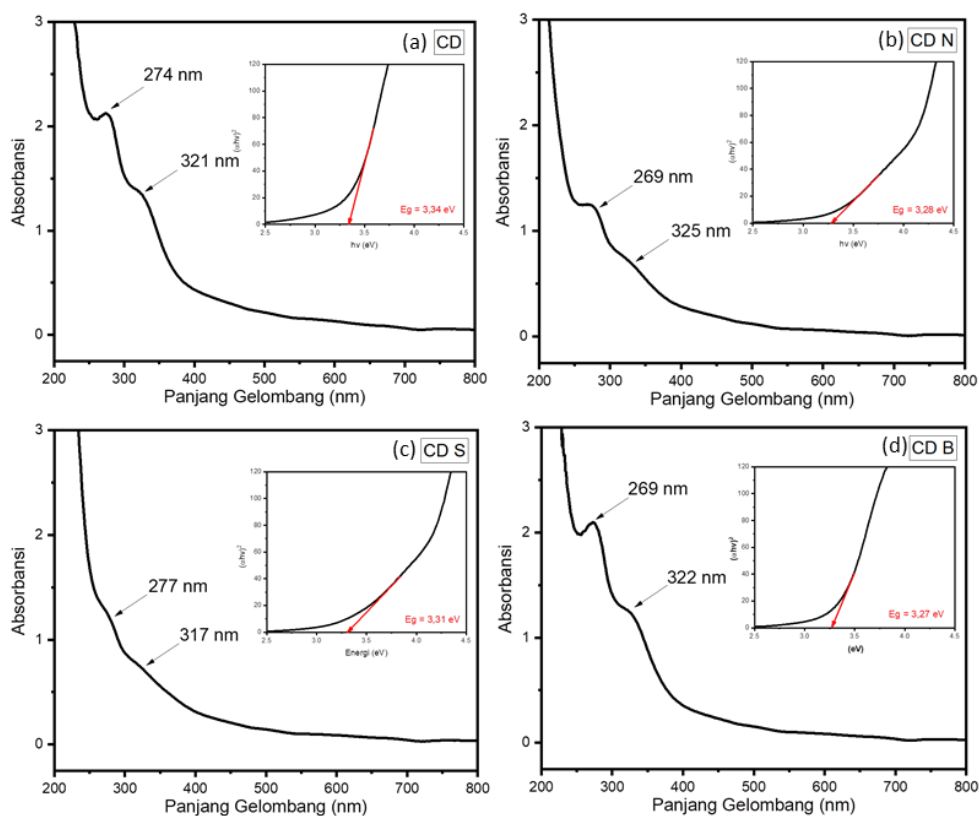


Gambar 4.3 Daerah Amorf Karbon Dot (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d) CD-B

3. Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Karakterisasi UV-Vis dilakukan untuk mengetahui panjang

gelombang serapan (absorbansi) dan energy gap dari CD, CD-N, CD-S, dan CD-B. Hasil karakterisasi UV-Vis berupa panjang gelombang (λ) dan absorbansi (A). Untuk menentukan nilai energy gap dilakukan dengan memasukkan nilai panjang gelombang (λ) dan absorbansi (A) dalam persamaan (3.1)-(3.3). Dari hasil perhitungan energi gap, dibuat plot grafik hubungan antara $h\nu$ dengan $(\alpha h\nu)^2$, plot grafik akan menunjukkan garis lurus pada daerah tertentu yang mengintersepsi pada sumbu $h\nu$ untuk menunjukkan nilai energi gap direct dari sampel. Plot energi gap direct dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Garfik Absorbansi UV-Vis dan Energi Gap (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d)CD-B

Gambar 4.4 menunjukkan absorbansi dan panjang gelombang pada masing-masing sampel karbon dot. Berdasarkan penelitian sebelumnya, panjang gelombang yang muncul pada spektrum absorpsi karbon dot yang disintesis dari

limbah biomassa adalah 200-270 nm (Chan, dkk., 2018) dan 300-340 nm (Carbonaro, dkk., 2019). Pada penelitian ini, absorbansi sampel CD mempunyai dua puncak absorbansi pada panjang gelombang 274 nm dan 321 nm, CD-N terdapat dua puncak absorbansi pada panjang gelombang 269 nm dan 325 nm, CD-S memiliki puncak absorbansi pada panjang gelombang 277 nm dan 317 nm, dan CD-B terdapat dua puncak absorbansi pada panjang gelombang 269 nm dan 322 nm.

Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis dapat dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui energi gap dari masing-masing sampel karbon dot. Garis merah pada gambar merupakan garis ekstrapolasi yang menunjukkan nilai energi gap saat garis ditarik menuju sumbu x dengan menggunakan metode *tauc plot*. Nilai energi gap ditunjukkan pada tabel 4.3.

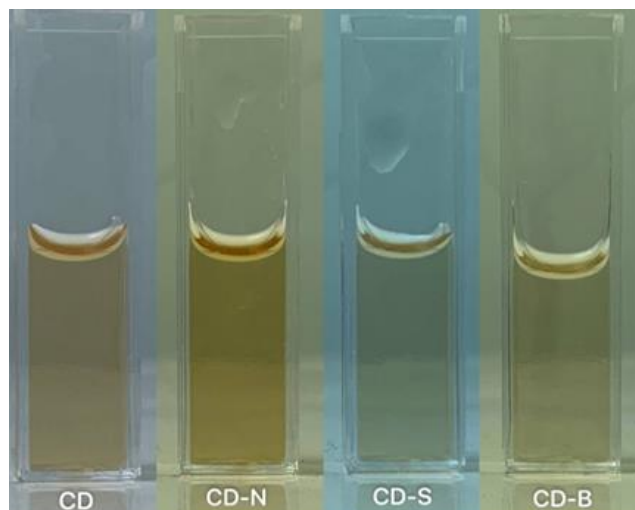
Tabel 4.3 Nilai Energi Gap Karbon Dot Ampas Kopi

Sampel	Energi Gap (eV)
CD	3,34
CD-N	3,28
CD-S	3,31
CD-B	3,27

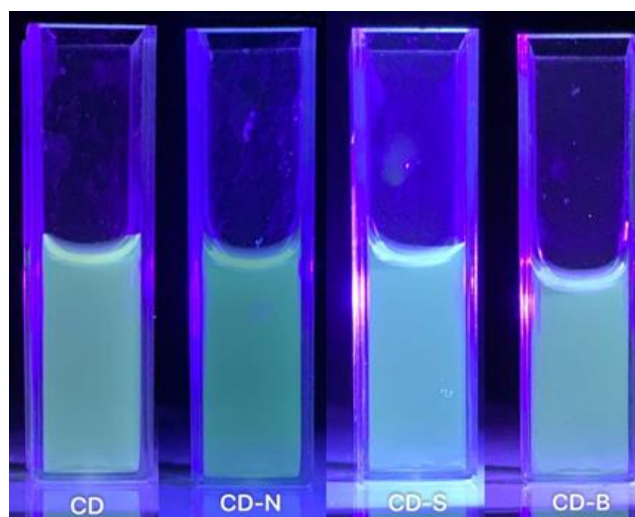
Berdasarkan tabel 4.3 nilai energi gap terendah ditunjukkan sampel CD-B yaitu 3,27 eV dan nilai energi gap tertinggi ditunjukkan oleh sampel CD yaitu 3,34 eV.

4. UV-Light 395 nm

Uji pendaran karbon dot menggunakan UV-light dilakukan di Laboratorium Optik Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Karakterisasi UV-Light dilakukan untuk mengetahui pendaran sampel karbon dot ketika disinari dengan sinar UV 395 nm.



(a)



(b)

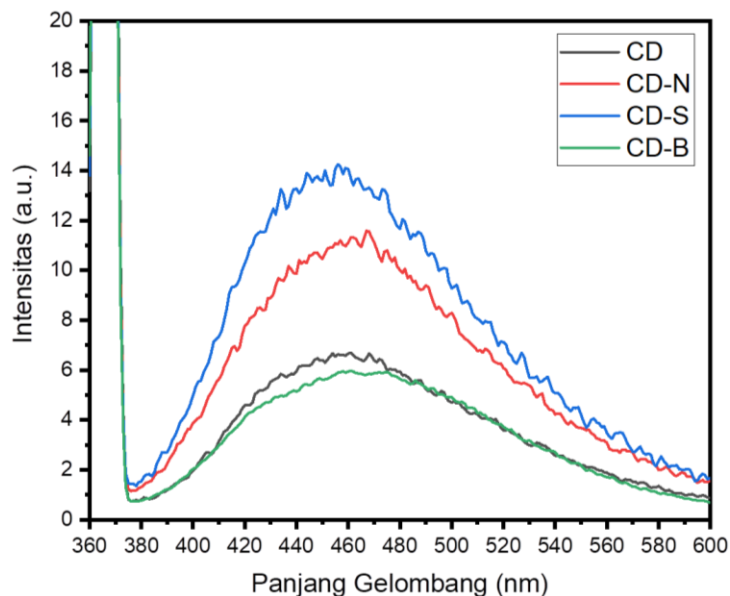
Gambar 4.5 (a) CD, CD-N, CD-S, dan CD-B pada Sinar Tampak dan (b) CD, CD-N, CD-S, dan CD-B pada Sinar UV 395nm

Gambar 4.5 (a) menunjukkan hasil pengamatan karbon dot pada sinar tampak dimana terlihat sampel karbon dot memiliki warna larutan yang sedikit berbeda dan gambar 4.5 (b) merupakan karbon dot ampas kopi dibawah sinar UV 395 nm yang memiliki warna pendaran biru kehijauan (cyan) (Sung dkk., 2022).

5. Photoluminescence (PL)

Karakterisasi menggunakan PL dilakukan di Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung. Karakterisasi PL ditujukan untuk mengetahui

adanya fotoluminesensi (fluoresensi) jika sampel diberikan sinar (laser) dengan panjang gelombang tertentu. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi PL dengan sinar laser pengeksitasi berpanjang gelombang 300-800 nm. Hasil karakterisasi PL merupakan grafik hubungan panjang gelombang dan intensitas seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik PL CD, CD-N, CD-S, dan CD-B

Berdasarkan gambar 4.6 intensitas emisi terdapat pada panjang gelombang 400-525 nm. Masing-masing sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B memiliki intensitas emisi sebesar 468 nm, 466 nm, 456 nm, dan 473 nm yang memiliki pergeseran ke kanan (warna hijau).

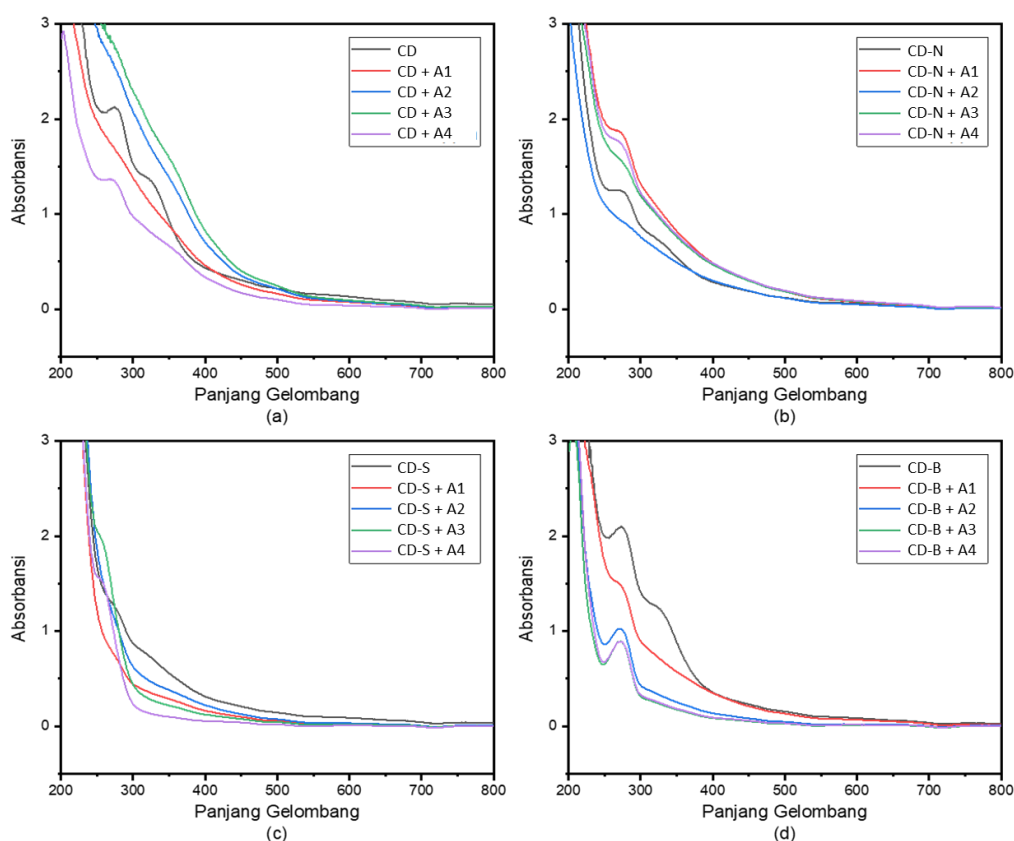
4.1.2 Kemampuan Karbon Dot sebagai Material Pendeteksi Logam Berat

Larutan karbon dot hasil sintesis dioven selama 21 jam agar sampel berupa serbuk. Sebanyak 0.025 gr serbuk karbon dot dilarutkan dengan air bebas ion pada labu takar 25 mL untuk membuat konsentrasi larutan 1 mg/mL. Larutan dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan masing-masing ke dalam 4 buah vial kecil. Larutan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} dengan konsentrasi variasi konsentrasi 250, 500, 750, dan

1000 ppm masing-masing dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam vial tersebut. Kemudian seluruh sampel dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, uji pendaran dengan UV-Light 395 nm, dan PL. Untuk memudahkan penjelasan sampel ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} yang dicampurkan dengan karbon dot diberi kode yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

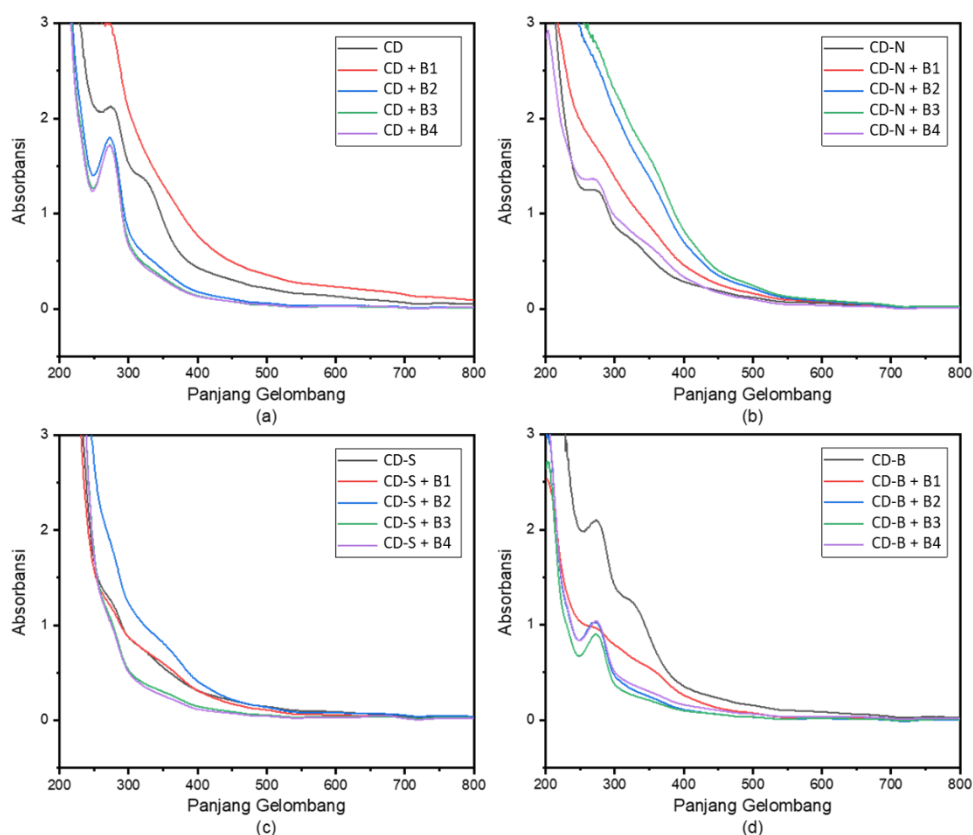
Tabel 4.4 Kode Sampel Ion Logam Pb^{2+} dan Fe^{3+}

No.	Sampel	Kode
1	Pb^{2+} 250 ppm	A1
2	Pb^{2+} 500 ppm	A2
3	Pb^{2+} 750 ppm	A3
4	Pb^{2+} 1000 ppm	A4
5	Fe^{3+} 250 ppm	B1
6	Fe^{3+} 500 ppm	B2
7	Fe^{3+} 750 ppm	B3
8	Fe^{3+} 1000 ppm	B4



Gambar 4.7 Grafik Absorbansi UV-Vis (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d) CD-B dengan Pb^{2+}

Berdasarkan gambar 4.7 diperoleh grafik panjang gelombang dan absorbansi dari sampel karbon dot yang dicampur ion logam Pb^{2+} dengan konsentrasi 250, 500, 750, dan 1000 ppm. Sampel CD dengan konsentrasi Pb^{2+} 250, 500, dan 750 ppm kehilangan puncak absorbansi. Untuk sampel CD-N puncak absorbansi hilang pada konsentrasi 1000 ppm. Sampel CD-S kehilangan puncak absorbansi pada semua konsentrasi ion logam Pb^{2+} . Serta pada sampel CD-B absorbansi hilang pada konsentrasi 250 dan 500 ppm.



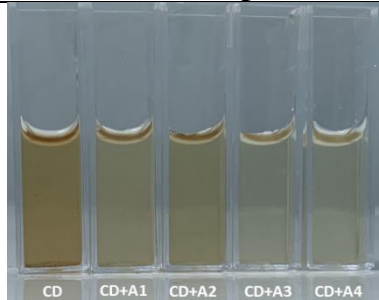
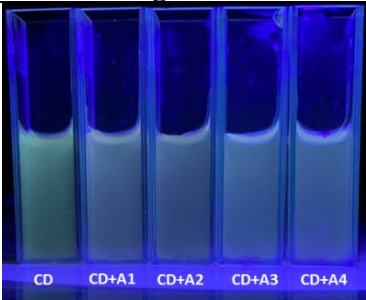
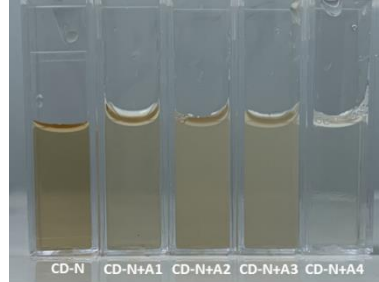
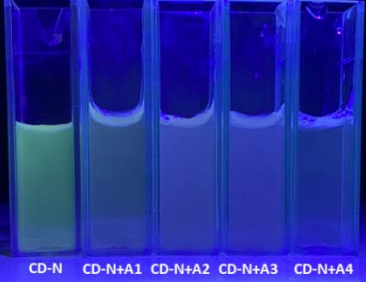
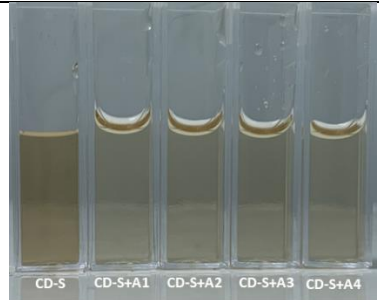
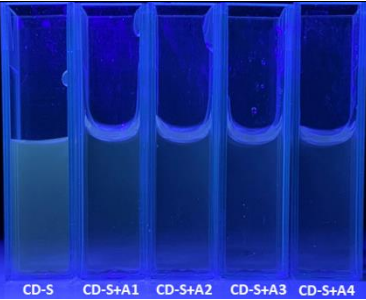
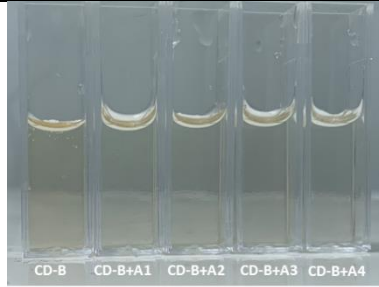
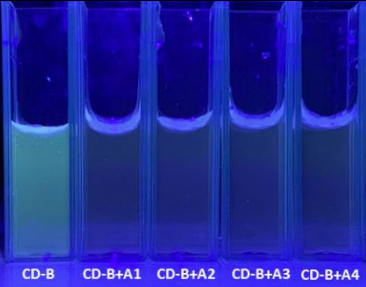
Gambar 4.8 Grafik Absorbansi UV-Vis (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d) CD-B dengan Fe^{3+}

Berdasarkan gambar 4.8 diketahui bahwa sampel karbon dot yang tercampur ion logam Fe^{3+} mengalami perubahan puncak absorbansi. Sampel CD kehilangan absorbansi pada konsentrasi Fe^{3+} 1000 ppm. Sampel CD-N kehilangan puncak pada konsentrasi 250, 500, dan 750 ppm. Sampel CD-S kehilangan puncak

absorbansi pada semua variasi konsentrasi. Sampel CD-B kehilangan puncak absorbansi pada konsentrasi 250 ppm.

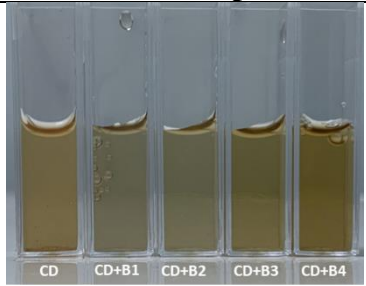
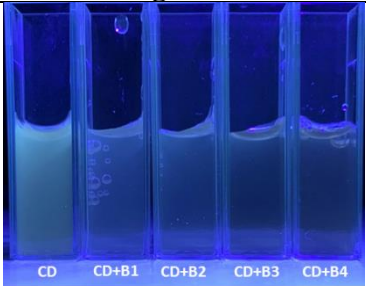
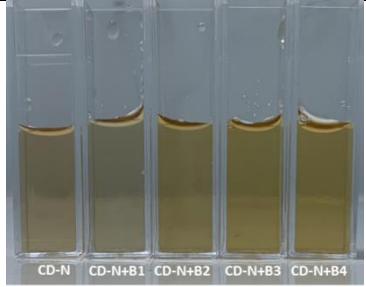
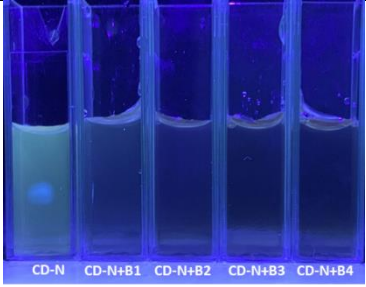
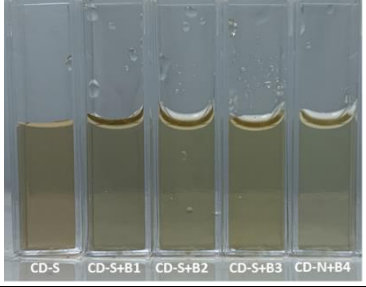
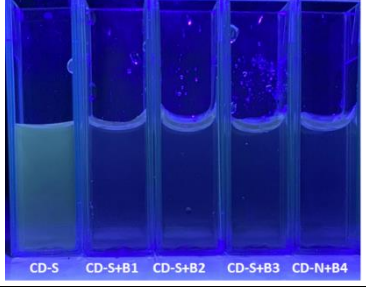
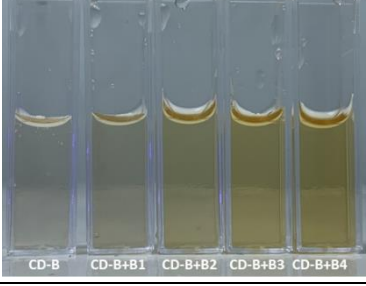
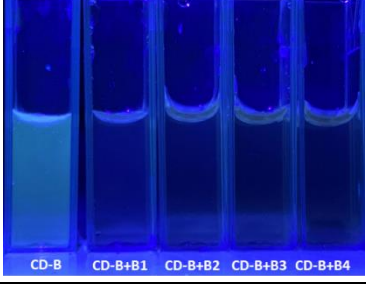
Setelah dilakukan karakterisasi menggunakan UV-Vis, seluruh sampel karbon dot dengan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} diamati warna pendarannya menggunakan UV-Light 395 nm. Pada karakterisasi ini, sampel karbon dot disinari dengan sinar UV 395 nm seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 Hasil Pendaran Sampel Karbon Dot dengan Ion Logam Pb^{2+}

Sampel	Sinar Tampak	UV-Light 395 nm
CD		
CD-N		
CD-S		
CD-B		

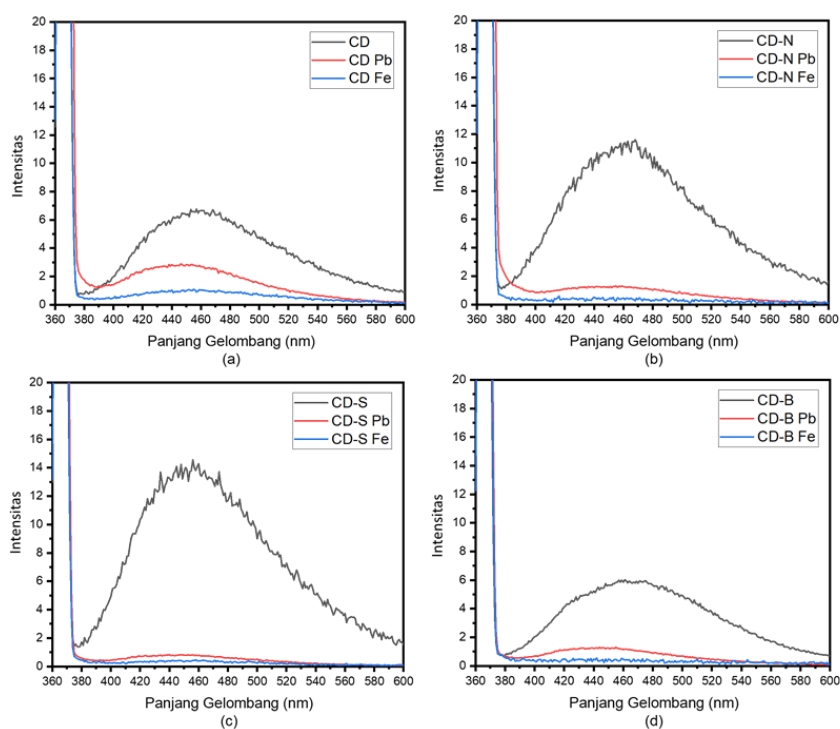
Tabel 4.5 menunjukkan pendaran dari sampel karbon dot dengan ion logam Pb^{2+} dengan variasi konsentrasi 250, 500, 750, dan 1000 ppm. Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui bahwa warna larutan karbon dot dibawah sinar tampak menjadi semakin jernih. Ketika disinari dengan UV-Light 395 nm pendaran sampel karbon dot yang tercampur ion logam Pb^{2+} menjadi redup. Namun pada sampel CD dan CD-N penurunan intensitas pendaran terlihat tidak signifikan.

Tabel 4.6 Hasil Pendaran Sampel Karbon Dot dengan Ion Logam Fe^{3+}

Sampel	Sinar Tampak	UV-Light 395 nm
CD		
CD-N		
CD-S		
CD-B		

Berdasarkan tabel 4.6, pendaran dari sampel karbon dot dengan ion logam Fe^{3+} dengan variasi konsentrasi 250, 500, 750, dan 1000 ppm. Pada sinar tampak, terlihat seluruh sampel karbon dot menjadi semakin pekat dikarenakan adanya larutan Fe^{3+} . Ketika disinari dengan UV-Light 395 nm pendaran sampel karbon dot yang tercampur ion logam Fe^{3+} menjadi redup. Namun pada sampel CD penurunan intensitas pendaran terlihat tidak signifikan. Selanjutnya, penurunan intensitas pendaran karena ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} berkaitan dengan hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi fotoluminesensi.

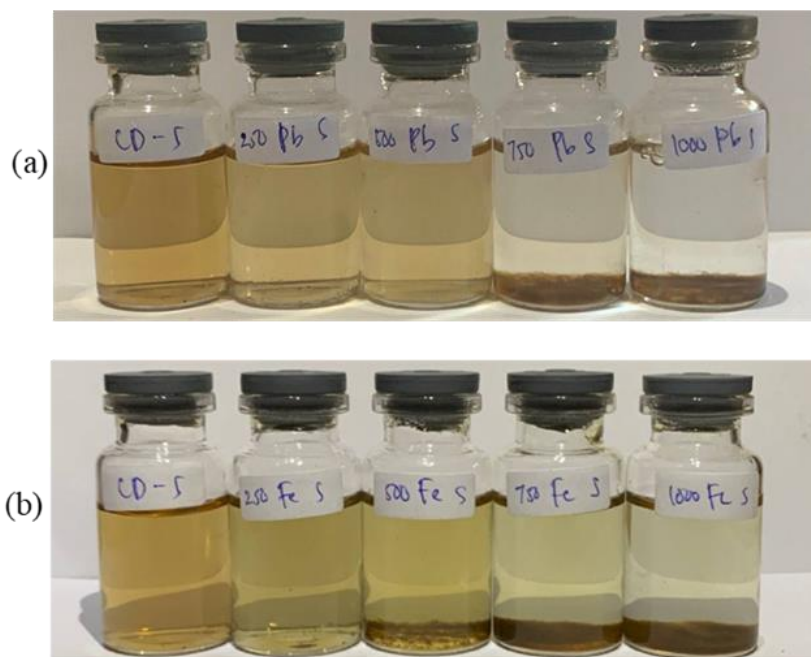
Intensitas pendaran karbon dot setelah tercampur ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} diketahui dengan karakterisasi menggunakan PL. Berdasarkan tabel 4.4 dan 4.5 dipilih sampel karbon dot yang tercampur ion logam dengan konsentrasi 1000 ppm dikarenakan perubahan pendaran yang terlihat signifikan. Hasil karakterisasi PL ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik PL (a) CD, (b) CD-N, (c) CD-S, dan (d) CD-B dengan Ion Logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} 1000 ppm

Berdasarkan gambar 4.9 intensitas emisi karbon dot mengalami perubahan intensitas ketika tercampur ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Gambar 4.9 (a) menunjukkan penurunan intensitas emisi dari sampel CD setelah tercampur ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Gambar 4.9 (b) menunjukkan penurunan intensitas emisi karbon dot dari sampel CD-N setelah tercampur ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Gambar 4.9 (c) menunjukkan penurunan intensitas emisi karbon dot dari sampel CD-S setelah tercampur ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Gambar 4.9 (d) menunjukkan penurunan intensitas emisi karbon dot dari sampel CD-B setelah tercampur ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} . Hasil karakterisasi ini menunjukkan bahwa seluruh sampel karbon dot mengalami penurunan intensitas emisi yang signifikan setelah tercampur ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} .

Pada saat dilakukan uji kemampuan karbon dot sebagai material pendeteksi ion logam, seluruh sampel karbon dot dengan ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} menghasilkan endapan seperti yang terlihat pada gambar 4.10. Selain itu, seluruh sampel larutan menjadi lebih jernih.



Gambar 4.10 Endapan pada CD-S dengan ion logam Pb^{2+} (a) dan Fe^{3+} (b)

4.2 Pembahasan

Kandungan karbon pada limbah ampas kopi berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon dot. Pada penelitian ini, karbon dot dibuat dari limbah ampas kopi dengan variasi doping berupa nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B). Gambar 4.1 menunjukkan gugus fungsi dari sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B. Dari hasil karakterisasi FTIR terlihat bahwa karbon dot berhasil disintesis yang ditunjukkan dengan adanya gugus fungsi C=C dan C=O (atom karbon sp^3 dan sp^2) dari ikatan kovalen antara ikatan karbon (Nasir dkk., 2019). Gugus fungsi O-H terlihat seperti pita melebar dengan puncak berada pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} yang menandai adanya puncak transmitansi yang lebar menunjukkan adanya gugus fungsi O-H (Mukesh, dkk., 2015). Gugus fungsi C=C terdapat pada bilangan gelombang 2360 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi aromatik (Emami, dkk., 2021). Pita tajam dengan puncak pada bilangan gelombang sekitar 1630 cm^{-1} adalah dari vibrasi C=O yang berasal dari gugus fungsional aromatik karbonil (Rohit dkk., 2014). Terdapat puncak kecil pada bilangan gelombang 2112 cm^{-1} merupakan gugus fungsi C=N terdapat yang menunjukkan keberadaan nitrogen (Nadhira, 2018) dan gugus C=N muncul sebagai akibat dari bahan ampas kopi yang digunakan yaitu ampas kopi yang masih mengandung kafein, kemudian adanya belokan kecil (*small shoulder*) pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* sulfat dari gugus fungsi S=O (Fu, dkk., 2019), gugus B-O terdapat pada bilangan gelombang 1388 cm^{-1} (Tian, dkk., 2016). Pada bilangan gelombang 660 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi C-H (Nadhira, 2018). Dengan demikian, karakterisasi FTIR telah menunjukkan bahwa sampel yang diperoleh pada penelitian ini adalah berupa karbon dot.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa karbon dot memiliki fasa amorf pada sekitar 10-35° (Liu dkk., 2014). Pada sampel CD-N, CD-S, dan CD-B karbon dot terbentuk dengan disertai adanya kristal akibat bahan dopan yang digunakan. Hal dijelaskan pada penelitian sebelumnya dimana pada sudut difraksi 25° menunjukkan puncak dari nitrogen (Sandra, 2015), pada sudut difraksi 25-35° menunjukkan puncak dari sulfur (Mehrotra, 1981), dan pada 30° menunjukkan puncak yang merupakan indikasi dari kristal boron (Zachariasen, 1934).

Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa puncak pita absorpsi berada pada rentang antara 200-270 nm yang menandai adanya transisi eksitasi $\pi-\pi^*$ dari atom karbon sp^2 pada ikatan kovalen C=C (Chan, dkk., 2018). Sementara itu, puncak pita pada panjang gelombang maksimum yang kedua pada 300-340 nm sesuai dengan transisi $n-\pi^*$ berkaitan dengan transisi pada C=O (Carbonaro, dkk., 2019). Berdasarkan tabel 4.3 diketahui nilai energi gap terendah ditunjukkan oleh sampel CD-B yaitu 3,27 eV dan nilai energi gap tertinggi ditunjukkan oleh sampel CD yaitu 3,34 eV. Hal ini berarti bahan dopan dapat meningkatkan menurunkan energi gap karbon dot. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis dapat disimpulkan bahwa sintesis karbot dot diindikasikan berhasil dimana spektrum serapan karbon dot menunjukkan dua puncak absorpsi yaitu sekitar 270 nm dan 320 nm yang menunjukkan transisi elektron dari *core state* ($\pi\rightarrow\pi^*$) dan *surface state* ($n\rightarrow\pi^*$).

Berdasarkan karakterisasi UV-Light dapat disimpulkan bahwa karbon dot berhasil disintesis karena menghasilkan pendaran. Pendaran dari masing-masing sampel karbon dot memiliki karakteristik warna yang sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu biru kehijauan (cyan) (Sung, dkk., 2022). Dari karakterisasi

diketahui mekanisme deteksi karbon dot pada ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} adalah *turn off*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5 dan 4.6 dimana intensitas pendaran meredup (padam) ketika berinteraksi dengan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} (Shahbazi, dkk., 2019). Berdasarkan hasil uji menggunakan sinar UV, sampel yang bekerja paling optimum sebagai detektor logam berat adalah sampel CD-S.

Berdasarkan gambar 4.6 ditunjukkan bahwa karbon dot yang dihasilkan pada penelitian ini adalah karbon dot fotoluminesensi. Masing-masing sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B memiliki intensitas emisi terbesar masing-masing pada panjang gelombang 468 nm, 466 nm, 456 nm, dan 473 nm yang memiliki pergeseran ke kanan sehingga menghasilkan warna biru kehijauan (*cyan*). Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana puncak emisi karbon dot sekitar 460 nm (Sung, dkk., 2022). Pada gambar 4.9 diketahui penurunan intensitas emisi terjadi akibat reaksi antara karbon dot dengan ion logam berat Pb^{2+} dan Fe^{3+} yang menyebabkan pendaran karbon dot setelah tercampur logam berat menjadi redup atau padam. Hal ini menunjukkan mekanisme deteksi karbon dot terhadap ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} adalah *turn off* yang sesuai dengan mekanisme deteksi pada penelitian sebelumnya oleh Tabaraki, dkk. (2019) dan Yan, Z. dkk (2022).

Dalam proses pengaplikasian karbon dot pada ion logam berat terdapat endapan yang muncul seiring dengan lama waktu pencampuran yang terlihat pada gambar 4.10. Fenomena ini berkaitan dengan perubahan karakteristik seluruh sampel karbon dot ketika berinteraksi dengan ion logam Pb^{2+} atau Fe^{3+} . Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis (gambar 4.7 dan 4.8), UV-Light 395 nm (tabel 4.5 dan 4.6), dan spektroskopi fotoluminesensi (gambar 4.9) diketahui adanya perubahan puncak absorbansi, perubahan warna pendaran, dan

penurunan intensitas pendaran. Peristiwa ini terjadi karena karbon dot berinteraksi dengan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} membentuk ikatan silang yang mengakibatkan terbentuknya endapan sehingga terjadi penurunan intensitas pendaran karbon dot (Neelam dkk., 2015).

4.3 Kajian Keislaman

Pada QS. Al-Imron [3]: 191 disebutkan bahwa Allah tidaklah menciptakan makhluk ciptaan ini dengan sia-sia.

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْت
هٰذَا بَطٰلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya : “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.” (QS. Al-Imron [3] : 191)

QS. Al-Imran [3]: 191 Allah SWT menguraikan sekelumit dari penciptaan-Nya serta memerintahkan agar memikirkannya. Apalagi seperti dikemukakan pada awal uraian surat ini bahwa tujuannya adalah membuktikan tentang tauhid, keesaan, dan kekuasaan Allah SWT. Hukum-hukum alam yang melahirkan kebiasaan-kebiasaan, pada hakikatnya ditetapkan dan diatur oleh Allah Yang Maha Menguasai dan Maha Mengelola segala sesuatu (Shihab, 2002). Ayat ini mengajak manusia untuk senantiasa berdzikir dalam memikirkan penciptaan alam semesta, baik dengan menelaah segala sesuatu yang ada dengan pedoman Al-Qur'an. Manusia bisa melakukan eksplorasi dan mengembangkan ilmu dari sumber dan rambu-rambu yang terdapat dalam Al-Qur'an (Kementrian Agama, 2010).

Di dalam al-Qur'an terdapat banyak ayat dalam bentuk bervariasi yang menyuruh manusia untuk menggunakan akal dengan baik, memikirkan segala

sesuatu, baik yang berkenaan dengan alam semesta maupun berkenaan dengan dzikir kepada Allah SWT, diantaranya adalah QS. Ali Imran: 191. Implikasi dalam pendidikan Islam, penafsiran ayat seperti ini adalah mendorong bahwa tujuan utama dari proses pendidikan itu peningkatan iman dan takwa (Imron, 2012). Hal ini dikarenakan ilmu pengetahuan di alam raya bisa terarah kepada beberapa cabang ilmu pendidikan, seperti hasil kajian atau penelitian terhadap benda-benda mati (tidak bernyawa) yang ada di bumi menyebabkan kemunculan ilmu fisika, hasil penelitian dan kajian terhadap benda-benda ruang angkasa menyebabkan kelahiran ilmu astronomi, hasil kajian terhadap keadaan alam dan keragaman menyebabkan kemunculan ilmu geografi dan demikian seterusnya.

Dalam kaitan dengan pendidikan Islam, ayat ini menunjukkan bahwa salah satu proses pendidikan dilaksanakan pada dimensi akal manusia, karena akal ini adalah daya ruhani untuk menyerap kebenaran dan ilmu pengetahuan yang objektif.. pada dasarnya manusia lahir diberikan anugerah oleh Allah Swt yang sangat besar sekali, yaitu akal. Peran akal sangat penting dalam kehidupan. Akal yang terdapat dalam QS. Ali Imran: 191 memiliki fungsi untuk berpikir (tafakkur) dan untuk mengingat-Nya (tadzakur). Di dalam tafakkur terkandung fungsi mengetahui, memahami menerapkan, menganalisis, mensintesis dan mengevaluasi segala bentuk kegiatan, sedangkan di dalam tadzakkur terkandung fungsi memperhatikan, merespon, menghargai, mengorganisasikan nilai dan mengkarakterisasi ilmu pengetahuan. Akal harus dijadikan sebagai pedoman dalam meneruskan tujuan dan pengetahuan. Implikasi dalam dunia ilmu pengetahuan adalah menerapkan sesuatu yang harus mempertimbangkan potensi akal seperti halnya eksperimen yang membina, mengarahkan dan mengembangkan potensi akal

manusia, sehingga terampil dalam memecahkan berbagai masalah, memiliki kemampuan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi serta memiliki pemahaman yang baik dan benar (Senang, 2016).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) pada pembuatan karbon dot dari ampas kopi menghasilkan gugus fungsi C=N, S=O, dan B-O yang menunjukkan keberadaan nitrogen, sulfur, dan boron. Adanya gugus fungsi C=C dan C=O menunjukkan terbentuknya karbon dot. Karbon dot memiliki fasa amorf pada sudut difraksi 10-35°. Panjang gelombang serapan yang dimiliki karbon dot dari ampas kopi berada pada panjang gelombang 200-270 nm dan 300-340 nm. Sedangkan energi gap yang dimiliki sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B yaitu, 3,34 eV, 3,28 eV, 3,31 eV, dan 3,27 eV.
2. Penambahan doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) pada pembuatan karbon dot dari ampas kopi menghasilkan warna pendaran biru kehijauan yang sesuai dengan hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi fotoluminesensi yang menunjukkan pergeseran panjang gelombang ke kanan (warna hijau).
3. Karbon dot dengan variasi doping nitrogen (N), sulfur (S), dan boron (B) berhasil mendeteksi ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} dengan mekanisme deteksi *turn off*. Intensitas emisi dari seluruh sampel karbon dot menurun setelah tercampur dengan ion logam Pb^{2+} dan Fe^{3+} sehingga warna pendaran yang dihasilkan semakin redup.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan proses dialisis sampel agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvin, D., dkk. 2019. *Pengaruh Doping Nitrogen Sulfur, dan Boron Terhadap Spektrum Absorbansi dan Fotoluminesensi Karbon Dot Asam Sitrat*. Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics :P-ISSN: 2621-0215, E-ISSN: 2621-489X Vol.2 No.II
- Arum, S. C. 2018. *Sintesis Graphene Oxide Berbahan Dasar Graphite Limbah Baterai Zinc-Carbon dalam Fase Cair menggunakan Frekuensi Audiosonik dan Ultrasonik*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- At-Thabari, A. J. M. bin J. (2008). *Tafsir At-Thabari Jilid 7* (A. Affandi (ed.)). Pustaka Azzam.
- Bagal-Kestwal, D. et al. 2008. *Invertase inhibition based electrochemical sensor for the detection of heavy metal ions in aqueous system: Application of ultra-microelectrode to enhance sucrose biosensor's sensitivity*. Biosensor and Bioelectronics, 24(4), pp. 657–664. doi: 10.1016/j.bios.2008.06.027.
- Bansod, B. K. dkk. 2017. *A review on various electrochemical techniques for heavy metal ions detection with different sensing platforms*. Biosensors and Bioelectronics, 94, pp. 443–455. doi: 10.1016/j.bios.2017.03.031.
- Barman, M.K.; Patra, A. 2018. *Current status and prospects on chemical structure driven photoluminescence behaviour of carbon dots*. J. Photochem. Photobiol. C 2018, 37, 1–22.
- Caetano, N. 2012. *Valorization of Coffee Grounds For Biodiesel Production*. Chemical Engineering Transactions 2012:267-272.
- Carbonaro, C., Corpino, M., Salis, O., Mocci, F., Thakkar, SV, Olla, C., dkk. 2019. *Tentang sifat emisi titik karbon: meninjau data dan mendiskusikan model*. J. Carbon Res. 5 (4), 60.doi:10.3390/c5040060
- Chan, K. K., Yap, S. H. K., and Yong, K. T. 2018. *Biogreen synthesis of carbon dots for biotechnology and nanomedicine applications*. Nano-Micro Lett. 10 (4). doi:10.1007/s40820-018-0223-3
- Cruz R, Baptista P, Cunha S, Pereira JA, Casal S. 2012. *Carotenoids of Lettuce (Lactuca sativa L.) Grown on Soil Enriched with Spent Coffee Grounds*. 1535–1547. DOI: 10.3390/molecules17021535.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Devi, S. ddk. 2018. *Synthesis and characterization of highly luminescent N-doped carbon quantum dots for metal ion sensing*. Integrated Ferroelectrics, 186(1), pp. 32–39. doi: 10.1080/10584587.2017.1369322.

- 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 Cds Tequantum dots synthesized by the reflux method*. *Luminescence* 30: 465-471.
- Ding, H. Li, X.H. Chen, X.B. Wei, J.S. Li, X.B. dan Xiong, H.M. 2020. *Surface States of Carbon Dots and Their Influences on Luminescence*. *Journal of Applied Physics*, 127, 231101.
- Douglas A. Skoog, Stanley R. Crouch, F. James Holler. 2006. *Principles Of Instrumental Analysis*. Thomson Brooks/Cole.
- Dwandaru, W. S. B., & Sari, E. K. 2020. *Chicken Bone Wastes as Precursor for C-dots in Olive Oil*. *Journal of Physical Science*, 31(2), 113-131.
- Emami, Elham; Mohammad H. Mousazadeh. 2021. *Green synthesis of carbon dots for ultrasensitive detection of Cu²⁺ and oxalate with turn on-of-on in aqueous medium and its application in cellular imaging*. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*. 418. 113443.
- Farah, F., Umayyah, S., & Eko, B. 2023. *Studi Tafsir Tematik: Kajian Nanopartikel Menurut Al-Qur'an Serta Pemanfaatannya di Bidang Medis*. *Es-Syajar: Journal of Islamic Integration Science and Technology* Vol.1 No.2 (2023): 89 – 101
- Fauzi, Imron. 2012. *Manajemen Pendidikan Ala Rasulullah*. Yogyakarta: Ar-Ruzz Media.
- Fernando K.A.S., Sahu S.P., Liu Y., Lewis W.K., Gulians 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.
- Fessenden. 1997. *Kimia Organik Jilid 1, edisi ketiga* Jakarta: Erlangga.
- Fu Lige, Yin Yuehong, Cao Guohua, Wu Pingping, Wang Jian, Yan Lingling, Zhang Baoqing, Li Ming. *A new sulfur-doped source and synergistic effect with nitrogen for carbon dots produced from glucose*. *Chinese Physics B*, 2019, 28(12): 128102.
- Ganeshlenin, K. 2019. *Recent Advancement in Doped/Co-Doped Carbon Quantum Dots for Multi-Potential Applications*. *Journal of Carbon Research: C2019*, 5, 24, doi:10.3390/c5020024.
- George, M., 2021. *Breaking New Grounds for Coffee*. *Food Science and Technology: Volume 35, Issue 2 / P. 28-3.1*.
- 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.

- Gu, D., Shang, S., Yu, Q., and Shen, J. 2016. *Green Synthesis of Nitrogen-Doped Carbon Dots from Lotus Root for Hg (II) Ions Detection and Cell Imaging*. Applied Surface Science, 390, 38–42.
- Gumpu, M. B. et al. 2015. *A review on detection of heavy metal ions in water - An electrochemical approach*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 213(July), pp. 515–533. doi: 10.1016/j.snb.2015.02.122.
- Hamka. (1990). *Tafisr al-Azhar*. Pustaka Nasional PTE LTD.
- Hao, J. dkk. 2017. *Ratiometric fluorescent detection of Cu²⁺ with carbon dots chelated Eu-based metal-organic frameworks*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 245, pp. 641–647. doi: 10.1016/j.snb.2017.02.029.
- Hasan, E., Mustafa, K., Ali, K., & Sukru, O. 2021. *One-Pot Synthesis of Carbon Quantum Dots and Their Application as a Fluorescent Inks*. Eskişehir Technical Univ. J. of Sci. and Tech. A – Appl. Sci. and Eng. 22 (4) – 2021
- Hasan, M. Gomes, V. G., Dehghani, A., & Ardekani, S. M. 2018. *Engineering carbon quantum dots for photomediated theranostics*. Nano Research, 11(1),1-14.
- Hui, D., Shang-Bo Y., Ji-Shi W., & Huan-Ming X. 2016. *Full-Color Light Emitting Carbon Dots with a Surface-State-Controlled Luminescence Mechanism*. ACS Publications: ACS nano 2016, 10, 1, 484-491.
- Igwe, J.C and Abia, A.A., 2006, *A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents*. African Journal of Biotechnology Vol.5(12), 1167- 1179.
- Irianti, Tanti T., dkk. 2017. *Logam Berat & Kesehatan*. Yogyakarta: Penerbit.
- Kasdi, S. 2020. *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2020*. Kementrian Pertanian : Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Kementrian Agama RI. 2010. *Penciptaan Jagat Raya dalam Prespektif Al-Qur'an dan Sains*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Quran.
- Khan, Z. M. S. H. dkk. 2020. *A facile one step hydrothermal synthesis of carbon quantum dots for label -free fluorescence sensing approach to detect picric acid in aqueous solution*. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 388, p. 112201. doi: 10.1016/j.jphotochem.2019.112201.
- Kim, M., dkk. 2017. *Synthesis of nanoparticles by laser ablation: A review*. KONA Powder and Particle Journal, 2017(34), pp. 80–90. doi: 10.14356/kona.2017009.
- Kurdekar, A., Chunduri, A., Bulagonda, P., Haleygirisetty, M., Kamiseti, Venkataramaniah, Hewlett, I. 2016. *Comparative performance evaluation*

of carbon dot-based paper immunoassay on Whatman filter paper and nitrocellulose paper in the detection of HIV infection. Microfluidics and Nanofluidics : 10.1007/s10404-016-1763-9.

- Lewa, I. W. L. dkk. 2019. *Bright green fluorescence of microwave irradiationsynthesized Cdots as sensitive probe of iron (III).* Material Research Express, 6(10), pp. 1–9.
- Liu, M. L. Chen, B.B.; Li, C.M.; Huang, C.Z. 2019. *Carbon dots: Synthesis, formation mechanism, fluorescence origin and sensing applications.* Green Chem. 2019, 21, 449.
- Liu, Yingshuai; Yanan Zha;, Yuanyuan Zhang. 2014. *One-Step Green Synthesized Fluorescent Carbon Nanodots from Bamboo Leaves for Copper (II) Ion Detection.* Sensors and Actuators B: Chemical. 196. 647-652.
- Long, C. dkk. 2021. *Applications of carbon dots in environmental pollution control: A review.* Chemical Engineering Journal, 406(June 2020), p. 126848. doi: 10.1016/j.cej.2020.126848.
- Luo, L. dkk. 2018. *pH assisted selective detection of Hg (II) and Ag(I) based on nitrogen-rich carbon dots.* Sensors and Actuators, B: Chemical, 273(December 2017), pp. 1640–1647. doi: 10.1016/j.snb.2018.07.090.
- 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.
- Marcott, C. 1986. *Material Characterization Hand Book vol. 10: Infrared Spektroskopy.* Amerika: ASM International.
- Maria, T. 2019. *Photoluminescence Spectroscopy of Carbon Dots.* Edinburgh Instruments
- Martin S, & Griswold W. 2009. *Human health effects of heavy metals.* Environmental Science and Technology Briefs for Citizens; (15): 1–6.
- Mehrotra, B. N. 1981. *The crystal structure of Na₂SO₄ III.* Zeitschrift für Kristallographie, 155, 159-163
- Min, K. J. 2018. *Synthesis and Characterization of Dried Leaves Derived Carbon Quantum Dots for Metal Ions Sensing and Photocatalytic Application.*
- Molaei, M. J. 2020. *Principles, mechanisms, and application of carbon quantum dots in sensors: A review.* Analytical Methods, 12(10), pp. 1266–1287. doi: 10.1039/c9ay02696g.
- Mukesh Lavkush Bhaisare, Abou Talib, M. Shahnawaz Khan, Sunil Pandey, Hui-Fen Wu. 2015. *Synthesis of Fluorescent Carbon Dots Via Microwave Carbonization of Citric Acid in Presence of Tetraoctylammonium Ion, and*

Their Application to Cellular Bioimaging. Microchim Acta: Springer-Verlag Wien.

- Mulja, M. dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Surabaya: Airlangga University Press, hal. 19-48.
- Nadhira, N. 2018. *Synthesis of Organic Waste-Based Carbon Dots as Heavy Metal Ion Detection Sensor*. ITS: Faculty of Industrial Technology.
- Nasir, S., Hussein, M.Z., Zainal, Z., Yusof, N. A., Zobir, S. A. M., Alibe, I. M. 2019. *Potential Valorization of By-product Material from Oil Palm: A Review Alternative and Sustainable Carbon Sources for Carbon-based Nanomaterial Synthesis*. BioResourcer, vol. 14(1), 2019, pp. 2353-2388.
- Neelam, G., Barooh, M., Majumdar, G., and Chowdhury, D. 2015. *Carbon dots rooted agarose hydrogel hybrid platform for optical detection and separation of heavy metal ions*. Washington DC: ACS Publications
- Nguyen, V., dkk. 2015. *Femtosecond laser-induced size reduction of carbon nanodots in solution: Effect of laser fluence, spot size, and irradiation time*. Journal of Applied Physics, 117(8). doi: 10.1063/1.4909506.
- Pacquiao, M. R. dkk. 2018. *Highly fluorescent carbon dots from enokitake mushroom as multi-faceted optical nanomaterials for Cr⁶⁺ and VOC detection and imaging applications*, Applied Surface Science, 453, pp. 192–203. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.199.
- Parya, E., Rhim, J., Rahim, M., Ruchir, P., Roy, S., Min, S., Kim, Y., Lee, S., Han, S. 2022. *Preparation and characterization of B, S, and N-doped glucose carbon dots: Antibacterial, antifungal, and antioxidant activity*. Sustainable Materials and Technologies: Volume 32, e00397.
- Patel, N. H. 2015. *Basic Principle, Working and Instrumentation of Experimental Techniques*. Gujarat: Sardar Patel University.
- Peng, H., J. Travas-Sejdic. 2009. *Simple Aqueous Solution Route to Luminescent Carbogenic Dots from Carbohydrates*. Chem. Mater 21: 5563-5565.
- Prasad, R. 2019. *Nanobionics*.
- 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.
- Rohit Ranganathan Gaddam, D. Vasudevan, Ramanuj Narayan, and K. V. S. N. Raju. 2014. *Controllable Synthesis of Biosourced Blue-Green Fluorescent Carbon Dots From Camphor For The Detection of Heavy Metal Ions in Water*. RSC Adv., vol. 4, 2014, pp. 57137–57143.

- Rojikhi. 2011. *Pemanfaatan Hasil Pirolisis Bulu Ayam Sebagai Absorben Ion Na dan Fe dalam Larutan*. Skripsi. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Sahu, S, dkk. 2012. *Simple One-Step Synthesis of Highly Luminescent Carbon Dots from Orange Juice: Application as Excellent Bioimaging Agents*. Chem Commun., 48: 8835-8837.
- Sandra, L., Jocelyn, Z., Dulce, M., Lei, Z., & Elba, O. 2015. *Encapsulation and Caffeine in Cu₃(BTC)₂ Metal-Organic Framework*. Surface Inovation 4(2): 1-36.
- Senang. 2016. *Peran Akal Dalam QS. Ali Imran: 190-191 Terhadap Pendidikan Islam*. Urwatul Wutsqo, Volume 5 No. 2.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press
- Shahbazi, N. and Zare-Dorabei, R. 2019. *A novel "off-on" fluorescence nanosensor for sensitive determination of sulfide ions based on carbon quantum dots and gold nanoparticles: Central composite design optimization*. Microchemical Journal, 145(September 2018), pp. 996–1002. doi: 10.1016/j.microc.2018.12.022.
- Shen, C., Wang, J., Cao, Y., & Lu, Y. (2015). *Facile access to B-doped solid-state fluorescent carbon dots toward light emitting devices and cell imaging agents*. Journal of Materials Chemistry C, 3(26), 6668–6675.
- Shi, Y., Shen, W., & Gao, Z. 2015. *Carbon quantum dots and their applications*. Chemical Society, Vol 44-1.
- Shihab, M. Quraish. 2002. Tafsir Al-Misbah. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2006. Tafsir Al-Misbah. Jakarta: Lentera Hati.
- Sudarmo. 2006. *Kimia*. Jakarta: Erlangga.
- Sun, X. and Lei, Y. 2017. *Fluorescent carbon dots and their sensing applications*, TrAC - Trends in Analytical Chemistry, 89, pp. 163–180. doi: 10.1016/j.trac.2017.02.001.
- Sung, J. P., Hyun, K. Y., 2022. *Ultra-Fast Synthesis of Carbon Dots Using The Wasted Coffee Residues For Environmental Remediation*. Current Applied Physics 36 (2022) 9–15.
- Tabaraki, R., Abdi, O. *Fluorescent sensing of Pb²⁺ by microwave-assisted synthesized N-doped carbon dots: application of response surface methodology and Doehlert design*. J IRAN CHEM SOC 17, 839–846 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13738-019-01815-y>

- Tian, T., Yu, H., Ge, Y., & Song, G. 2017. *One-pot synthesis of boron and nitrogen co-doped carbon dots as the fluorescence probe for dopamine based on the redox reaction between Cr(VI) and dopamine*. *Sensors and Actuators B* 240 (2017) 1265–1271.
- Tuerhong, Mhetaer; Yang Xu; Xue Bo Yin. 2017. Review on Carbon Dots and Their Application. *Chinese journal of Analytical Chemistry*. 45(1). 139-150.
- Valko, M., Morris, H. and Cronin, M. 2005. *Metals, Toxicity and Oxidative Stress*. *Current Medicinal Chemistry*, 12(10), pp. 1161–1208. doi: 10.2174/0929867053764635.
- Wang, Y., & Hu, A. (2014). *Carbon Quantum Dots: Synthesis, Properties, and Applications*. *Journal of Materials Chemistry C*, 2(34), 6921.
- Wei, J., dkk. 2014. *Simple one-step synthesis of water-soluble fluorescent carbon dots from waste paper*. *New Journal of Chemistry*, 38(3), 906–909.
- Wilson, A. H. 1965. *The Theory of Metals*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Xiaowei, Mu. 2016. *The effect of doped heteroatoms (nitrogen, boron, phosphorus) on inhibition thermal oxidation of reduced graphene oxide*. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology. China
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H.J., Gearheart, L., Raker, K., & Scrivens, W.A. 2004. *Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments*. *J. Am. Chem. Soc.* 2004, 126, 12736–12737.
- Yan, Z., Xiaoxuan, Z., Lu, L., Zhiqing, D, Yanping, L., Jingjing, C., Yafang, R., Chen, D. 2022. *One-Step Synthesis of Nitrogen/Fluorine Co-Doped Carbon Dots for Use in Ferric Ions and Ascorbic Acid Detection*. *Nanomaterials* 2022, 12 (14), 2377.
- Zachariasen, W. H. 1934. *The crystal lattice of boric acid, BO_3H_3* . *Zeitschrift für Kristallographie*, 88, 150-161
- 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.
- Zu, F., dkk. 2017. *The quenching of the fluorescence of carbon dots: A review on mechanisms and applications*. *Microchimica Acta*, 184(7), pp. 1899–1914. doi: 10.1007/s00604-017-2318-9.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Selama Pelaksanaan Penelitian

Limbah ampas kopi sebelum dikeringkan



Ampas kopi dikeringkan pada temperatur 100°C



Ampas kopi kering ditumbuk



Diayak dengan ayakan 250 mesh



Ditimbang ampas kopi 10 gr



Ditambahkan dopan 2,5 gr



Ditambah aquades 100ml dan disonikasi selama 1 jam



Diaduk dengan stirrer 250 rpm selama 2 jam dengan temperature 200°C



Ditambahkan ethanol 70% 50 ml



Disaring dengan filter membran 0,2 μm



Disentrifugasi selama 15 menit



Dikeringkan pada temperatur 70°C selama 21 jam



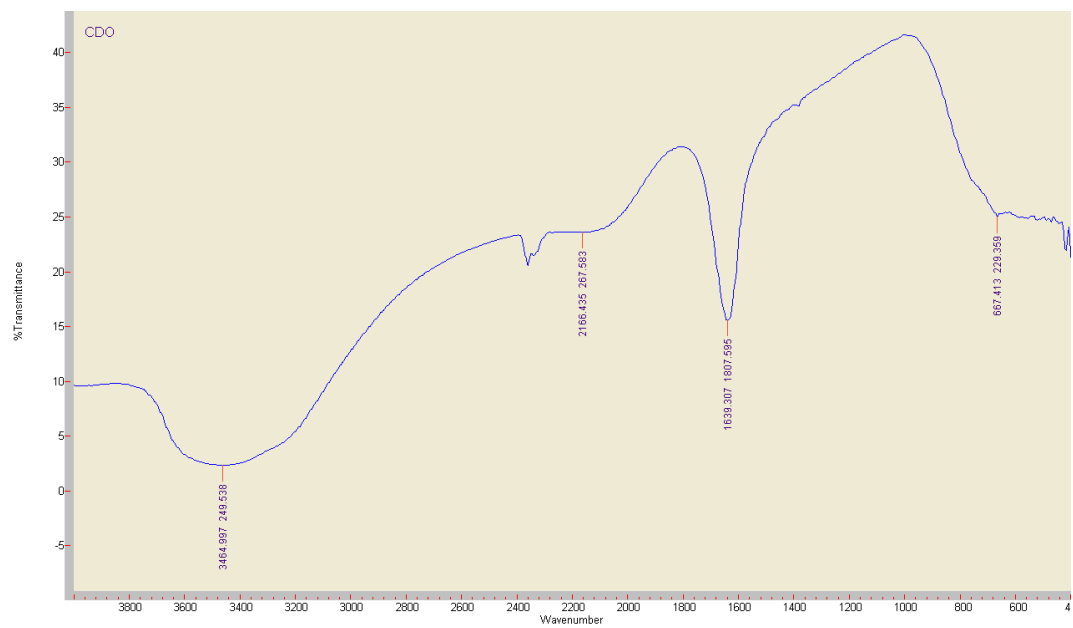
Sampel karbon dot yang sudah kering dikerik



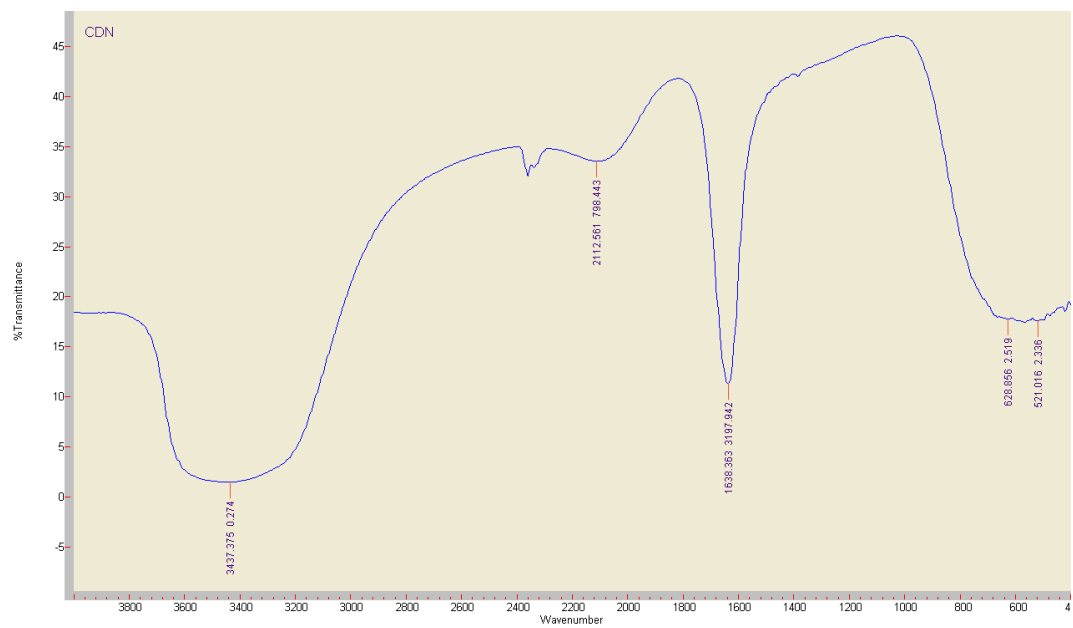
Serbuk karbon dot diencerkan menjadi 1000 ppm

Lampiran 2. Data FTIR

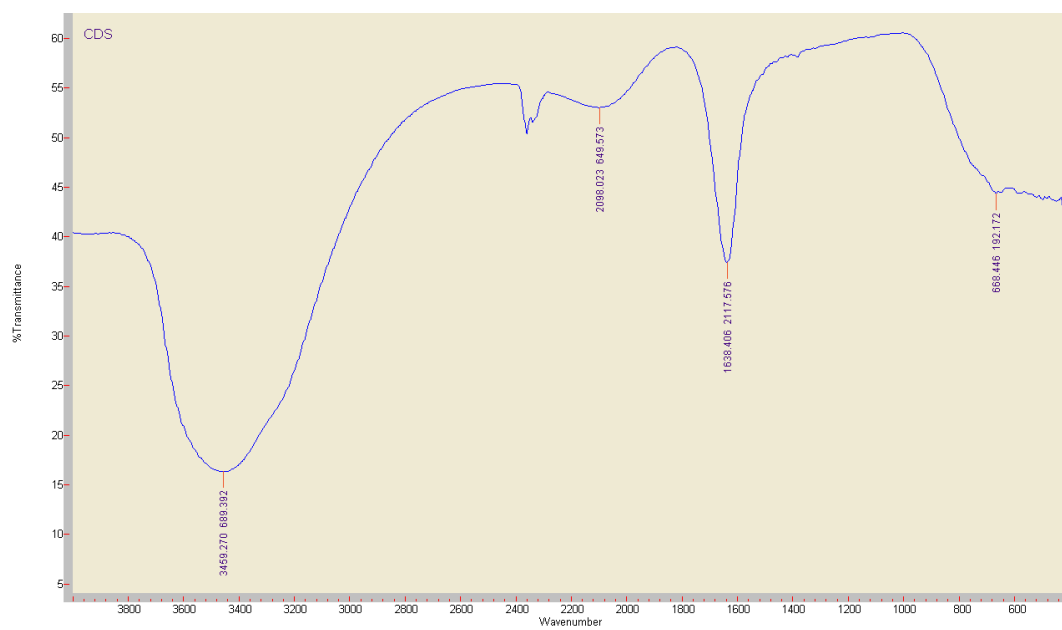
1. CD



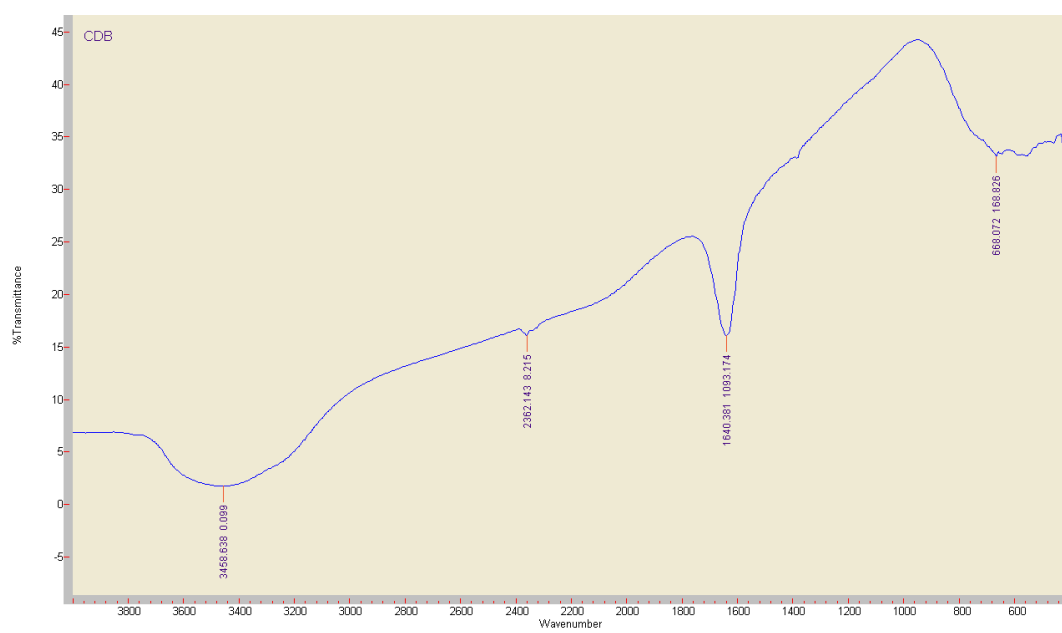
2. CD-N



3. CD-S

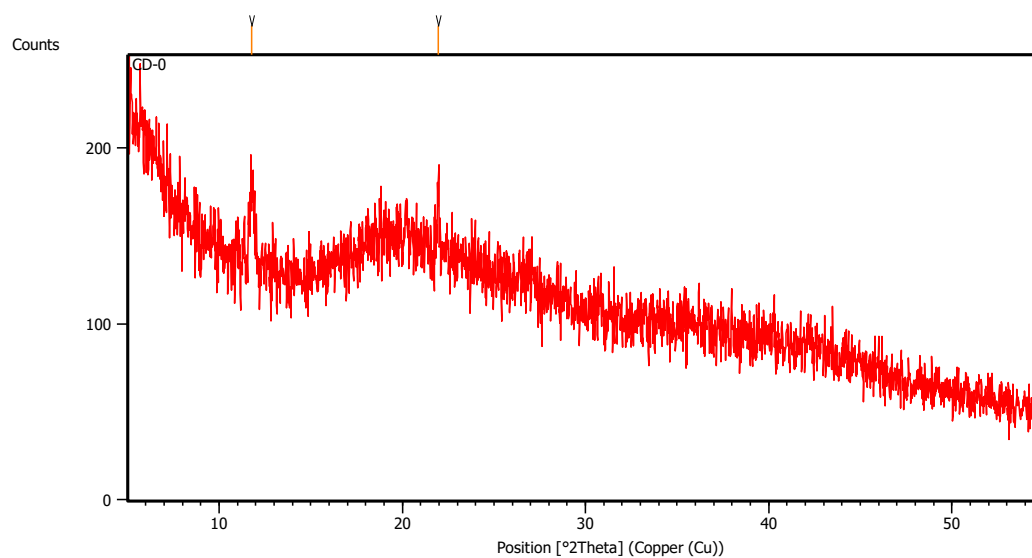


4. CD-B

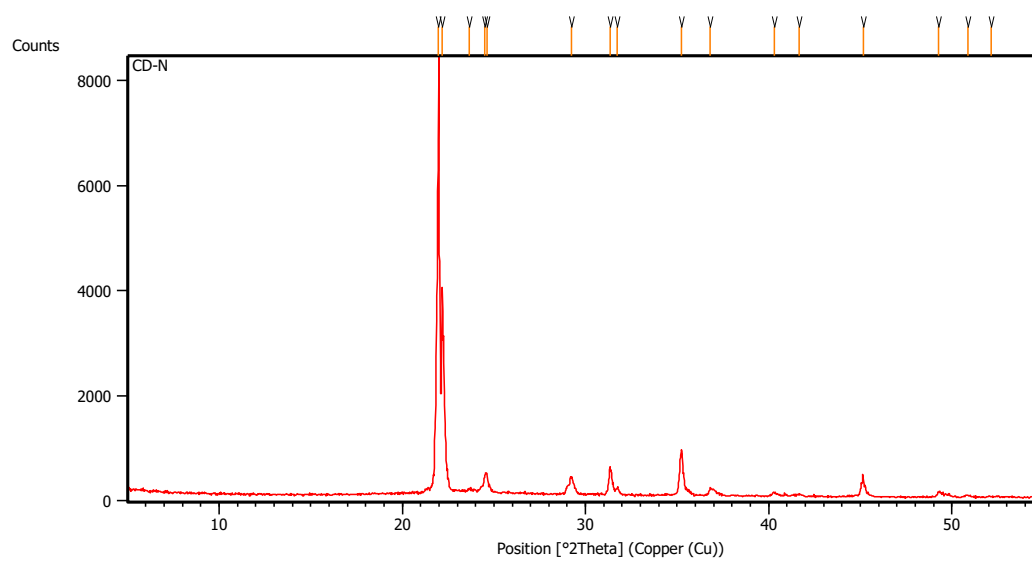


Lampiran 3. Data XRD

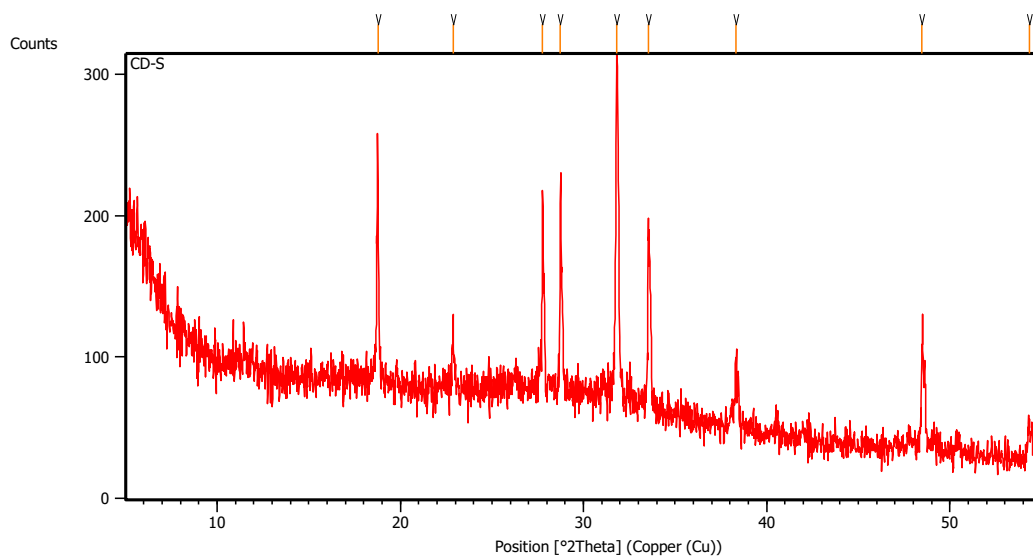
1. CD



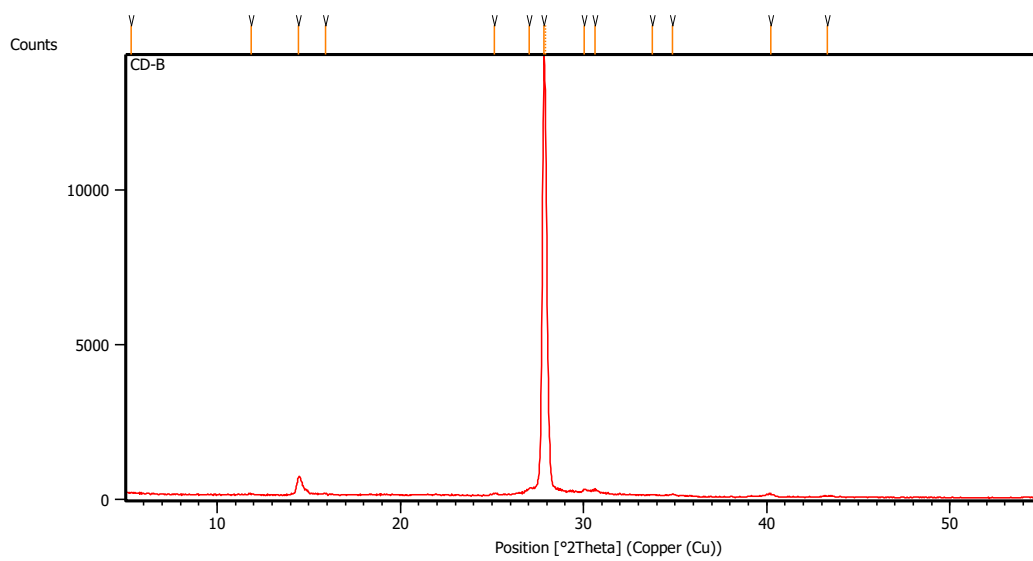
2. CD-N



3. CD-S



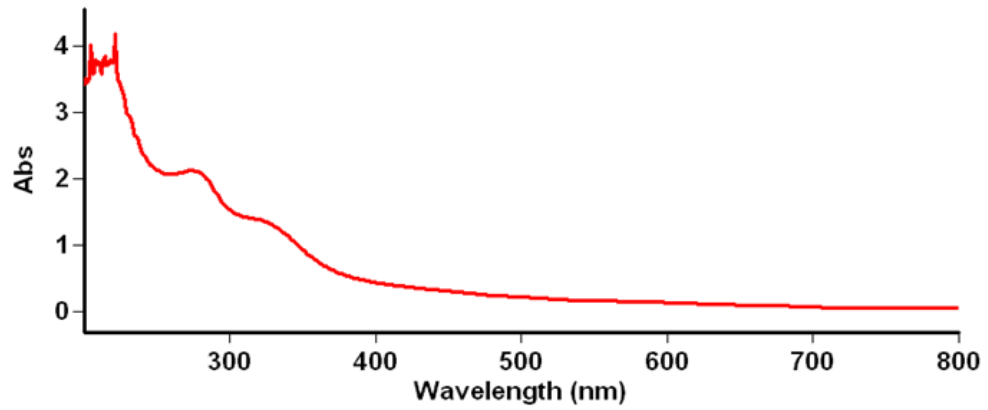
4. CD-B



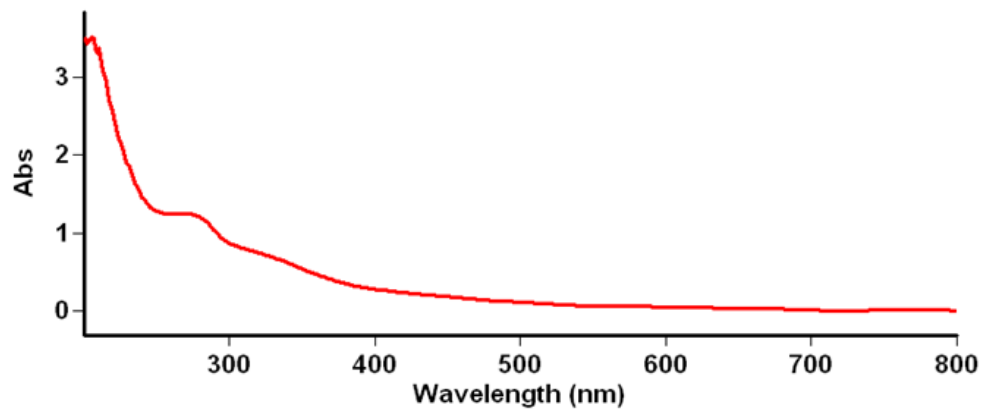
Lampiran 4. Data UV-Vis

1. Absorbansi Sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B

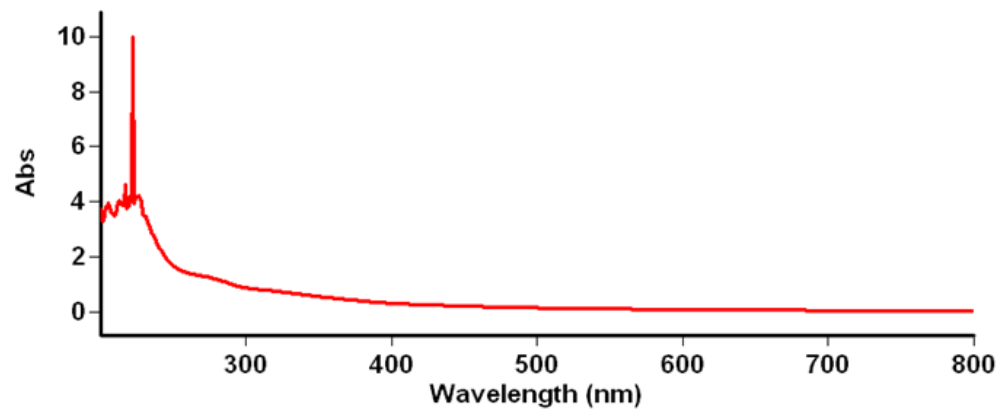
a. CD



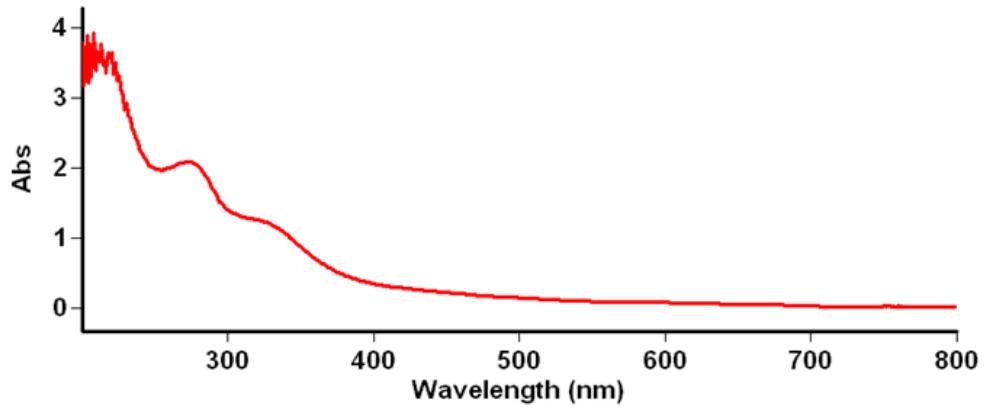
b. CD-N



c. CD-S



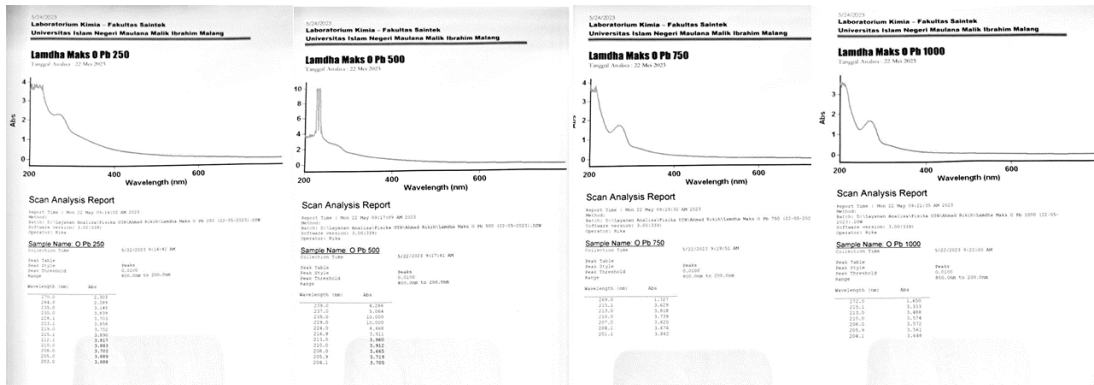
d. CD-B



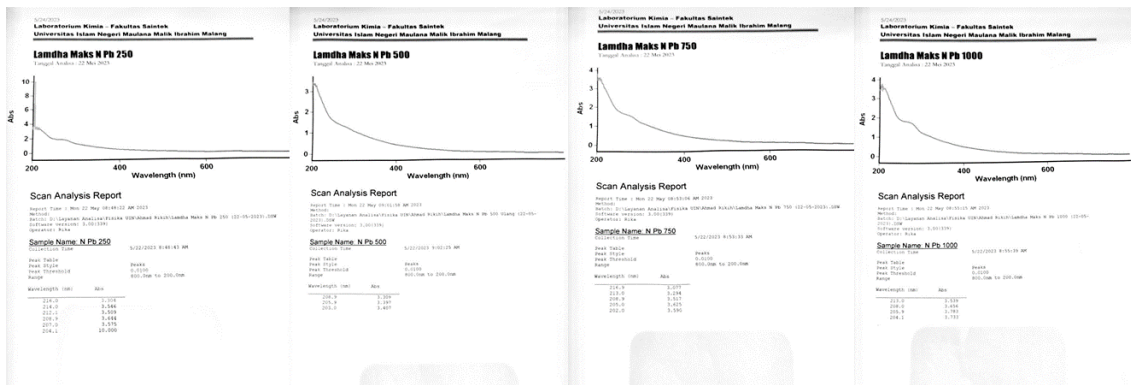
2. Absorbansi Sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B dengan Ion Logam Berat Pb^{2+} dan Fe^{3+}

a. Sampel Karbon Dot dengan Ion Logam Pb^{2+}

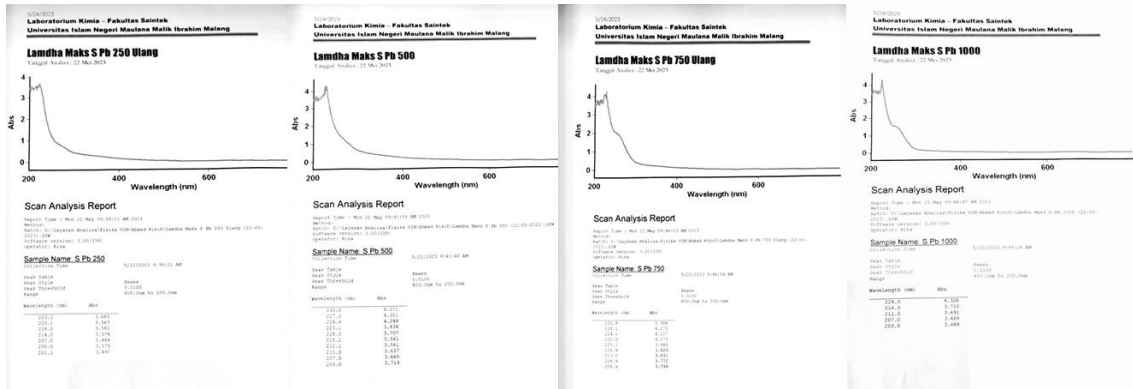
- CD + Pb^{2+} (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)



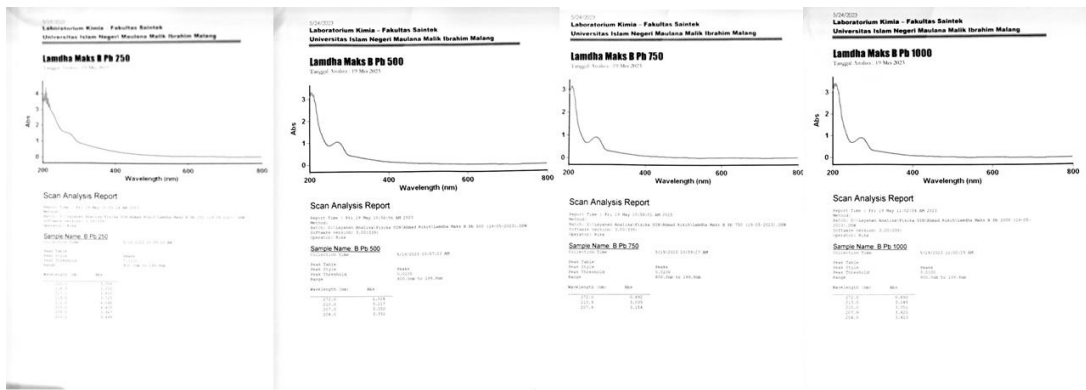
- CD-N + Pb^{2+} (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)



- CD-S + Pb²⁺ (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)

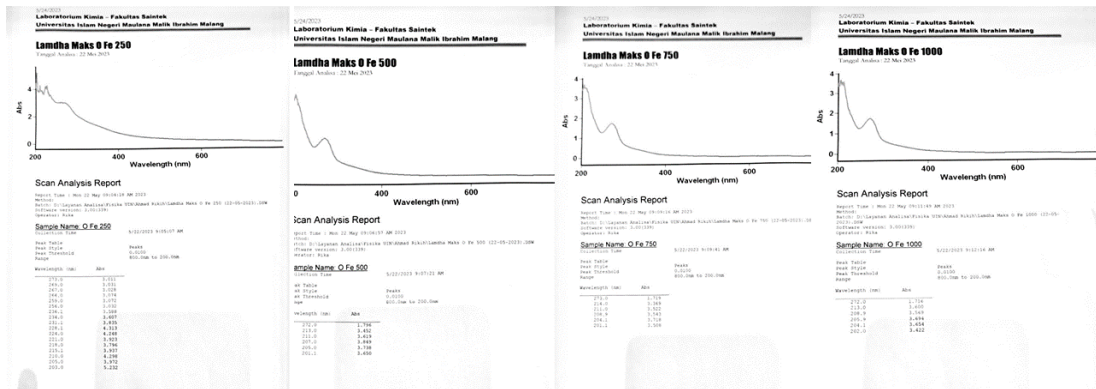


- CD-B + Pb²⁺ (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)

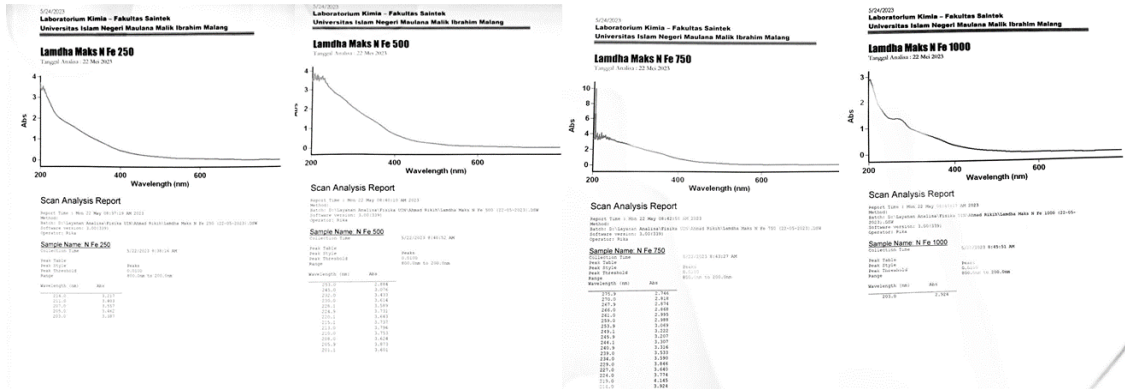


b. Sampel Karbon Dot dengan Ion Logam Fe³⁺

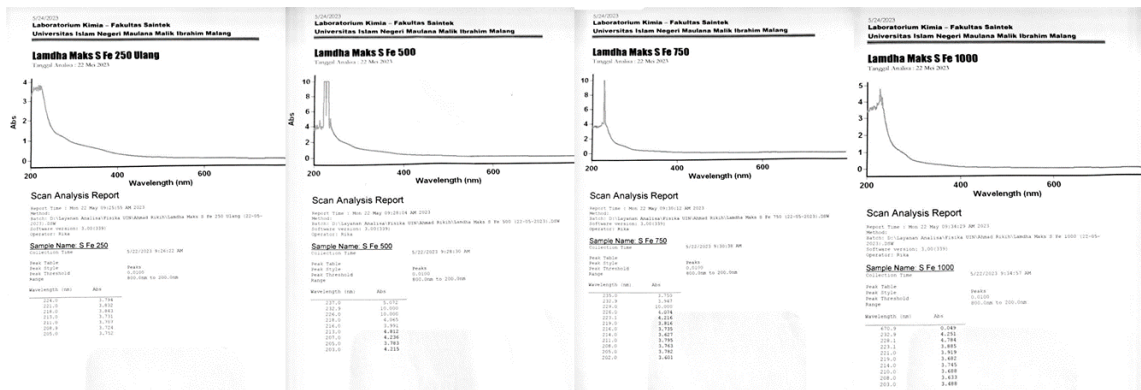
- CD + Fe³⁺ (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)



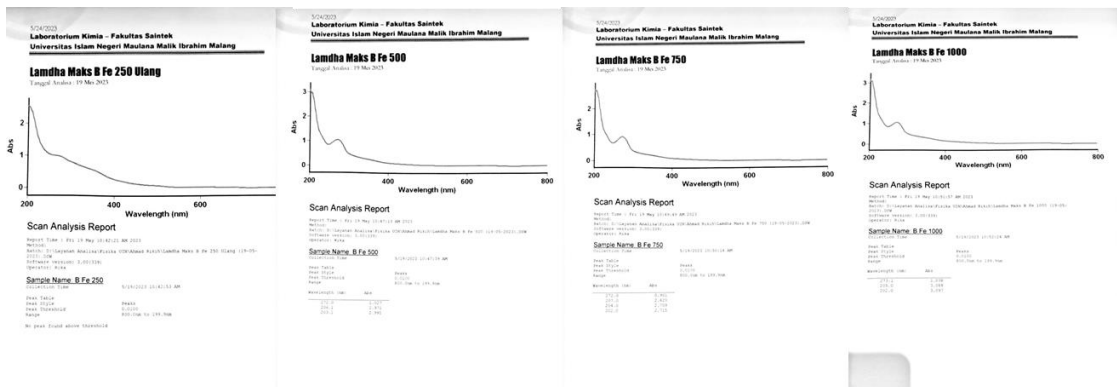
- CD-N + Fe³⁺ (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)

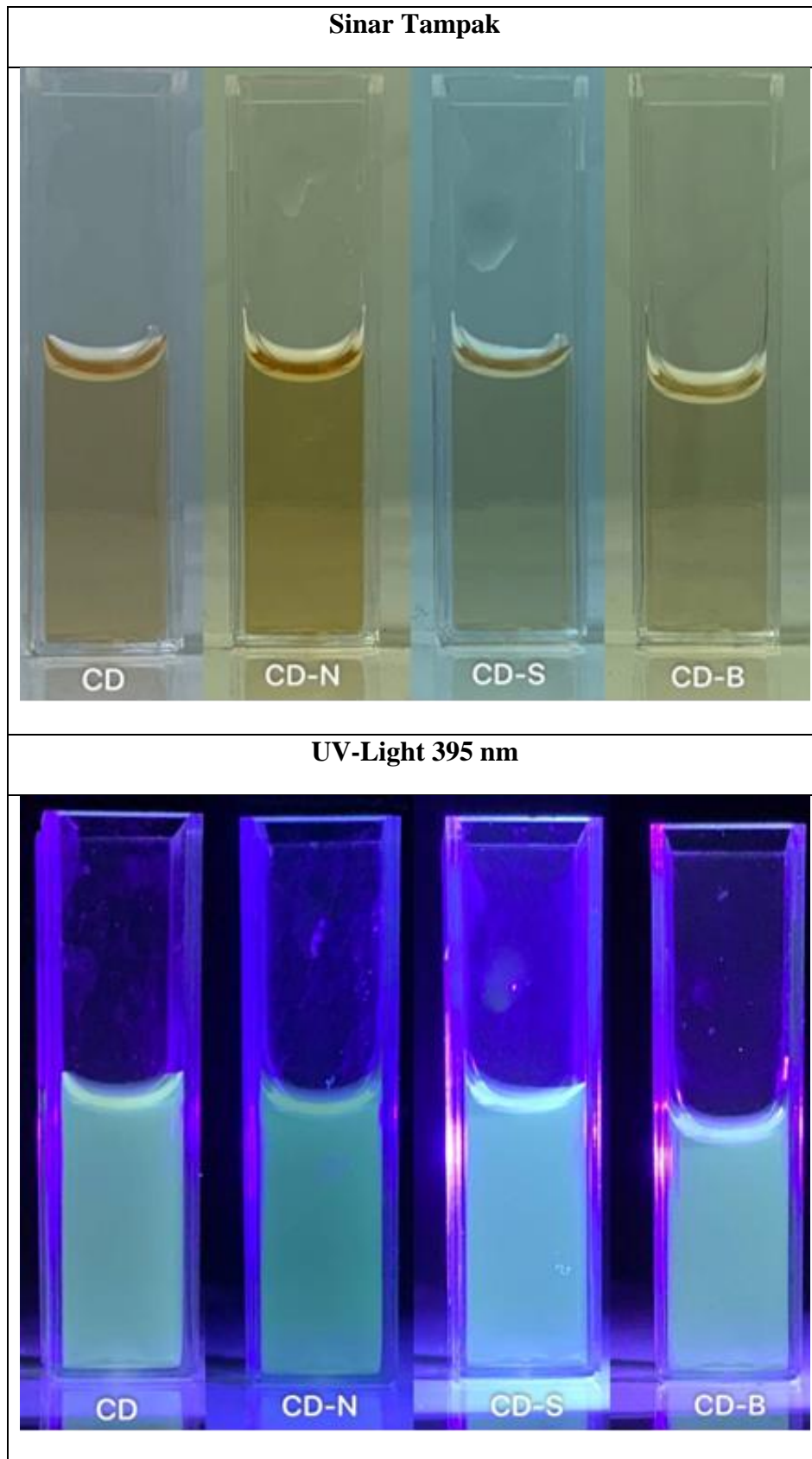


- CD-S + Fe³⁺ (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)



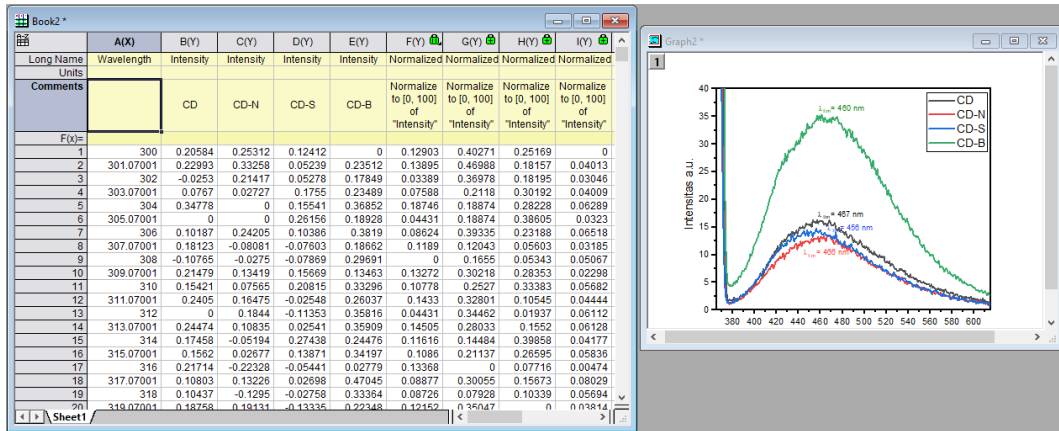
- CD-B + Fe³⁺ (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm)



Lampiran 5. Uji Pendaran Menggunakan UV-Light 395 nm

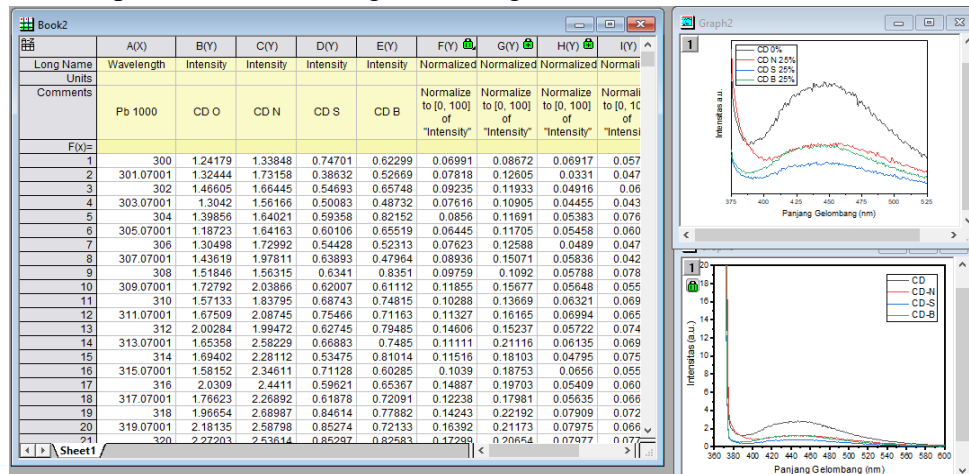
Lampiran 6. Data PL

1. Hasil Karakterisasi Sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B

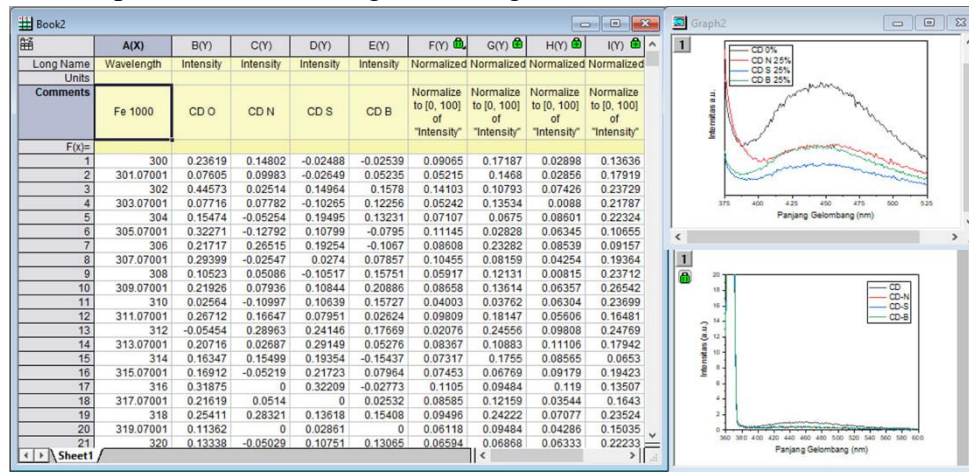


2. Hasil Karakterisasi Sampel CD, CD-N, CD-S, dan CD-B dengan Ion Logam Berat Pb²⁺ dan Fe³⁺

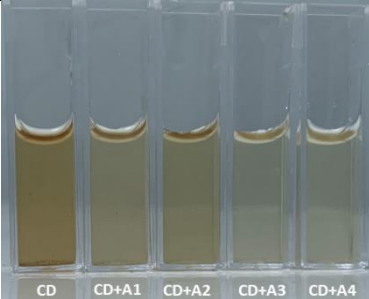
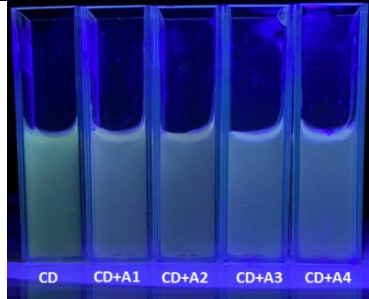
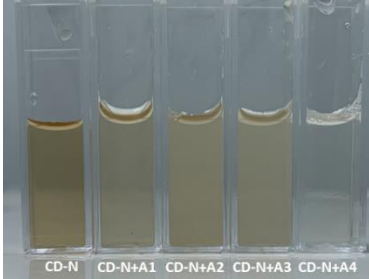
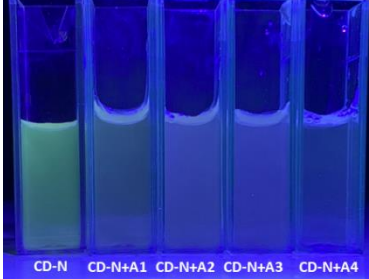

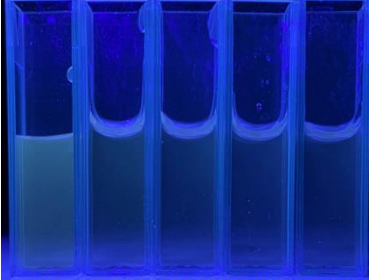
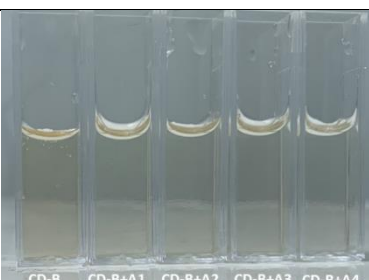
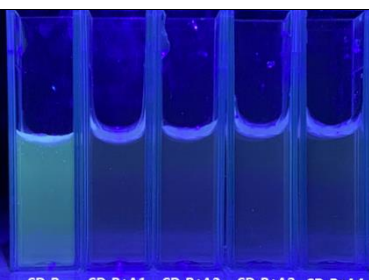

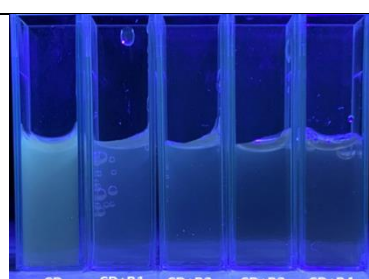
a. Sampel Karbon Dot dengan Ion Logam Pb²⁺

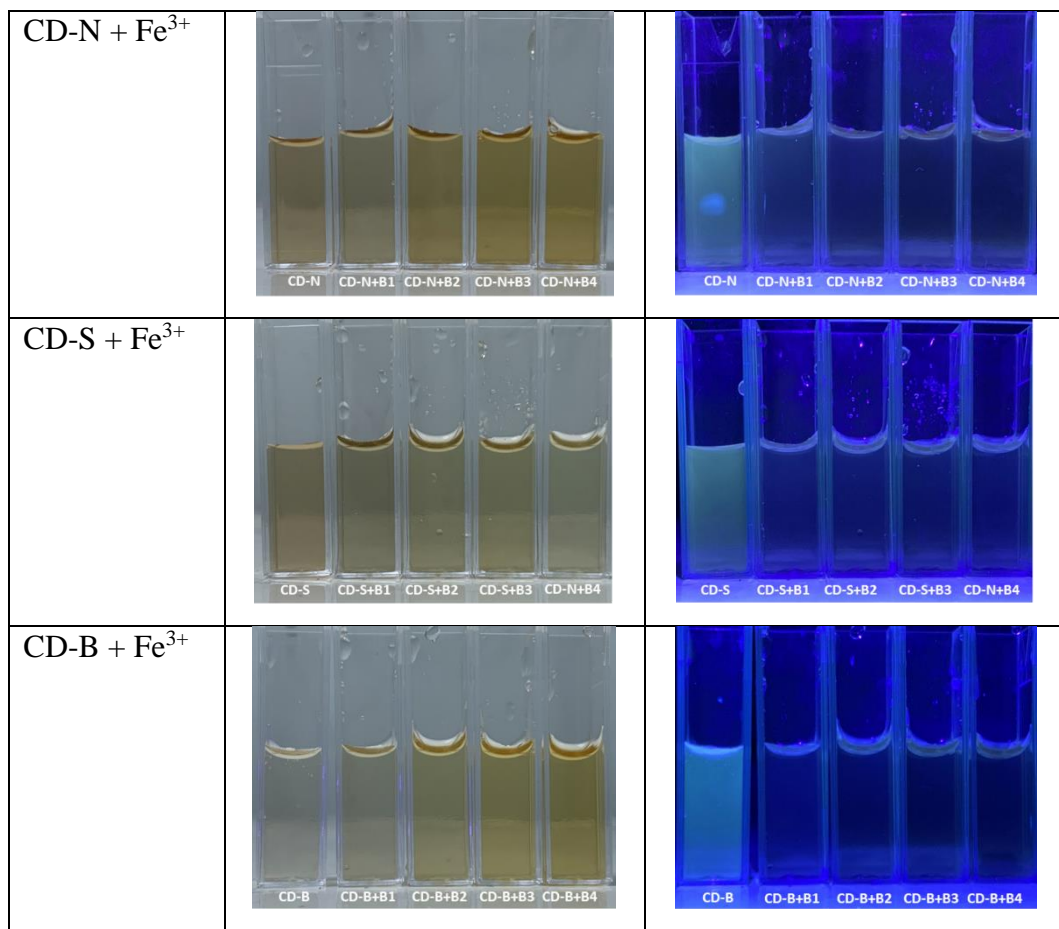


b. Sampel Karbon Dot dengan Ion Logam Fe³⁺



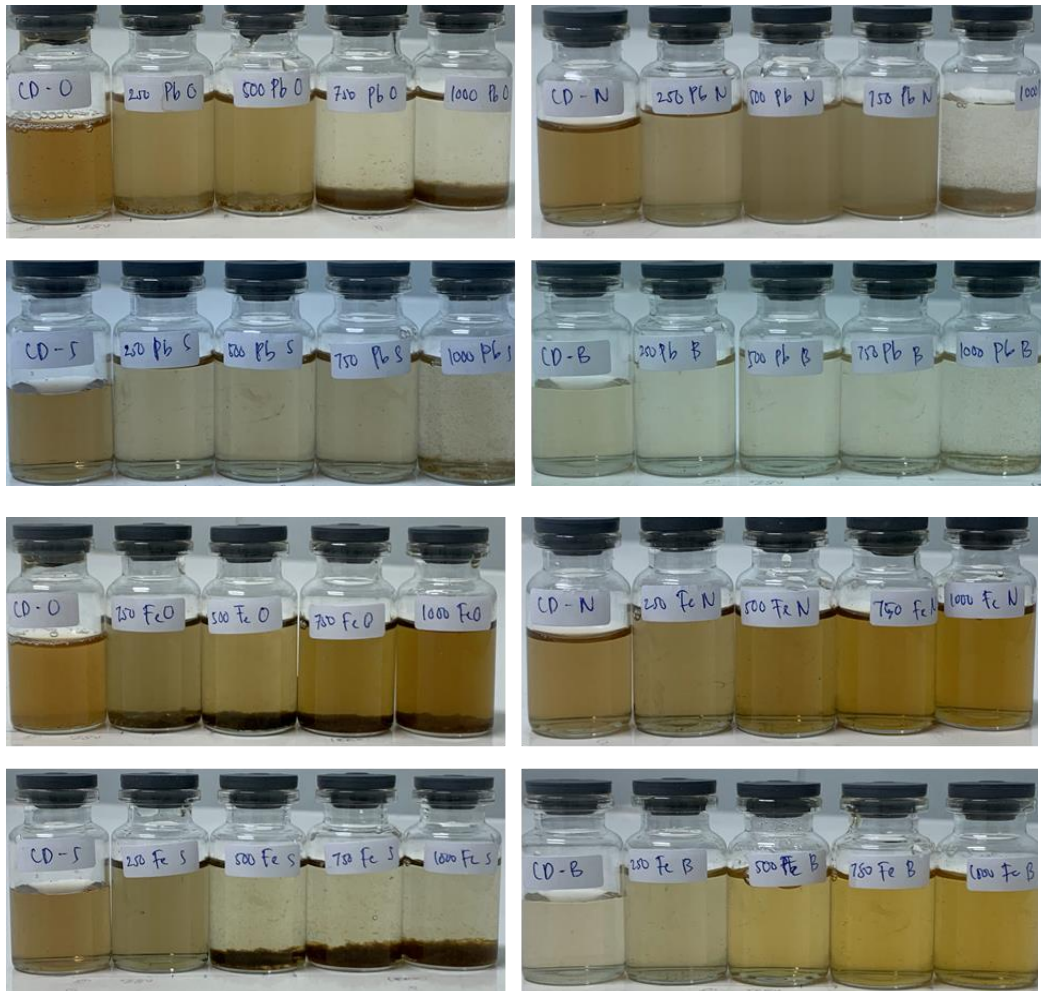
Lampiran 7. Uji Kemampuan Deteksi Logam Berat dengan UV-Light 395 nm

Sampel	Sinar Tampak	UV-Light 395 nm
CD + Pb ²⁺		
CD-N + Pb ²⁺		
CD-S + Pb ²⁺		
CD-B + Pb ²⁺		
CD + Fe ³⁺		

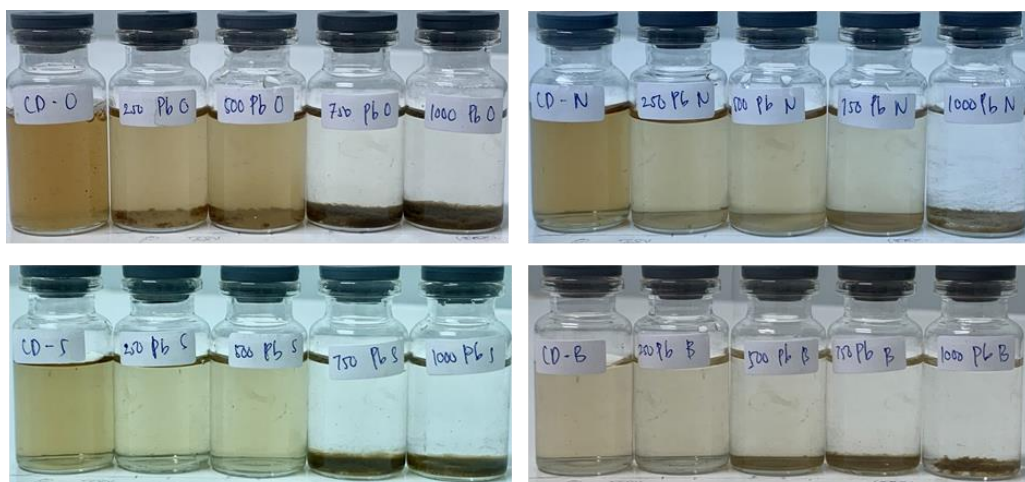


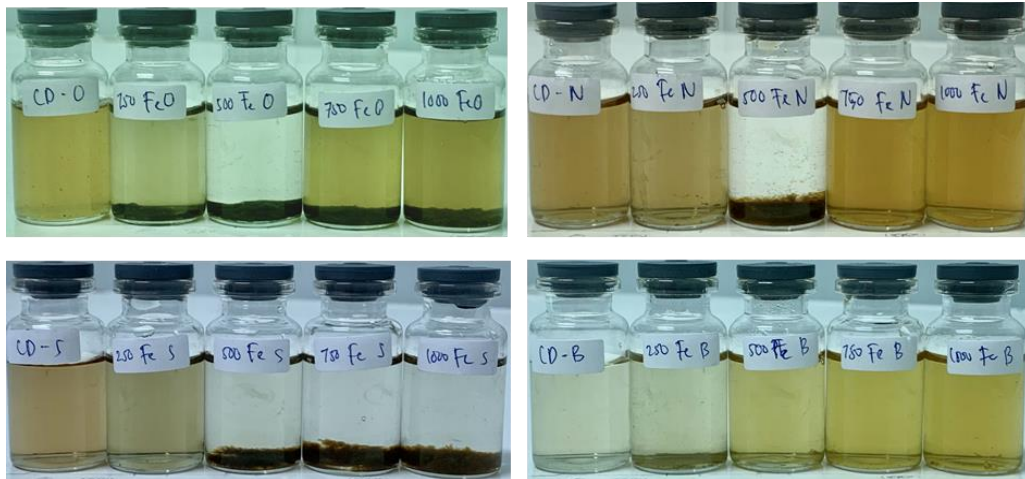
Lampiran 8. Endapan CD, CD-N, CD-S, dan CD-B dengan Ion Logam Berat Pb^{2+} dan Fe^{3+}

1. Hari ke-1

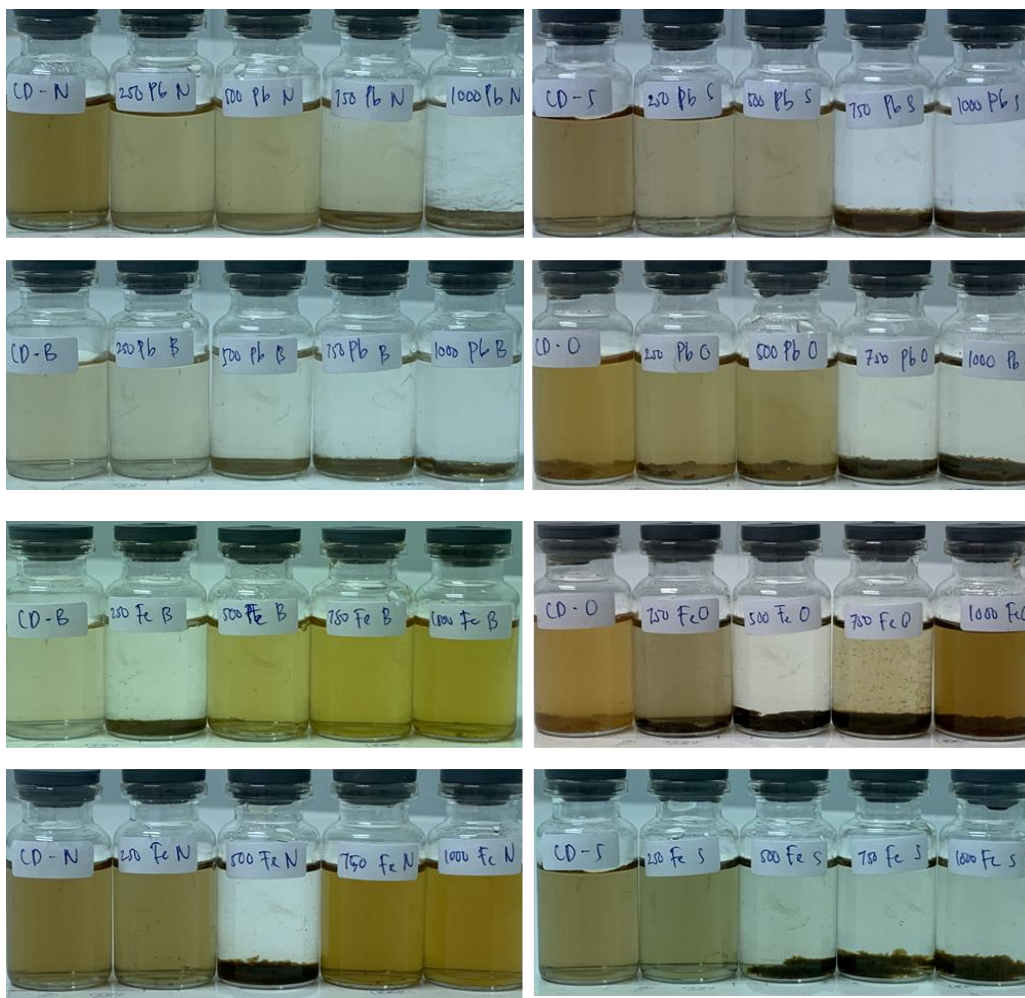


2. Hari ke-2

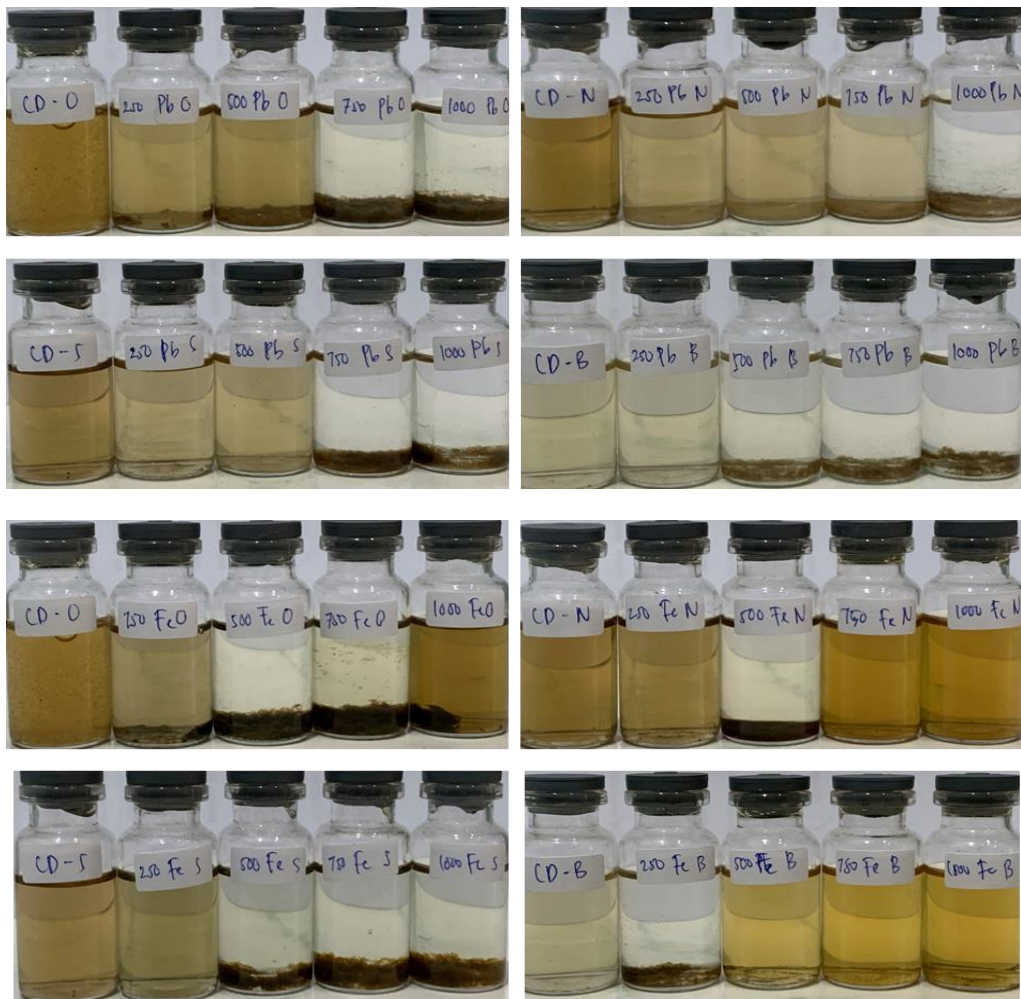




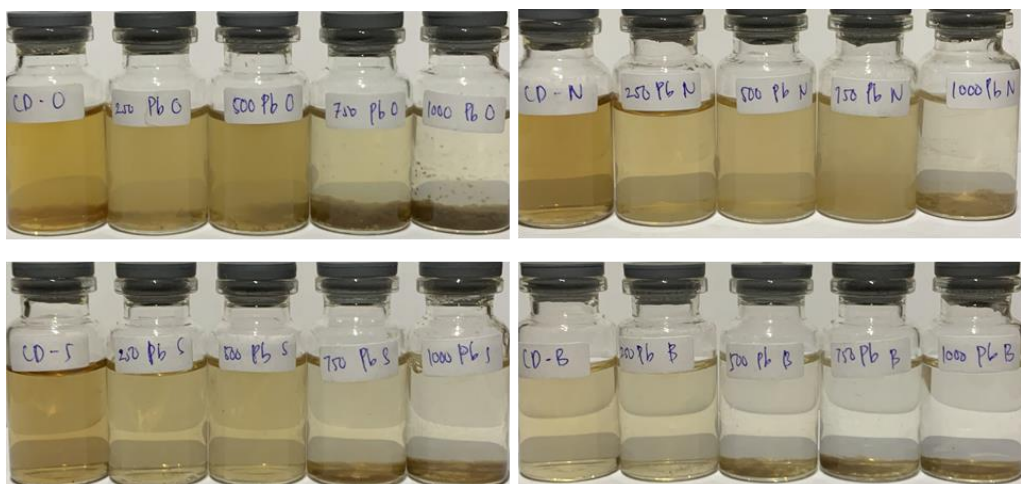
3. Hari ke-3

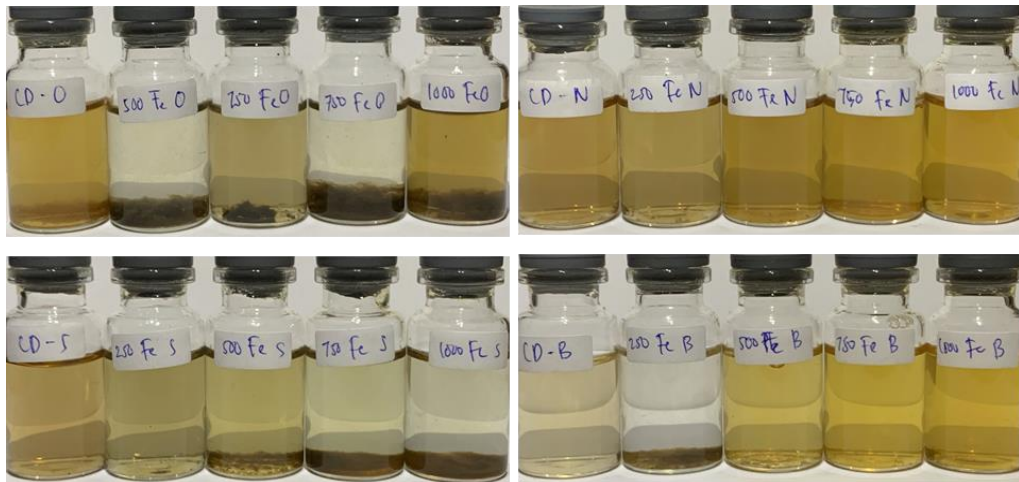


4. Hari ke-4

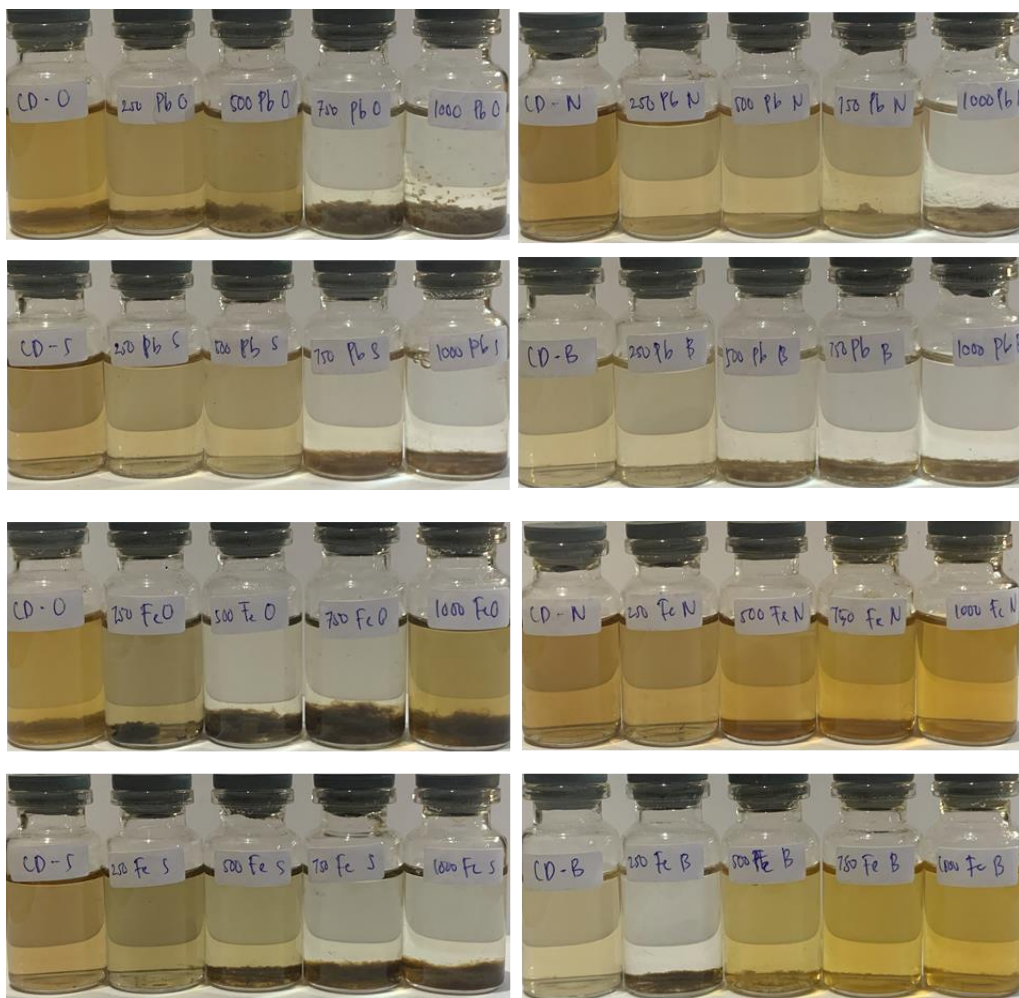


5. Hari ke-5

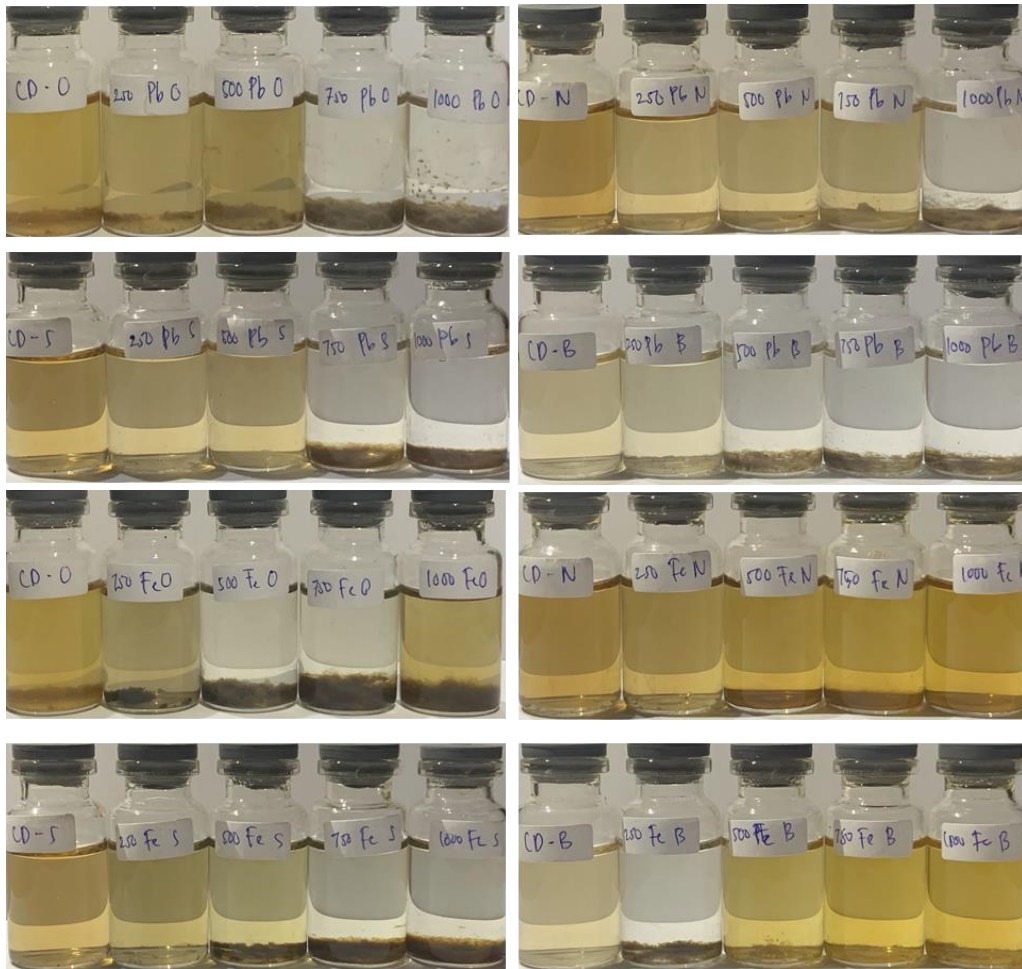




6. Hari ke-6



7. Hari ke-7





BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Ahmad Rikih
NIM : 19640007
Fakultas/Program Studi : Sains Dan Teknologi / Fisika
Judul Skripsi : Pembuatan Karbon Dot dari Ampas Kopi dengan Variasi Doping Nitrogen (N), Sulfur (S), dan Boron (B) sebagai Detektor Logam Berat
Pembimbing 1 : Dr. Erna Hastuti, M. Si
Pembimbing 2 : Dr. Umayatus Syarifah, M.A

• **Konsultasi Fisika**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	19 September 2022	Konsultasi Judul	
2	07 Maret 2023	Konsultasi BAB I-III	
3	09 Mei 2023	Konsultasi BAB I-III	
4	27 Juni 2023	Konsultasi Data	
5	05 Juli 2023	Konsultasi BAB IV	
6	11 Juli 2023	Konsultasi BAB IV	
7	25 Juli 2023	Konsultasi BAB IV dan V	
8	10 Agustus 2023	Konsultasi BAB IV dan V	
9	6 November 2023	Konsultasi dan TTD setelah Sidang	

• **Konsultasi Integrasi**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	14 Juli 2023	Konsultasi Integrasi Bab I	
2	25 Juli 2023	Konsultasi dan Konfirmasi Bab I-II	
3	26 Juli 2023	Konsultasi Integrasi BAB IV	
4	27 September 2023	Konsultasi dan Konfirmasi BAB IV	
5	6 November 2023	Konsultasi dan TTD setelah Sidang	

Malang, 7 November 2023
Mengetahui,
Ketua Program Studi,

Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

