



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**SKRIPSI - SK234801**

**PEMANFAATAN ABU LAYANG (CFA) MENJADI  
SILIKA MESOPORI SEBAGAI PENDUKUNG  
FOTOKATALIS KOMPOSIT CDs/MCM-41/ZIF-8  
UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU (MB)**

**NOURMA SULISTYOWATI  
NRP 5004201063**

Dosen Pembimbing  
**Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D.**  
NIP. 19600622 198603 2002

**Sarjana Kimia**  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains Dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2024



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT REPORT - SK234801**

**UTILIZATION OF COAL FLY ASH (CFA) INTO  
MESOPOROUS SILICA AS A PHOTOCATALYST  
SUPPORT FOR CDs/MCM-41/ZIF-8 COMPOSITE  
FOR PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE  
(MB)**

**NOURMA SULISTYOWATI**  
NRP 5004201063

Supervisor  
**Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D.**  
NIP. 19600622 198603 2002

**Bachelor of Chemistry**  
Chemistry Department  
Faculty of Sains and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2024



**SKRIPSI - SK234801**

**PEMANFAATAN ABU LAYANG (CFA) MENJADI  
SILIKA MESOPORI SEBAGAI PENDUKUNG  
FOTOKATALIS KOMPOSIT CDs/MCM-41/ZIF-8  
UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU (MB)**

**NOURMA SULISTYOWATI  
NRP 5004201063**

Dosen Pembimbing  
**Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D.**  
NIP. 19600622 198603 2002

**Sarjana Kimia**  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains Dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2024



**FINAL PROJECT REPORT - SK234801**

**UTILIZATION OF COAL FLY ASH (CFA) INTO  
MESOPOROUS SILICA AS A PHOTOCATALYST  
SUPPORT FOR CDs/MCM-41/ZIF-8 COMPOSITE  
FOR PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE  
(MB)**

**NOURMA SULISTYOWATI**  
NRP 5004201063

Supervisor  
**Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D.**  
NIP. 19600622 198603 2002

**Bachelor of Chemistry**  
Chemistry Department  
Faculty of Sains and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2024

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMANFAATAN ABU LAYANG (CFA) MENJADI SILIKA MESOPORI SEBAGAI PENDUKUNG FOTOKATALIS KOMPOSIT CDs/MCM-41/ZIF-8 UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU (MB)

#### SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar sarjana pada  
Program Studi S-1  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **NOURMA SULISTYOWATI**  
**NRP. 5004201063**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Fahimah Martak, M.Si.

Penguji

2. Dra. Harmami, M.S.

Penguji

SURABAYA

2 Agustus 2024

## APPROVAL SHEET

UTILIZATION OF COAL FLY ASH (CFA) INTO MESOPOROUS SILICA AS A  
PHOTOCATALYST SUPPORT FOR CDs/MCM-41/ZIF-8 COMPOSITE FOR  
PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE (MB)

### FINAL PROJECT REPORT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a bachelor degree at  
Undergraduate Study Program of bachelor  
Department of Chemistry  
Faculty of Science and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **NOURMA SULISTYOWATI**  
**NRP. 5004201063**

Approved by Final Project Proposal Examiner Team:

1. Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D.

Advisor

2. Prof. Dr. Fahimah Martak, M.Si.

Examiner

3. Dra. Harmami, M.S

Examiner

The image shows three handwritten signatures in black ink. The top signature is for the Advisor, the middle one for the first Examiner, and the bottom one for the second Examiner. The signatures are stylized and cursive.

**SURABAYA**

**2 August 2024**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Nourma Sulistyowati / 5004201063

Departemen : Kimia

Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D / 19600622 198603 2002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “PEMANFAATAN ABU LAYANG (CFA) MENJADI SILIKA MESOPORI SEBAGAI PENDUKUNG FOTOKATALIS KOMPOSIT CDs/MCM-41/ZIF-8 UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU (MB)” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 2 Agustus 2024

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Prof. Dra. Ratna Ediati., M.S., Ph.D)  
NIP. 19600622 198603 2002

Mahasiswa



(Nourma Sulistyowati)  
NRP. 5004201063

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Nourma Sulistyowati / 5004201063

Department : Chemistry

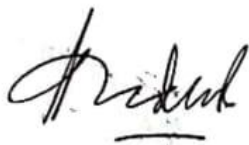
Advisor / NIP : Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D / 19600622 198603 2002

hereby declare that the Final Project with the title of "UTILIZATION OF COAL FLY ASH (CFA) INTO MESOPOROUS SILICA AS A PHOTOCATALYST SUPPORT IN CDs/MCM-41/ZIF-8 COMPOSITE FOR PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE (MB)" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing. If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 2 August 2024

Acknowledged  
Advisor

Student



(Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D)  
NIP.19600622 198603 2002



(Nourma Sulistyowati)  
NRP.5004201063



**PEMANFAATAN ABU LAYANG (CFA) MENJADI SILIKA MESOPORI SEBAGAI  
PENDUKUNG FOTOKATALIS KOMPOSIT CDs/MCM-41/ZIF-8 UNTUK  
FOTODEGRADASI METILEN BIRU (MB)**

**Nama Mahasiswa / NRP.** : Nourma Sulistyowati / 5004201063  
**Departemen** : Kimia  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D

**Abstrak**

Peningkatan kebutuhan energi global dapat memperbanyak penggunaan batu bara sebagai sumber energi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pembakaran batu bara menghasilkan limbah berupa *Coal Fly Ash* atau abu layang dengan jumlah besar. Abu layang berupa butiran halus berwarna abu-abu yang tersusun atas berbagai oksida, seperti  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang memiliki sisi aktif. Kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam pembuatan katalis untuk mengadsorpsi pewarna, seperti metilen biru. Salah satu silika mesopori yang sering dimanfaatkan adalah *Mobile Composition of Matter No.41* (MCM-41) yang juga dapat digunakan sebagai pendukung MOF karena stabilitas termal, luas permukaan, dan porositas yang tinggi. MOF yang dapat dimanfaatkan dalam adsorpsi MB adalah ZIF-8 yang terdiri dari ion logam tetrahedral Zn dengan ligan 2-metilimidazole dengan topologi *sodalite* (SOD) berbentuk kubus. Material semikonduktor lain yang dapat dimanfaatkan ialah karbon dot (CDs) yang memiliki fluoresens kuat sehingga memungkinkan dalam aplikasi, seperti fotokatalis. Selain itu, luasnya permukaan CDs dapat dimanfaatkan untuk adsorpsi polutan dalam air sehingga CDs dapat diaplikasikan dalam degradasi fotokatalitik metilen biru di bawah iradiasi sinar tampak. Sintesis CDs dan MCM-41 dilakukan dengan metode hidrotermal, sedangkan sintesis ZIF-8 menggunakan metode solvotermal. Berdasarkan hasil karakterisasi, komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 dengan abu layang sebagai sumber silika berhasil terbentuk. Kinerja komposit terbukti lebih baik dari pada kontrol, berupa CDs, MCM-41, ZIF-8, dan ZIF-8/MCM-41. Penambahan CDs pada komposit menyebabkan sifat fotokatalitik komposit bertambah sehingga fotokatalitik dapat lebih optimal. Variasi terbaik ada pada komposit CMZ dengan penambahan CDs sebesar 2,5 ml (CMZ (2,5)).

**Kata kunci:** *Abu Layang, CDs, MCM-41, Silika Mesopori, ZIF-8*

# UTILIZATION OF COAL FLY ASH (CFA) INTO MESOPOROUS SILICA AS A PHOTOCATALYST SUPPORT FOR CDs/MCM-41/ZIF-8 COMPOSITE FOR PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE (MB)

**Student Name / NRP.** : Nourma Sulistyowati / 5004201063  
**Department** : Chemistry,  
**Advisor** : Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D

## **Abstract**

The increasing of global energy demand can lead to greater use of coal as an energy source by coal-fired power plants (PLTU). Coal combustion produces waste in the form of Coal Fly Ash in large quantities. Coal Fly Ash is consists of fine gray particles composed of various oxides, such as  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , which have active sites. The high  $\text{SiO}_2$  content can be utilized as a silica source in the production of catalysts for adsorbing dyes, such as methylene blue. One commonly used mesoporous silica is Mobile Composition of Matter No.41 (MCM-41), which can also be used as a support for Metal-Organic Frameworks (MOFs) due to its thermal stability, large surface area, and high porosity. A MOF that can be used in MB adsorption is ZIF-8, consisting of tetrahedral Zn metal ions with 2-methylimidazole ligands in a sodalite (SOD) topology forming a cubic structure. Another semiconductor material that can be utilized is carbon dots (CDs), which have strong fluorescence, making them suitable for applications such as photocatalysts. Additionally, the large surface area of CDs can be used for the adsorption of water pollutants, making CDs applicable in the photocatalytic degradation of methylene blue under visible light irradiation. CDs and MCM-41 synthesis is carried out by the hydrothermal method, while ZIF-8 synthesis uses the solvothermal method. Based on characterization results, the CDs/MCM-41/ZIF-8 composite with Coal Fly Ash as the silica source was successfully formed. The performance of the composite proved to be better than the controls, consisting of CDs, MCM-41, ZIF-8, and ZIF-8/MCM-41. The addition of CDs to the composite enhanced the composite's photocatalytic properties, making photocatalysis more optimal. The best variation was found in the CMZ composite with the addition of 2.5 ml CDs (CMZ(2.5)).

**Keywords:** *CDs, Coal Fly Ash, MCM-41, Mesoporous Silica, ZIF-8*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi yang berjudul “PEMANFAATAN ABU LAYANG (CFA) MENJADI SILIKA MESOPORI SEBAGAI PENDUKUNG FOTOKATALIS KOMPOSIT CDs/MCM-41/ZIF-8 UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU (MB)”. Penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu proses penyusunan skripsi ini, di antaranya :

1. Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si. selaku kepala departemen Kimia ITS.
2. Prof. Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D. selaku dosen wali yang telah membimbing saya selama 4 tahun perkuliahan.
3. Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D, sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan tanpa henti selama penyusunan skripsi.
4. Prof. Dr. Djoko Hartanto, M.Si., sebagai Kepala Laboratorium Kimia Material dan Energi yang telah memberikan izin dan fasilitas laboratorium kepada penulis.
5. Keluarga penulis yaitu, Bapak, Ibu, Kakak, dan Adik yang selalu memberikan perhatian, semangat, dukungan dan doa kepada penulis.
6. Teman-teman satu bimbingan yang telah membantu, memberikan semangat, dan masukan kepada penulis selama penelitian hingga penyusunan skripsi.
7. Sahabat-sahabat penulis yang selalu menemani penulis, memberikan semangat, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 3 Juli 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	5
APPROVAL SHEET .....	6
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	7
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	8
KATA PENGANTAR .....	11
DAFTAR ISI.....	12
DAFTAR GAMBAR .....	13
DAFTAR TABEL.....	14
BAB I PENDAHULUAN .....	15
1.1 Latar Belakang .....	15
1.2 Rumusan Permasalahan.....	16
1.4 Tujuan .....	17
1.5 Manfaat .....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1 Abu Layang.....	18
2.2 Silika .....	18
2.3 Silika Mesopori .....	19
2.4 Material Berpori .....	19
2.5 MCM-41.....	19
2.6 Nanokomposit .....	20
2.7 Carbon Dots (CDs).....	20
2.8 Metal Organic Frameworks (MOFs).....	22
2.9 Zeolitic Imidazolate Framework (ZIF).....	23
2.10 Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8).....	24
2.11 Metilen Biru (MB) .....	25
2.12 Fotokatalis .....	25
2.13 Semikonduktor .....	25
2.14 Adsorpsi .....	26
2.15 Kinetika Adsorpsi.....	26
2.16 Fotokatalitik .....	27
2.17 Karakterisasi.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Alat.....	33
3.2 Bahan.....	33
3.3 Prosedur.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	36
4.1 Preparasi Abu Layang .....	36
4.2. Ekstraksi Natrium Metasilikat dari CFA.....	38
4.3 Sintesis MCM-41 .....	40
4.4 Sintesis ZIF-8 .....	40
4.5 Sintesis CDs .....	41
4.6 Sintesis CDs/MCM-41/ZIF-8.....	42
4.7 Hasil Karakterisasi .....	42
4.8 Uji Kinerja Adsorpsi Metilen Biru.....	49
4.9 Uji Fotokatalitik Metilen Biru.....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	54
LAMPIRAN.....	58
BIODATA PENULIS .....	126

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Silika Fase (a) Kristalin (b) Amorf.....	18
Gambar 2.2 Skema Pembentukan MCM-41.....	20
Gambar 2.3 Difraktogram MCM-41 .....	20
Gambar 2.4 Struktur CDs .....	21
Gambar 2.5 Metode Sintesis CDs .....	21
Gambar 2.6 Mekanisme Fotokatalis dengan CDs-nanokomposit a) reduksi b) oksidasi .....	22
Gambar 2.7 Struktur Beberapa Jenis MOF .....	23
Gambar 2.8 Struktur ZIF-8 .....	24
Gambar 2.9 Struktur Metilen Biru.....	25
Gambar 2.10 Skema Mekanisme Fotokatalitik .....	27
Gambar 2.11 Tipe Grafik Isotermal Adsorpsi-Desorpsi N <sub>2</sub> .....	30
Gambar 2.12 Tipe Loop Histeresis .....	31
Gambar 2.13 Penyerapan dari Sinar-X dan Radiasi Fluorescent .....	32
Gambar 4.1 Skema Preparasi Abu Layang.....	36
Gambar 4.2 Difraktogram Abu Layang PT. SURALAYA .....	38
Gambar 4.3 Abu Layang Hasil Peleburan (Fusi) .....	39
Gambar 4.4 Hasil Penyaringan (a) Filtrat (b) Residu .....	39
Gambar 4.5 Hasil Sintesis MCM-41 .....	40
Gambar 4.6 Hasil Sintesis ZIF-8 .....	41
Gambar 4.7 CDs Hasil Sintesis di bawah (a) sinar tampak (b) uv .....	42
Gambar 4.8 Komposit CMZ.....	42
Gambar 4.9 Spektra FTIR .....	43
Gambar 4.10 Difraktogram Komposit dan Kontrol .....	44
Gambar 4.11 Morfologi MCM-41 .....	45
Gambar 4.12 Persebaran Unsur MCM-41 .....	45
Gambar 4.13 SEM Komposit dengan perbesaran 10.000 kali .....	46
Gambar 4.14 Persebaran Unsur CDs/MCM-41/ZIF-8 .....	46
Gambar 4.15 Grafik Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N <sub>2</sub> MCM-41.....	47
Gambar 4.16 Grafik Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N <sub>2</sub> ZIF-8 .....	48
Gambar 4.17 Grafik Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N <sub>2</sub> CDs/MCM-41/ZIF-8.....	48
Gambar 4.18 Kurva Kalibrasi Metilen Biru (MB) .....	49
Gambar 4.19 Grafik Hubungan antara Waktu Kontak dengan Kapasitas Adsorpsi .....	50
Gambar 4.20 Grafik Pseudo Orde Satu Semu .....	50
Gambar 4.21 Grafik Pseudo Orde Dua Semu.....	51
Gambar 4.22 Grafik Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi MB .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi, Struktur, dan Parameter ZIF .....	23
Tabel 4.1 Perbandingan Komposisi Abu Layang YANG. SURALAYA .....	37
Tabel 4.2 Konsentrasi Silika dalam CFA .....	39
Tabel 4.3 Hasil Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N <sub>2</sub> .....	49
Tabel 4.4 Data Kinetika Adsorpsi MB .....	51

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Abu layang atau *Coal Fly Ash* (CFA) merupakan salah satu sisa pembakaran batu bara berupa butiran halus berwarna abu-abu dengan ukuran 1-100  $\mu\text{m}$  (Hardjito dan Rangan, 2005). Sebesar 90% dari abu layang berfasa amorf akibat pematatannya dalam proses pembakaran batu bara yang relatif cepat (Rohilla dkk., 2018). Selama proses pembakaran batu bara, abu layang memasuki cerobong asap dan akan beterbangan menyebar di udara karena ukurannya yang relatif kecil (Astuti, 2017). PLTU di seluruh dunia menghasilkan abu layang mencapai 500 juta ton per tahun (Astuti, 2017). Jumlah abu layang ini akan terus meningkat bersamaan dengan meningkatnya penggunaan batu bara sebagai sumber bahan bakar. Sebagian dari abu layang dimanfaatkan dalam industri konstruksi, semen, serta pembuatan keramik. Namun, sebagian besar lainnya hanya digunakan sebagai tanah penimbun di sekitar area PLTU sehingga meskipun tidak tergolong dalam limbah berbahaya, abu layang yang tertimbun dapat menimbulkan masalah lingkungan, seperti penurunan aktivitas mikroba dan peningkatan pH tanah (Astuti, 2017). Abu layang tersusun atas berbagai oksida, seperti  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang memiliki sisi aktif. Selain itu, abu layang juga mengandung oksida, seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , dan  $\text{MgO}$  dan logam berat, berupa Cr, Co, Sr, Pb, In, Ba, Sr, V, dan Zn (Astuti, 2017). Kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam abu layang umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan senyawa lainnya sehingga abu layang dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam pembuatan katalis untuk mengadsorpsi beberapa kontaminan dalam air, seperti pewarna tekstil berupa metilen biru (Astuti, 2017).

Metilen biru ialah pewarna kationik yang sering digunakan dalam industri tekstil (Santoso dkk., 2021). Metilen biru termasuk ke dalam zat pewarna azo yang digunakan dalam industri tekstil dalam persentase sebesar 60-70% dan dilepaskan ke lingkungan sebesar 15-20% dari total pewarna yang digunakan (Zhang dkk., 2023). Zat pewarna ini memiliki ukuran yang kecil dan struktur yang stabil sehingga sulit untuk terdegradasi secara alami (Akbar dkk., 2021). Beberapa metode telah digunakan untuk menghilangkan zat warna dalam air, meliputi *electrochemical degradation*, koagulasi-flokulasi, serta filtrasi menggunakan membran. Namun, metode-metode tersebut memiliki proses rumit yang membutuhkan waktu lama dengan biaya yang tinggi. Untuk itu, diperlukan metode yang efisien dan juga *cost-effective*. Salah satu metode dengan proses yang cepat dan sederhana serta biaya rendah adalah adsorpsi. Namun, metode ini dianggap kurang efektif karena zat warna akan terakumulasi dalam adsorben sehingga dikembangkan metode fotokatalitik atau fotodegradasi. Dengan metode fotodegradasi, zat warna akan terurai menjadi lebih sederhana dan lebih aman untuk lingkungan (Sani dkk., 2009). Metode ini memanfaatkan semikonduktor sebagai fotokatalis serta sinar matahari (Zulfa dkk., 2024). Semikonduktor yang umumnya digunakan, meliputi silika mesopori, *metal organic frameworks* (MOF), dan karbon aktif (Zulfa dkk., 2024).

Silika mesopori merupakan material semikonduktor yang menjanjikan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dan umumnya didapatkan dari  $\text{SiO}_2$ . Salah satu sumber  $\text{SiO}_2$  yang dapat dimanfaatkan adalah abu layang. Silika yang dihasilkan dari ekstraksi abu layang tidak berbahaya bagi lingkungan serta memiliki kestabilan yang baik. Selain itu, pemanfaatan abu layang sebagai sumber silika dapat membantu mengurangi polusi udara dan air tanah yang disebabkan oleh residu pembakaran batu bara. Salah satu silika mesopori yang sering dimanfaatkan adalah *Mobile Composition of Matter Yang.41* (MCM-41).

MCM-41 merupakan silika mesopori yang tersusun dari pori heksagonal teratur dengan keasaman yang rendah serta memiliki luas permukaan yang mencapai  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  (Zanjanhi dkk., 2009). Umumnya, sumber silika yang digunakan pada sintesis MCM-41 berasal dari

TEOS. Namun, TEOS memiliki beberapa kekurangan, meliputi tingginya biaya produksi, perlunya penanganan dan penyimpanan yang sulit, serta mudah terbakar. Untuk mengatasi masalah tersebut, penggunaan sumber silika dari bahan alam seperti abu layang menjadi alternatif yang lebih baik. MCM-41 digunakan sebagai pendukung MOF karena stabilitas termal, luas permukaan, dan porositas yang tinggi (Zanjanchi dkk., 2009). Selain itu, MCM-41 dapat mempercepat laju difusi dan meningkatkan ukuran pori sehingga dapat meningkatkan kinerja dari MOF.

*Metal organic frameworks* (MOFs) terbentuk melalui ikatan koordinasi antara ion logam dan ligan organiknya (Li dkk., 2017). Dengan luas permukaan (5900 m<sup>2</sup>/g), volume pori (2 cm<sup>3</sup>/g), kemampuan adsorpsi, serta diameter porinya yang diatur, MOF menjadi material yang berpotensi untuk diaplikasikan dalam bidang adsorpsi seperti adsorpsi zat pewarna (Sağlam dkk., 2023). Namun, stabilitas termal MOF yang rendah (350-400C) serta ukuran pori dapat memengaruhi kinerjanya sehingga diperlukan penambahan senyawa lain sebagai pendukung untuk meningkatkan kinerjanya. Salah satu MOF yang dapat dimanfaatkan dalam adsorpsi zat pewarna adalah ZIF-8. ZIF-8 terdiri dari ion logam tetrahedral Zn dengan ligan 2-metilimidazole (Li dkk., 2017). Luas permukaannya mencapai 1630 m<sup>2</sup>/g dengan topologi *sodalite* (SOD) berbentuk kubus berdiameter 1,16 nm dan ukuran pori 1,11 nm (Jafari dkk., 2018; Panchariya dkk., 2018). Selain itu, pori yang berukuran nano dan ligan organik dalam strukturnya menjadikan ZIF-8 memiliki kestabilan kimia yang bagus (Zhang dkk., 2023). ZIF-8 dapat disintesis dalam berbagai pelarut, seperti DMF, air, dan metanol. Perbedaan pelarut ini dapat memengaruhi bentuk dan kristanilitas ZIF-8. ZIF-8 telah menunjukkan kemampuan adsorpsi pewarna yang tinggi pada beberapa pewarna.

Material semikonduktor lain yang dapat dimanfaatkan ialah karbon dot (CDs). CDs dapat dengan mudah disintesis karena ketersediaan bahan utamanya yang melimpah, salah satunya adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Kelebihan dari CDs, meliputi sifat fluoresens yang kuat, tidak beracun, serta ketidaklarutannya dalam air memungkinkan pemanfaatan CDs dalam berbagai aplikasi, seperti fotokatalis, biosensor, serta deteksi logam berat (Akbar dkk., 2021; Budiman dkk., 2022). Luasnya spektrum serapan sinar matahari dalam CDs yang disebabkan oleh adanya hibridisasi sp<sup>2</sup> pada gugus fungsinya (Sendão dkk., 2023). Selain itu, luasnya permukaan CDs dapat dimanfaatkan untuk adsorpsi polutan dalam air sehingga CDs dapat diaplikasikan dalam degradasi fotokatalitik metilen biru di bawah iradiasi sinar tampak (Haryadi dkk., 2018).

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan abu layang sebagai sumber silika mesopori dalam sintesis komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 untuk meningkatkan stabilitas termal, luas permukaan material, serta meningkatkan kinerja penyerapan zat pewarna metilen biru (MB).

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, ketersediaan abu layang dari batu bara yang melimpah masih belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki beberapa rumusan permasalahan, meliputi bagaimana cara memperoleh MCM-41 dari abu layang batu bara beserta karakteristiknya, metode sintesis komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 beserta karakterisasinya, dan bagaimana kinerja fotokatalitik dari komposit hasil sintesis sebagai adsorben metilen biru (MB) dalam air.

## **1.3 Batasan Masalah / Ruang Lingkup**

Batasan masalah atau ruang lingkup dalam penelitian ini ialah variasi penambahan CDs, penggunaan parameter pengujian berupa uji kinerja fotokatalis komposit dalam pewarna



metilen biru (MB), studi adsorpsi berupa waktu kontak untuk menentukan model kinetika adsorpsi (pseudo orde satu dan orde dua).

#### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini, meliputi untuk mengetahui cara memperoleh, karakterisasi, dan hasil sintesis MCM-41 dari abu layang, komposit CDs/MCM-41/ZIF-8, beserta mengetahui aktivitas fotokatalitik material dalam pewarna metilen biru (MB).

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini, yakni memberi informasi ilmiah dan mengetahui proses sintesis, karakteristik, serta kinerja fotokatalis komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 dalam degradasi pewarna metilen biru (MB).

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

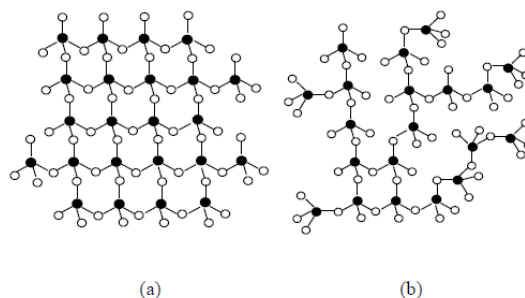
### 2.1 Abu Layang

Salah satu residu pembakaran batu bara adalah abu layang yang dapat menyebabkan polusi udara, air tanah, hingga mengganggu kesehatan jika terhirup (Astuti, 2017). Dibandingkan dengan *bottom ash*, abu layang memiliki warna keabu-abuan yang lebih terang. Warna pada abu layang juga bervariasi dari abu-abu kehitaman hingga abu-abu cerah. Perbedaan warna ini disebabkan oleh adanya perbedaan kandungan karbon yang tidak terbakar. Semakin rendah kandungan karbon, semakin cerah warna abu layang yang dihasilkan dan mutunya semakin baik karena pembakaran yang semakin sempurna (Astuti, 2017). Karakteristik abu layang tergantung pada sumber, metode pembakaran, dan suhu pembakaran batu bara.

Umumnya, kandungan utama abu layang terdiri dari oksida silikon, aluminium, besi, dan kalsium. Berdasarkan jumlah oksida kalsium dan oksida besi yang terkandung di dalamnya, abu layang digolongkan menjadi 2, yaitu kelas C dan kelas F. Abu layang kelas C mengandung oksida kalsium sebesar 30-40 persen, sedangkan abu layang kelas F mengandung oksida kalsium dan logam di bawah 12 persen (Astuti, 2017). Abu layang dari batu bara mengandung  $\text{SiO}_2$  (16-68 wt%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , 10 wt% karbon yang tidak terbakar, dan jejak logam berat (Thomas dkk., 2024). Karena kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi, abu layang dapat dimanfaatkan sebagai silika mesopori. Abu layang tidak membahayakan lingkungan (hasil *leaching*) dan memiliki kestabilan kimia. Biodegradabilitasnya menjadikan abu layang sebagai katalis yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan *cost-effective* (Labidi dkk., 2024). Abu layang dapat diubah menjadi silika mesopori tanpa menggunakan template, yakni dengan metode *selective acid leaching* (Gao dkk., 2023).

### 2.2 Silika

Silika atau silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) terbentuk dari atom silikon dan oksigen yang berikatan dengan sudut O-Si-O tetrahedral  $109^\circ$  dan jarak antara atom Si-O sebesar  $1,61 \text{ \AA}$  (0,16 nm). Silikon dan oksigen merupakan unsur yang mudah ditemukan di alam dengan jumlah yang besar. Silika terdapat pada tumbuhan, hewan, batuan, serta debu. Silika yang terkandung dalam tumbuhan dan hewan memiliki struktur amorf, sedangkan silika dalam batuan dan debu umumnya berstruktur kristalin (Chandra dkk., 2012). Struktur silika dapat dilihat pada Gambar 2.1. Silika dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti keramik, industri material polimer, elektronik, dan adsorben.



Gambar 2. 1 Struktur Silika Fase (a) Kristalin (b) Amorf (Astuti, 2017)

### 2.3 Silika Mesopori

Silika mesopori memiliki struktur yang seragam dengan diameter pori antara 2-6 nm dan rata-rata ukuran partikel sebesar 50-300 nm (Kresge dan Roth, 2013). Metode sintesis mesopori terbagi menjadi dua, yakni menggunakan template (*liquid crystal templating* dan *self-assembly and cooperative self-assembly*) dan tanpa template (*nanometric building block* dan *sheer folding mechanism of nanotubes*). Metode sintesis tanpa template jarang digunakan karena membutuhkan biaya yang besar dan teknologi yang tinggi. Metode sintesis yang sering digunakan adalah metode sol-gel dengan mekanisme templating (surfaktan) yang menggunakan prekursor berupa tetraetilortosilikat (TEOS), natrium metasilikat, atau *fumed silica*. Penambahan surfaktan sebagai template dapat membentuk struktur mesopori. Surfaktan yang digunakan umumnya dapat membentuk misel, polimer, atau dopan lainnya. Misel bertindak sebagai rangka pertumbuhan silika. Setelah surfaktan dihilangkan, akan dihasilkan pori material yang berukuran nano. Silika mesopori memiliki kestabilan yang baik, luas permukaan yang besar, serta pori berukuran nano memungkinkan untuk dimodifikasi dan dikombinasikan dengan material lainnya. Silika mesopori merupakan material yang menjanjikan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis.

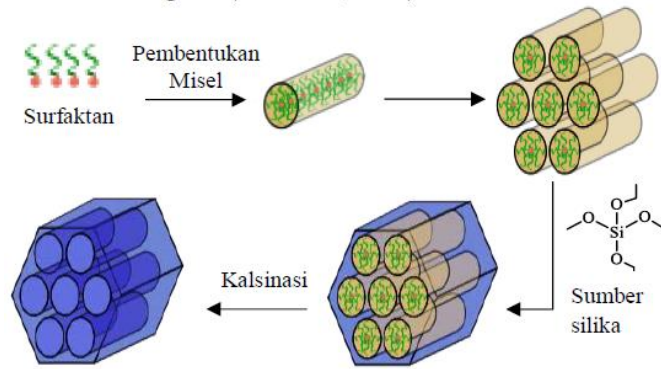
### 2.4 Material Berpori

Material berpori telah dimanfaatkan dalam berbagai industri kimia, seperti adsorben, elektroda, sensor, dan sebagainya (Phan dkk., 2009). Luas permukaan yang besar, energi thermal yang stabil, dan sifat hidrofobiknya menyebabkan material berpori ini banyak digunakan. Berdasarkan ukuran porinya, material berpori digolongkan menjadi tiga, yaitu mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm), dan makropori (>50 nm) (Chaudhary dan Sharma, 2017). Beberapa material yang termasuk ke dalam material berpori, meliputi zeolit, metal organic frameworks (MOFs), dan polimer organik.

### 2.5 MCM-41

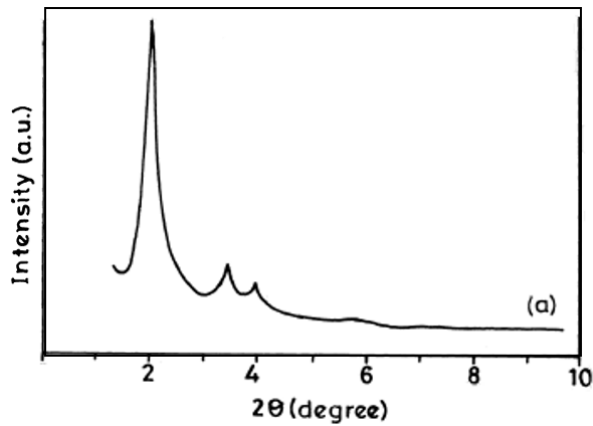
*Mobile Composition of Matter Yang.41* (MCM-41) merupakan material berpori yang memiliki luas permukaan spesifik (1000 m<sup>2</sup>/g), struktur teratur, bersifat hidrofobik, stabilitas termal baik, resistansi asam yang tinggi, pori-pori teratur heksagonal (Han dkk., 2014). Besarnya luas permukaan dan ukurannya yang mesopori (2-50 nm) menyebabkan molekul yang besar dapat masuk ke dalam pori material (Ediati dkk., 2020). MCM-41 memiliki ukuran dan diameter pori yang seragam dengan susunan heksagonal seperti pada Gambar 2.2 (Zhao & Lu, 1998). Hal tersebut dipengaruhi oleh surfaktan atau *template* yang digunakan, temperatur sintesis, dan penambahan senyawa organik.

MCM-41 telah digunakan dalam bidang adsorpsi, katalis, pemisahan dan energi. Namun, aplikasi MCM-41 masih terbatas karena sisi aktif yang relatif lemah (Ediati dkk., 2020). Sifatnya yang hidrofobik dan besarnya luas permukaan menjadikan MCM-41 dipilih sebagai material adsorben.



Gambar 2.2 Skema Pembentukan MCM-41

Difraktogram MCM-41 dapat dilihat pada Gambar 2.3. Pola kristal dari MCM-41 akan muncul pada sudut  $2\theta$  yang rendah terdapat refleksi bidang 100, 110, 200, dan 210. Keempat refleksi bidang tersebut menunjukkan bentuk heksagonal yang merupakan karakteristik dari MCM-41.



Gambar 2.3 Difraktogram MCM-41 (Badamali dkk., 2000)

## 2.6 Nanokomposit

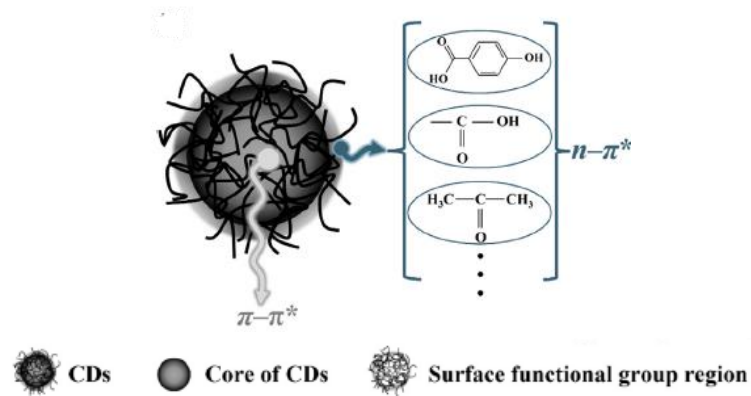
Nanokomposit merupakan campuran atau hasil kombinasi nanomaterial dengan material lainnya, seperti nanomaterial atau *nanotube* (Budiman dkk., 2022). Nanokomposit dapat meningkatkan kestabilan, sifat fisikokimia, serta aplikasinya. Nanomaterial fluoresen memiliki efek ukuran kuantum dan dapat mengatasi banyak kekurangan, seperti stabilitas yang rendah, intensitas fluoresen yang lemah, dan *photobleaching* yang lebih cepat (Haryadi dkk., 2018).

## 2.7 Carbon Dots (CDs)

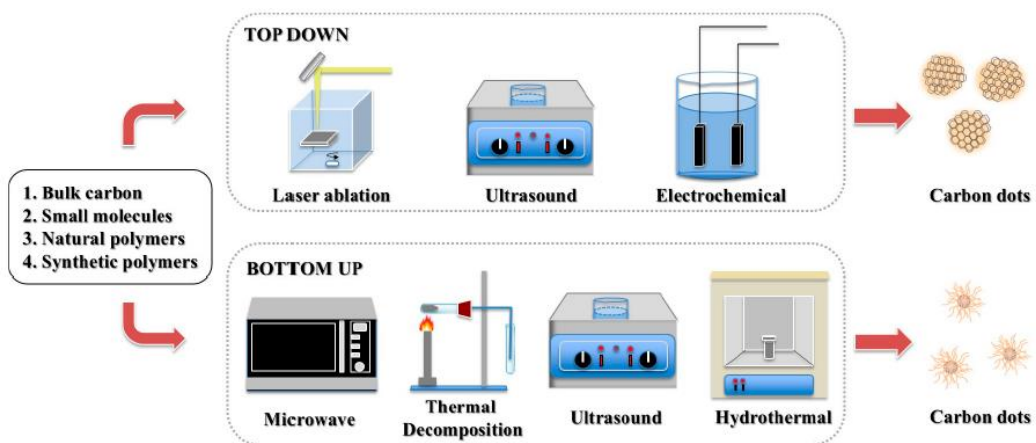
Carbon dots (CDs) atau carbon nanodots (CNDs) merupakan material berbahan dasar karbon yang memiliki dimensi 0 dan berukuran kurang dari 10 nm (Tang dkk., 2023). Meskipun ukurannya relatif kecil, karbon dot kaya akan sisi aktif (Jin dkk., 2024). Secara umum, semua material berukuran nano yang terdiri dari karbon dapat disebut CDs. Struktur CDs amorf seperti bola dengan kerangka karbon  $sp^2$ . Permukaan CDs yang kaya dengan gugus fungsi memudahkan untuk memodifikasi strukturnya (Jin dkk., 2024; Wang dkk., 2021). Kelebihan CDs berupa pancaran fluoresensi yang tinggi, solubilitas pada berbagai pelarut yang tinggi, *transport electron* yang baik sehingga dapat berfungsi sebagai donor dan akseptor

elektron, serta tidak beracun karena sifatnya yang bukan logam (Akbar dkk., 2021; Budiman dkk., 2022; Jin dkk., 2024; Wang dkk., 2021). Sifat fluoresensi karbon dot dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti biosensor, bio-imaging, *drug delivery*, fotokatalis, dan degradasi metilen biru (Haryadi dkk., 2018; Wang dkk., 2021). Penambahan CDs ke dalam komposit fotokatalis dapat menurunkan *band gap* (Dharmawan 036). Selain itu, sintesis CDs juga dinilai mudah karena persiapan yang dibutuhkan cukup praktis.

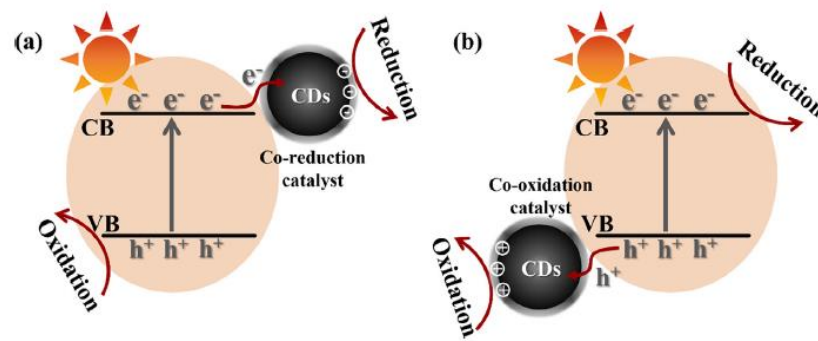
Sintesis CDs juga dinilai ramah lingkungan serta hemat biaya (Wang dkk., 2021). Selain itu, ketersediaan bahan utamanya, carbon, sangat melimpah sehingga mudah untuk dibuat. Secara umum, sintesis karbon dot dapat dilakukan melalui dua cara, yakni *Top Down* dan *Bottom Up*. Metode *Top Down* dilakukan dengan memecahkan rantai karbon dari material besar menjadi karbon yang berukuran kecil. Sedangkan, metode *Bottom Up* dilakukan dengan memanfaatkan material mentah menjadi prekursor dan diproses dengan pemanasan hydrothermal atau *microwave*. Kelebihan dari metode *bottom-up* ialah harganya yang lebih terjangkau dan konsumsi energi yang relatif lebih rendah (Haryadi dkk., 2018).



Gambar 2.4 Struktur CDs (Yu dkk., 2024)



Gambar 2.5 Metode Sintesis CDs (Chu dkk., 2019)

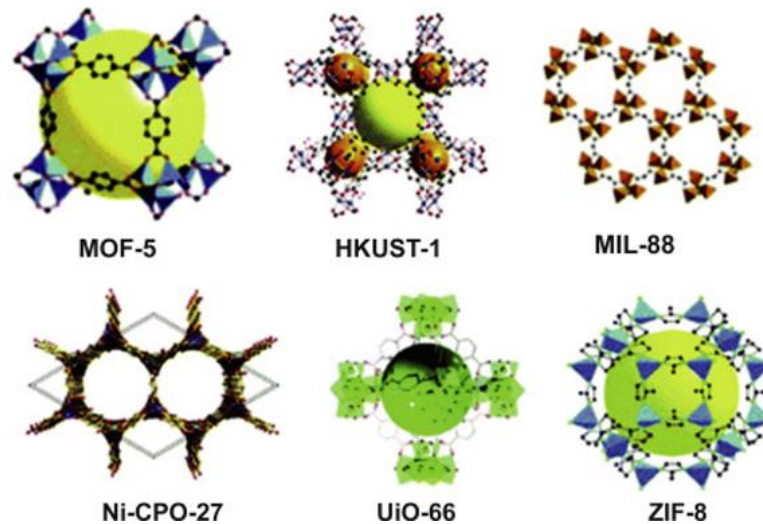


Gambar 2.6 Mekanisme Fotokatalis dengan CDs-nanokomposit a) reduksi b) oksidasi (Yu dkk., 2024)

## 2.8 Metal Organic Frameworks (MOFs)

MOFs merupakan material kristalin berpori berstruktur hibrida yang tersusun dari logam yang dihubungkan dengan ligan organik (Lai dkk., 2016). Logam berfungsi sebagai titik penghubung dan ligan berperan sebagai jembatan (*bridge*) yang menghubungkan logam-logam membentuk kerangka 3 dimensi. MOF terbentuk dari ikatan koordinasi antara ion logam dengan rantai organik sehingga lebih unggul dibandingkan dengan material berpori lain, seperti zeolit dan karbon aktif. Secara umum, MOF memiliki volume pori sekitar 0,2 – 0,8 cm<sup>3</sup>/g tetapi pada beberapa MOF, ukuran porinya dapat mencapai 1,1 cm<sup>3</sup>/g. Luasnya permukaan (mencapai 1000 m<sup>2</sup>/g) dan strukturnya yang teratur menyebabkan MOF sering dimanfaatkan sebagai adsorpsi gas, *biosensing*, pemisahan dan penyimpanan gas, serta katalis (Wang dkk., 2021; Zhang dkk., 2023). Sintesis MOF tergolong sederhana dengan sedikit produk samping yang terbentuk.

Setiap MOF memiliki struktur, morfologi, dan sifat kimia yang berbeda karena adanya perbedaan jenis logam dan ligan yang digunakan. MOF memiliki fleksibilitas dalam memilih kombinasi ligan dan logam sehingga dapat menghasilkan MOF dengan struktur dan ukuran pori yang sesuai untuk aplikasinya. Berdasarkan fleksibilitasnya dalam komposisi kimia, terdapat berbagai jenis MOF dengan struktur yang berbeda (Gambar 2.7), seperti *zeolitic imidazole frameworks* (ZIF), *Hong Kong University of Science and Technology* (HKUST), *Matériaux Institut Lavoisier* (MIL), *Alkali Earth Polymeric Framework* (AEPF), dan *Rare-earth Polymeric Framework* (RPF) (Qiu dkk., 2018). Fleksibilitas dalam komposisi kimia memudahkan MOF untuk dimodifikasi dan dikombinasikan dengan bahan lain dalam bentuk komposit. Meskipun demikian, MOF juga memiliki kekurangan dalam beberapa aplikasi seperti tidak cocok digunakan dalam kondisi suhu tinggi atau di lingkungan kelembaban tinggi. MOF dapat diaplikasikan di bidang sensor, fotokatalisis, sel bahan bakar, nanofluida, penyimpanan dan penyucian gas (Mathew dkk., 2019; Yan dkk., 2020).



Gambar 2.7 Struktur Beberapa Jenis MOF (Yap dkk., 2017)

MOF dapat dimanfaatkan di bidang fotokatalitik karena sifatnya sebagai semikonduktor. Berbeda dengan semikonduktor anorganik dengan pita konduksi dan pita valensi yang terdelokalisasi, MOF dapat diatur dalam kisi kristal. MOF juga responsif terhadap cahaya dalam degradasi polutan secara fotokatalitik, produksi H<sub>2</sub>, fiksasi CO<sub>2</sub>, transformasi selektif senyawa organik, disinfeksi bakteri, dan lain sebagainya (Wang dkk., 2021). MOF dapat digunakan sebagai fotokatalis karena luas permukaan spesifik yang tinggi, ukuran pori yang dapat disesuaikan, serta kestabilan termal dan kimia yang tinggi. Namun, meskipun potensi yang ditunjukkan sebagai fotokatalis cukup besar, efisiensi fotokatalitiknya terbilang rendah. Hal ini disebabkan oleh celah pita yang lebar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, MOF dimodifikasi dengan penambahan atau penggabungan semikonduktor lain sehingga dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitik dalam degradasi pewarna atau polutan (Yang dkk., 2018).

## 2.9 Zeolitic Imidazolate Framework (ZIF)

ZIF merupakan jenis MOF yang tersusun atas logam Zn atau Co dan ligan imidazolat. Bentuknya menyerupai zeolit karena ligan imidazole yang bersudut 145° pada pusat M-IM-M seperti Si-O-Si pada zeolit (Malkar dan Yadav, 2018). Dibandingkan dengan MOF lainnya, ZIF memiliki stabilitas kimia yang baik (Massoudinejad dkk., 2022). Beberapa jenis ZIF-8 ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi, Struktur, dan Parameter ZIF

ZIF-n	Komposisi	Struktur	D (Å)
ZIF-1	Zn(Im) <sub>2</sub>	BCT	6,94
ZIF-2	Zn(Im) <sub>2</sub>	BCT	6,00
ZIF-3	Zn(Im) <sub>2</sub>	DFT	8,02
ZIF-4	Zn(Im) <sub>2</sub>	-	2,04
ZIF-5	In <sub>2</sub> Zn <sub>3</sub> (Im) <sub>12</sub>	-	3,03
ZIF-6	Zn(Im) <sub>2</sub>	GIS	8,80
ZIF-7	Zn(PhIm) <sub>2</sub>	SOD	4,31
ZIF-8	Zn(MeIm) <sub>2</sub>	SOD	11,60



ZIF-n	Komposisi	Struktur	D (Å)
ZIF-9	Co(PhIm) <sub>2</sub>	SOD	4,31
ZIF-10	Zn(Im) <sub>2</sub>	MER	12,12
ZIF-11	Zn(PhIm) <sub>2</sub>	RHO	14,64
ZIF-12	Co(PhIm) <sub>2</sub>	RHO	14,64

Keterangan:

BCT : *Body-Centered tetragonal*

DFT : *Density Functional Theory*

GIS : Gismondine

SOD : Sodalit

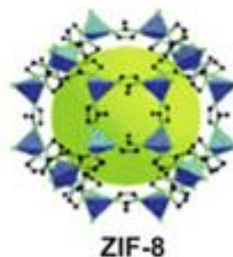
MER : Merlinoite

RHO : Rho

(Park dkk., 2006)

### 2.10 Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8)

ZIF-8 ( $\text{Zn}(\text{C}_4\text{H}_5\text{N}_2)_2$ ). memiliki ion logam berupa  $\text{Zn}^{2+}$  yang terhubung dengan logam organik berupa 2-metilimidazole (2MeIM). ZIF-8 terdiri atas 276 atom tiap sel unit (Bergaoui dkk., 2021). Pada kristal ZIF, logam pusat tetrahedral (Zn sebagai asam lewis) berkoordinasi dengan atom nitrogen dalam imidazole (N sebagai basa lewis) pada posisi 1,3 sehingga didapatkan kerangka keseluruhan yang bersifat netral. Luas permukaannya mencapai 1800  $\text{m}^2/\text{g}$ , kestabilan termalnya tinggi, topologi berupa struktur sodalit yang dibentuk oleh empat dan enam cincin gugus  $\text{ZnN}_4$  seperti pada Gambar 2.8 dengan diameter 1,16 dan ukuran pori 11,6Å (Jafari dkk., 2018; Kolmykov dkk., 2017; Panchariya dkk., 2018). Kestabilan kimia ini dapat dibuktikan dengan melihat struktur kristalnya yang tidak berubah meskipun direndam dalam pelarut berupa metanol, air, larutan NaOH selama 7 hari pada 50°C. Karena luas permukaan, volume pori, stabilitas yang besar, ZIF-8 dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti sebagai adsorben gas, katalis, dan pemisah molekul.



Gambar 2.8 Struktur ZIF-8

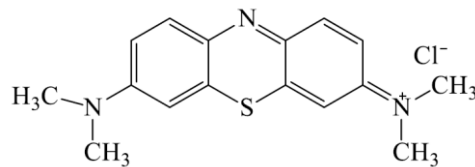
Proses sintesis dari ZIF-8 tergolong mudah dengan metode solvotermal menggunakan pelarut, berupa DMF, metanol atau metode hidrotermal dengan pelarut air (Cravillon dkk., 2011). Penggunaan metode solvotermal memiliki beberapa keunggulan, meliputi kelarutan dan reaktivitas reaktan yang lebih baik, serta fase yang stabil (Shi dkk., 2017). Sedangkan, perbedaan penggunaan pelarut dapat memengaruhi suhu pemanasan, perbandingan mol logam dan ligan, serta hasil rendemen. Selain itu, perbedaan metode Sintesis dan pelarut ZIF-8 dapat



memengaruhi morfologinya (Jafari dkk., 2018; Lai dkk., 2016). ZIF-8 dengan metode solvotermal dalam pelarut metanol memiliki kristal dengan ukuran 300  $\mu\text{m}$  (Cravillon dkk., 2011).

### 2.11 Metilen Biru (MB)

Metilen biru (MB) merupakan salah satu pewarna sintetik azo dan merupakan pewarna kationik yang memiliki rumus molekul  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$  dengan berat molekul sebesar 319,9 g/mol (Pubchem, 2024). Dalam industri tekstil, MB banyak digunakan karena mudah diperoleh dan harganya yang tergolong ekonomis. MB dilepas ke lingkungan sebesar 15-20% pada industri tekstil. Pada manusia, dapat menyebabkan iritasi mata, gangguan pernapasan, iritasi kulit, sakit kepala, dan masalah kesehatan lainnya (Pubchem, 2024). Selain itu, MB dapat menghalangi masuknya cahaya ke dalam air sehingga keseimbangan ekosistem akan terganggu. Ukuran MB yang kecil dan strukturnya yang stabil menyebabkan MB sulit terdegradasi. Dalam pengujian UV-Vis, metilen biru biasanya memiliki puncak pada panjang gelombang di antara 600-700 nm.



Gambar 2.9 Struktur Metilen Biru (Oladoye dkk., 2022)

### 2.12 Fotokatalis

Katalis merupakan material yang dapat menurunkan energi aktivasi sehingga mempercepat laju reaksi tanpa mengubah kesetimbangan reaksi. Berdasarkan fasanya, katalis dibagi menjadi dua jenis, yakni homogen dan heterogen. Katalis homogen memiliki fasa yang sama dengan campuran reaksi, sedangkan katalis heterogen memiliki fasa yang berbeda. Perbedaan antara katalis dengan fotokatalis adalah aplikasinya. Fotokatalis heterogen memiliki pita valensi yang terisi dan pita konduksi yang kosong. Pemilihan fotokatalis harus mempertimbangkan kemampuan fotoaktif, pemanfaatan sinar UV, serta tidak beracun. Umumnya, fotokatalis menggunakan material yang bersifat semikonduktor, seperti  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , CDs.

### 2.13 Semikonduktor

Semikonduktor merupakan material penghantar arus listrik. Semikonduktor digolongkan menjadi dua, yakni semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik memiliki jumlah elektron dan *hole* yang terbatas dan relatif sedikit sehingga konduktivitasnya rendah. Sedangkan, semikonduktor ekstrinsik umumnya memiliki jumlah elektron dan *hole* yang relatif lebih banyak sehingga memiliki konduktivitas yang tinggi. Semikonduktor ekstrinsik dibagi menjadi 2 jenis, meliputi semikonduktor tipe-p atau tipe-n. Semikonduktor tipe-p bermuatan positif sehingga merupakan akseptor elektron, sedangkan tipe-n bermuatan negatif sehingga berperan sebagai donor elektron.

Semikonduktor dipilih sebagai fotokatalis karena memiliki keunggulan berupa penyerapan cahaya pada rentang UV-Vis yang baik sehingga dapat meningkatkan efektivitas degradasi.

Setiap material semikonduktor memiliki energi *band gap* yang berbeda. Semakin kecil *band gap*, semakin kecil kemampuan reduksi-oksidasinya (redoks) sehingga semikonduktor dapat menyerap lebih banyak cahaya dengan *recombination rate* yang rendah. Hal ini dapat mengoptimalkan penyerapan sinar tampak sehingga dalam sintesis fotokatalis, semikonduktor dengan *band gap* kecil lebih banyak dipilih. Semikonduktor dengan *band gap* yang sempit dapat memanfaatkan sinar UV-Vis lebih optimal dan menghasilkan lebih banyak *electron-hole pairs* sehingga dapat meningkatkan kinerja degradasi. Selain itu, energi *band gap* serta pita valensi konduksi dapat dimodifikasi untuk menciptakan fotokatalis yang efektif. Material semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis, meliputi *metal organic frameworks* (MOF), silika mesopori, dan karbon aktif. (Zulfa dkk., 2024)

### 2.14 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan adsorbat pada permukaan adsorben yang terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar molekul atau interaksi kimia (Azizian dan Eris, 2021). Adsorben yang umumnya digunakan dalam proses adsorpsi adalah adsorben berpori atau berongga yang memiliki sisi aktif. Jenis-jenis adsorpsi dapat dibedakan dari gaya intermolekul yang terjadi, meliputi gaya Van der Waals, ikatan hidrogen, dan ikatan kovalen (Astuti, 2017).

Adsorpsi yang melibatkan gaya Van der Waals adalah adsorpsi fisik (*Physisorption*). Gaya Van der Waals memiliki gaya tarik yang relatif lemah antara adsorben dengan adsorbat sehingga adsorbat tidak terikat dan bergerak ke permukaan lain (*multilayer*). Adsorpsi fisik dapat terjadi tanpa energi aktivasi dan bersifat *reversible*. Sedangkan, adsorpsi yang melibatkan ikatan kovalen dan ion antara adsorben dengan adsorbat disebut adsorpsi kimia (*chemisorption*). Ikatan kovalen memiliki kekuatan ikatan yang kuat sehingga adsorbat akan terikat dengan kuat pada adsorben membentuk lapisan *monolayer*. (Astuti, 2017)

### 2.15 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan penggambaran dari penyerapan adsorbat ke dalam adsorben berdasarkan waktu kontak atau serapannya. Untuk mengetahui kemampuan penyerapan adsorben dalam uji adsorpsi, perlu dilakukan perhitungan kapasitas adsorpsi ( $Q_t$ ) yang didapatkan dengan persamaan (2.1)

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{W} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan  $C_t$  sebagai konsentrasi akhir adsorpsi (ppm),  $C_0$  sebagai konsentrasi awal adsorpsi (ppm),  $V$  sebagai volume larutan (ml), dan  $W$  sebagai massa adsorben (mg). Berikutnya, nilai  $Q_t$  akan digunakan dalam penentuan kinetika adsorpsi menggunakan persamaan reaksi kinetika Pseudo orde satu semu dan orde dua semu.

Pada orde satu semu, adsorpsi yang digambarkan adalah adsorpsi pada sistem padat-cair. Orde satu semu ditinjau karena terdapat dua reaktan yang menentukan kinetika adsorpsi, tetapi besarnya konsentrasi dari kedua reaktan yang berbeda sehingga salah satunya dianggap konstan (Langgergreen, 1998). Persamaan orde satu semu dituliskan secara matematis pada persamaan (2.2).

$$\ln (Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan  $Q_e$  sebagai kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan,  $Q_t$  sebagai kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$ , dan  $K_1$  sebagai konstanta kecepatan orde satu ( $\text{menit}^{-1}$ ). Plot grafik antara waktu dengan  $\ln (Q_e - Q_t)$  untuk mendapatkan  $K_1$  dari slope,  $Q_e$  perhitungan dari  $2,303 \log$  intersep, dan  $R^2$  yang menggambarkan kesesuaian kinetika adsorpsi jika nilainya mendekati 1 (Langgergreen, 1989).

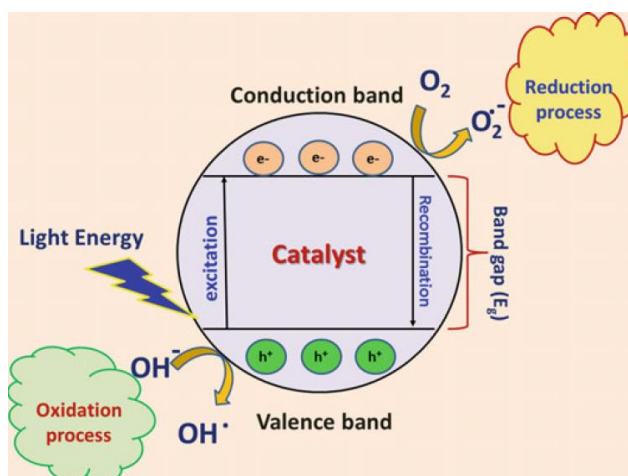
Pseudo orde dua semu meninjau sisi aktif yang memungkinkan pertukaran ion antara adsorbat dengan adsorben sehingga memengaruhi kapasitas adsorpsinya. Dengan kata lain, orde dua semu tergantung pada jumlah adsorbat yang diserap pada kesetimbangan. Persamaan orde dua semu dituliskan pada persamaan (2.3).

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk mengetahui kesesuaiannya, digambarkan grafik antara waktu dengan  $t/Q_t$  sehingga nilai  $Q_e$  perhitungan dari  $1/\text{slope}$  dan  $K_2$  dari  $\text{slope}^2/\text{intersep}$  diketahui.

### 2.16 Fotokatalitik

Degradasi fotokatalitik atau fotodegradasi merupakan proses perubahan polutan menjadi produk yang tidak membahayakan dengan bantuan fotokatalis di bawah sinar ultraviolet (UV) serta sinar tampak (Vis) (Akbar dkk., 2021). Fotokatalitik juga dapat diartikan sebagai proses percepatan reaksi kimia dengan induksi cahaya (Saravanan dkk., 2017). Proses fotokatalitik terjadi ketika cahaya mengenai permukaan fotokatalis. Jika energinya lebih besar dari celah pita fotokatalis, electron di pita valensi akan berpindah atau tereksitasi menuju pita konduksi sehingga terbentuk lubang pada pita valensi. Lubang ini akan mengoksidasi molekul dan menghasilkan radikal hidroksil dengan kekuatan oksidasi tinggi sehingga dapat menguraikan polutan yang ada. Sedangkan, electron di pita konduksi akan bereaksi dengan oksigen yang kemudian memicu terjadinya reaksi redoks. Semakin tinggi konsentrasi bahan organik, semakin tinggi jumlah *holes* sehingga dapat mengurangi rekombinasi dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik. (Saravanan dkk., 2017)



Gambar 2.10 Skema Mekanisme Fotokatalitik (Saravanan dkk., 2017)

## 2.17 Karakterisasi

### 2.17.1 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

FTIR merupakan karakterisasi material yang digunakan untuk menentukan gugus fungsi dalam senyawa organik maupun anorganik dengan memanfaatkan penyerapan sinar inframerah. Penyerapan radiasi inframerah oleh molekul menyebabkan eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi. Akibatnya, inti-inti atom yang terikat secara kovalen akan mengalami getaran sehingga dapat meningkatkan amplitudo getaran atom-atom yang terikat. Panjang gelombang serapan bergantung pada jenis ikatan tersebut sehingga jenis ikatan yang berlainan akan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang tertentu. Oleh karena itu, setiap molekul memiliki spektrum inframerah yang dapat dibedakan satu sama lain melalui posisi dan intensitas pita serapan sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan struktur, identifikasi, dan analisis kuantitatif. FTIR juga dapat digunakan untuk menentukan komposisi campuran, kualitas, atau konsesitensi bagan dan membantu memberikan informasi untuk memperkirakan struktur molekul. Daerah sinar inframerah (IR) dibagi menjadi tiga, meliputi daerah inframerah dekat ( $400-10\text{ cm}^{-1}$ ), menengah ( $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ), dan jauh ( $14000-4000\text{ cm}^{-1}$ ). Umumnya, panjang gelombang diukur pada daerah inframerah menengah karena munculnya pita-pita serapan banyak gugus fungsi (Chen dkk., 2015).

### 2.17.2 *X-ray Diffraction (XRD)*

Difraksi Sinar-X atau *X-ray Diffraction (XRD)* merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk menentukan kristanilitas dengan mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal dan ukuran kristal dari suatu material. Sampel untuk analisis XRD berupa bubuk, padatan, lapisan tipis, atau pita dengan jumlah minimum sebesar beberapa miligram, tetapi jumlah yang besar akan mendapatkan keakuratan yang lebih baik. XRD merupakan metode non-destruktif sehingga sampel dapat digunakan kembali untuk analisis lainnya. Metode ini menggunakan beberapa jenis radiasi, seperti sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X memiliki energi yang cukup tinggi dengan panjang gelombang berkisar antara 0,5 hingga 2,5 angstrom (Hakim dkk., 2019).

Prinsip dasar XRD adalah cahaya dilewatkan melalui celah kristal sehingga menghasilkan difraksi cahaya pada jarak antar atom sebesar 1 angstrom (Hakim dkk., 2019). Pantulan dari sinar yang ditembakkan ke sampel menyebabkan sebagian sinar akan dihamburkan ke permukaan sampel. Hamburan sinar akan membentuk bidang-bidang kisi imajiner dengan jarak tertentu dan memiliki tingkat keteraturan yang tinggi. Sedangkan, sebagian sinar yang tidak dihamburkan akan menembus lapisan dua dan seterusnya (Skoog, 1980). Pola hamburan atau difraksi bersifat spesifik pada struktur dan komposisi tertentu. Pola difraksi kemudian di-plot berdasarkan intensitas puncak yang menyatakan parameter kisi kristal atau indeks Miller sebagai fungsi  $2\theta$ , di mana teta menunjukkan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg (2.4)

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan n sebagai orde sinar (bilangan bulat mulai dari 1), lambda ( $\lambda$ ) sebagai panjang gelombang (nm), d sebagai jarak antara bidang kisi kristal, dan teta ( $\theta$ ) sebagai sudut difraksi.

Hasil analisis XRD berupa difraktogram yang spesifik pada material yang dianalisis sehingga dapat digunakan sebagai sidik jadi untuk identifikasi material. Pola difraktogram

umumnya berupa deretan puncak difraksi dengan intensitas yang bervariasi. Besarnya intensitas tergantung pada jumlah atom atau ion serta distribusinya dalam material. Penentuan kesesuaian struktur kristal dari sampel dapat dilakukan dengan mencocokkan setiap puncak yang muncul pada difraktogram dengan nilai sudut  $2\theta$  referensi. Jika semua sudut  $2\theta$  teridentifikasi dipastikan terdapat kesesuaian struktur kristal (Ropp, 2003). Selain itu, dengan mencocokkan nilai-nilai *d-spacing* dengan indeks Hanawalt, senyawa pada sampel dapat diketahui.

### 2.17.3 SEM-EDX

Karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui morfologi serta persebaran unsur kristal. Prinsip kerjanya sama dengan mikroskop optik, yakni memanfaatkan berkas cahaya yang melewati lensa dan difokuskan pada titik tertentu untuk pembacaannya. Perbedaannya dengan mikroskop optik terdapat pada sumber cahaya yang digunakan. Sumber cahaya pada mikroskop optik berupa cahaya tampak, sedangkan pada mikroskop elektron (SEM) berupa pancaran berkas elektron. Elektron yang digunakan berasal dari *electron gun* (*tungsten filament*). Elektron tersebut kemudian masuk ke dalam lensa kondenser dan difokuskan pada sampel sehingga direfleksikan dan ditangkap oleh detektor. Elektron yang ditangkap oleh detektor kemudian memberikan informasi berupa morfologi permukaan sampel (elektron sekunder) beserta topografinya (*back-scattered electron*). Selain itu, SEM juga memiliki *depth of focus* yang menyebabkan SEM dapat menggambarkan suatu material dalam bentuk 3 dimensi (Ropp, 2003). Jangkauan perbesaran SEM dari 20-100.000 kali perbesaran (Prasetyoko dkk., 2017).

Spektroskopi *Energy Dispersive X-ray* (EDX) merupakan pengukuran dari pancaran sinar-X selama penembakan elektron pada SEM untuk menentukan komposisi kimia suatu material dalam skala mikro dan nano. Energi sinar X yang dipancarkan dari area tereksitasi oleh berkas elektron mengakibatkan struktur komposisi unsur dalam sampel dapat diketahui. Jika energi yang diberikan cukup besar, dapat menyebabkan terjadinya emisi sinar X yang khas untuk tiap unsur di mana energi dan intensitasnya bergantung pada komposisi unsur dalam sampel (Goldstein dkk., 2017). Material dianalisis dengan EDX untuk mengetahui kandungan unsur, seperti Zn, N, C, dan O. Hasil SEM-EDX berhubungan dengan difraktogram XRD. Tingginya intensitas puncak menandakan banyaknya struktur kristalin yang terbentuk.

### 2.17.4 ICP-OES

*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) digunakan untuk menganalisis kandungan logam dalam material. ICP-OES terdiri dari sistem introduksi sampel, sumber plasma, pemantik plasma, sistem pengukuran optik. Plasma memiliki suhu tinggi, tekanan atm, dan gas yang terionisasi sebagian. Gas yang biasanya digunakan adalah argon. Mula-mula sampel diuapkan dan diionisasi menghasilkan ion bebas. Ion kemudian dieksitasi dan diemisikan. Kelebihan ICP-OES, meliputi deteksinya yang cepat, kemampuan analisis multielemen, batas deteksi yang rendah, serta pengaruh interferensi yang relatif kecil (Brundle dkk., n.d.).

### 2.17.5 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

Brunauer-Emmett-Teller (BET) merupakan salah satu teori adsorpsi yang berfungsi sebagai teknik dasar dalam pengukuran luas permukaan spesifik material. BET menganalisis adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan material padatan dan berfungsi sebagai dasar teknik

analisis penting untuk pengukuran luas permukaan spesifik bahan. Metode ini juga dapat memperkirakan ukuran rata-rata material beserta porositasnya (Abdullahi dkk., 2017). BET berlaku pada sistem adsorpsi multilayer yang biasanya menggunakan gas *probing* dan merupakan model lanjutan isotermal Langmuir (Nasrollahzadeh dkk., 2019). Gas yang umumnya digunakan adalah nitrogen (Brunauer dkk., 1938). Penggunaan gas tersebut agar tidak terjadi reaksi kimiawi dengan permukaan material adsorbat sehingga dapat dihitung luas permukaan material yang akan dihasilkan. Prinsip kerja BET adalah penyerapan gas nitrogen oleh permukaan material padat dalam kondisi isotermal dan vakum. Persamaan BET dapat dituliskan sebagai berikut

$$\frac{P}{V(P_0-P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-1}{V_m C} \times \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan V sebagai jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan P, V<sub>m</sub> sebagai jumlah gas dalam monolayer, P<sub>0</sub> sebagai tekanan penjumlahan, dan C sebagai konstanta. Persamaan BET tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear sehingga didapatkan V<sub>m</sub> sebagai

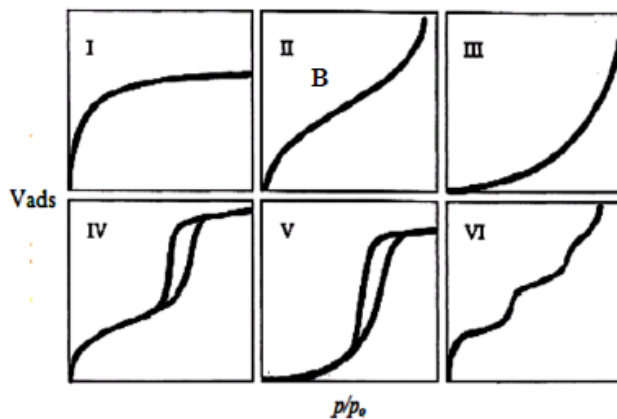
$$V_m = \frac{1}{(\text{intersep} + \text{slope})} \dots\dots\dots(2.6)$$

Sehingga didapatkan luas permukaan dengan persamaan

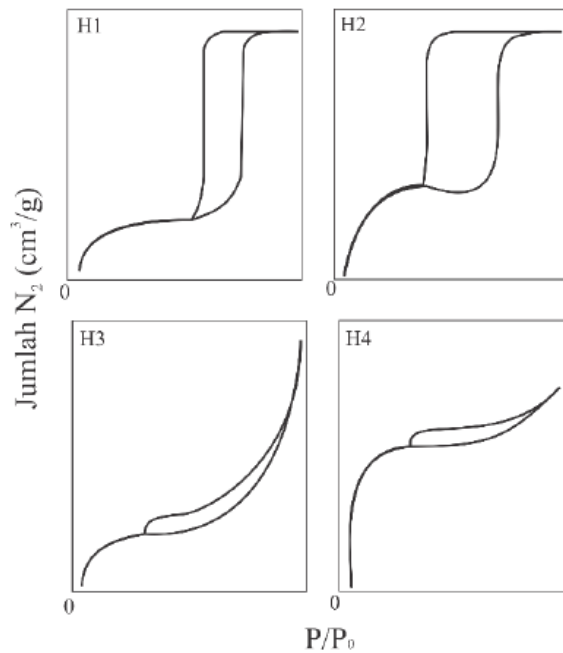
$$SA = \left( \frac{V_m}{0,0224} \right) N_A \times 10^{-19} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan SA sebagai luas permukaan, V<sub>m</sub> sebagai jumlah adsorbat, N bilangan Avogadro, dan A sebagai penampang lintang molekuler adsorbat (nm). Namun, persamaan BET hanya dapat digunakan pada adsorpsi isoterm dengan tekanan relatif antara 0,05-0,3 (Adamson dan Gast, 1990).

Berdasarkan teori BET, terdapat 6 jenis tipe isoterm, meliputi isoterm tipe I, II, III, IV, V, dan VI seperti pada Gambar 2.11 Isoterm tipe I menggambarkan adsorpsi pada adsorben mikropori yang sesuai dengan tipe monolayer Langmuir. Isoterm tipe II (material tidak berpori) dan tipe III (material berpori) menggambarkan interaksi yang kuat (tipe II) dan lemah (tipe III) antara adsorbat dengan adsorben. Untuk isoterm tipe IV dan V, berturut-turut menggambarkan adsorpsi monolayer dan multilayer dengan kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler yang mendatar sebelum mencapai tekanan jenuh menyebabkan munculnya *loop* histeresis sebagai tanda material mesopori. Sedangkan, pada isoterm tipe VI, menunjukkan bahwa material non-pori atau makropori yang memiliki adsorpsi isoterm lebih dari satu langkah (Adamson dan Gast, 1990).



Gambar 2.11 Tipe Grafik Isotermal Adsorpsi-Desorpsi N<sub>2</sub> (Adamson & Gast, 1990)



Gambar 2.12 Tipe Loop Histeresis (Thommes dkk., 2015)

Histeresis dibagi menjadi beberapa tipe. Histeresis tipe 1 (H1) menunjukkan material dengan keteraturan mesopori yang tinggi. Histeresis tipe 2 (H2) menggambarkan material dengan campuran kandungan mesopori dan mikropori. Sedangkan, histeresis tipe 3 (H3) dan 4 (H4) menggambarkan pola mesopori yang tidak teratur.

Hasil karakterisasi adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> berupa 4 data utama, yakni luas permukaan, diameter pori rata-rata, distribusi ukuran pori BJH, dan total volume pori. BJH atau Barret, Joyner, dan Halenda merupakan salah satu metode komputasi untuk menghitung diameter pori-pori menggunakan kurva distribusi. Data isoterm dapat diturunkan dari cabang adsorpsi maupun desorpsi untuk menghitung distribusi ukuran pori dengan metode BJH (Storck dkk., 1998).

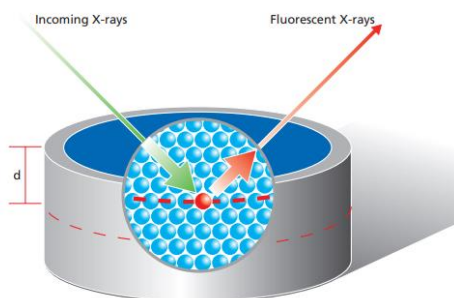
### 2.17.7 X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF merupakan metode analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari bahan yang berupa padatan, cairan, bubuk, atau bentuk lainnya (Brouwer, 2003). Prinsip kerja dari XRF didasari pada dispersi panjang gelombang. Atom-atom individu memancarkan cahaya sinar-X dengan energi relatif yang dapat diprediksi berdasarkan karakteristik dari panjang gelombangnya. Dalam XRF, sinar-X yang berasal dari instrumen masuk ke dalam atom sehingga elektron dalam atom keluar dari orbital dalam. Atom tersebut tereksitasi dan menghasilkan radiasi berenergi tinggi (foton, proton, elektron, dan lain-lain) (Oyedotun, 2018). Energi yang berbeda menandakan warna yang berbeda sehingga atom dapat diidentifikasi. Intensitas energi yang dipancarkan menentukan banyak elemen yang ada pada suatu sampel (Brouwer, 2003).

Saat sinar-X mengenai sampel, sinar tersebut akan mengalami 3 interaksi, yaitu fluorescence, Compton scatter, dan Rayleigh scatter. Ketika sinar-X langsung mengenai lempengan dari suatu material, sinar akan ditransmisikan, diserap (menghasilkan radiasi fluorescent), dan dihamburkan kembali. Penghamburan dapat terjadi dengan kehilangan energi (Compton scatter), dan tanpa kehilangan energi (Rayleigh scatter). Compton scatter terjadi saat

sinar yang menabrak elektron kemudian memantul. Rayleigh *scatter* terjadi saat sinar bertabrakan dengan elektron yang terikat kuat sehingga mengalami osilasi dan memancarkan radiasi pada energi yang sama dengan radiasi yang masuk. Hal tersebut terlihat seperti radiasi yang masuk akan dihamburkan oleh atom.

Sinar-X yang diteruskan harus melewati lapisan di atas sampel. Lapisan ini akan menyerap sebagian besar dari radiasi yang masuk. Penyerapan dapat meningkat dengan bertambahnya panjang lintasan. Hal tersebut membuat elemen yang ada pada sampel tidak bisa terjangkau oleh radiasi. Oleh karena itu, hanya elemen yang dekat pada permukaan yang akan diukur. Radiasi yang berhasil masuk terdiri dari sinar-X dan radiasi karakteristik yang dipancarkan oleh atom-atom pada sampel itu sendiri. Spektrofotometer akan mengukur jumlah fluorescent yang dihasilkan (Brouwer, 2003).



Gambar 2.13 Penyerapan dari sinar-X dan radiasi fluorescent

### 2.17.6 UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis menggabungkan prinsip spektrofotometri UV dan *Visible*, yakni menggunakan dua sumber cahaya berupa cahaya UV dan cahaya tampak. Panjang gelombangnya terletak pada rentang 380-750 nm. Cahaya yang diserap oleh sampel diukur absorbansinya, sedangkan cahaya yang dihamburkan diukur sebagai transmitansi. Berdasarkan hukum Lambert-Beer, banyaknya absorbansi dihitung dengan persamaan 2 (Pratiwi dkk., 2022).

$$A = a \cdot b \cdot c \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan A sebagai absorbansi, b sebagai tebal kuvet, c sebagai konsentrasi yang diukur, dan e sebagai absorptivitas molar (ppm). Konsentrasi larutan akan sebanding dengan jumlah sinar yang diserap oleh adsorben.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, meliputi peralatan gelas, botol polipropilen (botol PP) 500 ml, pengaduk magnetic, botol duran 500 ml, 250 ml, dan 100 ml, corong buchner, labu buchner, membran nilon 0,22 um, pompa vakum, krusibel stainless steel, neraca analitik, *hot plate*, termometer, oven Listrik, kotak UV, *orbital shaker*, *Teflon-lined autoclave*, mortar dan alu, cawan porselen, *plastic wrap*, *aluminium foil*, pH universal, sonikator, *muffle furnace*, *tubular furnace*, tabung sentrifugasi, penangas minyak, serta lampu sinar tampak. Adapun instrumen yang digunakan, berupa spektrofotometer UV-Vis, XRD, XRF, FTIR, TGA, BET.

#### **3.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, mencakup *coal fly ash* (CFA) dari PT. Suralaya, karbon aktif dari cangkang kelapa sawit yang didapatkan dari PT. Sawit Rajawali, asam klorida (HCl, Merck 37%), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Merck 98%), natrium hidroksida (NaOH, Merck), *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB, Sigma Aldrich, 98%), isopropyl alcohol (IPA) atau 2-propanol (Merck), Aqua DM, Aquades, seng nitrat tetrahidrat (Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, Merck), 2-metilimidazol (Sigma Aldrich, 99%), metilen biru (Merck), serta metanol (Merck, pa).

#### **3.3 Prosedur**

##### **3.3.1. Preparasi Abu Layang**

###### **3.3.1.1 Identifikasi Kandungan Abu Layang**

Sebanyak 200,00 gr abu layang dicuci dengan 300 ml akuades panas di dalam beker PP 500 mL sambil diaduk hingga tercuci dengan baik. Kemudian, abu layang dibiarkan hingga mengendap dan disaring. Abu layang yang tidak mengendap didekantasi. Lalu, abu layang dicuci sebanyak tiga kali sebelum dikeringkan pada suhu 100°C di dalam oven hingga beratnya konstan. Setelah itu, abu layang dikeluarkan dari oven dan didinginkan di dalam desikator. Abu layang yang menggumpal dihaluskan dan disimpan di dalam wadah tertutup. Abu layang kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD untuk mengetahui kandungan serta fasa mineralnya.

###### **3.3.1.2 Leaching Abu Layang**

Sebanyak 10,00 gram abu layang yang sudah dibersihkan dicampur dengan 250 mL HCl 10% (perbandingan 1:25 g/mL) di dalam gelas beker dan ditutup rapat menggunakan *plastic wrap*. Kemudian, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan suhu 80°C pada penangas minyak. Abu layang kemudian difiltrasi dan residunya dicuci dengan aquades panas. Lalu, residu dikeringkan selama 24 jam pada 100°C. Selanjutnya, abu layang hasil treatment dianalisis kandungannya menggunakan XRF dan XRD.

### 3.3.2. Ekstraksi Natrium Metasilikat dari Abu Layang

Ekstraksi natrium metasilikat dilakukan dengan metode fusi berdasarkan penelitian sebelumnya (Kumar dkk., 2001; Hui dkk., 2006). Sebanyak 7,00 g abu layang treatment dan 8,40 g serbuk NaOH dengan perbandingan 1:1,2 dicampurkan dan dilebur di dalam *muffle furnace* selama 2 jam pada 750°C. Hasil fusi dikarakterisasi XRF dan sisanya dihaluskan lalu dicampur dengan aqua DM dengan perbandingan 1:4-5 (g/mL) di dalam botol duran dan ditutup rapat. Campuran diaduk konstan selama 4,5 jam pada suhu 100°C dalam penangas minyak. Campuran kemudian disaring dan diambil filtratnya. Hasilnya dikarakterisasi ICP-OES.

### 3.3.3. Sintesis MCM-41

Sintesis MCM-41 dilakukan berdasarkan penelitian Misran dkk. dengan sedikit modifikasi (Misran dkk., 2007). 0,65 gr CTAB dilarutkan dalam 35,75 mL aqua DM. Lalu, 20 ml ekstrak natrium metasilikat (Si) ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam campuran sambil diaduk dengan magnetic stirrer 300 rpm selama 30 menit. pH campuran diatur antara 10-11 dengan penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2N. Selanjutnya, gel yang diperoleh dimasukkan ke dalam autoclave dan di-oven dengan suhu 140°C selama 24 jam untuk proses hidrotermal. Material kemudian disaring serta dicuci menggunakan aquades dan etanol hingga pH 6-7. Residunya kemudian dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu 100°C. Hasilnya kemudian digerus untuk meng-homogenkan ukuran sampel. Setelah itu, sampel yang telah homogen dikalsinasi pada suhu 550°C selama 6 jam dengan laju panas dalam tubular furnace. MCM-41 yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, SEM, dan BET.

### 3.3.4. Sintesis ZIF-8

Sintesis ZIF-8 menggunakan metode pada penelitian sebelumnya dengan sedikit modifikasi (Jofrrishal dkk, 2020). Sebanyak 1,96 g Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O (0,0075 mol) dilarutkan ke dalam 28 mL metanol (0,69 mol) dan diaduk hingga homogen. Pada wadah lainnya, 4,93 g 2-metilimidazole (0,06 mol) dilarutkan dalam campuran 28 mL metanol hingga diperoleh larutan homogen. Perbandingan mol Zn:2MIM:metanol sebesar 1:8:92. Larutan ligan kemudian ditambahkan ke dalam larutan logam secara perlahan dan diaduk selama kurang lebih 5 menit hingga campuran berwarna putih. Campuran kemudian dimasukkan ke dalam oven untuk proses solvothermal selama 24 jam pada suhu 65°C. Setelah solvothermal, campuran didekantasi lalu dicuci dengan metanol dan dilakukan perendaman selama 24 jam. Hasil pencucian dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada 65°C untuk menghilangkan residu metanol lalu. Padatan yang terbentuk kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, SEM-EDX, Adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub>, dan UV-Vis.

### 3.3.5. Sintesis CDs

Metode sintesis CDs didasarkan pada penelitian sebelumnya dengan beberapa modifikasi (Kamarol Zaman dkk., 2021). Ke dalam 10 mL IPA dan 90 mL aqua DM, ditambahkan 1,00 g karbon aktif. Selanjutnya, campuran diaduk selama 2 jam. Kemudian, campuran dimasukkan ke dalam autoklaf untuk hidrotermal selama 4 jam pada 180°C. Hasilnya disaring menggunakan membran nilon 0,22 µm. Filtrat yang dihasilkan di-*freeze dry* hingga diperoleh padatan CDs. Hasilnya dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR.

### 3.3.6. Sintesis komposit CDs/MCM-41/ZIF-8

Sintesis komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 didasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Ajdari dkk serta Wei dkk dengan beberapa modifikasi. Mulanya, sebanyak 1,96 g  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (0,0075 mol) dilarutkan ke dalam 28 mL metanol (0,69 mol) dan diaduk hingga homogen. Kemudian, ditambahkan 0,18 gr MCM-41 (25% dari massa ZIF-8) ke dalam larutan logam dan diultrasonikasi selama 10 menit hingga homogen. Pada wadah lainnya, 4,93 g 2-metilimidazole (0,06 mol) dilarutkan dalam campuran 28 mL metanol hingga diperoleh larutan homogen. Perbandingan mol  $\text{Zn}:2\text{MeIM}:\text{metanol}$  sebesar 1:8:92. Larutan ligan kemudian ditambahkan ke dalam larutan logam secara perlahan dan diaduk selama kurang lebih 5 menit hingga campuran berwarna putih. Campuran kemudian dimasukkan ke dalam oven untuk proses solvothermal selama 24 jam pada suhu  $70^\circ\text{C}$ . Setelah *solvothermal*, campuran didekantasi lalu dicuci dengan metanol dan dilakukan perendaman selama 24 jam. Setelah dicuci, ditambahkan larutan CDs sebanyak 2,5 ml, 5 ml, dan 10 ml. Campuran kemudian dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada  $70^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan residu metanol lalu. Komposit yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, SEM, dan BET.

### 3.3.7. Uji Adsorpsi

#### 3.3.7.1 Pembuatan Larutan Stok MB 200 ppm

Sebesar 0,05 gram metilen biru (MB) dimasukkan ke dalam labu ukur 250 ml. Kemudian, labu diisi dengan aqua DM hingga tanda batas labu untuk melarutkan bubuk MB.

#### 3.3.7.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi MB dibuat menggunakan absorbansi beberapa larutan standar. Konsentrasi larutan standar yang digunakan, yaitu 1 sampai 5 ppm. Masing-masing konsentrasi diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 500-700 nm. Absorbansi pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{\text{maks}}$ ) setiap konsentrasi dibaca. Selanjutnya, kurva kalibrasi dibuat dengan sumbu x sebagai konsentrasi dan sumbu y sebagai  $\lambda_{\text{maks}}$ .

#### 3.3.7.3 Pengujian Variasi Waktu Kontak MB

Konsentrasi MB dalam larutan air dijaga konstan pada 20 ppm dengan dosis adsorben 10 mg/50 mL. Proses adsorpsi dilakukan pada suhu ruangan dengan kecepatan pengadukan sebesar 300 rpm dan waktu kontak divariasikan 15-90 menit. Setelah proses adsorpsi, larutan disentrifugasi pada 1500 rpm selama 15 menit dan absorbansi MB yang tersisa dalam supernatan dibaca menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pembacaan absorbansi kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi. Waktu kontak terbaik dari pengujian yang dilakukan, dipilih sebagai waktu adsorpsi gelap pada uji aktivitas fotokatalitik.

### 3.3.8. Uji Aktivitas Fotokatalitik

Sebanyak 10 mg adsorben ditambahkan ke dalam 50 mL MB (20 ppm) dan diadsorpsi selama 60 menit. Setelah proses adsorpsi, larutan diiridasi menggunakan lampu UV selama 15-90 menit. Filtrat kemudian diambil dan diuji dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi MB.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Preparasi Abu Layang

Preparasi abu layang dilakukan sebelum mengekstraksi natrium metasilikat untuk sumber silika pada sintesis MCM-41. Tahap preparasi abu layang dapat diamati pada Gambar 4.1 yang akan dibahas secara lebih detail pada subbab berikutnya.



Pencucian Abu Layang dengan Aquades Panas dalam Botol PP

Pencucian Asam atau *Leaching* dengan HCl 10%

Pencucian dengan Aquades Panas untuk Menetralkan pH

Gambar 4.1 Skema Preparasi Abu Layang

#### 4.1.1 Identifikasi Kandungan Abu Layang

Sebelum diidentifikasi kandungannya, abu layang perlu dibersihkan terlebih dahulu. Abu layang dibersihkan dengan aquades panas untuk menghilangkan zat-zat organik. Selain itu, pencucian dengan aquades panas juga dapat membantu mengekstrak alkali klorida seperti NaCl, KCl, dan CaCl<sub>2</sub>. Setelah dilakukan pencucian dengan aquades, abu layang diidentifikasi kandungan beserta komposisinya menggunakan analisis XRF. Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui bahwa SiO<sub>2</sub> yang terkandung dalam abu layang PT. SURALAYA sebesar 28% dengan kandungan CaO sebesar 18,7%. Kandungan CaO yang melebihi 15% menandakan bahwa abu layang PT. SURALAYA tergolong ke dalam jenis abu layang kelas C (Astuti, 2017).

Sementara itu, fasa mineral dari abu layang dapat dilihat pada difraktogram yang tersaji dalam Gambar 4.2. Difraktogram tersebut menunjukkan adanya kandungan *quartz* (SiO<sub>2</sub>) dan *mullite* (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>) dengan puncak yang tajam pada 2 $\theta$ =26,63;40,91 (Q) dan 2 $\theta$ =35,69;33,38;42,99 (M) sesuai dengan data pada lampiran. Adanya hump pada difraktogram menandakan fasa amorf yang teridentifikasi dalam abu layang (Yandrati dkk., 2024).

#### 4.1.2 Pengurangan Kandungan Logam dengan Pencucian Asam atau *Leaching*

Setelah abu layang dicuci dengan aquades, masih tersisa senyawa-senyawa yang dapat mengganggu proses sintesis serta menurunkan kinerja dari MCM-41. Misalnya, CaO, SO<sub>3</sub>, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kandungan CaO yang tinggi dapat membentuk fasa hidrat kalsium silikat yang akan menghambat terbentuknya MCM-41 (Yandrati dkk., 2024). Besarnya berat logam dalam abu layang dapat menyebabkan adanya kompetisi untuk masuk ke dalam struktur jaringan MCM-41 (Misran dkk., 2007). Adanya senyawa-senyawa tersebut menyebabkan perlu dilakukan demineralisasi pada abu layang dengan cara pencucian asam atau pelindian (*leaching*). *Leaching* merupakan proses pemisahan zat terlarut dari padatnya menggunakan pelarut cair sehingga disebut juga sebagai metode ekstraksi padat-cair. Beberapa hal yang memengaruhi *leaching*, meliputi sifat padatan, suhu, ukuran zat, serta persebarannya dalam padatan. Semakin kecil ukuran partikel zat, semakin cepat laju reaksi. Selain itu, *leaching* juga dipengaruhi oleh pelarut yang digunakan juga. Semakin kecil viskositas pelarut, semakin

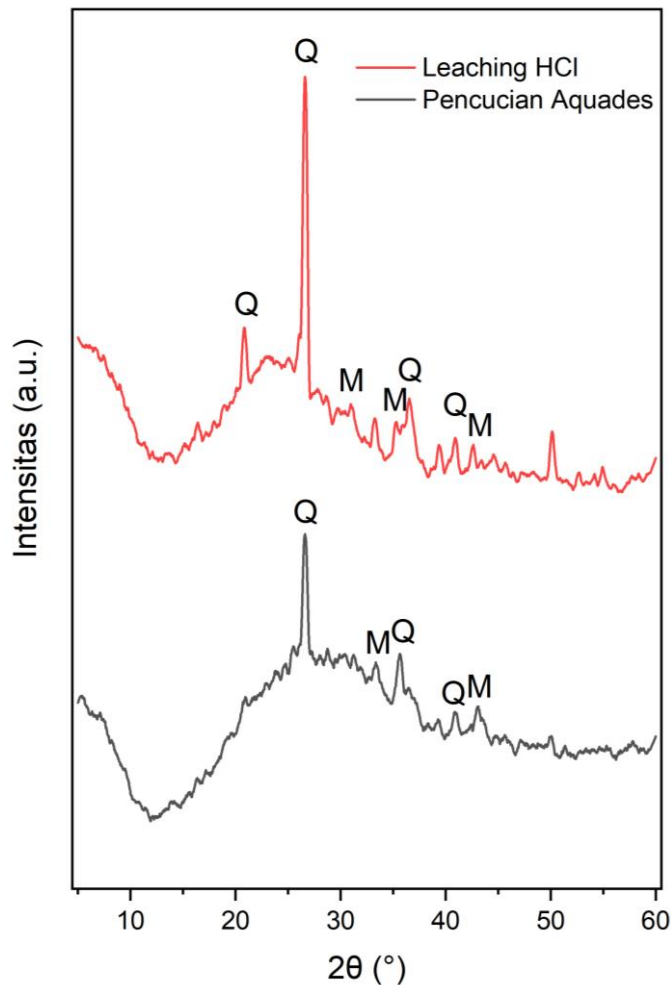
mudah interaksi dan difusi pelarut ke dalam padatan. Pelarut yang umumnya digunakan pada proses ini berupa asam pekat, seperti HCl 10% (Misran dkk., 2007). Pada proses ini, kandungan garam, seperti Ca serta logam-logam berat, misalnya Pb dan Zn akan mengalami penurunan (Misran dkk., 2007).

Hasil analisis XRF setelah pengurangan oksida logam dalam abu layang menggunakan pencucian asam dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kandungan oksida logam relatif berkurang, seperti Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, MnO, dan BaO yang mengalami penurunan sebesar 10,1%, 14,71%, 1%, 0,9%, 0,14%, 0,26% secara berurutan. Selain itu, kandungan senyawa dalam abu layang yang dapat bersifat racun, seperti Ni, Cr, dan Zn terbilang cukup stabil dalam matriks aluminosilikat (Astuti, 2017). Di samping itu, kandungan SiO<sub>2</sub> dalam abu layang mengalami peningkatan sebesar 26%, dari 28% menjadi 54%. Semakin tinggi kandungan SiO<sub>2</sub>, semakin besar pula natrium metasilikat yang dapat terekstrak.

Tabel 4.1 Perbandingan Komposisi Abu Layang PT. SURALAYA

Senyawa	%Berat (Hasil Pencucian dengan Aquades)	%Berat (Hasil Leaching HCl)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,700	23,100
SiO <sub>2</sub>	28,000	54,000
CaO	18,700	3,940
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,000	10,000
K <sub>2</sub> O	2,460	3,400
TiO <sub>2</sub>	1,910	2,450
SO <sub>3</sub>	1,000	0,100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,850	0,890
SrO	0,716	0,180
BaO	0,520	0,290
MnO	0,420	0,280
ZnO	0,190	0,170
ZrO <sub>2</sub>	0,140	0,210
CuO	0,120	0,140
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,070	0,030
Rb <sub>2</sub> O	0,055	0,060
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,030	0,020
NiO	0,030	0,035
Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,030	0,050

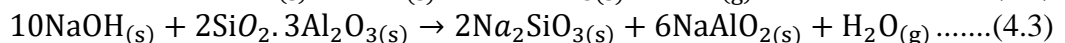
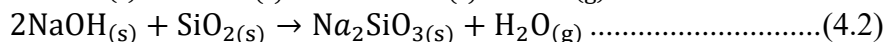
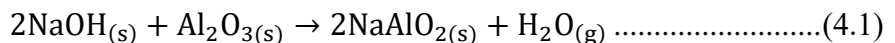
Perbandingan fasa mineral dari abu layang setelah pencucian dengan aquades dan setelah pencucian dengan HCl 10% dapat dilihat dalam difraktogram pada Gambar 4.2. Puncak yang menandakan *quartz* (Q),  $2\theta=20,8;26,58;36,53;40,89$  dan *mullite* (M),  $2\theta=35,22;33,26;42,60$  pada abu layang setelah *leaching* terlihat lebih tajam dan jelas dibandingkan puncak-puncak pada abu layang setelah pencucian dengan aquades. Peningkatan intensitas puncak tersebut menandakan bahwa pencucian dengan HCl efektif dalam menurunkan kandungan logam alkali dan logam berat dalam abu layang tanpa mengubah pola difraksinya (Yandрати dkk., 2024). Logam-logam serta senyawa klorida yang tersisa kemudian dilarutkan dengan aquades panas dalam proses filtrasi (Misran dkk., 2007).



Gambar 4.2 Difraktogram Abu Layang PT. SURALAYA

#### 4.2. Ekstraksi Natrium Metasilikat dari CFA

Sebelum natrium metasilikat diekstraksi, abu layang hasil *treatment* dilebur (fusi) bersama dengan reagen atau aktivator alkali, berupa NaOH. Proses peleburan ini dilakukan untuk menguraikan SiO<sub>2</sub> sehingga terbentuk natrium metasilikat. Selain itu, reaksi ini juga bertujuan untuk menurunkan tingkat kristanilitas dari *quartz* dan *mullite* sehingga menjadi amorf dengan situs aktif yang terbuka (Astuti, 2017). Reaksi peleburan ini dapat dilihat pada persamaan reaksi (4.1) (Misran dkk., 2007).

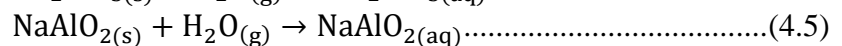
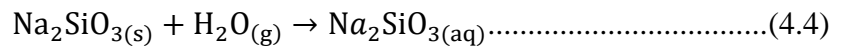


Hasil peleburan ini berupa padatan berwarna hijau keabu-abuan sebagai pertanda bahwa proses peleburan berhasil dilakukan. Warna hijau terbentuk akibat reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> ketika pendinginan setelah peleburan (Sudarno, 2008). Hal ini dapat terjadi karena adanya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 23,6% dalam abu layang setelah *leaching* HCl.

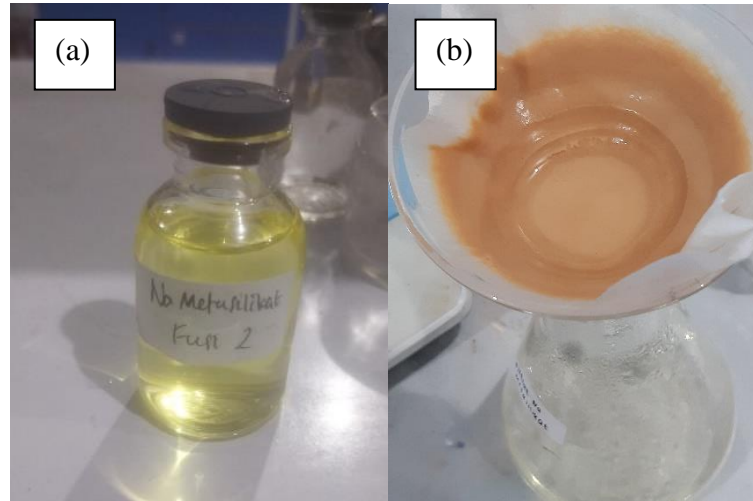


Gambar 4.3 Abu Layang Hasil Peleburan (Fusi)

Hasil peleburan dicampur dengan aquades untuk melarutkan garam alkali yang terbentuk, yakni natrium metasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan natrium aluminat ( $\text{NaAlO}_2$ ) sesuai dengan persamaan reaksi (4.2) (Misran dkk., 2007). Proses ini dilakukan pada suhu 80-100°C selama 4,5 jam dalam penangas minyak dilengkapi dengan termometer untuk menjaga suhu larutan.



Setelah 4,5 jam, campuran dipisahkan dengan metode filtrasi sehingga didapatkan filtrat berupa natrium metasilikat. Filtrat yang dihasilkan berwarna kuning karena adanya oksidasi dari  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ . Sedangkan, residu berwarna coklat sebagai endapan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (Sudarno, 2008).



Gambar 4.4 Hasil Penyaringan (a) Filtrat (b) Residu

Filtrat ini kemudian dianalisis dengan ICP-OES untuk mengetahui kandungan Al dan Si yang terkandung di dalamnya. Hasil analisis ICP-OES dapat dilihat dalam Tabel 4.3. Ekstrak natrium metasilikat yang didapatkan mengandung aluminium sebesar 195,94 ppm dan silikon sebesar 16.653 ppm.

Tabel 4.2 Konsentrasi Silika dalam CFA

Unsur	Kandungan (ppm)
Aluminium (Al)	195,94
Silikon (Si)	16.653

### 4.3 Sintesis MCM-41

Sintesis MCM-41 dilakukan dengan mencampurkan larutan CTAB dengan ekstrak natrium metasilikat. CTAB berperan sebagai templat dan surfaktan yang dapat membentuk pori seragam. Campuran diaduk selama 30 menit supaya ion  $\text{Br}^-$  dari CTAB dapat bertukar dengan silika dengan sempurna. Reaksi ini ditandai dengan terbentuknya campuran homogen tidak berwarna yang cukup kental. Pada reaksi ini, CTAB sebagai prekursor susunan heksagonal dari MCM-41 dengan cara membentuk misel. Peningkatan konsentrasi misel akan mengubah strukturnya menjadi kristal cair seperti struktur MCM-41. Kemudian, campuran yang diperoleh diukur pH nya lalu diatur hingga pH antara 10-11 dengan penambahan asam sulfat 2N. Penambahan asam kuat pada campuran menyebabkan campuran bening berubah menjadi putih keruh dan mulai menggumpal akibat adanya proses nukleasi yang terjadi (Misran dkk., 2007). Gumpalan gel kemudian menjadi homogen dengan warna putih susu ketika mencapai pH 10-11. Gel yang terbentuk didiamkan beberapa menit agar inti material dapat tumbuh dan terbentuk dengan sempurna. Gel selanjutnya dihidrotermal selama 24 jam pada suhu  $140^\circ\text{C}$ .

Metode hidrotermal diterapkan karena dapat menghasilkan bubuk dengan kemurnian, kristanilitas, dan reaktivitas yang tinggi, morfologi dan stoikiometri yang lebih terkontrol, serta mengurangi sintering (Byrappa dkk., 2007). Selain itu, metode ini dapat mempercepat reaksi silika yang melapisi misel surfaktan dapat membentuk jaringan atau *frameworks* mesopori berupa MCM-41. Setelah dihidrotermal, endapan yang terbentuk disaring dan dicuci menggunakan aqua DM serta etanol hingga pH menjadi netral. Hal ini dilakukan agar misel surfaktan dan pengotor pada residu dapat larut sehingga dihasilkan MCM-41 dengan kemurnian yang tinggi. Residu kemudian dikeringkan pada  $100^\circ\text{C}$  selama 24 jam untuk menguapkan air yang tersisa. Hasilnya berupa padatan putih. MCM-41 yang dihasilkan ditimbang sebelum (0,2809 gr) dan sesudah kalsinasi (0,2107 gr) pada  $550^\circ\text{C}$  selama 6 jam untuk mengetahui massa template yang telah hilang. Padatan putih MCM-41 yang terbentuk kemudian diuji karakteristiknya dan diuji kinerjanya dengan metilen biru.



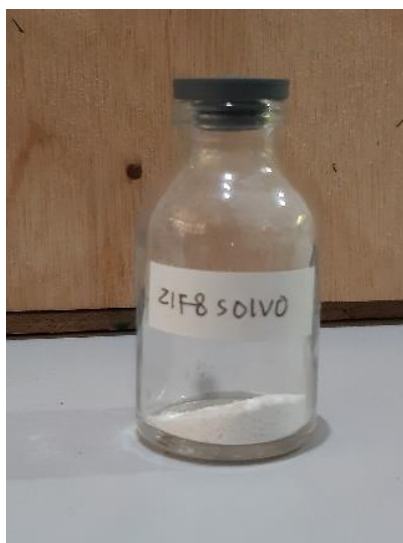
Gambar 4.5 Hasil Sintesis MCM-41

### 4.4 Sintesis ZIF-8

Pada penelitian ini, ZIF-8 disintesis dengan metode solvothermal pada  $70^\circ\text{C}$ . Sintesis ini dilakukan dengan mencampurkan larutan logam zinc nitrate tetrahidrat ke dalam larutan ligan 2 metil imidazole menggunakan pelarut berupa metanol. Perbandingan rasio mol  $\text{Zn}^{2+}$ :2-MIM:MeOH adalah 1:8:92 dengan metode solvothermal. Metode solvothermal digunakan pada



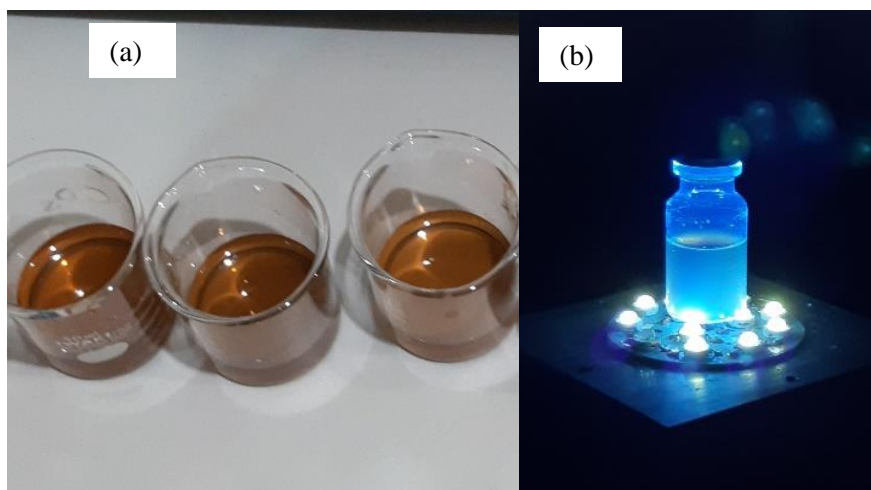
suhu 65°C selama 24 jam untuk mendapatkan hasil sintesis dan baik serta merupakan titik didih metanol. Metanol digunakan sebagai pelarut karena nanopartikel ZIF-8 dapat terbentuk lebih cepat (Ordonez dkk., 2010). Terbentuknya ZIF-8 ini dapat ditandai oleh adanya warna putih susu setelah larutan logam dan ligan dicampurkan. Campuran kemudian didinginkan pada suhu ruang semalaman (*aging*). Setelah didiamkan, campuran akan membentuk 2 lapisan berupa bubur putih di lapisan bawah dan larutan bening di atas yang kemudian didekantasi dan dicuci kembali dengan metanol. Proses pencucian ini dilakukan hingga 3 kali. Setelah proses pencucian, endapan putih yang terbentuk dikeringkan pada suhu 60°C untuk menghilangkan sisa metanol. Padatan putih ZIF-8 yang terbentuk sebesar 0,7 g dengan persentase yield sebesar 40,65. Kecilnya yield disebabkan oleh jenis pelarut yang digunakan, yaitu metanol dengan titik didih yang rendah (65°C). Kemudian dikarakterisasi dan diuji kinerjanya dengan metilen biru.



Gambar 4.6 Hasil Sintesis ZIF-8

#### 4.5 Sintesis CDs

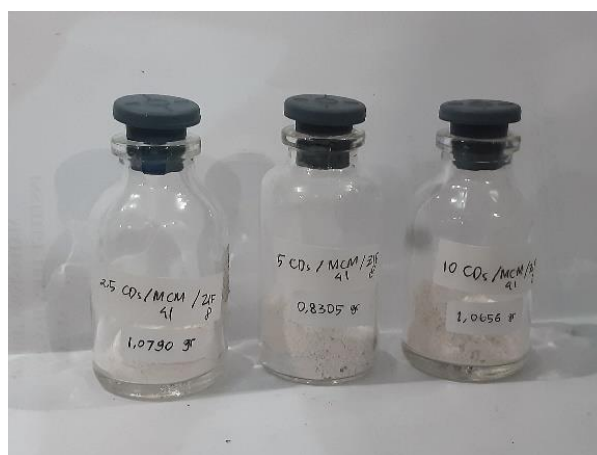
Sintesis CDs pada penelitian ini menggunakan metode *bottom up* dengan proses hidrotermal. 1 gram karbon aktif ditambahkan ke dalam campuran 10 mL IPA dan 90 mL aqua DM lalu diaduk selama 2 jam. Campuran kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf untuk hidrotermal selama 4 jam pada 180°C. Berdasarkan penelitian Zaman dkk., 2021 suhu hidrotermal memengaruhi CDs yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena tegangan permukaan pelarut berkurang sehingga dapat meningkatkan hasil CDs. CDs yang disintesis dengan suhu hidrotermal 180°C fotostabilitas yang sangat baik (Chu dkk,m 2019). Selain itu, sintesis dengan metode hidrotermal dapat meningkatkan kelarutan reagen dan memudahkan terbentuknya struktur karbon (Banger dkk., 2023). Hasilnya disaring menggunakan membrane nilon 0,22  $\mu\text{m}$ . Filtrat diambil sedikit untuk diiridasi dengan lampu UV dan didapatkan pancaran CDs yang berwarna biru seperti pada Gambar 4.7. Filtrat yang dihasilkan di-freeze dry hingga diperoleh padatan CDs sehingga dapat dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dan FTIR.



Gambar 4.7 CDs Hasil Sintesis di bawah (a) Sinar tampak, (b) Lampu UV

#### 4.6 Sintesis CDs/MCM-41/ZIF-8

Komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 dibuat dengan menambahkan MCM-41 dan CDs ke dalam prekursor ZIF-8. Penambahan CDs yang berlebihan dapat merusak sisi aktif katalis sehingga digunakan variasi penambahan 2,5 ml (CMZ 2,5); 5 ml (CMZ 5); 10 ml (CMZ 10). Selain itu, penambahan MCM-41 sebesar 25% dari rendemen ZIF-8 yang dihasilkan untuk setiap variasi. Mula-mula, ke dalam larutan logam dimasukkan MCM-41 dan disonikasi hingga homogen. Setelah larutan logam homogen, larutan CDs baru ditambahkan dan dilanjutkan dengan penambahan larutan ligan ke dalam larutan logam. Proses sintesis dilanjutkan seperti pembuatan ZIF-8 (subbab 4.4) hingga didapatkan padatan putih kering dengan massa 1,0790 gr (CMZ 2,5), 0,8305 gr (CMZ 5), dan 1,0656 gr (CMZ 10).



Gambar 4.8 Komposit CMZ

#### 4.7 Hasil Karakterisasi

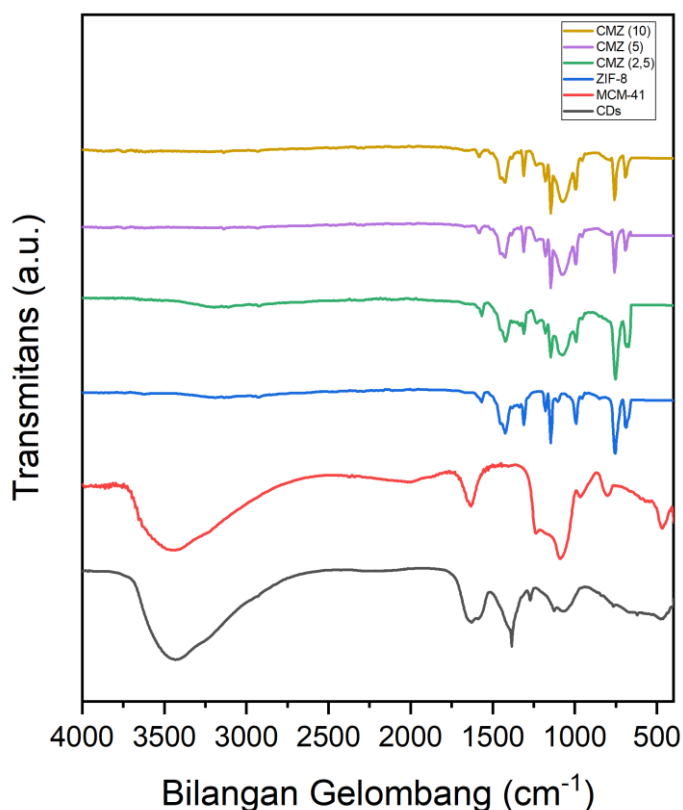
##### 4.7.1 FTIR

FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dalam material. Spektra FTIR MCM-41 hasil sintesis disajikan dalam Gambar 4.9 Dapat dilihat bahwa pada pola spektra FTIR terdapat 5 puncak utama yang menjadi penanda atau karakteristik dari MCM-41. Pola tersebut memiliki kesamaan dengan pola FTIR MCM-41 referensi. Munculnya puncak pada 470,65 dan 800,49  $\text{cm}^{-1}$  menandakan vibrasi tekuk Si-O<sup>-</sup> dan vibrasi ulur Si-O-Si. Puncak 966,37  $\text{cm}^{-1}$  menandakan adanya vibrasi ulur Si-O-M dengan M sebagai logam. Sedangkan, puncak pada 1089,82 dan 1236,41  $\text{cm}^{-1}$  menandakan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si (Hui dkk., 2006).

Beberapa puncak yang menjadi karakteristik ZIF-8 pada bilangan gelombang  $998\text{ cm}^{-1}$ , vibrasi tekuk gugus C-N terlihat. Pada daerah sekitar  $1100\text{-}1450\text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi ulur gugus C-N. Pada daerah sekitar  $1560\text{ cm}^{-1}$  terdapat *stretching* gugus C=N. Sedangkan, pada bilangan gelombang sekitar  $2850\text{-}2950\text{ cm}^{-1}$  dan  $3000\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus C-H  $\text{sp}^3$  dan C-H  $\text{sp}^2$ . Selain itu, pada  $2200\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$  terdapat pita serapan yang sedikit melebar akibat adanya gugus N-H. Hal ini menunjukkan adanya resonansi N-H-N dalam 2 metil imidazole yang bereaksi dengan zinc nitrate sehingga terjadi protonasi untuk membentuk ZIF-8 (Zhang dkk., 2011).

Spektra CDs pada Gambar 4.9 menggambarkan adanya gugus C=C *stretching* pada daerah di sekitar  $1640\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan adanya CDs. Vibrasi gugus C-O *stretching* pada  $1120\text{-}1310\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus karboksil. Pada pita  $1380\text{-}1470$  dan  $2900$  menunjukkan adanya *stretching* gugus C-H. Selain itu, pita yang melebar pada sekitar  $3400\text{ cm}^{-1}$  menandakan adanya gugus -OH dan -NH. Hal ini dapat terjadi terbentuknya ikatan hidrogen dengan pelarut yang digunakan, yakni aqua DM. Pola spektra FTIR dari CD ini hampir sama dengan milik Wu dan Huang, 2024. Berdasarkan karakterisasi ini, dapat diketahui bahwa CDs hasil sintesis berikatan dengan gugus hidroksil, karboksil sehingga memiliki kelarutan dalam air yang tinggi (Kamarol Zaman dkk., 2021; Miao dkk., 2022).

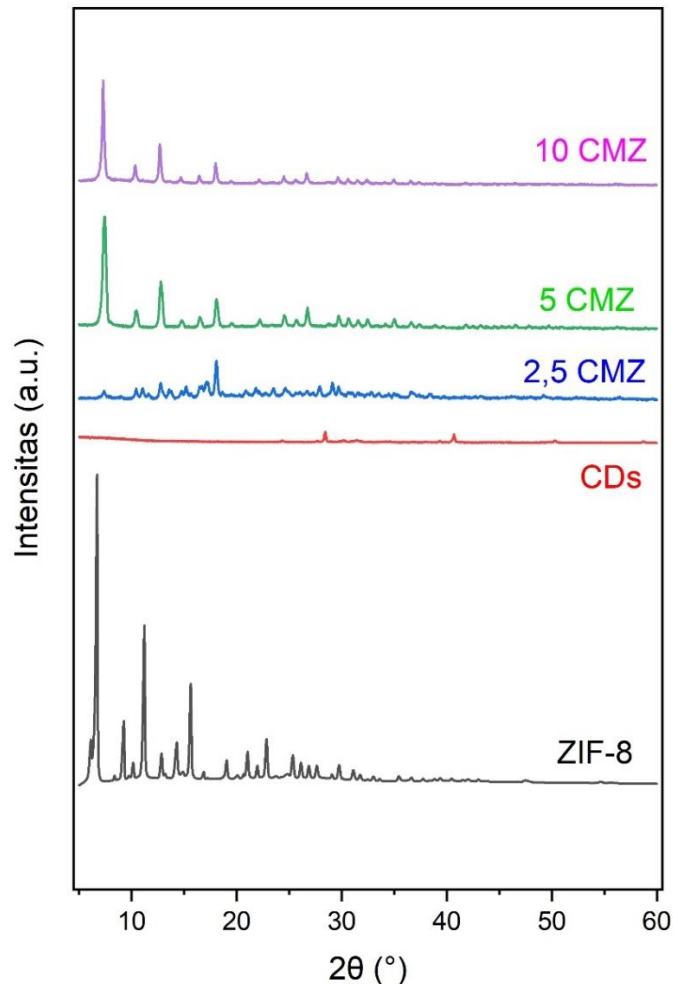
Berdasarkan Gambar 4.9, didapatkan spektra komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 yang terlihat serupa dengan material kontrol. Adanya puncak di daerah sekitar  $600\text{ cm}^{-1}$ ,  $998\text{ cm}^{-1}$ ,  $1560\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ZIF-8. Terdapat puncak pada daerah  $800\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ ,  $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ ,  $1250\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik dari MCM-41. Puncak di sekitar  $1600\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik CDs. Pada daerah  $3500\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ , hanya komposit CMZ (2,5) yang memiliki puncak yang menunjukkan adanya gugus -OH.



Gambar 4.9 Spektra FTIR Material Hasil Sintesis

#### 4.7.2 XRD

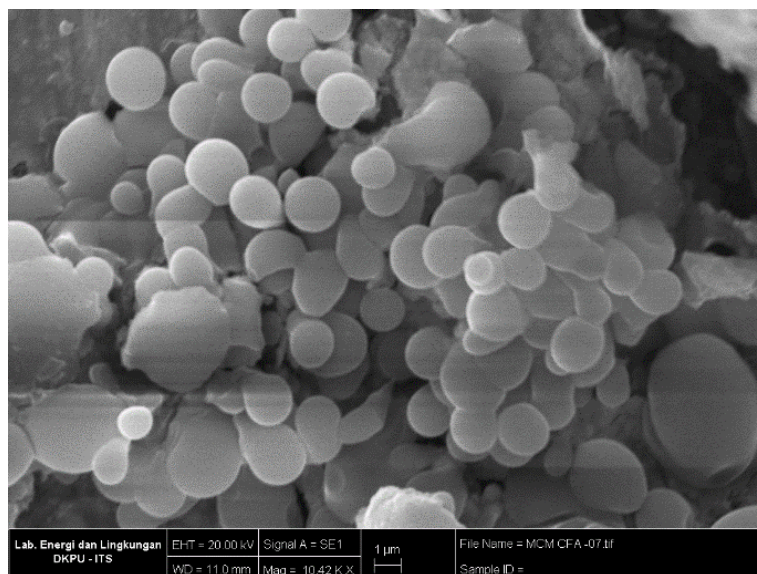
Karakterisasi material dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur dan kristanilitas dari material. Pada Gambar 4.10 difraktogram CDs hasil penelitian di  $2\theta = 20-30^\circ$ , menunjukkan bahwa karbon dot hasil sintesis memiliki struktur amorf. Hal ini sesuai dengan hasil XRD karbon dot milik Wu dan Huang, 2024. Munculnya puncak lain pada 30-60 menunjukkan fase turbostratik yang menggabungkan kristalisasi mikro serta karbon amorf. Dibandingkan dengan difraktogram-difraktogram material kontrol, material CMZ memiliki kesamaan puncak karakteristik dengan ZIF-8. Difraktogram ZIF-8 muncul puncak karakteristik pada  $2\theta = 7,29$  dengan intensitas kuat, 10,32 dan 12,65 dengan intensitas sedang, dan 16,50 dan 18,10 dengan intensitas lemah. Jika diamati lebih jelas, sudut  $2\theta$  ZIF-8 pada komposit mengalami pergeseran. Selain itu, Kristanilitas material berkurang karena MCM-41 bersifat amorf (Chen dkk., 2016). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi perubahan struktur kristal pada material hasil sintesis.



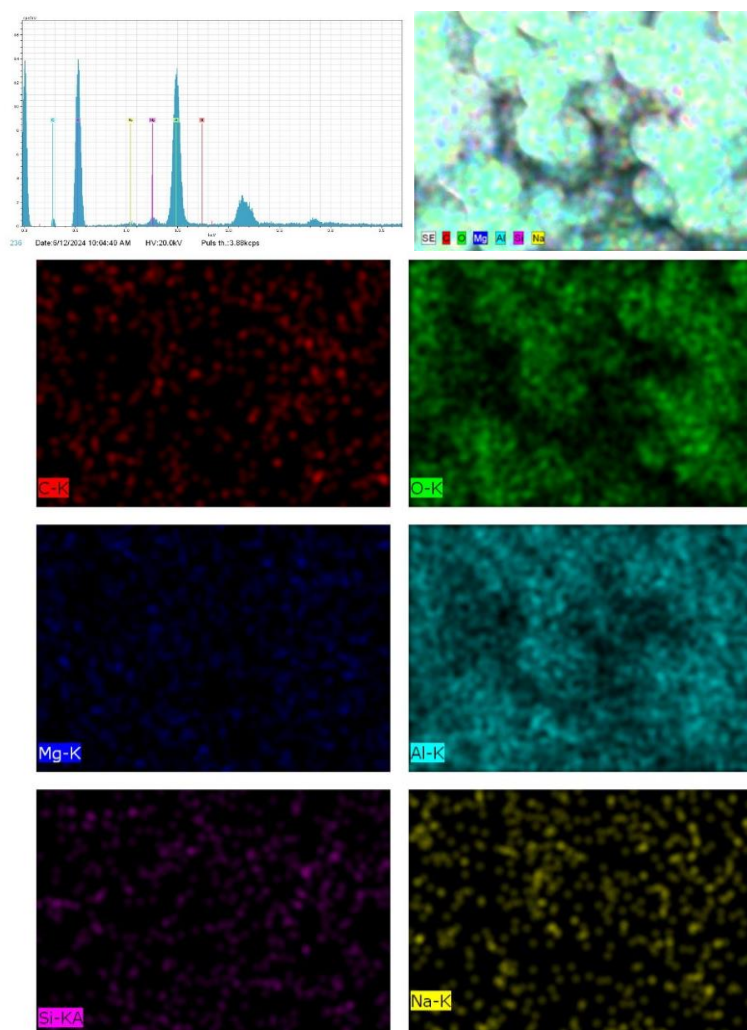
Gambar 4.10 Difraktogram Komposit dan Kontrol

#### 4.7.3 SEM-EDX

Morfologi kristal MCM-41 dapat diamati pada Gambar 4.11. Gambar yang terlampir merupakan morfologi kristal MCM-41 dengan perbesaran 10.000 kali. Bentuknya berupa butiran-butiran yang menempel satu sama lain dengan ukuran yang beragam.

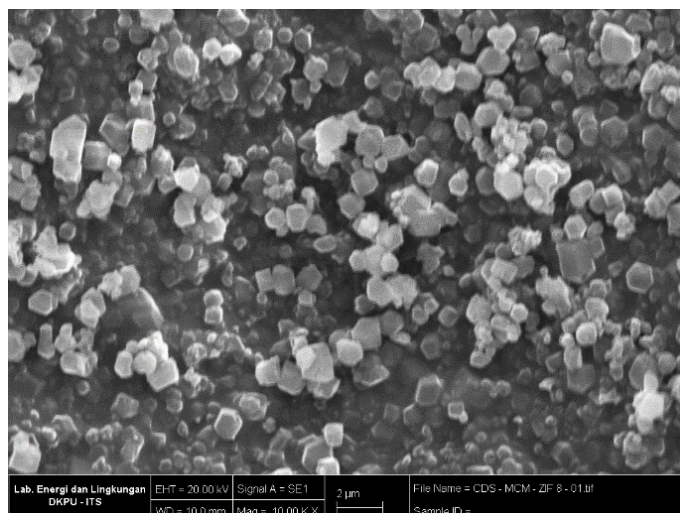


Gambar 4.11 Morfologi MCM-41

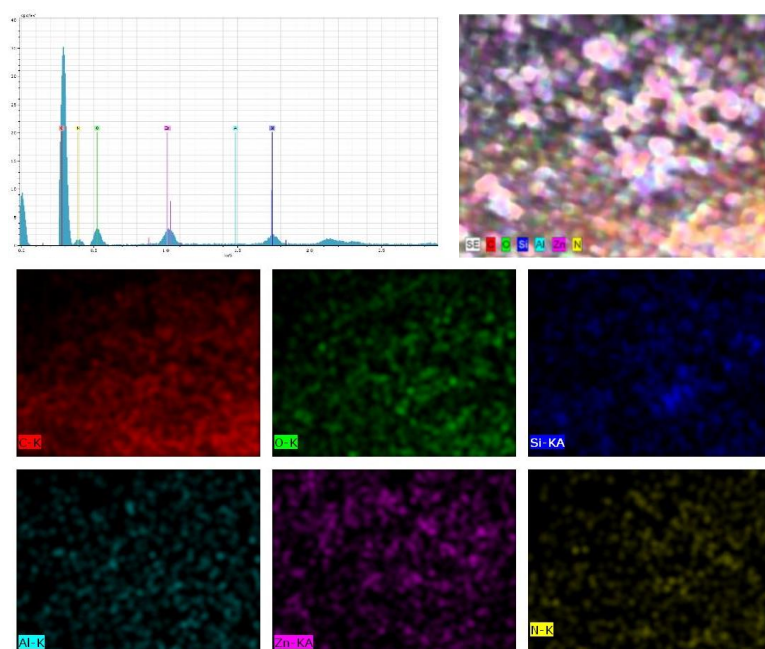


Gambar 4.12 Persebaran Unsur MCM-41





Gambar 4.13 SEM Komposit dengan perbesaran 10.000 kali



Gambar 4.14 Persebaran Unsur CDs/MCM-41/ZIF-8

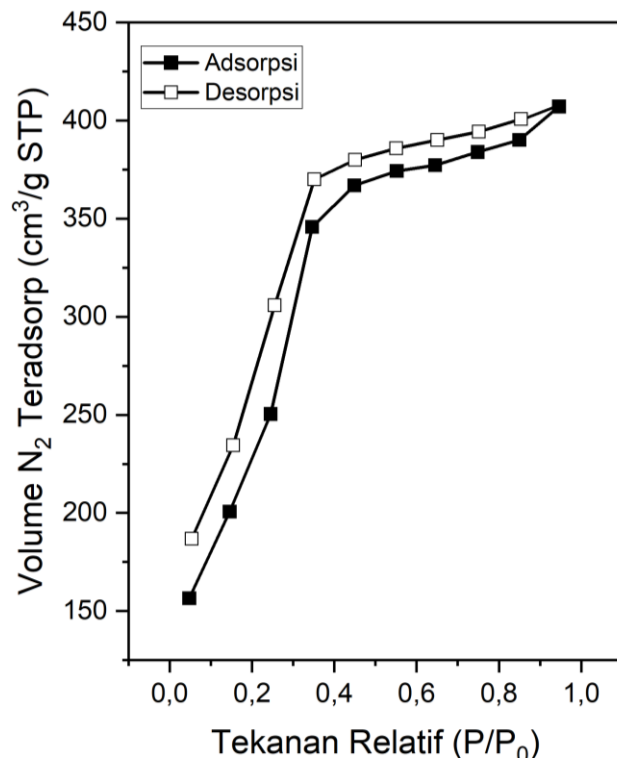
Berdasarkan Gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa penambahan CDs dan MCM-41 tidak memengaruhi morfologi ZIF-8 yang terbentuk. Morfologi kristal ZIF-8 berbentuk kubus yang mengindikasikan adanya ikatan antara ion logam ( $Zn^{2+}$ ) dengan ligan imidazole secara tetrahedral. Memiliki morfologi yang hampir sama dengan ZIF-8 murni meskipun kurang teratur yang mendukung hasil XRD berupa penambahan MCM-41 menurunkan intensitas kristal.

Persebaran unsur material dianalisis menggunakan EDX yang dapat dilihat dalam Gambar 4.12 dan 4.14. Pada MCM-41 terdapat unsur C, O, Si, Al, Mg, dan Na sesuai dengan referensi. Sedangkan, unsur-unsur pada komposit CDs/MCM-41/ZIF-8, meliputi Zn, N, C, O, Si, dan Al. Adanya unsur Si dan Al menandakan bahwa penambahan MCM-41 ke dalam komposit berhasil dilakukan. Begitu juga dengan besarnya unsur karbon dalam komposit ini yang menandakan bahwa penambahan CDs ke dalam komposit berhasil dilakukan. Adanya

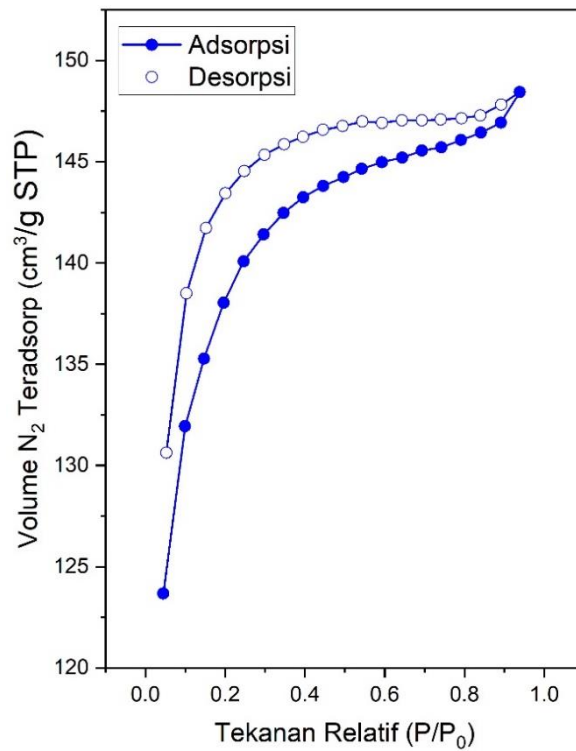
unsur Zn dan N juga sebagai penanda terbentuknya ZIF-8 sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 berhasil disintesis.

#### 4.7.4 Adsorpsi/Desorpsi Isoterm

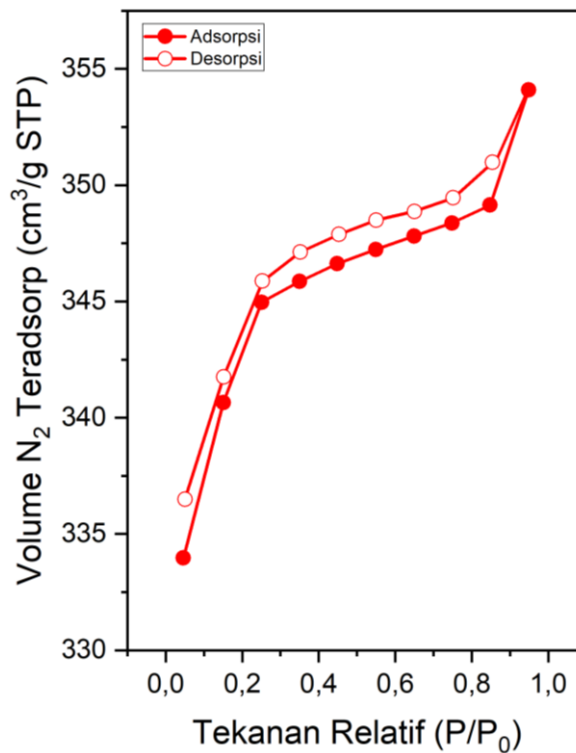
Adsorpsi desorpsi  $N_2$  digunakan untuk menentukan luas permukaan dan ukuran pori dalam suatu material. Luas permukaan spesifik dihitung dengan metode BET. Berdasarkan Gambar 4.15, MCM-41 termasuk ke dalam adsorpsi desorpsi tipe IV yang menunjukkan karakteristik mesopori. Sedangkan, grafik isoterm ZIF-8 (Gambar 4.16) dan CMZ (Gambar 4.17) menunjukkan perilaku adsorpsi/desorpsi tipe I yang menggambarkan karakteristik mikroporositas. Adanya loop histeresis pada MCM-41 di antara daerah tekanan relatif 0,3-0,4 menunjukkan struktur mesopori (Hao dkk., 2006; Poh dkk., 2007). Sedangkan, ZIF-8 dan komposit CMZ menunjukkan loop histeresis di sekitar  $P/P_0$  0,5 dengan perilaku isoterm gabungan tipe I (peningkatan tajam adsorpsi  $N_2$ ) dan tipe IV (loop histeresis) (BoojboorAjdari dkk., 2024). Histeresis pada komposit menegaskan struktur mesopori dan pembentukan nanokomposit.



Gambar 4.15 Grafik Isoterm Adsorpsi/Desorpsi  $N_2$  MCM-41



Gambar 4.16 Grafik Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N<sub>2</sub> ZIF-8



Gambar 4.17 Grafik Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N<sub>2</sub> CMZ

Semakin besar luas permukaan material, maka lapisan permukaan katalis yang tersusun juga semakin banyak. Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa luas permukaan komposit lebih besar daripada ZIF-8 dan lebih kecil dari MCM-41. Besarnya luas permukaan komposit membuktikan bahwa penambahan MCM-41 ke dalam ZIF-8 dapat meningkatkan luas



permukaannya (Gorka dkk., 2010). Selain itu, semakin banyak ligan yang mengandung unsur O, semakin berkurang juga luas permukaannya (Nurherdiana, 2015).

Tabel 4.3 Hasil Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N<sub>2</sub>

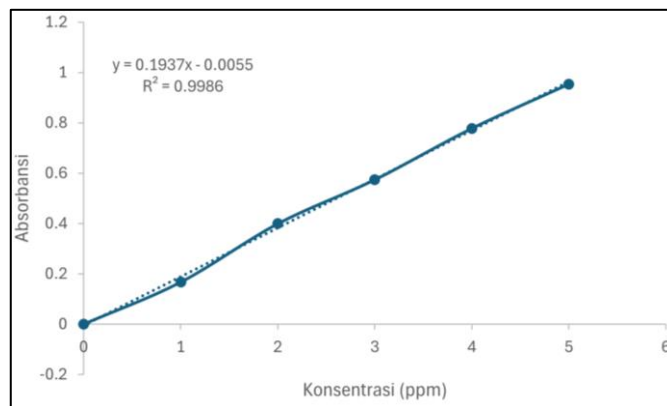
Material	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	Volume Pori (cm <sup>3</sup> /g)	Ukuran Pori (nm)	Diameter Pori (nm)
MCM-41	1013,73	0,084501	2,48	1,24549
ZIF-8	430,127	0,0115964	1,69	1,07032
CDs/MCM-41/ZIF=8	966,991	0,0141959	2,26	1,13564

#### 4.8 Uji Kinerja Adsorpsi Metilen Biru

Proses adsorpsi dilakukan pada suhu ruang dengan variabel kontrol berupa dosis adsorben sebesar 10 mg dalam 50 ml adsorbat. Variasi yang digunakan berupa waktu kontak dan konsentrasi. Variasi waktu digunakan untuk mengetahui waktu setimbang. Sedangkan, variasi konsentrasi untuk menentukan isotermal adsorpsi. Panjang gelombang maksimal

##### 4.8.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Kalibrasi Metilen Biru

Panjang gelombang maksimum MB akan digunakan untuk mengukur adsorbansi pada setiap variasi. Berdasarkan hasil pembacaan, didapatkan panjang gelombang maksimum MB pada 664 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Azhar dkk., 2017. Selanjutnya, kurva kalibrasi MB dibuat dengan variasi konsentrasi 1,2,3,4, dan 5 ppm. Kurva kalibrasi yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.18

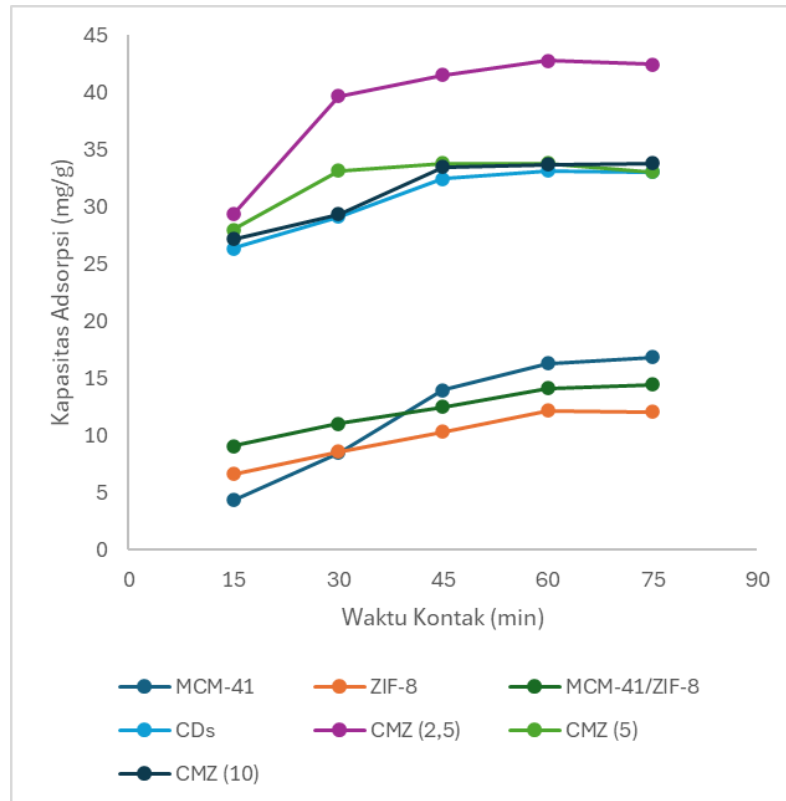


Gambar 4.18 Kurva Kalibrasi Metilen Biru (MB)

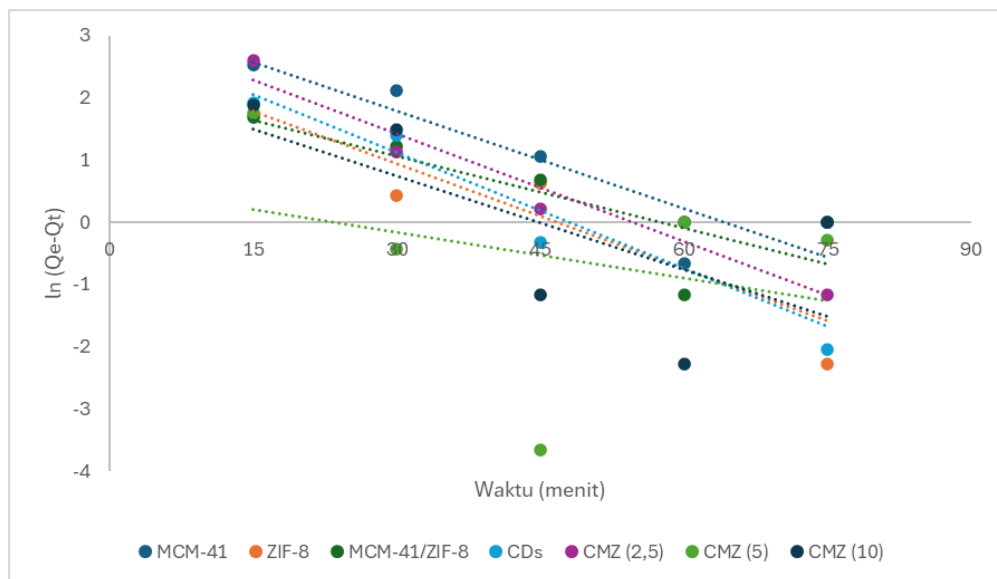
Berdasarkan kurva tersebut, didapatkan persamaan berupa  $y=0,1937x - 0,0055$  dan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9986. Nilai korelasi yang mendekati 1 menandakan keakuratan pengukuran dan hubungan positif antara dua variabel (Azizian dan Eris, 2021). Persamaan yang didapatkan digunakan untuk menentukan konsentrasi akhir dari filtrat.

##### 4.8.2 Hasil Pengujian Variasi Waktu Kontak dan Kinetika Adsorpsi MB

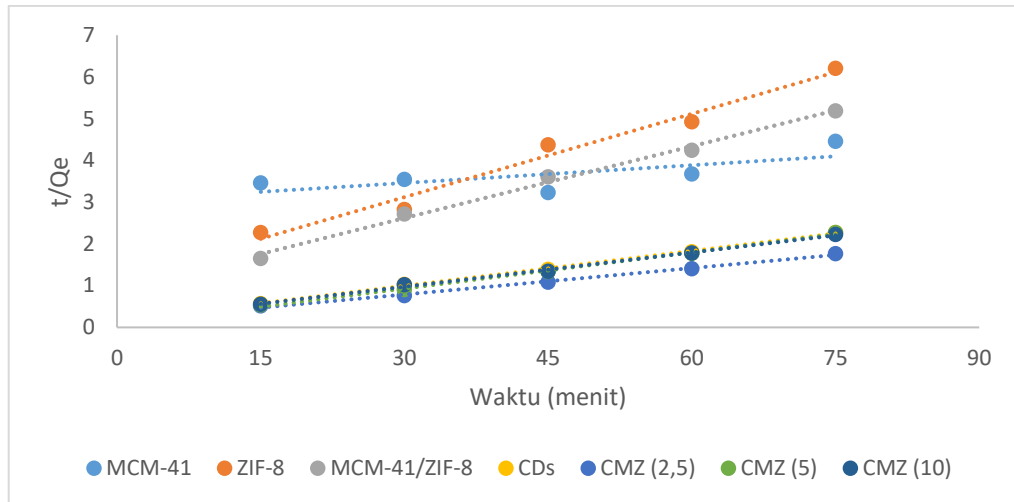
Data hasil pembacaan absorbansi diolah dan diplot antara kapasitas adsorpsi ( $Q_t$ ) dengan waktu kontak (menit).  $Q_t$  dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1). Dapat dilihat pada Gambar 4.19 seluruh material memiliki kemiripan, yakni mengalami kenaikan yang cukup signifikan ketika waktu kontak kurang dari 60 menit. Namun, nilainya relatif stabil setelah mencapai 60 menit sehingga disimpulkan bahwa waktu optimum kesetimbangan adsorpsi MB pada 60 menit. Selain itu, penambahan CDs terbukti dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi tertinggi ditunjukkan oleh komposit CMZ (2,5) yang hampir mencapai 45 mg/g.



Gambar 4.19 Grafik Hubungan antara Waktu Kontak dengan Kapasitas Adsorpsi



Gambar 4.20 Grafik Kinetika Orde Satu Semu



Gambar 4.21 Grafik Kinetika Orde Dua Semu

Kinetika adsorpsi digunakan untuk mengetahui kecepatan reaksi setiap adsorben dalam MB. Kinetika adsorpsi pada penelitian ini mengikuti persamaan pseudo orde satu dan orde dua. Ditinjau dari Gambar 4.20 dan 4.21, nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang lebih mendekati satu digunakan sebagai indikator kesesuaian kinetika adsorpsi (Tabel 4.5). MCM-41 mengikuti kinetika adsorpsi orde satu semu yang menunjukkan proses adsorpsi secara fisik (fisisorpsi) pada permukaan adsorben. Sedangkan ZIF-8, MCM-41/ZIF-8, CDs, CMZ (2,5), CMZ (5), dan CMZ (10) memiliki kesesuaian kinetika adsorpsi dengan orde dua semu yang menunjukkan kemisorpsi yang dipengaruhi oleh situs aktif dari permukaan katalis (Alamgholiloo dkk., 2022).

Tabel 4.4 Data Kinetika Adsorpsi MB

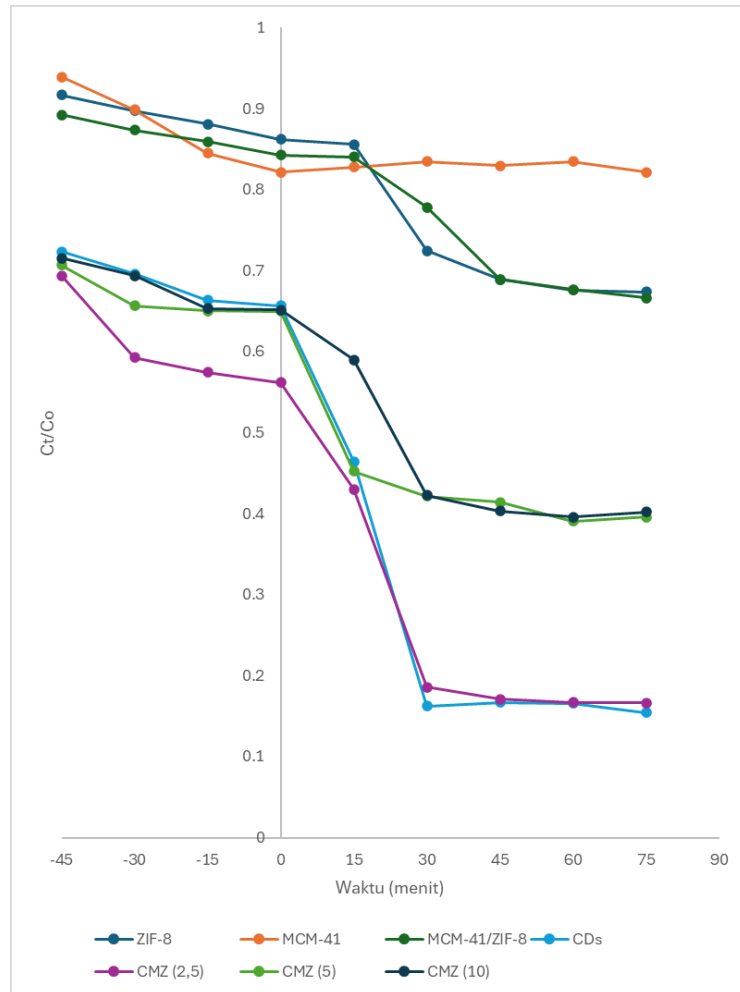
Adsorben	Orde satu semu			Orde Dua Semu		
	$R^2$	Qe cal (mg/g)	K1 (menit <sup>-1</sup> )	$R^2$	Qe cal (mg/g)	K2 (g/mg.menit <sup>-1</sup> )
MCM-41	0,8351	1,212308	0,0522	0,5188	70,42254	0,00006
ZIF-8	0,8190	0,966549	0,0561	0,9984	34,60208	0,00393
MCM-41/ZIF-8	0,6640	0,792909	0,0384	0,9939	17,45201	0,00365
CDs	0,8926	1,094065	0,0622	0,9984	35,84229	0,00490
CMZ (2,5)	0,9503	1,149037	0,0578	0,9958	47,39336	0,00283
CMZ (5)	0,0872	-0,5732	0,0244	0,9973	34,60208	0,01338
CMZ (10)	0,4613	0,810454	0,0503	0,9973	36,63004	0,00478

#### 4.9 Uji Fotokatalitik Metilen Biru

Uji fotokatalitik metilen biru dengan iridasi sinar UV dilakukan setelah proses adsorpsi dengan waktu optimum. Ke dalam 50 ml larutan MB 20 ppm, sebanyak 10 mg adsorben ditambahkan. Mulanya, dilakukan proses adsorpsi selama 60 menit untuk mencapai kesetimbangan. Setelahnya, larutan diiridasi dan dibaca absorbansinya setiap 15 menit. Hasil pembacaan absorbansi MB digunakan untuk perhitungan kinetika fotokatalitiknya.

Berdasarkan Gambar 4.22, konsentrasi MB konstan pada adsorben MCM-41. Sedangkan, material dengan penambahan CDs memiliki kemampuan aktivitas fotokatalitik yang tinggi. MCM-41 meningkatkan luas permukaan kontak antara adsorben dengan adsorbat sehingga memungkinkan kapasitas adsorpsi dan efisiensi fotodegradasi meningkat. Komposit

CMZ (2,5) menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi lain. Hal ini dapat terjadi karena dosis penambahan CDs bisa menjadi berlebihan untuk material tertentu sehingga menurunkan jumlah sisi aktif material dan juga menurunkan kemampuan fotokatalitiknya.



Gambar 4.22 Grafik Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi MB

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Sintesis CDs/MCM-41/ZIF-8 dengan abu layang sebagai sumber silika berhasil dilakukan dengan metode ekstraksi alkali fusi dan impregnasi. Kinerja komposit terbukti lebih baik dari pada kontrol, berupa CDs, MCM-41, ZIF-8, dan ZIF-8/MCM-41. Penambahan CDs pada komposit menyebabkan sifat fotokatalitik komposit bertambah sehingga aktivitas fotokatalitiknya dapat lebih optimal. Variasi terbaik ada pada komposit CMZ dengan penambahan CDs sebesar 2,5 ml. Hal ini terjadi karena diduga penambahan CDs yang lebih dari optimalnya atau berlebihan sehingga mengurangi sisi aktif komposit yang menyebabkan aktivitas fotokatalitiknya tidak maksimal.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, yakni perlu melakukan optimasi penambahan CDs dan MCM-41 ke dalam ZIF-8 sehingga dihasilkan kinerja penyerapan pewarna MB yang lebih tinggi. Selain itu, perlu juga dilakukan studi mengenai pengaruh konsentrasi, pH, dan suhu reaksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, T., Harun, Z., & Othman, M. H. D. (2017). A review on sustainable synthesis of zeolite from kaolinite resources via hydrothermal process. *Advanced Powder Technology*, 28(8), 1827–1840. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.04.028>
- Adamson, A. W., & Gast, A. P. (1990). Physical Chemistry of Surfaces. Wiley. In *Physical Chemistry of Surfaces* (Vol. 524, Nomor 11, hal. A467).
- Akbar, K., Moretti, E., & Vomiero, A. (2021). Carbon Dots for Photocatalytic Degradation of Aqueous Pollutants: Recent Advancements. *Advanced Optical Materials*, 9(17). <https://doi.org/10.1002/adom.202100532>
- Alamgholiloo, H., Nazari, S., Asgari, E., Sheikhmohammadi, A., Hashemzadeh, B., Ghasemian, N., Bigdeloo, M., & Ehsani, A. (2022). Facile fabrication of Z-scheme TiO<sub>2</sub>/ZnO@MCM-41 heterojunctions nanostructures for photodegradation and bioactivity performance. *Journal of Molecular Liquids*, 364, 119990. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119990>
- Astuti, W. (2017). Adsorben Berbasis Abu Layang Batubara. *Buku*, 1–219.
- Azizian, S. and Eris, S. (2021) ‘Adsorption isotherms and kinetics’, *Interface Science and Technology*, 33, pp. 445–509. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818805-7.00011-4>.
- Brouwer, P. (2003). *Theory of XRF: Getting acquainted with the principles*. PANalytical.
- Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60(2), 309–319. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>
- Brundle, R., Evans, C. A., Brundle, C. R., Holloway, P. H., Chou, J., Kowalczyk, S. P., Strausser, Y., Moore, T. M., Mckenna, R. G., Evans, C. K., Vaidyanathan, S. W., Sard, R., & Tong, H.-M. (n.d.). *Series Titles Encyclopedia of Material Characterization Characterization in Silicon Processing, Yale Strausser Characterization in Compound Semiconductor Processing, Characterization of Organic Thin Films, Abraham Ulman*.
- Budiman, S., Sanjaya, H., Isnaeni, I., Nizar, U. K., & Nasra, E. (2022). Dedradasi Metilen Biru Secara Fotolisis Dengan Katalis Cdots Doping Au. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 11(3), 18. <https://doi.org/10.24036/p.v11i3.115918>
- Chandra, A., Miryanti, A., Widjaja, L. B., & Pramudita, A. (2012). Isolasi Dan Karakterisasi Silika Dari Sekam Padi. *Research Report-Engineering Science*, 37.
- Chaudhary, V., & Sharma, S. (2017). An overview of ordered mesoporous material SBA-15: synthesis, functionalization and application in oxidation reactions. *Journal of Porous Materials*, 24(3), 741–749. <https://doi.org/10.1007/s10934-016-0311-z>
- Chen, Y., Zou, C., Mastalerz, M., Hu, S., Gasaway, C., & Tao, X. (2015). Applications of micro-fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in the geological sciences—A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(12), 30223–30250. <https://doi.org/10.3390/ijms161226227>
- Cravillon, J., Nayuk, R., Springer, S., Feldhoff, A., Huber, K., & Wiebcke, M. (2011). Controlling zeolitic imidazolate framework nano- and microcrystal formation: Insight into crystal growth by time-resolved in situ static light scattering. *Chemistry of Materials*, 23(8), 2130–2141. <https://doi.org/10.1021/cm103571y>
- Ediati, R., Laharto, P. B. F., Safitri, R., Mahfudhah, H., Oktavia Sulistiono, D., Denisa Syukrie, T., & Nadjib, M. (2020). Synthesis of HKUST-1 with addition of Al-MCM-41 as adsorbent for removal of methylene blue from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1799–1806. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.361>

- Goldstein, J.I., Newbury, D.E., Michael, J.R., Ritchie, N.W.M., Scott, J.H.J. and Joy, D.C. (2017) 'Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis', *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*, pp. 1–550. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6676-9/COVER>.
- Han, B., Zhang, F., Feng, Z., Liu, S., Deng, S., Weng, Y., & Wang, Y. (2014). A designed Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MCM-41 nanoporous composite for methylene blue and rhodamine B removal with high efficiency. *Ceramics International*, 40(6), 8093–8101. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.12.163>
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. *Research report GC*, 94. [http://www.geopolymer.org/fichiers\\_pdf/curtin-flyash-GP-concrete-report.pdf](http://www.geopolymer.org/fichiers_pdf/curtin-flyash-GP-concrete-report.pdf)
- Haryadi, Purnama, M. R. W., & Wibowo, A. (2018). C dots derived from waste of biomass and their photocatalytic activities. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 594–599. <https://doi.org/10.22146/ijc.26652>
- Jafari, S., Ghorbani-Shahna, F., Bahrami, A., & Kazemian, H. (2018). Adsorptive removal of toluene and carbon tetrachloride from gas phase using Zeolitic Imidazolate Framework-8: Effects of synthesis method, particle size, and pretreatment of the adsorbent. *Microporous and Mesoporous Materials*, 268(April), 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.04.013>
- Jin, Y., Wang, Y., Ren, P. G., Zhang, B., Zhao, Z., Hou, X., Ren, F., Chen, Z., Guo, Z., Yang, H., & Li, X. (2024). Recent advances of carbon dots based emerging materials for supercapacitors applications. *Journal of Energy Storage*, 85(January), 111118. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111118>
- Kamarol Zaman, A. S., Tan, T. L., A/P Chowmasundaram, Y., Jamaludin, N., Sadrolhosseini, A. R., Rashid, U., & Rashid, S. A. (2021). Properties and molecular structure of carbon quantum dots derived from empty fruit bunch biochar using a facile microwave-assisted method for the detection of Cu<sup>2+</sup> ions. *Optical Materials*, 112(December 2020), 110801. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.110801>
- Kolmykov, O., Commenge, J. M., Alem, H., Girot, E., Mozet, K., Medjahdi, G., & Schneider, R. (2017). Microfluidic reactors for the size-controlled synthesis of ZIF-8 crystals in aqueous phase. *Materials and Design*, 122, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.002>
- Kresge, C. T., & Roth, W. J. (2013). The discovery of mesoporous molecular sieves from the twenty year perspective. *Chemical Society Reviews*, 42(9), 3663–3670. <https://doi.org/10.1039/c3cs60016e>
- Lai, L. S., Yeong, Y. F., Lau, K. K., & Shariff, A. M. (2016). Effect of Synthesis Parameters on the Formation of ZIF-8 under Microwave-assisted Solvothermal. *Procedia Engineering*, 148, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.481>
- Li, H., Jiang, L., Dong, W., Zhang, E., & Ji, Z. (2017). Preparation and characterization of ZnO/ZIF-8 composite with selective photoelectrochemical responses. *Materials Letters*, 201, 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.05.005>
- Malkar, R. S., & Yadav, G. D. (2018). Synthesis of cinnamyl benzoate over novel heteropoly acid encapsulated ZIF-8. *Applied Catalysis A: General*, 560(April), 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2018.04.038>
- Massoudinejad, M., Mohammadi, A., Sadeghi, S., Ghaderpoori, M., Sahebi, S., & Alinejad, A. (2022). Arsenic adsorption over dodecahedra ZIF-8 from solution aqueous: modelling, isotherms, kinetics and thermodynamics. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(4), 855–871. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1727458>
- Miao, M., Mu, L., Cao, S., Yang, Y., & Feng, X. (2022). Dual-functional CDs@ZIF-8/chitosan

- luminescent film sensors for simultaneous detection and adsorption of tetracycline. *Carbohydrate Polymers*, 291(April). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119587>
- Misran, H., Singh, R., Begum, S., & Yarmo, M. A. (2007). Processing of mesoporous silica materials (MCM-41) from coal fly ash. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1–3), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.10.032>
- Oyedotun, T. D. T. (2018). X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: A review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(2), 148–154. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452459>
- Panchariya, D. K., Rai, R. K., Anil Kumar, E., & Singh, S. K. (2018). Core-Shell Zeolitic Imidazolate Frameworks for Enhanced Hydrogen Storage. *ACS Omega*, 3(1), 167–175. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01693>
- Park, K. S., Ni, Z., Cote, A. P., Choi, J. Y., Huang, R., Uribe-Romo, F. J., Chae, H. K., O’Keeffe, M., & Yaghi, O. M. (2006). ZIFs - first synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(27), 10186–10191. <https://doi.org/10.1073/pnas.0602439103>
- Prasetyoko, D., Fanzuri, H., Ni'mah, Y. L., dan Fadlan, A. (2017). Karakterisasi Padatan Difraksi Sinar X, Spektroskopi SEM, Analisis Termal, Struktur Pori Edisi 1. Yogyakarta Pratiwi, R. A., Nandiyanto, A. B. D., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2022). Indonesian Journal of Educational Research and Technology How to Read and Interpret UV-VIS Spectrophotometric Results in Determining the Structure of Chemical Compounds. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, 2(1), 1–20.
- Rohilla, L., Garg, V., Mallick, S. S., & Setia, G. (2018). An experimental investigation on the effect of particle size into the flowability of fly ash. *Powder Technology*, 330, 164–173. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.02.013>
- Ropp, R. C. (2003). Solid State Chemistry. In *Solid State Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51436-3.X5000-7>
- Sağlam, S., Türk, F. N., & Arslanoğlu, H. (2023). Use and applications of metal-organic frameworks (MOF) in dye adsorption: Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110568>
- Sani, A., Rostika, A., & Rakhmawaty, D. (2009). PEMBUATAN FOTOKATALIS TiO<sub>2</sub> - ZEOLIT ALAM ASAL TASIKMALAYA UNTUK FOTODEGRADASI METHYLENE BLUE. *Journal of Indonesia Zeolites*, 8(1), 1411–6723.
- Santoso, E., Ediati, R., Istiqomah, Z., Sulistiono, D. O., Nugraha, R. E., Kusumawati, Y., Bahruji, H., & Prasetyoko, D. (2021). Facile synthesis of ZIF-8 nanoparticles using polar acetic acid solvent for enhanced adsorption of methylene blue. *Microporous and Mesoporous Materials*, 310(May 2020), 110620. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110620>
- Saravanan, R., Gracia, F., & Stephen, A. (2017). *Basic Principles, Mechanism, and Challenges of Photocatalysis*. 19–40. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62446-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62446-4_2)
- Sendão, R. M. S., Esteves da Silva, J. C. G., & Pinto da Silva, L. (2023). Applications of Fluorescent Carbon Dots as Photocatalysts: A Review. *Catalysts*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/catal13010179>
- Shi, E., Lin, H., Wang, Q., Zhang, F., Shi, S., Zhang, T., Li, X., Niu, H., & Qu, F. (2017). Synergistic effect of the composite films formed by zeolitic imidazolate framework 8 (ZIF-8) and porous nickel films for enhanced amperometric sensing of hydrazine. *Dalton Transactions*, 46(2), 554–563. <https://doi.org/10.1039/c6dt03684h>
- Tang, F., Tang, J., Wang, D., Deng, C., Li, S., & Yang, X. (2023). Synthesis of molybdenum trioxide/graphite carbon nitride heterojunction modified by biomass carbon dots and its application in photocatalytic degradation of methylene blue. *Diamond and Related Materials*, 137(February), 110078. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2023.110078>

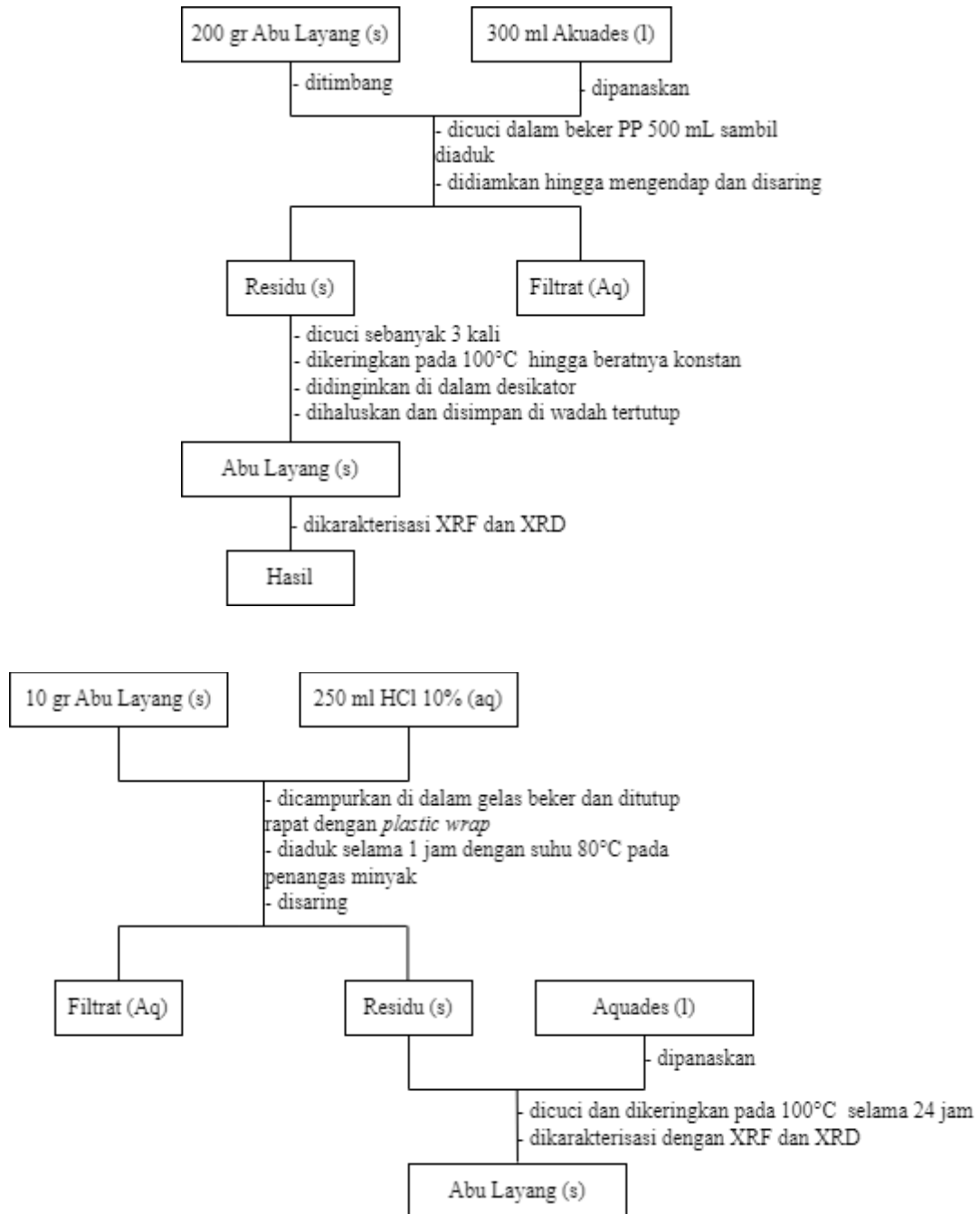


- Thomas, B. S., Dimitriadis, P., Kundu, C., Vuppaladadiyam, S. S. V., Raman, R. K. S., & Bhattacharya, S. (2024). Extraction and separation of rare earth elements from coal and coal fly ash: A review on fundamental understanding and on-going engineering advancements. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112769. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112769>
- Wang, Y., Liu, X., Wang, M., Wang, X., Ma, W., & Li, J. (2021). Facile synthesis of CDs@ZIF-8 nanocomposites as excellent peroxidase mimics for colorimetric detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and glutathione. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 329(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129115>
- Yandрати, L.P., Sekhar Kaladi, S., Gundeboyina, R., Pothu, R., Moli, V., Venkateswara Rao, B., Boddula, R., Devulapalli, R. and Mitta, H. (2024) ‘Tailoring Cu immobilized MCM-41-based mesostructured catalysts for selective hydrogenolysis of biomass-derived furfural’, *Catalysis Communications*, 187, p. 106898. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.CATCOM.2024.106898>.
- Zanjanchi, M. A., Golmojdeh, H., & Arvand, M. (2009). Enhanced adsorptive and photocatalytic achievements in removal of methylene blue by incorporating tungstophosphoric acid-TiO<sub>2</sub> into MCM-41. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.080>
- Zhang, G., Wang, Y., Wang, X., Jiang, B., Liu, Y., & Song, H. (2023). Rapid and facile synthesis of micro-mesoporous ZIF-8 materials with enhanced adsorption of methylene blue. *Polyhedron*, 244(June), 116620. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2023.116620>
- Zhao, X. S., & Lu, G. Q. (1998). Modification of MCM-41 by surface silylation with trimethylchlorosilane and adsorption study. *Journal of Physical Chemistry B*, 102(9), 1556–1561. <https://doi.org/10.1021/jp972788m>
- Zulfa, L. L., Oktavianti, N. I., Hidayat, A. R. P., Utomo, W. P., Putri, D. R., Hartanto, D., Widyastuti, & Ediati, R. (2024). Recent advances of CDs-based ternary heterojunctions for enhancing photocatalytic performance in the degradation of organic pollutants: A review. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 37(February), 101104. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101104>

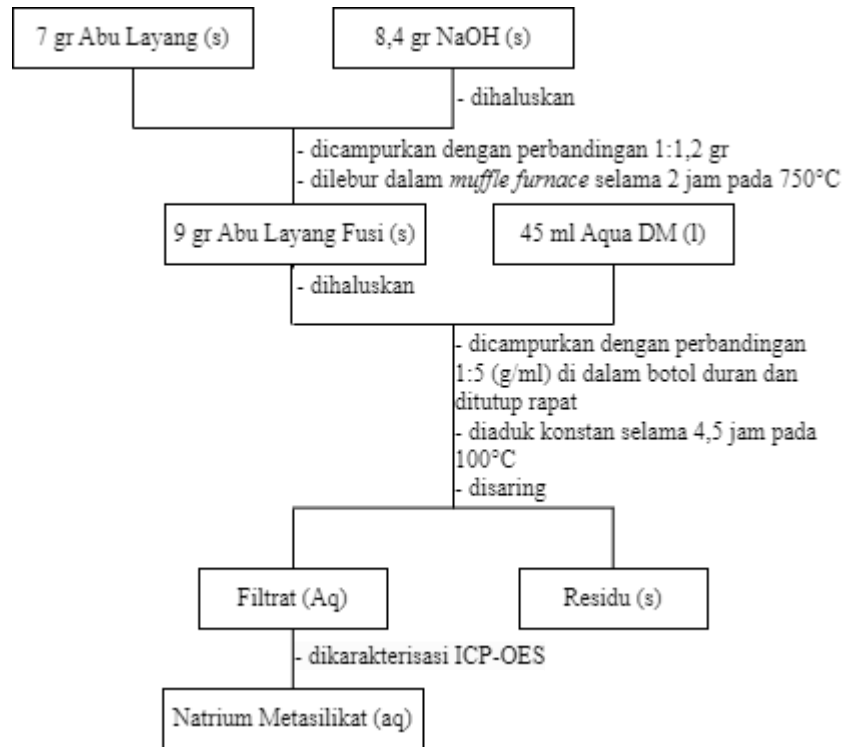
## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A. DIAGRAM ALIR

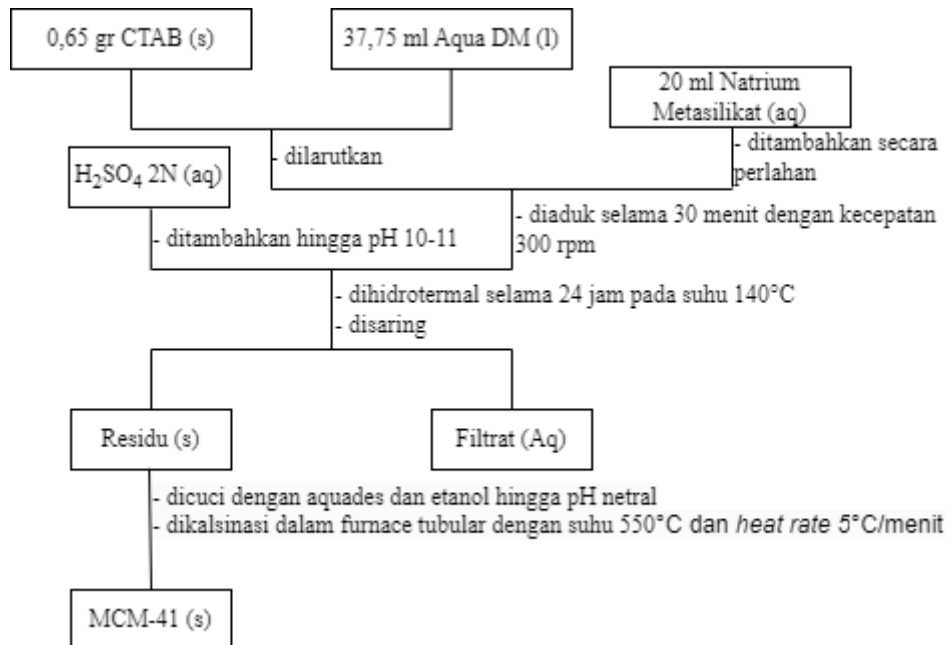
#### A.1. Preparasi Abu Layang



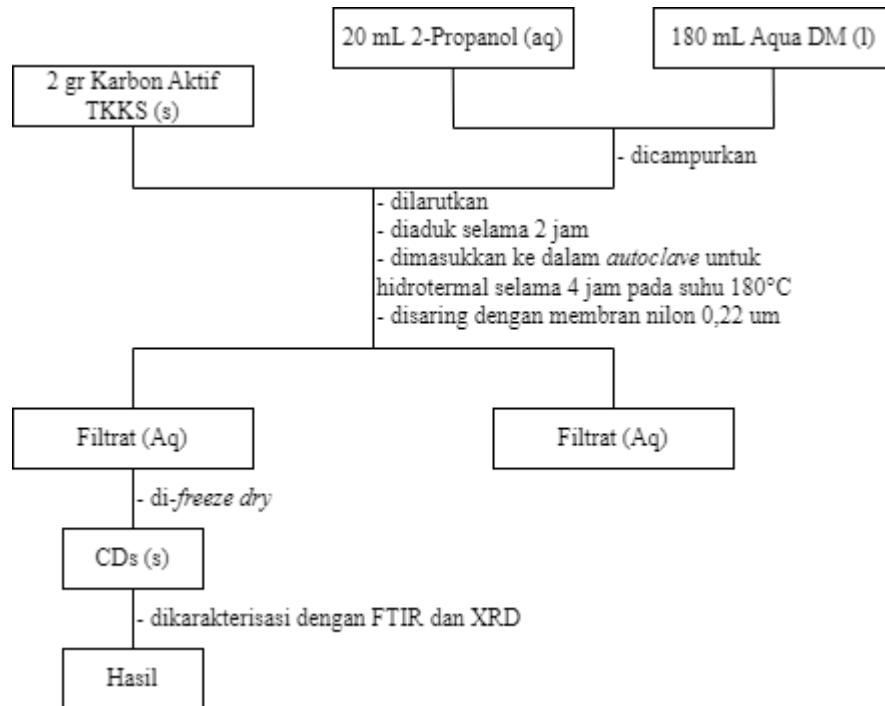
## A.2. AEkstraksi Natrium Metasilikat



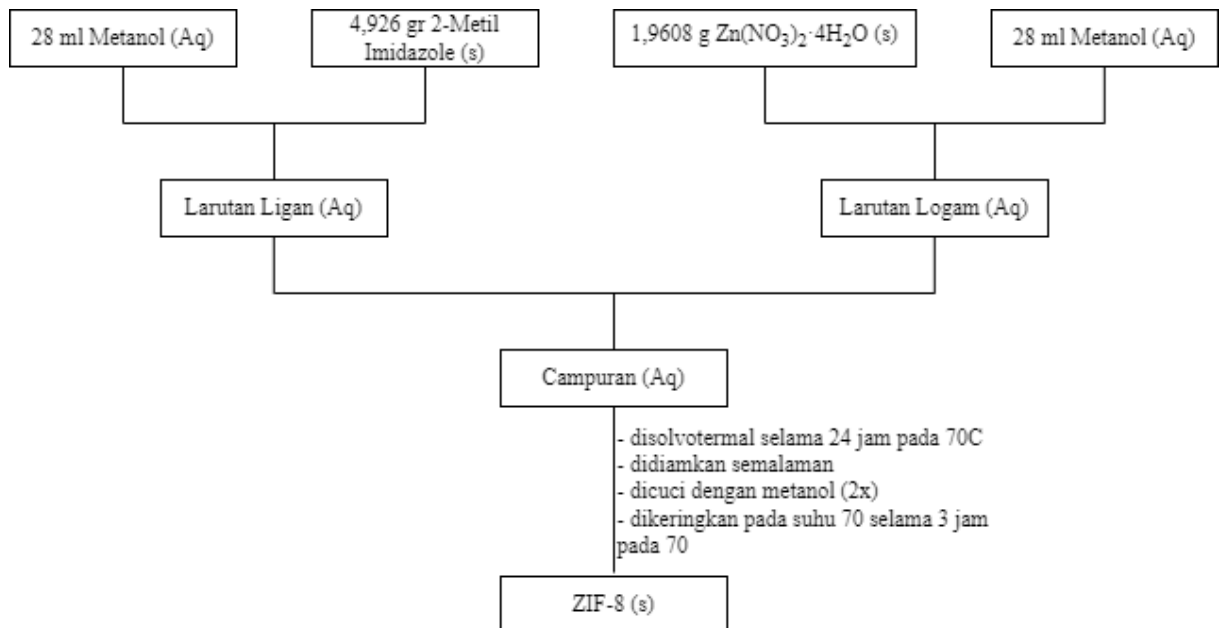
## A.A3. Sintesis MCM-41



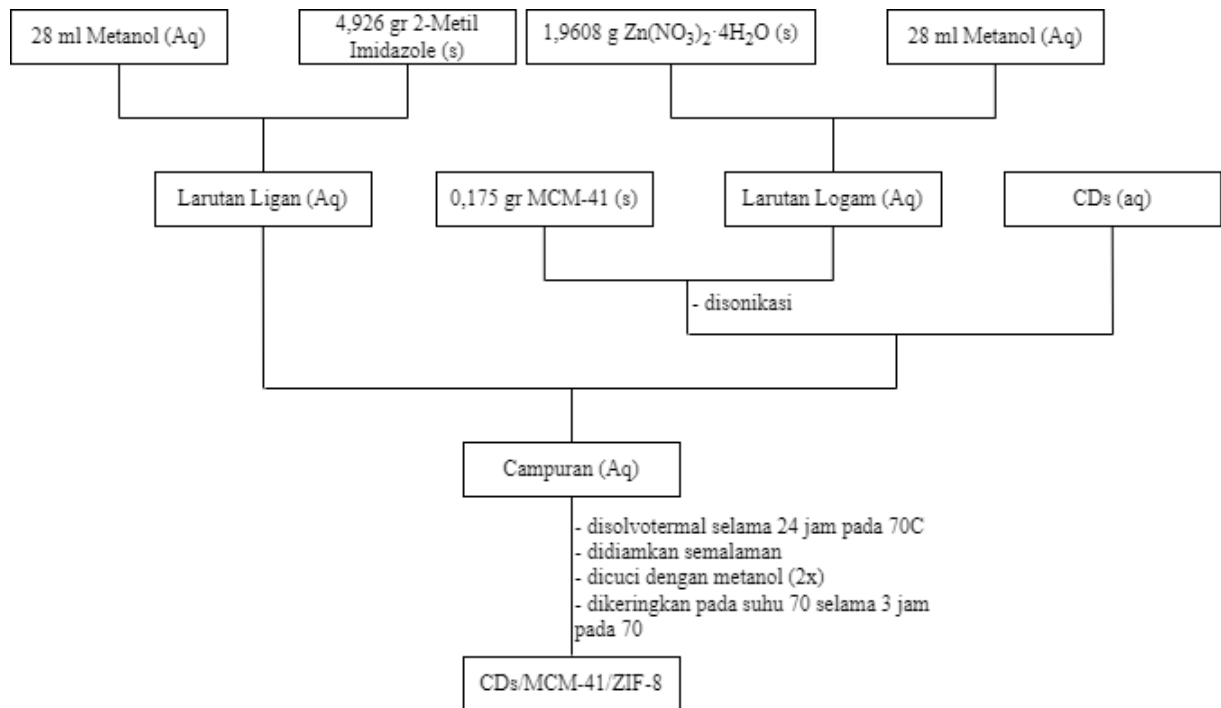
#### A.4. Sintesis CDs



#### A.5. Sintesis ZIF-8



## A.6. Sintesis Komposit CZM



## LAMPIRAN B. PERHITUNGAN SINTESIS

### B.1. Massa MCM-41 yang ditambahkan ke dalam ZIF-8

MCM-41 yang digunakan pada pembuatan komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 sebesar 25% atau  $\frac{1}{4}$  dari massa ZIF-8 hasil sintesis. Massa hasil sintesis ZIF-8 sebesar 0,7 gram.

Massa penambahan MCM-41 =  $\frac{1}{4}$  x Massa ZIF-8

Massa penambahan MCM-41 =  $\frac{1}{4}$  x 0,7 gr

Massa penambahan MCM-41 = 0,175 gr

### B.2. Yield ZIF-8

Diketahui:

Massa  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  = 1,9608 gr

Massa 2MeIM = 4,926 gr

Massa ZIF-8 = 0,7 gr

Volume MeOH = 28 ml

Mr  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  = 261

Mr 2MeIM = 82

Mr MeOH = 32

$\rho$  MeOH = 0,79 g/ml

Mr ZIF-8 = 229,60 gr/mol

a. Perhitungan mol

$$\text{mol} (n) = \frac{\text{gr}}{\text{Mr}}$$

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

$$\text{mol} (n) = \frac{1,9608}{261} = 0,0075$$

Mol 2MeIM =

$$\text{mol} (n) = \frac{4,926}{82} = 0,06$$

Mol MeOH =

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \rho \times V \\ \text{massa} &= 0,79 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 28 \text{ ml} = 22,12 \text{ gr} \\ \text{mol} (n) &= \frac{22,12}{32} = 0,69 \end{aligned}$$

b. Persamaan kimia

	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$+ 2\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2$	$+ \text{CH}_3\text{OH}$	$\rightarrow$	ZIF-8	
Mula-mula:	0,0075	0,06	0,69	-		mol
Reaksi:	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075		mol
Sisa:	0	0,0525	0,6825	0,0075		mol

Didapatkan mol ZIF-8 sebesar 0,0075, sehingga

Massa teoritis ZIF-8 = mol x Mr

Massa teoritis ZIF-8 = 0,0075 x 229,60

Massa teoritis ZIF-8 = 1,722 gr

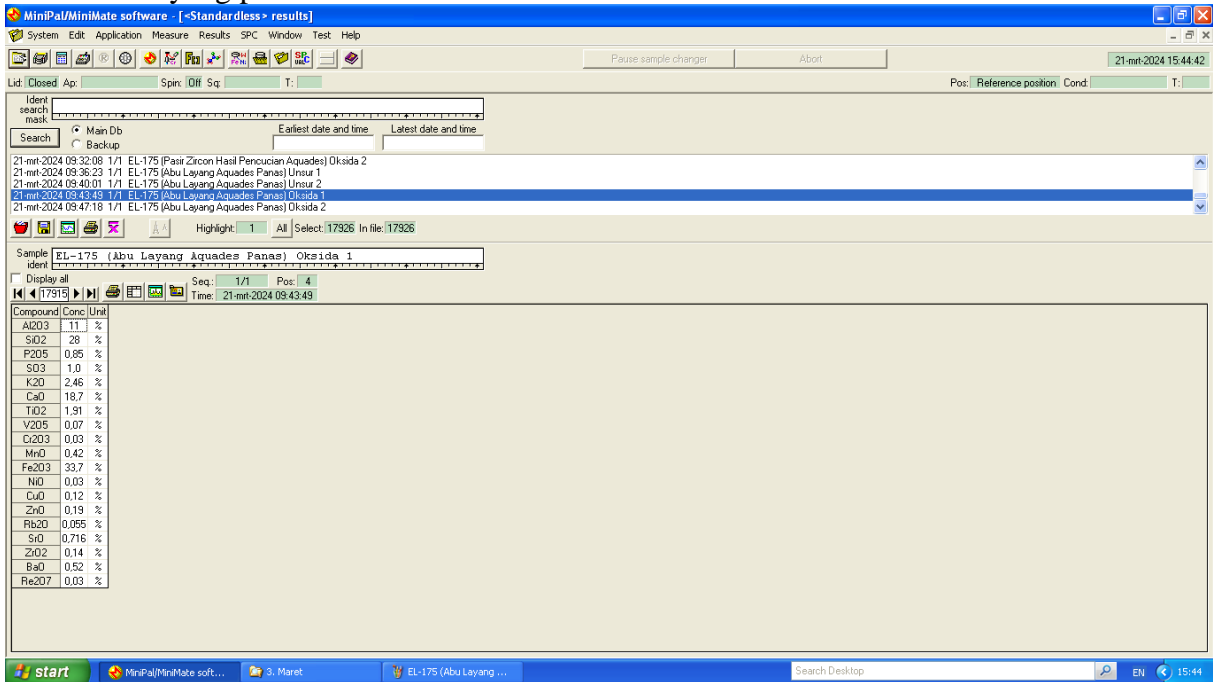
c. Perhitungan yield

$$\begin{aligned} \% \text{ yield} &= \frac{\text{Massa sebenarnya}}{\text{Massa teoritis}} \times 100 \\ \% \text{ yield} &= \frac{0,7}{1,722} \times 100 \\ \% \text{ yield} &= 40,65 \end{aligned}$$

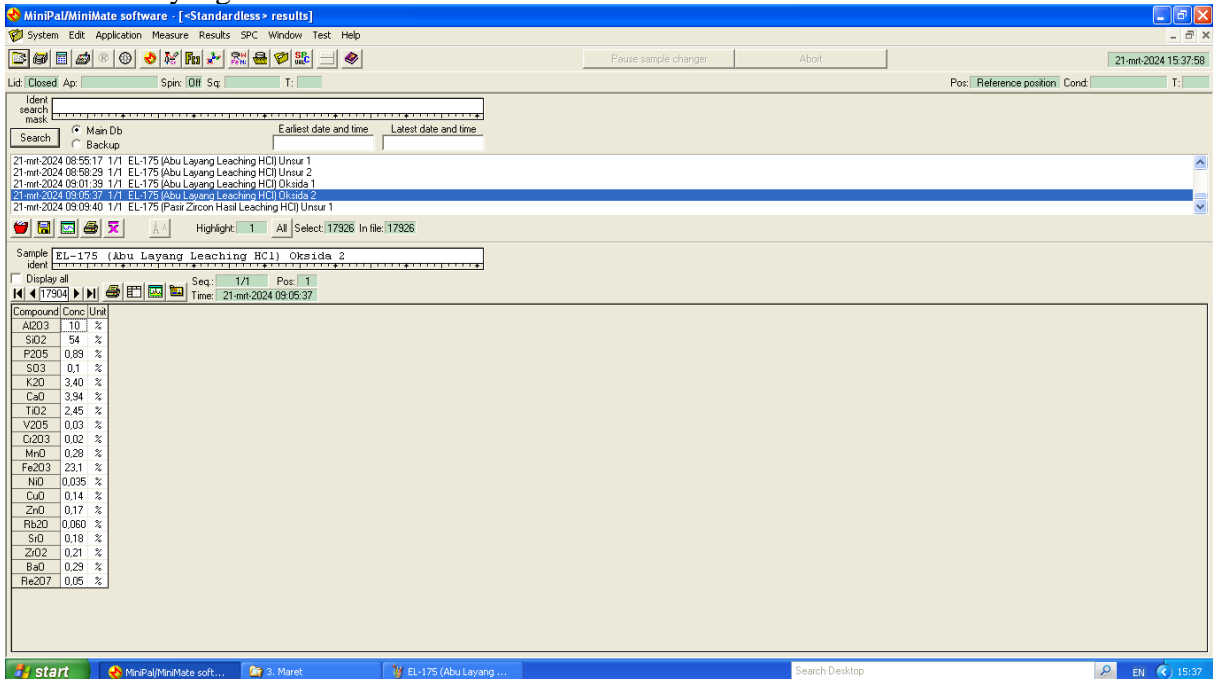
# LAMPIRAN C. KARAKTERISASI

## C.1. XRF

### C.1.1 Abu layang pre-treatment



### C.1.2 Abu layang treatment





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 DIREKTORAT KERJASAMA DAN PENGELOLAAN USAHA (DKPU)  
**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN**  
 Gedung Research Center Lt. 5, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111  
 Telp. (031) 5944792; Ext. 1113; Fax. (031) 5996670; Hp: 081331078833  
 Website: [www.its.ac.id/dkpu](http://www.its.ac.id/dkpu), Email: [lab.energi.lingkungan.its@gmail.com](mailto:lab.energi.lingkungan.its@gmail.com)



**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**  
**No : 112/LHP/LEL-ITS/IV/2024**

Nama Pemilik : Nourma Sulistyowati  
 Alamat Pemilik : Jl. Keputih Makam Blok C no. 17  
 Nama Contoh : **Natrium Metasilikta** Tanggal Terima : 22 Maret 2024  
 Deskripsi Contoh : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 27 Maret 2024  
 Volume : - Tanggal Selesai :  
 Kemasan : Botol Kaca Pengujian : 29 Maret 2024  
 Kode Contoh : **EL – 187** Jumlah Contoh : 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS.

**Hasil Pengujian:**

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1.	Natrium Metasilikat	Aluminium (Al)	195,94	mg/L	ICP-OES
		Silikon (Si)	16,653		

Suhu : 22,8 °C  
 Humidity : 50 %  
 Analisis : DPS  
 Sampling : dilakukan oleh Pelanggan

**Catatan:**

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 04 April 2024  
 Kepala Laboratorium  
 Energi dan Lingkungan

**Dr. Afifah Rosvidah, S.Si., M.Si**  
 NIP. 19730112 199802 2 001

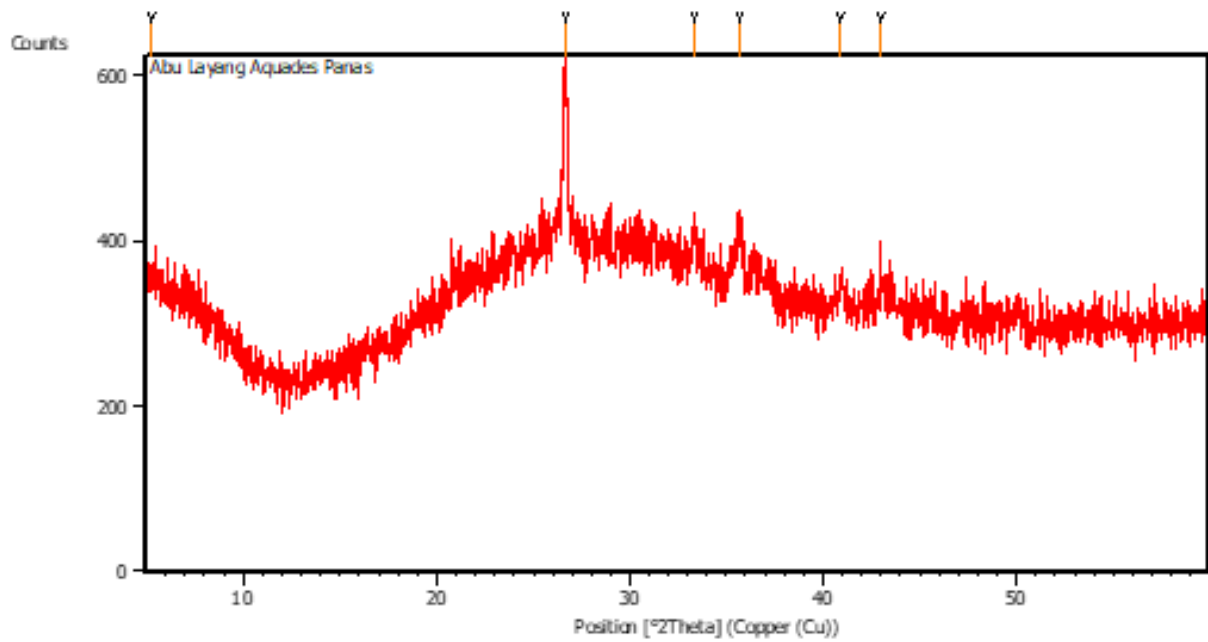
Koordinator Teknis

**Vita Yuliana, S.Si.**  
 NPP. 1990201822404



### C.3. XRD

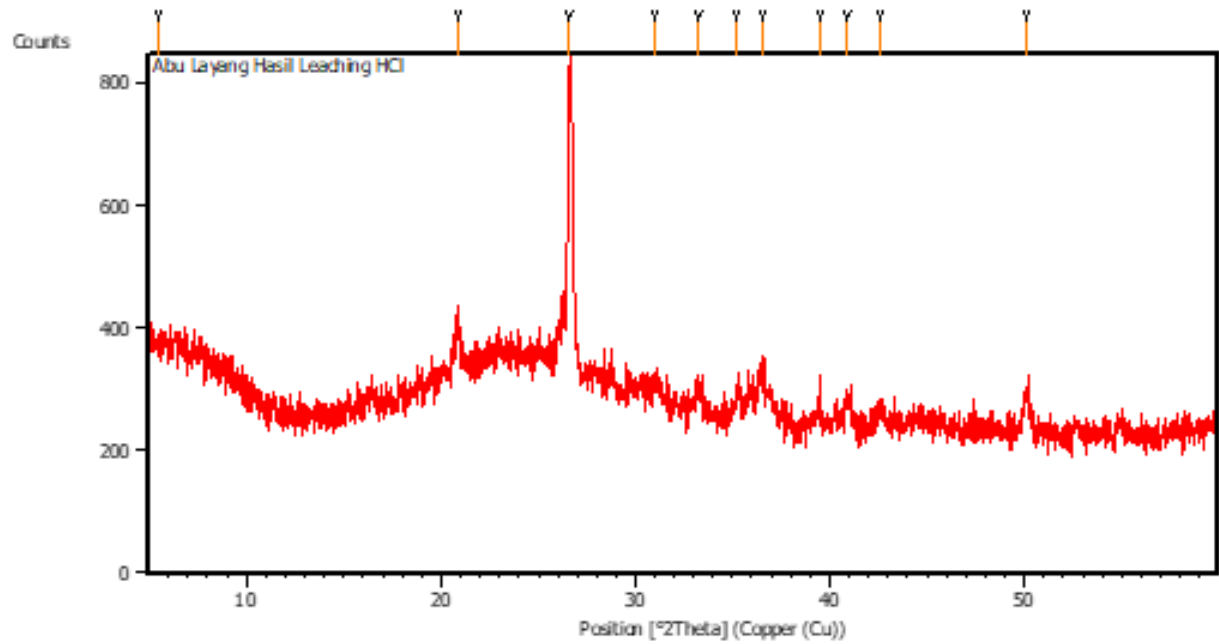
#### C.3.1. Abu Layang Pencucian



#### **Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
5.2665	22.33	0.4015	16.78035	10.34
26.6301	215.95	0.1673	3.34746	100.00
33.3844	21.19	0.8029	2.68404	9.81
35.6863	63.05	0.2676	2.51601	29.20
40.9188	34.04	0.4015	2.20555	15.76
42.9945	58.93	0.2007	2.10376	27.29

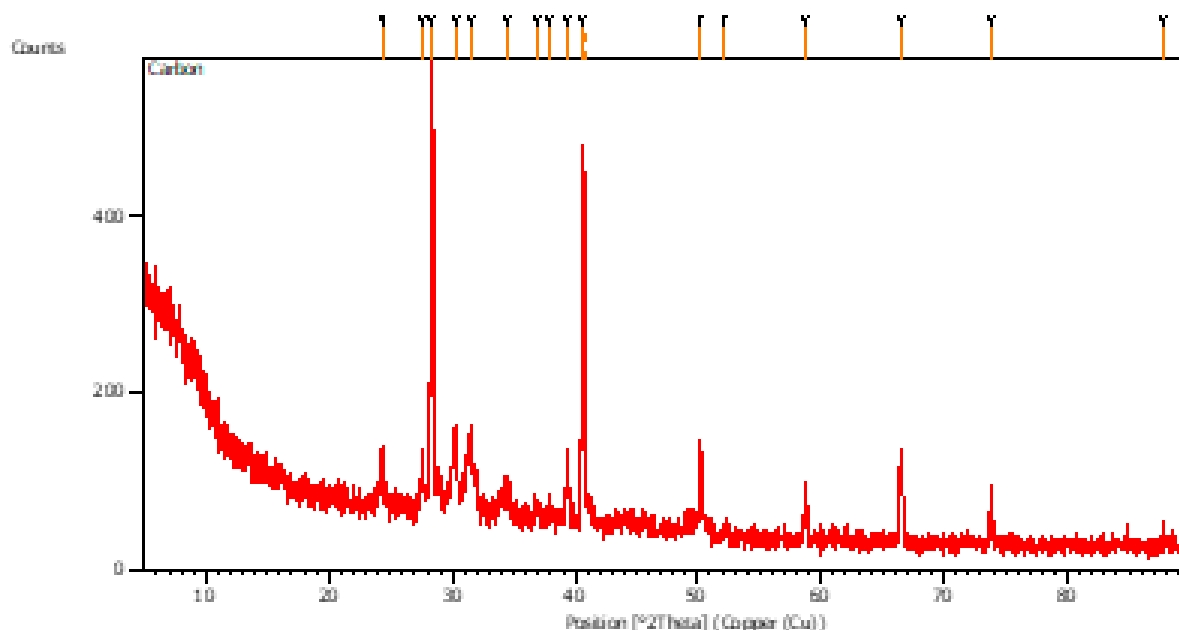
### C.3.2 Abu Layang Leaching



#### **Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.4958	10.33	1.0706	16.08089	2.11
20.8387	91.02	0.1673	4.26283	18.59
26.5849	489.56	0.0836	3.35305	100.00
30.9973	21.19	0.8029	2.88507	4.33
33.2672	41.85	0.2676	2.69323	8.55
35.2233	40.90	0.2676	2.54802	8.35
36.5380	71.32	0.2676	2.45929	14.57
39.4451	41.68	0.2007	2.28449	8.51
40.8952	36.28	0.3346	2.20677	7.41
42.6005	29.43	0.4015	2.12230	6.01
50.1088	56.91	0.4015	1.82049	11.62

### C.3.3 CDs



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}$ 2 $\theta$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2 $\theta$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
24.3573	56.74	0.2007	3.65441	11.86
27.6177	37.44	0.2007	3.22995	7.83
28.3718	454.50	0.0612	3.14320	95.01
28.4625	478.38	0.0502	3.13598	100.00
30.2097	80.21	0.2342	2.95848	16.77
31.4357	88.07	0.2007	2.84583	18.41
34.4214	24.75	0.6691	2.60552	5.17
36.8388	13.71	0.2676	2.43990	2.87
37.9528	24.30	0.2007	2.37081	5.08
39.3331	68.76	0.1673	2.29074	14.37
40.6923	428.15	0.0612	2.21547	89.50
40.8010	189.04	0.0612	2.21531	39.52
50.2870	98.25	0.2448	1.81295	20.54
52.2509	9.47	0.4896	1.74934	1.98
58.6904	48.70	0.2448	1.57181	10.18
66.4514	96.37	0.3264	1.40581	20.14
73.7881	64.48	0.1020	1.28311	13.48
87.7280	16.76	0.2448	1.11162	3.50

## Raw Data

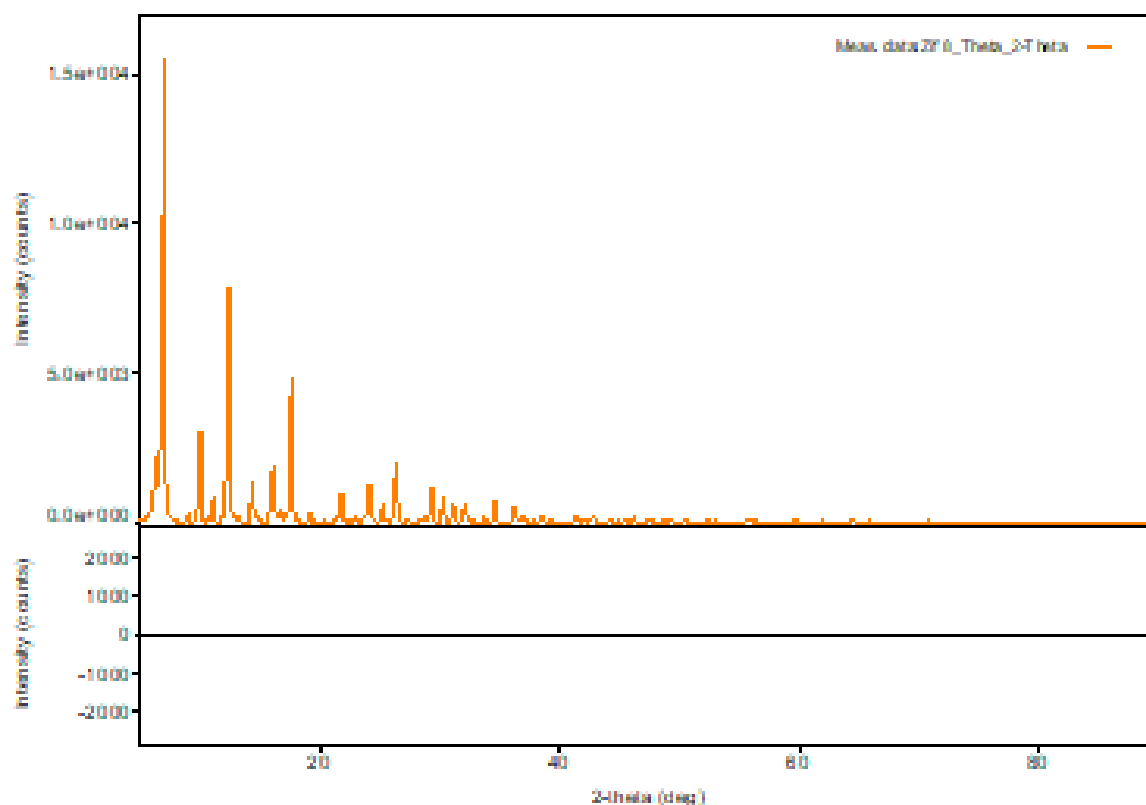
### General information

Analysis date	2024/07/05 10:22:30	Measurement date	2024/07/05 08:55:36
Sample name	ZIF 8	Operator	
File name	ZIF 8 Theta 2-Theta.raw		
Comment			

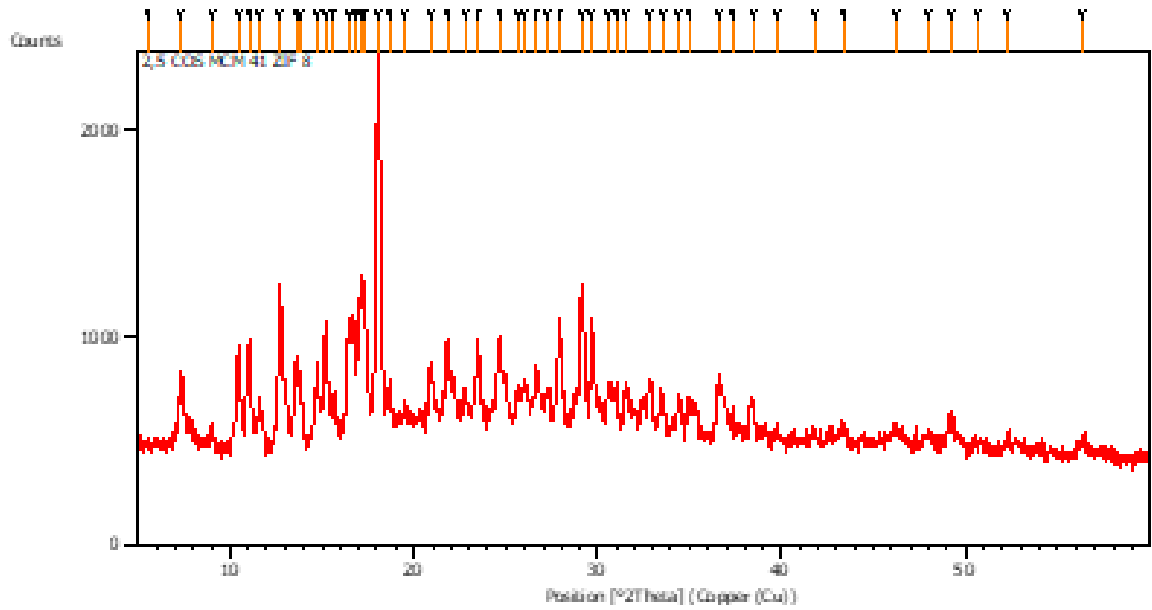
### Measurement conditions

X-Ray	40 <del>kV</del> , 15 mA	Scan speed / Duration time	10.0000 deg./min.
Goniometer		Step width	0.0200 deg.
Attachment	-	Scan axis	2Theta/Theta
Filter	None	Scan range	5.0000 - 90.0000 deg.
CBD selection slit	-	Incident slit	-
Diffacted beam mono.	None	Length limiting slit	-
Detector	D/teX Ultra	Receiving slit #1	-
Scan mode	CONTINUOUS	Receiving slit #2	-

### Measurement profile



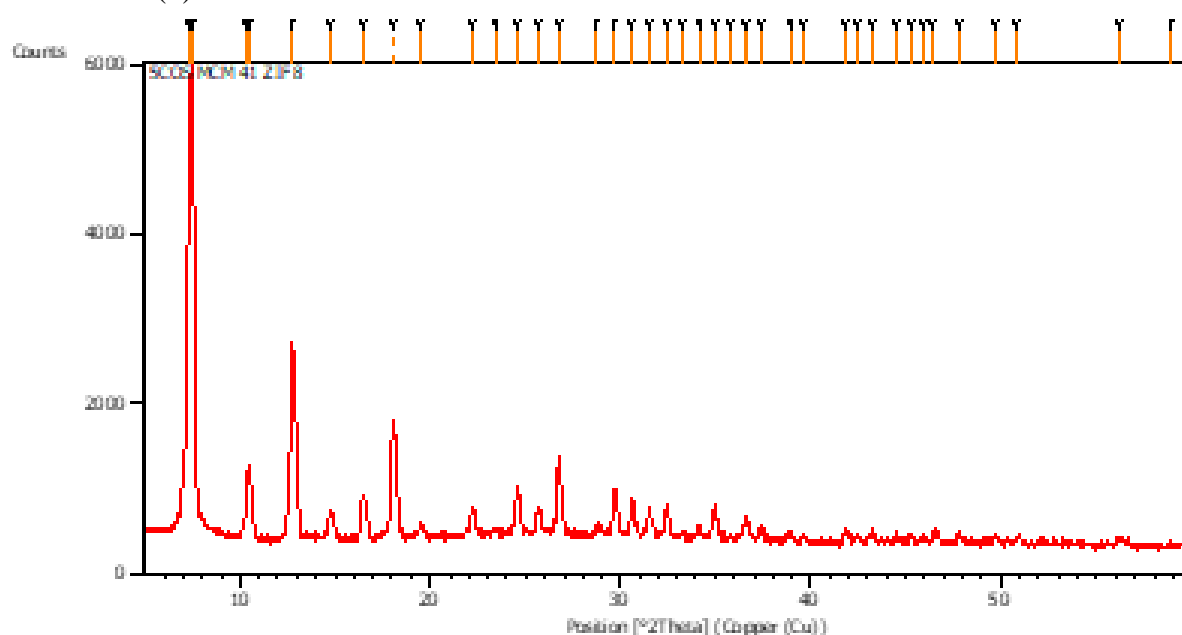
### C.3.5 CMZ (2,5)



#### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.5153	23.81	0.5353	16.02402	1.24
7.3991	363.62	0.1673	11.94799	18.96
9.0380	84.66	0.2007	9.78475	4.41
10.4573	489.67	0.0502	8.45967	25.54
11.0661	482.38	0.1506	7.99561	25.16
11.6194	248.34	0.1338	7.61612	12.95
12.7299	730.95	0.1171	6.95408	38.12
13.5460	403.05	0.1338	6.53690	21.02
13.7921	371.94	0.1004	6.42083	19.40
14.7469	412.56	0.1506	6.00719	21.51
15.1994	620.36	0.1004	5.82933	32.35
15.6302	248.34	0.1338	5.66963	12.95
16.4780	638.00	0.1004	5.37977	33.27
16.7164	608.52	0.1004	5.30359	31.73
17.0830	792.06	0.1673	5.19060	41.31
17.2924	775.84	0.1338	5.12820	40.46
18.0853	1917.55	0.1673	4.90512	100.00
18.6433	302.67	0.2007	4.75957	15.78
19.5235	205.07	0.2007	4.54693	10.69
20.8771	377.81	0.2342	4.25506	19.70
21.7866	537.48	0.0836	4.07944	28.03
22.7907	279.69	0.2007	3.90194	14.59
23.5240	504.12	0.2007	3.78195	26.29
24.6484	515.00	0.2676	3.61191	26.86
25.5945	292.86	0.1004	3.48050	15.27
26.0286	302.17	0.2007	3.42343	15.76
26.6936	383.55	0.2342	3.33963	20.00

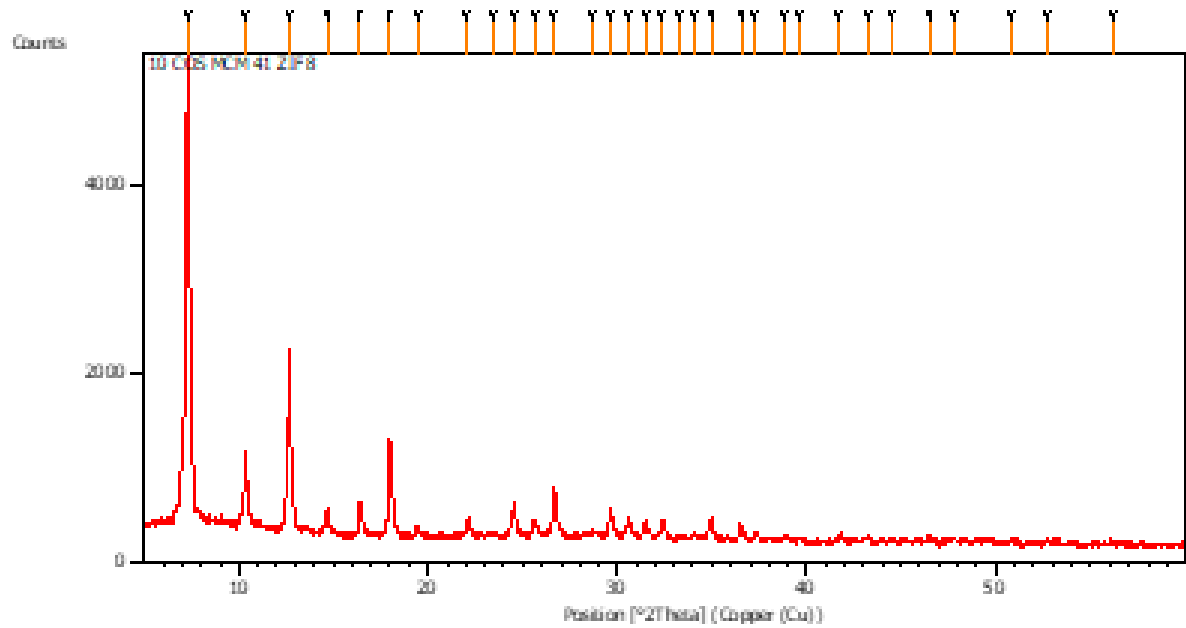
### C.3.5. CMZ (5)



#### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.3310	4885.56	0.1171	12.05876	100.00
7.5065	4822.95	0.1840	11.77728	98.72
10.3637	757.87	0.0502	8.53588	15.51
10.4703	840.77	0.1004	8.44924	17.21
12.7615	2338.86	0.1840	6.93692	47.87
14.7165	335.84	0.2342	6.01950	6.87
16.4469	496.61	0.0836	5.38988	10.16
18.0222	1319.98	0.1428	4.91809	27.02
18.1018	1412.22	0.0816	4.90879	28.91
19.4674	191.04	0.2040	4.55612	3.91
22.1776	380.15	0.2040	4.00509	7.78
23.4018	123.02	0.2856	3.79827	2.52
24.5114	601.83	0.1224	3.62879	12.32
25.6179	345.83	0.3264	3.47450	7.08
26.7529	1007.39	0.0816	3.32961	20.62
28.7424	186.42	0.2040	3.10350	3.82
29.7074	612.24	0.1632	3.00485	12.53
30.6203	435.95	0.2448	2.91731	8.92
31.5508	357.17	0.2040	2.83336	7.31
32.4619	405.48	0.1632	2.75590	8.30
33.3288	103.42	0.2448	2.68617	2.12
34.1666	180.19	0.1632	2.62219	3.69
35.0118	406.23	0.2856	2.56080	8.31
35.8397	77.56	0.2040	2.50352	1.59
36.5973	290.77	0.2448	2.45341	5.95
37.3528	150.82	0.2040	2.40551	3.09
38.9073	116.99	0.2856	2.31290	2.39

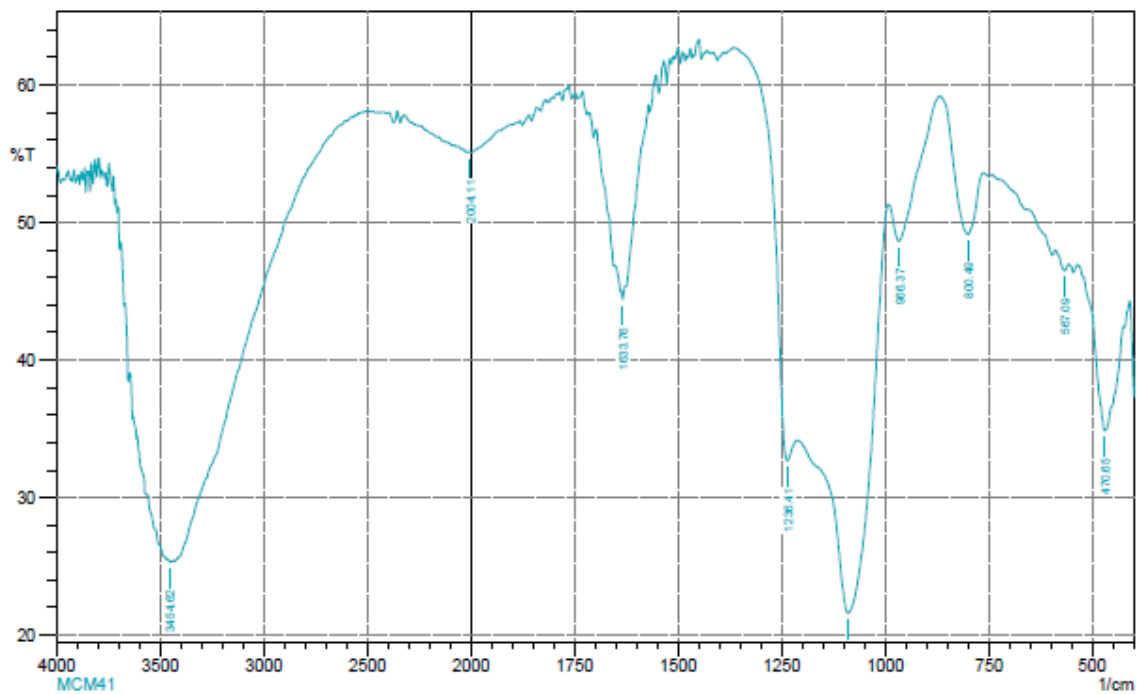
### C.3.6. CMZ (10)



#### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.2898	4980.47	0.1171	12.12691	100.00
10.3419	771.86	0.1171	8.55381	15.50
12.6928	1903.50	0.1338	6.97433	38.22
14.6828	272.61	0.1171	6.03327	5.47
16.4148	355.38	0.1171	5.40037	7.14
17.9952	1016.74	0.1171	4.92949	20.41
19.4700	96.17	0.2007	4.55928	1.93
22.0796	171.28	0.1338	4.02598	3.44
23.4067	39.12	0.4015	3.80063	0.79
24.4762	331.96	0.0836	3.63693	6.67
25.5988	177.14	0.1171	3.47992	3.56
26.6342	507.20	0.1673	3.34695	10.18
28.6725	78.72	0.2676	3.11349	1.58
29.5948	294.97	0.1004	3.01853	5.92
30.5794	226.67	0.0669	2.92354	4.55
31.5009	184.56	0.2007	2.84009	3.71
32.3677	180.89	0.2007	2.76598	3.63
33.2607	49.95	0.2007	2.69374	1.00
34.0854	77.90	0.1673	2.63043	1.56
34.9603	216.06	0.2007	2.56658	4.34
36.5472	138.48	0.2007	2.45870	2.78
37.2997	91.58	0.2007	2.41080	1.84
38.8041	65.33	0.1673	2.32074	1.31
39.5869	37.42	0.2007	2.27663	0.75
41.7001	62.44	0.2342	2.16602	1.25
43.1916	52.37	0.1171	2.09462	1.05
44.5218	32.78	0.2007	2.03508	0.66

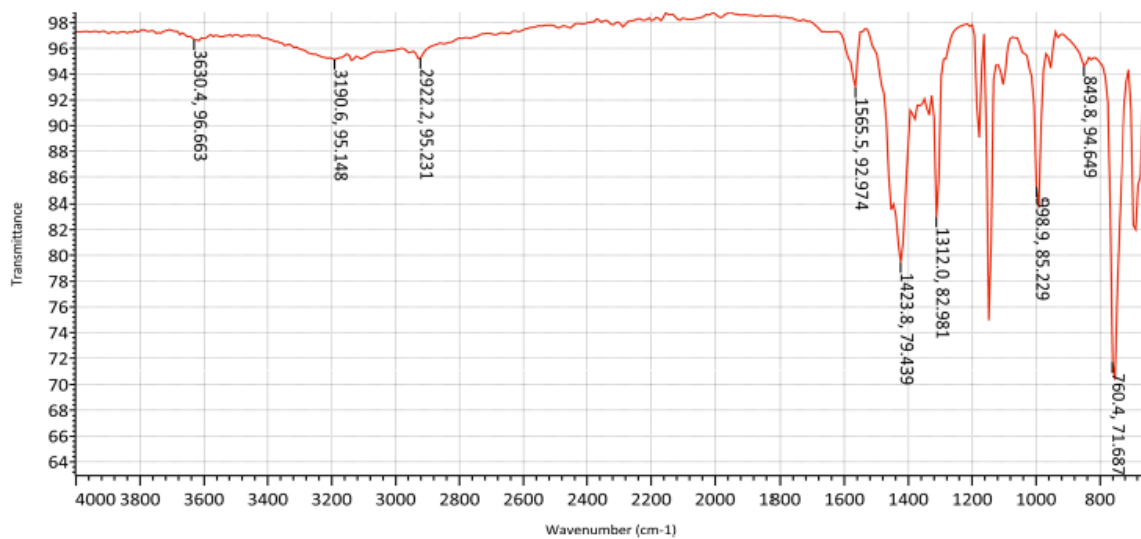
C.4. FTIR  
C.4.1 MCM-41



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	470.65	34.86	9.53	530.44	424.35	42.31	5.11
2	567.09	46.47	0.81	588.31	557.45	10.1	0.12
3	800.49	49.13	6.44	868	763.84	28.7	2.73
4	966.37	48.64	4.28	991.44	868	33.89	1.95
5	1089.82	21.6	22.11	1211.34	993.37	111.48	29.21
6	1236.41	32.65	5.85	1365.65	1213.27	45.41	-5.57
7	1633.76	44.38	1.47	1637.62	1572.04	19.3	0.33
8	2004.11	55.06	0.17	2007.96	1930.81	19.58	0.1
9	3454.62	25.32	0.07	3460.41	3450.77	5.75	0.01



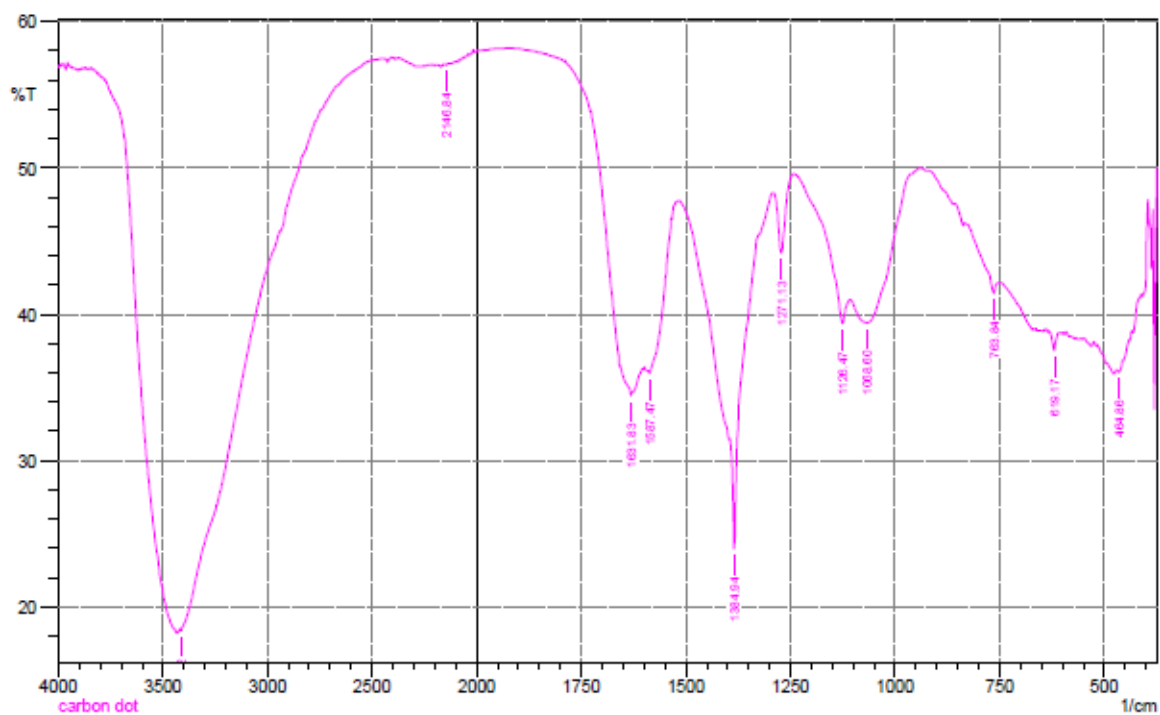
### C.4.2 ZIF-8



Peak Number	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
1	760.4	71.687
2	849.8	94.649
3	998.9	85.229
4	1312.0	82.981
5	1423.8	79.439

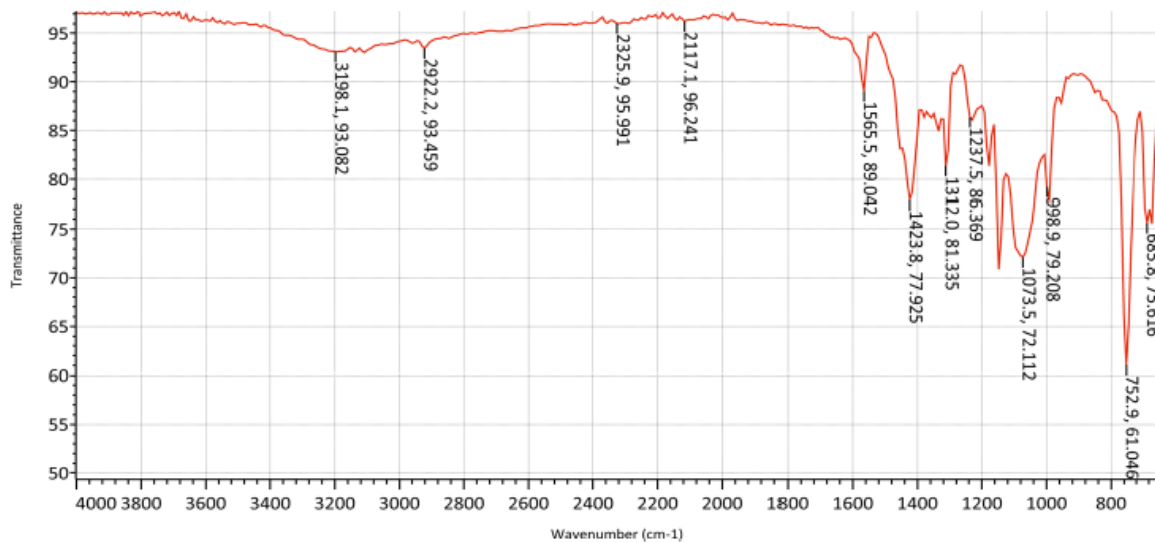
6	1565.5	92.974
7	2922.2	95.231
8	3190.6	95.148
9	3630.4	96.663

### C.4.3. CDs



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	484.86	36.041	0.555	470.65	441.71	12.555	0.133
2	619.17	37.5	1.28	632.67	607.6	10.442	0.127
3	763.84	41.478	1.202	827.49	754.19	26.358	0.304
4	1068.6	39.421	3.638	1107.18	939.36	60.362	2.967
5	1126.47	39.351	2.758	1242.2	1109.11	45.967	0.528
6	1271.13	44.163	4.692	1292.35	1242.2	16.326	0.767
7	1384.94	23.955	9.12	1394.58	1292.35	41.132	1.224
8	1587.47	35.931	2.063	1599.04	1516.1	32.111	1.004
9	1631.83	34.407	1.875	1654.98	1604.83	22.678	0.596
10	2146.84	57.052	0.015	2148.77	2135.27	3.287	0.001
11	3414.12	18.387	0.287	3417.98	2943.47	244.271	0.287

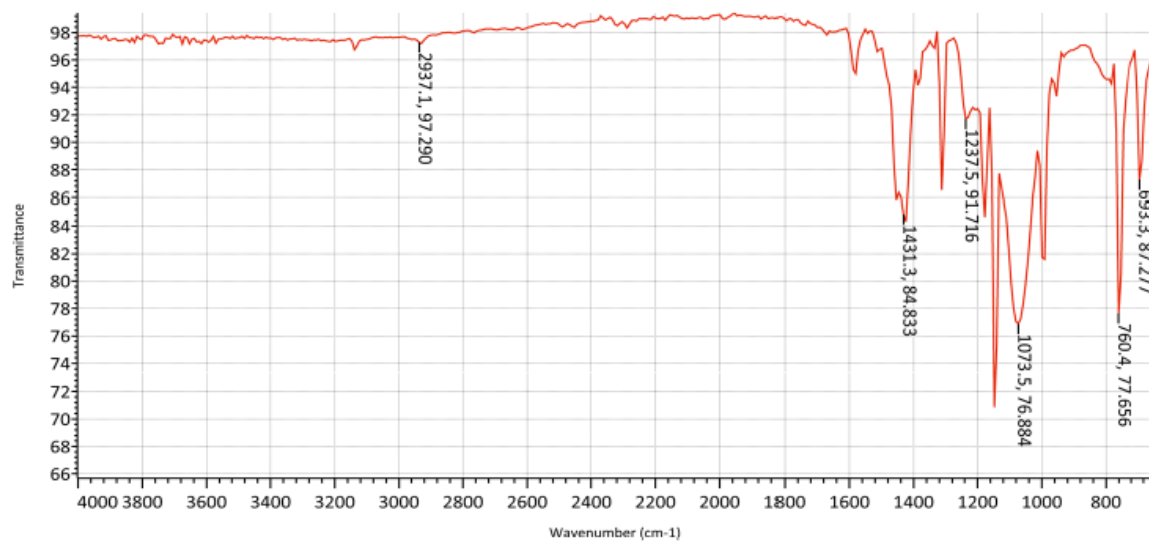
#### C.4.4. CMZ 2,5



Peak Number	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
1	685.8	75.616
2	752.9	61.046
3	998.9	79.208
4	1073.5	72.112
5	1237.5	86.369

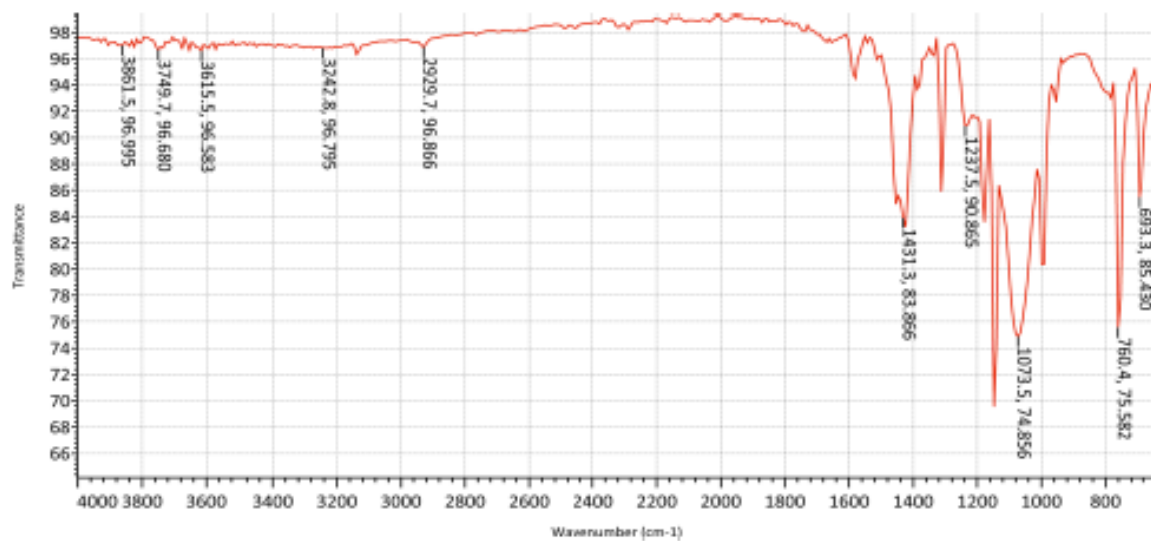
6	1312.0	81.335
7	1423.8	77.925
8	1565.5	89.042
9	2117.1	96.241
10	2325.9	95.991
11	2922.2	93.459
12	3198.1	93.082

### C.4.5. CMZ 5



Peak Number	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
1	693.3	87.277
2	760.4	77.656
3	1073.5	76.884
4	1237.5	91.716
5	1431.3	84.833
6	2937.1	97.290

### C.4.6. CMZ 10



Peak Number	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
1	693.3	85.430
2	760.4	75.582
3	1073.5	74.856
4	1237.5	90.865
5	1431.3	83.866

6	2929.7	96.866
7	3242.8	96.795
8	3615.5	96.583
9	3749.7	96.680
10	3861.5	96.995

C.5. BET  
C.5.1 MCM-41

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024 Operator: Yusuf  
Filename: 05480524\_6.qcu PhysIso

Analysis Information

<b>Sample</b>		ID	0548_6	Weight	0.0795g	
<b>Description</b>		MCM-41				
<b>Analysis</b>						
<b>Data ID</b>	{c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78}				<b>Duration</b>	222.2min
<b>Operator</b>	Yusuf				<b>Date</b>	2024.05.30
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]				<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b> description of sample						
<b>Ambient Temp.</b>	21.11°C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode		<b>Cell ID</b>	41
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec		<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>						
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013g/mol	<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sup>2</sup> /mol	
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/ton	<b>Bath Temperature</b>	77.35K			
<b>Degas information</b>						
<b>Time</b>	6.0hours	<b>Temp</b>	150.000000°C			

Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0A
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0mm		
<b>Adsorbate Model</b>			
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g
<b>Bath Temperature</b>	77.35K	<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sup>2</sup> /molec

BET Multi-point BET results

<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption
<b>Slope</b>	3.27874
<b>Intercept</b>	0.156607
<b>Correlation coeff., r</b>	0.985451
<b>C constant</b>	21.9361
<b>Surface area</b>	1013.731 m <sup>2</sup> /g

Table - BET Multi-point BET

Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	1 / [ W((P/Po) - 1) ]
0.0476397	156.573	0.2556
0.145961	200.695	0.6814
0.245279	250.432	1.0383
0.346244	345.828	1.2253

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024      Operator: Yusuf  
Filename: 05480524\_6.qcuPhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0548_6	<b>Weight</b> 0.0795 <sub>g</sub>
<b>Description</b>		MCM-41	
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	(c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78)		<b>Duration</b> 222.2 <sub>min</sub>
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b> 2024.05.30	<b>Firmware</b> 1.07
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n: 170170510001]		
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.11-c	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 <sub>sec</sub>
<b>Cell ID</b>		<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>			
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 <sub>1/mol</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>c</sub>
<b>Degas Information</b>			
<b>Time</b>	6.0 <sub>hour</sub>	<b>Temp</b>	150.000000-c

### Data Reduction Parameters

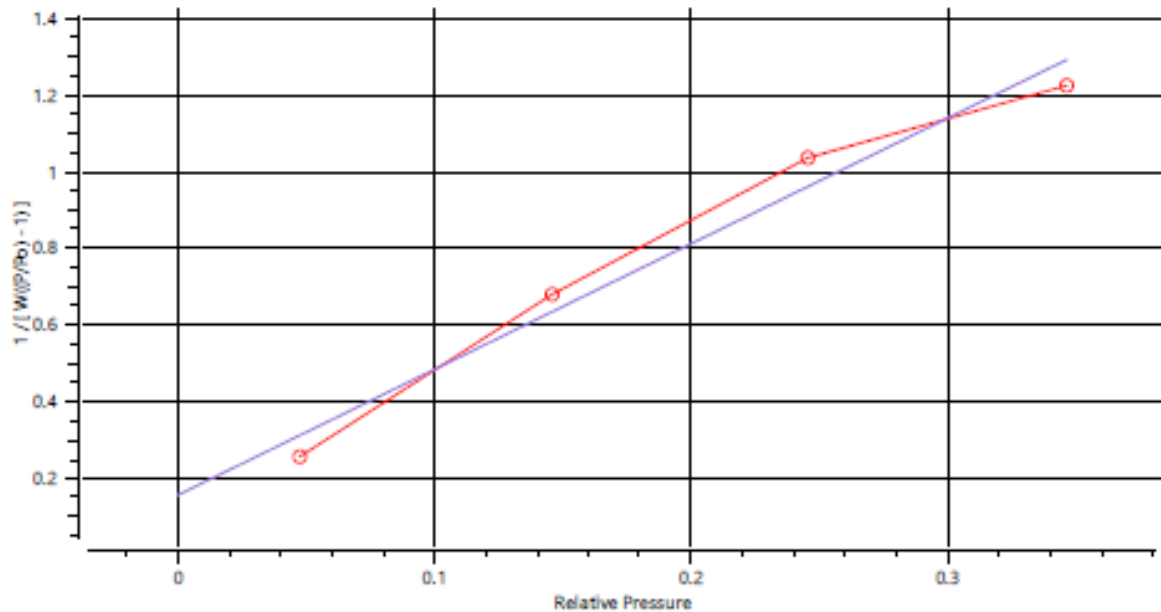
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0 <sub>Å</sub>
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 <sub>mm</sub>		
<b>Adsorbate Model</b>			
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g</sub>
<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>c</sub>	<b>Cross Section Area</b>	16.2 <sub>Å<sup>2</sup>/mol</sub>

### BET Multi-point BET results

<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption
<b>Slope</b>	3.27874
<b>Intercept</b>	0.156607
<b>Correlation coeff, r</b>	0.985451
<b>C constant</b>	21.9361
<b>Surface area</b>	1013.731 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>

### Graph - BET Multi-point BET

+ BET (all)    ○ BET    - BF



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU

Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon Jun 3 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 05480524\_6.qcu PhysIso

### Analysis Information

**Sample**  
**ID** 0548\_6      **Weight** 0.0795g  
**Description** MCM-41

**Analysis**  
**Data ID** {c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78}  
**Operator** Yusuf      **Date** 2024.05.30      **Duration** 222.2min  
**Instrument** St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]      **Firmware** 1.07  
**Comments** description of sample  
**Ambient Temp.** 21.11°C      **Void Volume Mode** NOVA mode      **Cell ID** 41  
**Cell Type** 9mm with rod      **Thermal Delay** 300sec      **Po Mode** Continuous

**Adsorbate**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.013g/mol      **Cross Section Area** 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
**Non-ideality** 6.580000e-05 1/mole      **Bath Temperature** 77.35K

**Degas information**  
**Time** 6.0hours      **Temp** 150.000000°C

### Data Reduction Parameters

**Thermal Transpiration** yes      **Eff. Molec. Diameter** 0Å  
**Eff. Cell Diameter** 0mm  
**Thickness Method** deBoer  
**P-tags below 0.35** included      **Moving Pt. Average** off

**Adsorbate Model**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.0134g      **Cross Section Area** 16.2Å<sup>2</sup>/molec  
**Bath Temperature** 77.35K

### BJH Pore Size Distribution Adsorption results

**Surface Area** 41.1842 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.084501 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 2.04967 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.04967	1.974037e-02	1.926195e+01	3.931065e-02	3.835794e+01	1.845969e-01	1.801231e+02
2.63631	2.545823e-02	2.359972e+01	8.519961e-03	6.463541e+00	5.143852e-02	3.902306e+01
3.60525	4.049603e-02	3.194188e+01	1.187105e-02	6.585421e+00	9.752399e-02	5.410107e+01
5.63157	5.269982e-02	3.627595e+01	4.380596e-03	1.555728e+00	5.562599e-02	1.975506e+01
12.9582	8.450102e-02	4.118422e+01	2.679706e-03	4.135919e-01	7.401473e-02	1.142360e+01



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon Jun 3 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 05480524\_6.qcuPhysIso

### Analysis Information

**Sample**  
**ID** 0548\_6      **Weight** 0.0795g  
**Description** MCM-41

**Analysis**  
**Data ID** {c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78}  
**Operator** Yusuf      **Date** 2024.05.30      **Duration** 222.2min  
**Instrument** St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]      **Firmware** 1.07  
**Comments** description of sample  
**Ambient Temp.** 21.11°C      **Void Volume Mode** NOVA mode      **Cell ID** 41  
**Cell Type** 9mm with rod      **Thermal Delay** 300sec      **Po Mode** Continuous

**Adsorbate**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.013g/mol      **Cross Section Area** 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
**Non-ideality** 6.580000e-05 1/torr      **Bath Temperature** 77.35K

**Degas information**  
**Time** 6.0hours      **Temp** 150.000000°C

### Data Reduction Parameters

**Thermal Transpiration** yes      **Eff. Molec. Diameter** 0Å  
**Eff. Cell Diameter** 0mm  
**Thickness Method** deBoer  
**P-tags below 0.35** included      **Moving Pt. Average** off

**Adsorbate Model**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.0134g      **Cross Section Area** 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
**Bath Temperature** 77.35K

### BJH Pore Size Distribution Desorption results

**Surface Area** 37.8245 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.0708621 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 2.05221 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Desorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.05221	1.695444e-02	1.652315e+01	3.480277e-02	3.391744e+01	1.636810e-01	1.595172e+02
2.65689	2.769482e-02	2.460808e+01	1.487164e-02	1.119479e+01	9.041735e-02	6.806263e+01
3.65210	3.728381e-02	2.985930e+01	7.560962e-03	4.140609e+00	6.293803e-02	3.446675e+01
5.74954	5.177361e-02	3.489963e+01	4.950963e-03	1.722210e+00	6.410431e-02	2.229892e+01
13.0524	7.086214e-02	3.782453e+01	1.634424e-03	2.504404e-01	4.564801e-02	6.994576e+00

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon Jun 3 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 05480524\_6.qcu PhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>	<b>ID</b> 0548_6	<b>Weight</b> 0.0795g	
	<b>Description</b> MCM-41		
<b>Analysis</b>	<b>Data ID</b> {c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78}	<b>Date</b> 2024.05.30	<b>Duration</b> 222.2min
	<b>Operator</b> Yusuf		<b>Firmware</b> 1.07
	<b>Instrument</b> St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
	<b>Comments</b> description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.11°C	<b>Void Volume Mode</b> NOVA mode	<b>Cell ID</b> 41
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b> 300sec	<b>Po Mode</b> Continuous
<b>Adsorbate</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.013g/mol	<b>Cross Section Area</b> 16.2Å <sup>2</sup> /mol
	<b>Non-ideality</b> 6.580000e-05 1/hour	<b>Bath Temperature</b> 77.35K	
<b>Degas information</b>	<b>Time</b> 6.0hours	<b>Temp</b> 150.000000°C	

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b> yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b> 0Å
<b>Eff. Cell Diameter</b> 0mm	

### Table - Isotherm Isotherm

Relative Pressure, P/Po	Volume Adsorbed @STP cc/g
0.0476397	156.573
0.145961	200.695
0.245279	250.432
0.346244	345.828
0.448663	366.980
0.551802	374.345
0.645106	377.298
0.748554	383.990
0.849604	390.101
0.946324	407.115
0.853663	396.908
0.751334	389.978
0.650219	385.541
0.550948	380.985
0.451110	374.603
0.351300	363.925
0.254829	294.847
0.154047	217.857
0.053600	166.540

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024      Operator: Yusuf  
Filename: 05480524\_6.qcuPhysiso

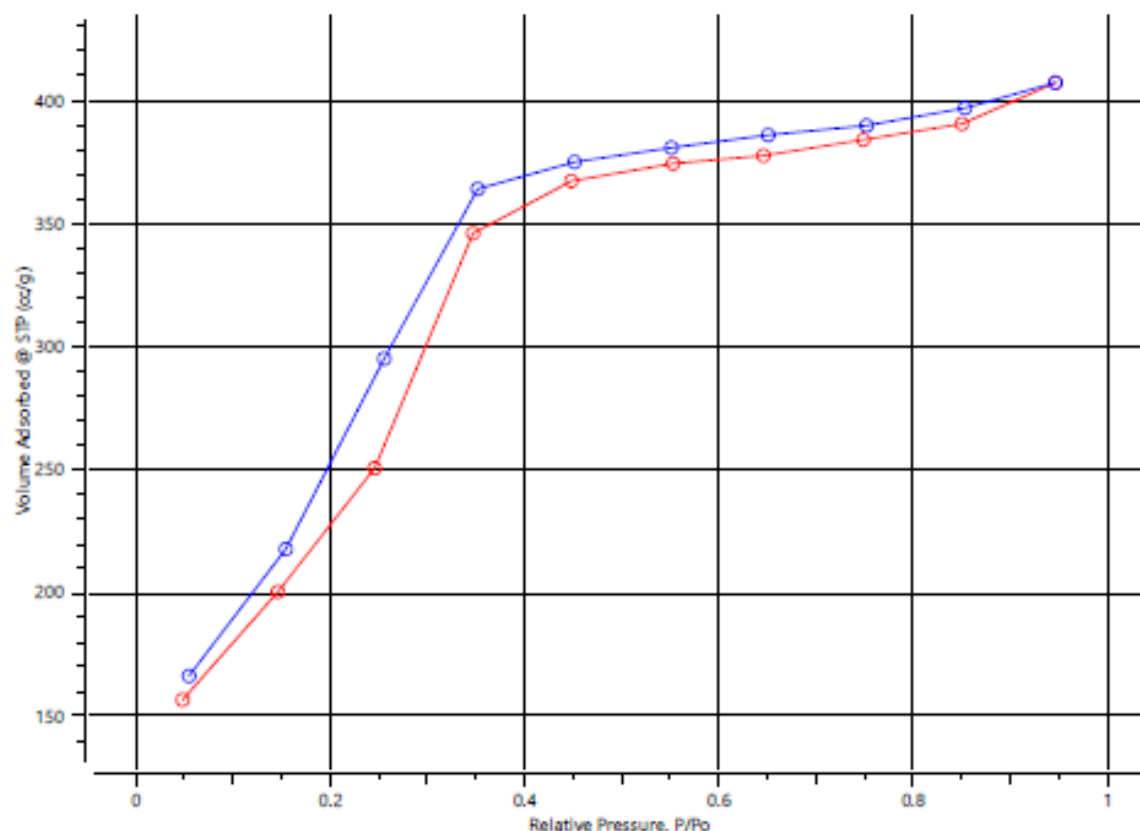
### Analysis Information

<b>Sample</b>	ID 0548_6	Weight 0.0795g	
	Description MCM-41		
<b>Analysis</b>	Data ID [c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78]	Date 2024.05.30	Duration 222.2min
	Operator Yusuf		Firmware 1.07
	Instrument St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
	Comments description of sample		
	Ambient Temp. 21.11-c	Void Volume Mode NOVA mode	Cell ID 41
	Cell Type 9mm with rod	Thermal Delay 300sec	Po Mode Continuous
<b>Adsorbate</b>	Name Nitrogen	Molecular Weight 28.013g/mol	Cross Section Area 16.2A <sup>2</sup> /mol
	Non-ideality 6.580000e-05 1/bar	Bath Temperature 77.35c	
<b>Degass information</b>	Time 6.0min	Temp 150.000000-c	

Thermal Transpiration yes	Data Reduction Parameters	Eff. Molec. Diameter 0A
Eff. Cell Diameter 0mm		

Graph - Isotherm Isotherm

● Ads ● Des



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



<b>Report date:</b>	Mon Jun 3 2024	<b>Operator:</b>	Yusuf
<b>Filename:</b>	05480524_6.qcuPhysIso		

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b>	0548_6	<b>Weight</b>	0.0795 <sub>g</sub>		
<b>Description</b>		MCM-41					
<b>Analysis</b>							
<b>Data ID</b>	(c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78)			<b>Date</b>	2024.05.30	<b>Duration</b>	222.2 <sub>min</sub>
<b>Operator</b>	Yusuf					<b>Firmware</b>	1.07
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]						
<b>Comments</b>	description of sample						
<b>Ambient Temp.</b>	21.11 <sub>°c</sub>	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode			<b>Cell ID</b>	41
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 <sub>sec</sub>			<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>							
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>			<b>Cross Section Area</b>	16.2 <sub>A<sup>2</sup>/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 <sub>1/torr</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>K</sub>				
<b>Degas information</b>							
<b>Time</b>	6.0 <sub>hours</sub>			<b>Temp</b>	150.000000 <sub>°c</sub>		

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0 <sub>A</sub>
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 <sub>mm</sub>		
<b>Temp. Comp</b>	no		
<b>Thickness Method</b>	deBoer		
<b>Adsorbate Model</b>			
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134 <sub>g</sub>
<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>K</sub>	<b>Cross Section Area</b>	16.2 <sub>A<sup>2</sup>/molec</sub>

### Total Pore Volume results

<b>Total Pore Volume</b>	6.3129e-01 <sub>cc/g</sub>
<b>for pores smaller than</b>	18.89 <sub>nm (radius)</sub>
<b>at relative pressure</b>	0.94632

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon Jun 3 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 05480524\_6.qcuPhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0548_6	<b>Weight</b> 0.0795 <sub>g</sub>	
<b>Description</b>		MCM-41		
<b>Analysis</b>				
<b>Data ID</b>	{c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78}		<b>Date</b> 2024.05.30	<b>Duration</b> 222.2 <sub>min</sub>
<b>Operator</b>	Yusuf			<b>Firmware</b> 1.07
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]			
<b>Comments</b>	description of sample			
<b>Ambient Temp.</b>	21.11 <sub>°C</sub>	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode	<b>Cell ID</b> 41
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 <sub>sec</sub>	<b>Po Mode</b> Continuous
<b>Adsorbate</b>				
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>	<b>Cross Section Area</b> 16.24 <sub>°/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 <sub>1/torr</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>K</sub>	
<b>Degas information</b>				
<b>Time</b>	6.0 <sub>hour</sub>	<b>Temp</b>	150.000000 <sub>°C</sub>	

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	no		
<b>Temp. Comp</b>	no		
<b>Thickness Method</b>	deBoer		
<b>P-tags below 0.35</b>	ignored		
<b>Adsorbate Model</b>		<b>Moving Pt. Average</b>	off
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134 <sub>g</sub>
<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>K</sub>	<b>Cross Section Area</b>	16.24 <sub>°/molec</sub>

### Area-Volume Summary results

**Surface Area Results**

Multipoint BET	1013.73 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>
BJH adsorption	41.1842 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>
BJH desorption	37.8245 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>

**Pore Volume Results**

BJH adsorption cumulative micropore volume	0.084501 <sub>cc/g</sub>
BJH desorption cumulative micropore volume	0.0708621 <sub>cc/g</sub>
Total Pore Volume	0.631295 <sub>cc/g</sub>

**Pore Size Results**

BJH adsorption pore radius	2.04967 <sub>nm</sub>
BJH desorption pore radius	2.05221 <sub>nm</sub>
Average Pore Size	1.24549 <sub>nm</sub>

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024 Operator: Yusuf  
 Filename: 05480524\_6.qcuPhysIso

Analysis Information

**Sample**  
 ID 0548\_6 Weight 0.0795g  
 Description MCM-41

**Analysis**  
 Data ID {c7b95eff-a337-40f9-99d0-2aa2fb22aa78}  
 Operator Yusuf Date 2024.05.30 Duration 222.2min  
 Instrument St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] Firmware 1.07  
 Comments description of sample  
 Ambient Temp. 21.11°C Void Volume Mode NOVA mode Cell ID 41  
 Cell Type 9mm with rod Thermal Delay 300sec Po Mode Continuous

**Adsorbate**  
 Name Nitrogen Molecular Weight 28.013 g/mol Cross Section Area 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
 Non-ideality 6.580000e-05 1/torr Bath Temperature 77.35K

**Degas information**  
 Time 6.0 hours Temp 150.000000°C

Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration yes Eff. Molec. Diameter 0Å  
 Eff. Cell Diameter 0mm  
 Thickness Method deBoer

t plot results

Isotherm Branch Adsorption  
 Slope 827.363 cc/mm/g  
 Intercept -120.98 cc/g  
 Correlation coefficient, r 0.927492  
 Micropore volume 0 cc/g  
 Micropore area 0.000 m<sup>2</sup>/g  
 External surface area 1013.731 m<sup>2</sup>/g

Table - t plot

Relative Pressure	Volume Adsorbed @ STP cc/g	Statistical Thickness nm
0.245279	250.432	0.4660
0.346244	345.828	0.5318
0.448663	366.980	0.6051

C.5.2. ZIF-8

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Jun 27 2024 Operator: Yusuf  
 Filename: 06880624\_2.qcuPhysIso

Analysis Information

<b>Sample</b>	ID	0688_2	<b>Weight</b>	0.0626g	
<b>Description</b>	ZIF-8				
<b>Analysis</b>	Data ID	[e1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be]			
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2024.06.26		
<b>Instrument</b>	St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		<b>Duration</b>	103.3min	
<b>Comments</b>	description of sample			<b>Firmware</b>	1.07
<b>Ambient Temp.</b>	20.98-c	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode		
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec		
<b>Adsorbate</b>	Name	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013g/mol	
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 <sub>1,NO2</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77.35K		
<b>Degas information</b>	Time	2.0hour	<b>Temp</b>	120.000000-c	

<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Data Reduction Parameters</b>	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0A
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0mm			

<b>Adsorbate Model</b>	Name	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g	<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sup>2</sup> /molcc
	Bath Temperature	77.35K				

BET Multi-point BET results	
<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption
<b>Slope</b>	8.23369
<b>Intercept</b>	-0.137202
<b>Correlation coeff., r</b>	0.996746
<b>C constant</b>	-59.0113
<b>Surface area</b>	430.127 m <sup>2</sup> /g

Table - BET Multi-point BET		
Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	1 / [ W((P/Po) - 1) ]
0.0450123	123.685	0.3049
0.0996369	131.939	0.6711
0.147059	135.274	1.0198
0.196391	138.034	1.4166
0.246509	140.086	1.8686
0.296829	141.414	2.3884

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Jun 27 2024 Operator: Yusuf  
Filename: 06880624\_2.qcuPhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>Weight</b> 0.0626g	
ID	0688_2		
Description	ZF-8		
<b>Analysis</b>			
Data ID	[e1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be]	Date	2024.06.26
Operator	Yusuf	Duration	103.3min
Instrument	St 4 on NOVA touch 4LX [s/n: 170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	20.98-c	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300sec
		Cell ID	44
		Po Mode	Continuous
<b>Adsorbate</b>			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013g/mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/Bar	Bath Temperature	77.35K
		Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /mol
<b>Degassing Information</b>			
Time	2.0hr:min	Temp	120.000000-c

### Data Reduction Parameters

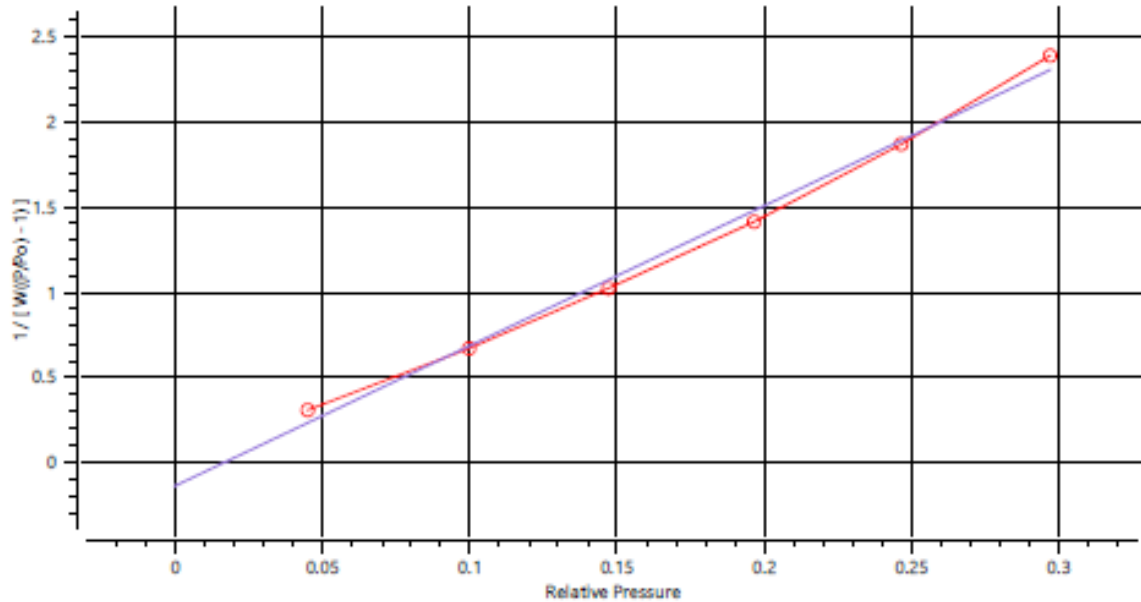
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0mm		
<b>Adsorbate Model</b>			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35K	Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /mol

### BET Multi-point BET results

Isotherm Branch	Adsorption
Slope	8.23369
Intercept	-0.137202
Correlation coeff, r	0.996746
C constant	-59.0113
Surface area	430.127 m <sup>2</sup> /g

### Graph - BET Multi-point BET

+ BET (all)    ○ BET    - BF





# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Thu Jun 27 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 06880624\_2.qcu PhysIso

### Analysis Information

**Sample**  
ID 0688\_2      **Weight** 0.0626<sub>g</sub>  
Description ZIF-8

**Analysis**  
Data ID (e1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be)  
Operator Yusuf      Date 2024.06.26      Duration 103.3 min  
Instrument St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]      Firmware 1.07  
Comments description of sample  
Ambient Temp. 20.98 °C      Void Volume Mode NOVA mode      Cell ID 44  
Cell Type 9mm with rod      Thermal Delay 300 sec      Po Mode Continuous

**Adsorbate**  
Name Nitrogen      Molecular Weight 28.013 g/mol      Cross Section Area 16.2 Å<sup>2</sup>/mol  
Non-ideality 6.580000e-05 1/torr      Bath Temperature 77.35 K

**Degas information**  
Time 2.0 hours      Temp 120.000000 °C

### Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration yes      Eff. Molec. Diameter 0 Å  
Eff. Cell Diameter 0 mm  
Thickness Method deBoer  
P-tags below 0.35 included      Moving Pt. Average off

**Adsorbate Model**  
Name Nitrogen      Molecular Weight 28.0134<sub>g</sub>      Cross Section Area 16.2 Å<sup>2</sup>/molec  
Bath Temperature 77.35 K

### BJH Pore Size Distribution Adsorption results

**Surface Area** 10.273 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.0139957 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 1.51677 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
1.51677	2.399323e-03	3.163725e+00	1.469528e-02	1.937706e+01	5.127359e-02	6.760888e+01
1.69348	4.038345e-03	5.099407e+00	8.619633e-03	1.017978e+01	3.357593e-02	3.965314e+01
1.90022	5.179865e-03	6.300866e+00	5.111258e-03	5.379638e+00	2.233817e-02	2.351109e+01
2.12935	6.291455e-03	7.344930e+00	4.731763e-03	4.444323e+00	2.317634e-02	2.176845e+01
2.40577	7.112731e-03	8.027686e+00	2.583351e-03	2.147631e+00	1.428958e-02	1.187944e+01
2.76400	7.588404e-03	8.371878e+00	1.193517e-03	8.636169e-01	7.582766e-03	5.486813e+00
3.21168	8.400729e-03	8.877735e+00	1.635026e-03	1.018174e+00	1.206715e-02	7.514533e+00
3.79752	8.688669e-03	9.029381e+00	4.266770e-04	2.247136e-01	3.721072e-03	1.959738e+00
4.62203	9.439955e-03	9.354470e+00	7.711982e-04	3.337054e-01	8.177093e-03	3.538312e+00
5.88732	1.015470e-02	9.597279e+00	4.592322e-04	1.560073e-01	6.188947e-03	2.102468e+00
8.12929	1.112168e-02	9.835179e+00	3.303028e-04	8.126239e-02	6.115326e-03	1.504517e+00
13.1280	1.399569e-02	1.027302e+01	4.065198e-04	6.193187e-02	1.198543e-02	1.825939e+00

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Thu Jun 27 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 06880624\_2.qcuPhysIso

### Analysis Information

**Sample**  
**ID** 0688\_2      **Weight** 0.0626g  
**Description** ZIF-8

**Analysis**  
**Data ID** {e1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be}  
**Operator** Yusuf      **Date** 2024.06.26      **Duration** 103.3 min  
**Instrument** St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]      **Firmware** 1.07  
**Comments** description of sample  
**Ambient Temp.** 20.98°C      **Void Volume Mode** NOVA mode      **Cell ID** 44  
**Cell Type** 9mm with rod      **Thermal Delay** 300 sec      **Po Mode** Continuous

**Adsorbate**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.013 g/mol      **Cross Section Area** 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
**Non-ideality** 6.580000e-05 1/torr      **Bath Temperature** 77.35K

**Degas information**  
**Time** 2.0 hours      **Temp** 120.000000°C

### Data Reduction Parameters

**Thermal Transpiration** yes  
**Eff. Cell Diameter** 0 mm  
**Thickness Method** deBoer  
**P-tags below 0.35** included

**Eff. Molec. Diameter** 0Å  
**Moving Pt. Average** off

**Adsorbate Model**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.0134g      **Cross Section Area** 16.2Å<sup>2</sup>/molec  
**Bath Temperature** 77.35K

### BJH Pore Size Distribution Description results

**Surface Area** 4.78194 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.00636912 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 1.51884 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Description

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
1.51884	1.180849e-03	1.554938e+00	7.527245e-03	9.911857e+00	2.630124e-02	3.463341e+01
1.69174	2.240537e-03	2.807719e+00	5.608962e-03	6.631002e+00	2.182627e-02	2.580336e+01
1.89288	2.755368e-03	3.351685e+00	2.413103e-03	2.549668e+00	1.050639e-02	1.110098e+01
2.12786	3.405433e-03	3.962688e+00	2.533141e-03	2.380925e+00	1.239628e-02	1.165139e+01
2.40967	3.405433e-03	3.962688e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.76103	3.718366e-03	4.189367e+00	7.907697e-04	5.728078e-01	5.018704e-03	3.635386e+00
3.20975	3.718366e-03	4.189367e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.78322	3.767965e-03	4.215587e+00	7.686924e-05	4.063693e-02	6.679959e-04	3.531362e-01
4.62561	3.843872e-03	4.248407e+00	7.301883e-05	3.157151e-02	7.744298e-04	3.348440e-01
5.88486	4.103568e-03	4.336666e+00	1.755965e-04	5.967742e-02	2.366824e-03	8.043779e-01
8.14491	5.183120e-03	4.601753e+00	3.549801e-04	8.716617e-02	6.579340e-03	1.615572e+00
13.1642	6.369116e-03	4.781938e+00	1.694915e-04	2.575041e-02	5.014232e-03	7.617996e-01

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Jun 27 2024 Operator: Yusuf  
 Filename: 06880624\_2.qcuPhysIso

Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0688_2	<b>Weight</b> 0.0626g
<b>Description</b>		ZIF-8	
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	[e1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be]		<b>Duration</b> 103.3min
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b> 2024.06.26	<b>Firmware</b> 1.07
<b>Instrument</b>	St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	20.98°C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec
<b>Cell ID</b>		<b>Cell ID</b>	44
<b>Po Mode</b>		<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>		<b>Molecular Weight</b> 28.013g/mol	<b>Cross Section Area</b> 16.2Å <sup>2</sup> /mol
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Bath Temperature</b>	77.35K
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05		
<b>Degas information</b>			
<b>Time</b>	2.0hour	<b>Temp</b>	120.000000°C

Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0Å
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0mm		

Table - Isotherm Isotherm

Relative Pressure, P/Po	Volume Adsorbed @STP cc/g
0.0450123	123.685
0.0996369	131.939
0.147059	135.274
0.196391	138.034
0.246509	140.086
0.296829	141.414
0.346694	142.477
0.395866	143.248
0.446197	143.814
0.497011	144.240
0.542386	144.650
0.593287	144.982
0.644138	145.206
0.693078	145.553
0.742287	145.717
0.791594	146.075
0.841237	146.436
0.891180	146.939
0.938827	148.446
0.892029	147.824
0.840219	147.290
0.793084	147.147
0.740475	147.086
0.693121	147.044
0.643643	147.052
0.593062	146.924
0.544045	146.985
0.494412	146.760
0.445616	146.577
0.395545	146.238
0.348370	145.866
0.298917	145.347
0.248314	144.537
0.201160	143.445
0.151925	141.731
0.102895	138.508
0.0526858	130.633

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

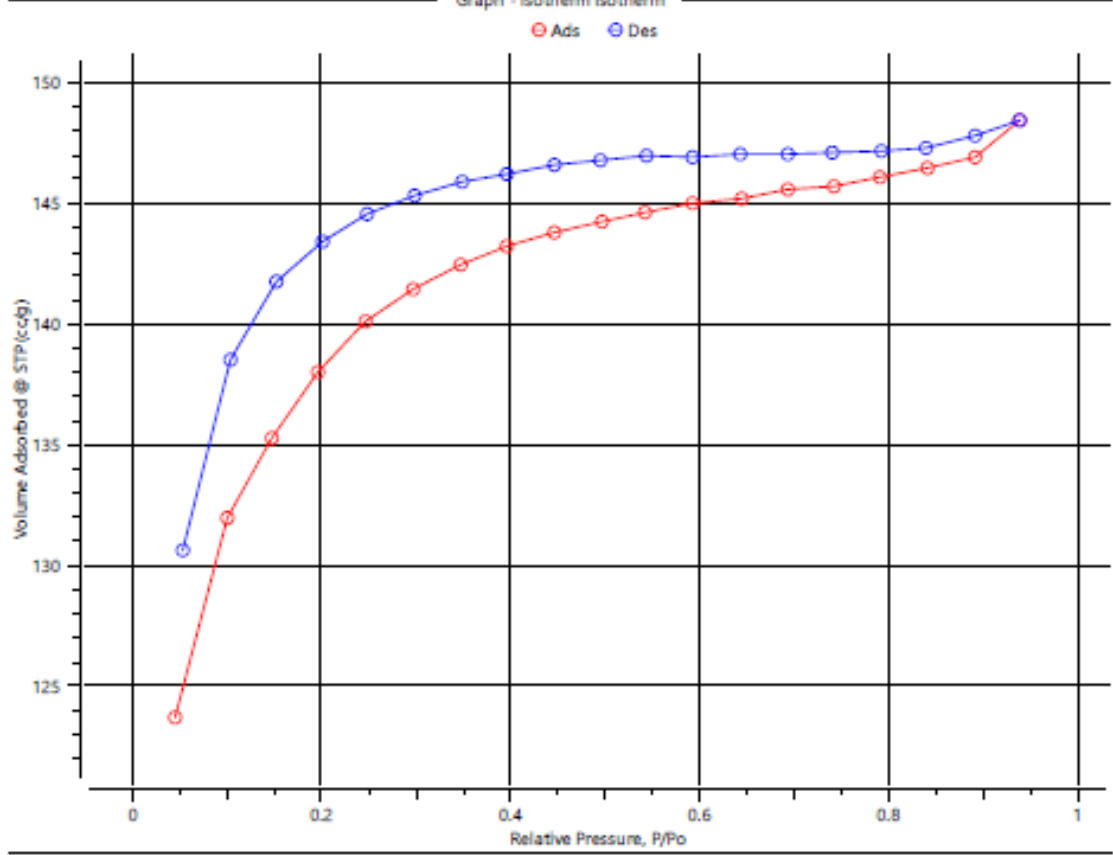
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Jun 27 2024      Operator: Yusuf  
 Filename: 06880624\_2.qcuPhysIso

Analysis information					
<b>Sample</b>					
ID	0688_2	Weight	0.0626g		
Description	ZIF-8				
<b>Analysis</b>					
Data ID	(e1a777bd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be)		Duration	103.3min	
Operator	Yusuf	Date	2024.06.26	Firmware	1.07
Instrument	St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		description of sample		
Ambient Temp.	20.98 °C	Void Volume Mode	NOVA mode	Cell ID	44
Cell type	9mm with rod	Thermal Delay	300sec	Po Mode	Continuous
<b>Adsorbate</b>					
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol	Cross Section Area	16.2 Å <sup>2</sup> /mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/mol	Bath Temperature	77.35 K		
<b>Degas information</b>					
Time	2.0 hours	Temp	120.000000 °C		

Data Reduction Parameters		
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter
Eff. Cell Diameter	0.0mm	



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Jun 27 2024      Operator: Yusuf  
 Filename: 06880624\_2.qcu PhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0688_2	<b>Weight</b> 0.0626g	
<b>Description</b>		ZIF-8		
<b>Analysis</b>				
<b>Data ID</b>	je1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be]			
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2024.06.26	<b>Duration</b> 103.3 min
<b>Instrument</b>	St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	<b>Firmware</b>	1.07	
<b>Comments</b> description of sample				
<b>Ambient Temp.</b>	20.98-c	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode	<b>Cell ID</b> 44
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec	<b>Po Mode</b> Continuous
<b>Adsorbate</b>				
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 g/mol	<b>Cross Section Area</b> 16.2Å <sup>2</sup> /mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/bar	<b>Bath Temperature</b>	77.35k	
<b>Degas information</b>				
<b>Time</b>	2.0 hours	<b>Temp</b>	120.000000-c	

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	no		
<b>Temp. Comp</b>	no		
<b>Thickness Method</b>	deBoer		
<b>P-tags below 0.35</b>	ignored		
<b>Adsorbate Model</b>			
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g
<b>Bath Temperature</b>	77.35k	<b>Cross Section Area</b>	16.2Å <sup>2</sup> /molec
		<b>Moving Pt. Average</b>	off

### Area-Volume Summary results

<b>Surface Area Results</b>	
Multipoint BET	430.127 m <sup>2</sup> /g
BJH adsorption	7.1093 m <sup>2</sup> /g
BJH desorption	3.227 m <sup>2</sup> /g
<b>Pore Volume Results</b>	
BJH adsorption cumulative micropore volume	0.0115964 cc/g
BJH desorption cumulative micropore volume	0.00518827 cc/g
Total Pore Volume	0.230188 cc/g
<b>Pore Size Results</b>	
BJH adsorption pore radius	1.69348 nm
BJH desorption pore radius	1.69174 nm
Average Pore Size	1.07032 nm

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Jun 27 2024 Operator: Yusuf  
 Filename: 06880624\_2.qcuPhysIso

Analysis Information

**Sample**  
 ID 0688\_2 Weight 0.0626g  
 Description ZIF-8

**Analysis**  
 Data ID (e1a77fbd-b4d3-47e5-9dea-4a7313cb73be)  
 Operator Yusuf Date 2024.06.26 Duration 103.3min  
 Instrument St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] Firmware 1.07  
 Comments description of sample  
 Ambient Temp. 20.98°C Void Volume Mode NOVA mode Cell ID 44  
 Cell Type 9mm with rod Thermal Delay 300sec Po Mode Continuous

**Adsorbate**  
 Name Nitrogen Molecular Weight 28.013g/mol Cross Section Area 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
 Non-ideality 6.580000e-05 1/torr Bath Temperature 77.35K

**Degas information**  
 Time 2.0hours Temp 120.000000°C

Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration yes  
 Eff. Cell Diameter 0mm  
 Thickness Method deBoer  
 Eff. Molec. Diameter 0Å

t plot results

Isotherm Branch Adsorption  
 Slope 23.1055 cc/mm/g  
 Intercept 129.795 cc/g  
 Correlation coefficient, r 0.969934  
 Micropore volume 0.201268 cc/g  
 Micropore area 394.298 m<sup>2</sup>/g  
 External surface area 35.829 m<sup>2</sup>/g

Table - t plot

Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	Statistical Thickness nm
0.246509	140.086	0.4668
0.296829	141.414	0.4992
0.346694	142.477	0.5321
0.395866	143.248	0.5662
0.446197	143.814	0.6032
0.497011	144.240	0.6437

C.5.3. CMZ

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024 Operator: Yusuf  
 Filename: 05480524\_7 ulang.qcuPhysIso

Analysis Information

**Sample**  
 ID 0548\_7 i Weight 0.0785g  
 Description Komposit CD6/MCM/21F8

**Analysis**  
 Data ID {647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}  
 Operator Yusuf Date 2024.05.30 Duration 176.6min  
 Instrument St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] Firmware 1.07  
 Comments description of sample  
 Ambient Temp. 21.24°C Void Volume Mode NOVA mode Cell ID 43  
 Cell Type 9mm with rod Thermal Delay 300sec Po Mode Continuous

**Adsorbate**  
 Name Nitrogen Molecular Weight 28.013g/mol Cross Section Area 16.2Å<sup>2</sup>/mol  
 Non-ideality 6.580000e-05 1/torr Bath Temperature 77.35K

**Degas information**  
 Time 2.0hours Temp 120.000000°C

Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration yes  
 Eff. Cell Diameter 0mm Eff. Molec. Diameter 0Å

**Adsorbate Model**  
 Name Nitrogen Molecular Weight 28.0134g  
 Bath Temperature 77.35K Cross Section Area 16.2Å<sup>2</sup>/molec

BET Multi-point BET results

Isotherm Branch Adsorption  
 Slope 3.70092  
 Intercept -0.0995248  
 Correlation coeff., r 0.993721  
 C constant -36.1859  
 Surface area 966.991 m<sup>2</sup>/g

Table - BET Multi-point BET

Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	1 / [ W((P/Po) - 1) ]
0.0465074	333.971	0.1169
0.150780	340.643	0.4170
0.250771	344.965	0.7763
0.349754	345.858	1.2443



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024      Operator: Yusuf  
Filename: 05480524\_7 ulang.qcuPhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0548_7 I	<b>Weight</b> 0.0785 <sub>g</sub>
<b>Description</b>		Komposit CD6/MCM/21F8	
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	{647f259e-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}	<b>Date</b>	2024.05.30
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Duration</b>	176.6 min
<b>Instrument</b>	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b> description of sample			
<b>Ambient Temp.</b>	21.24 °C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 sec
<b>Adsorbate</b>		<b>Cell ID</b>	43
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1 bar	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>
<b>Desgas Information</b>		<b>Bath Temperature</b>	77.35 °C
<b>Time</b>	2.0 hours	<b>Temp</b>	120.000000 °C

### Data Reduction Parameters

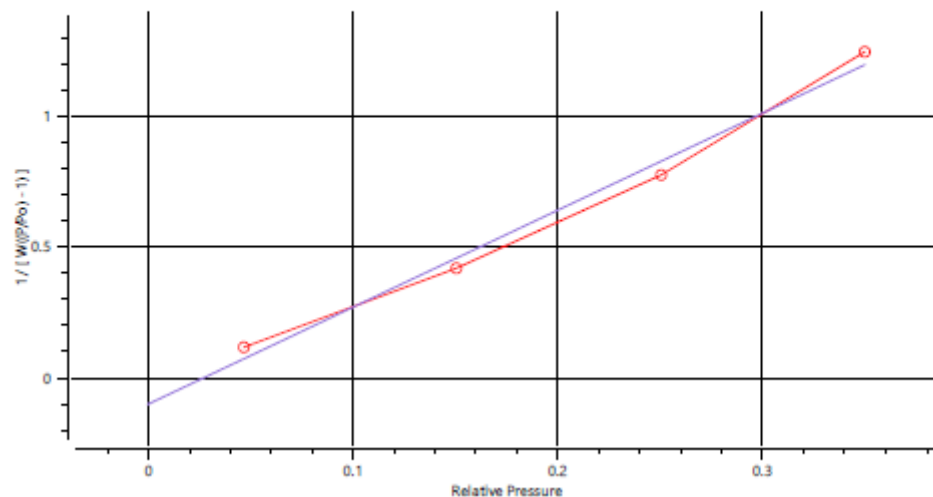
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0 Å
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 mm		
<b>Adsorbate Model</b>			
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134 <sub>g</sub>
<b>Bath Temperature</b>	77.35 °C	<b>Cross Section Area</b>	16.2 Å <sup>2</sup> /molec.

BET Multi-point BET results

<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption
<b>Slope</b>	3.70092
<b>Intercept</b>	-0.0995248
<b>Correlation coeff., r</b>	0.993721
<b>C constant</b>	-36.1859
<b>Surface area</b>	966.991 m <sup>2</sup> /g

### Graph - BET Multi-point BET

+ BET (all)    ○ BET    - BF





# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024      Operator: Yusuf  
Filename: 05480524\_7 ulang.qcuPhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0548_7 i	<b>Weight</b> 0.0785g
<b>Description</b>		Komposit CD6/MCM/21F8	
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	{647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}		
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2024.05.30
<b>Instrument</b>	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		<b>Duration</b> 176.6min
<b>Comments</b>	description of sample		<b>Firmware</b> 1.07
<b>Ambient Temp.</b>	21.24°C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec
<b>Cell ID</b>		<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>		<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.013g/mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/ton	<b>Bath Temperature</b>	77.35K
<b>Deqas information</b>		<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sup>2</sup> /mol
<b>Time</b>	2.0hours	<b>Temp</b>	120.000000°C

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0A
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0mm	<b>Moving Pt. Average</b>	off
<b>Thickness Method</b>	deBoer		
<b>P-tags below 0.35</b>	included		
<b>Adsorbate Model</b>		<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.0134g
<b>Bath Temperature</b>	77.35K	<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sup>2</sup> /molec

### BJH Pore Size Distribution Adsorption results

**Surface Area** 4.73247 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.0141959 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 2.04166 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.04166	1.412483e-03	1.383663e+00	2.868590e-03	2.810059e+00	1.341988e-02	1.314606e+01
2.64961	2.637812e-03	2.308577e+00	1.693613e-03	1.278388e+00	1.026811e-02	7.750671e+00
3.62391	3.666924e-03	2.876533e+00	8.400139e-04	4.635950e-01	6.942112e-03	3.831280e+00
5.58812	4.997641e-03	3.352799e+00	4.922548e-04	1.761789e-01	6.208395e-03	2.221996e+00
13.3339	1.419586e-02	4.732471e+00	7.192701e-04	1.078859e-01	2.027207e-02	3.040679e+00

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon Jun 3 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 05480524\_7 ulang.qcuPhysIso

### Analysis Information

**Sample**  
**ID** 0548\_7 i      **Weight** 0.0785<sub>g</sub>  
**Description** Komposit CD6/MCM/21F8

**Analysis**  
**Data ID** {647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}  
**Operator** Yusuf      **Date** 2024.05.30      **Duration** 176.6<sub>min</sub>  
**Instrument** St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]      **Firmware** 1.07  
**Comments** description of sample  
**Ambient Temp.** 21.24<sub>°C</sub>      **Void Volume Mode** NOVA mode      **Cell ID** 43  
**Cell Type** 9mm with rod      **Thermal Delay** 300<sub>sec</sub>      **Po Mode** Continuous

**Adsorbate**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.013<sub>g/mol</sub>      **Cross Section Area** 16.2A<sup>2</sup>/<sub>mol</sub>  
**Non-ideality** 6.580000e-05<sub>1/torr</sub>      **Bath Temperature** 77.35<sub>K</sub>

**Degas information**  
**Time** 2.0<sub>hour</sub>      **Temp** 120.000000<sub>°C</sub>

### Data Reduction Parameters

**Thermal Transpiration** yes  
**Eff. Cell Diameter** 0<sub>mm</sub>      **Eff. Molec. Diameter** 0A  
**Thickness Method** deBoer  
**P-tags below 0.35** included      **Moving Pt. Average** off

**Adsorbate Model**  
**Name** Nitrogen      **Molecular Weight** 28.0134<sub>g</sub>      **Cross Section Area** 16.2A<sup>2</sup>/<sub>molec</sub>  
**Bath Temperature** 77.35<sub>K</sub>

### BJH Pore Size Distribution Desorption results

**Surface Area** 4.44937 m<sup>2</sup>/<sub>g</sub>  
**Pore Volume** 0.0120984 cc/<sub>g</sub>  
**Pore radius Dv(r)** 2.05423 nm

### Table - BJH Pore Size Distribution Desorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> / <sub>g</sub>	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> / <sub>nm/g</sub>	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> / <sub>g</sub>
2.05423	1.490560e-03	1.451208e+00	3.117524e-03	3.035219e+00	1.467922e-02	1.429168e+01
2.65432	2.115750e-03	1.922282e+00	8.658625e-04	6.524185e-01	5.259173e-03	3.962733e+00
3.65274	3.184252e-03	2.507324e+00	8.381702e-04	4.589269e-01	6.977490e-03	3.820415e+00
5.76811	6.309408e-03	3.590921e+00	1.057244e-03	3.665820e-01	1.372898e-02	4.760301e+00
13.4871	1.209840e-02	4.449372e+00	4.637887e-04	6.877534e-02	1.330862e-02	1.973539e+00

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



<b>Report date:</b>	Mon Jun 3 2024	<b>Operator:</b>	Yusuf
<b>Filename:</b>	05480524_7 ulang.qcuPhysIso		

### Analysis Information

<b>Sample</b>					
ID	0548_7 i	Weight	0.0785 g		
Description	Komposit CD6/MCM/21F8				
<b>Analysis</b>					
Data ID	{647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}				
Operator	Yusuf	Date	2024.05.30		
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		Duration	176.6 min	
Comments	description of sample		Firmware	1.07	
Ambient Temp.	21.24 °C	Void Volume Mode	NOVA mode	Cell ID	43
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec	Po Mode	Continuous
<b>Adsorbate</b>					
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol	Cross Section Area	16.2 Å <sup>2</sup> /mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/torr	Bath Temperature	77.35 K		
<b>Degas information</b>					
Time	2.0 hours	Temp	120.000000 °C		

### Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0 Å
Eff. Cell Diameter	0 mm		

### Table - Isotherm Isotherm

Relative Pressure, P/Po	Volume Adsorbed @STP cc/g
0.0465074	333.971
0.150780	340.643
0.250771	344.965
0.349754	345.858
0.447895	346.624
0.549581	347.235
0.649492	347.814
0.748426	348.372
0.847707	349.143
0.948688	354.095
0.854357	350.981
0.751561	349.453
0.649928	348.870
0.550520	348.499
0.452696	347.884
0.352191	347.124
0.253230	345.871
0.151830	341.760
0.0507671	336.498

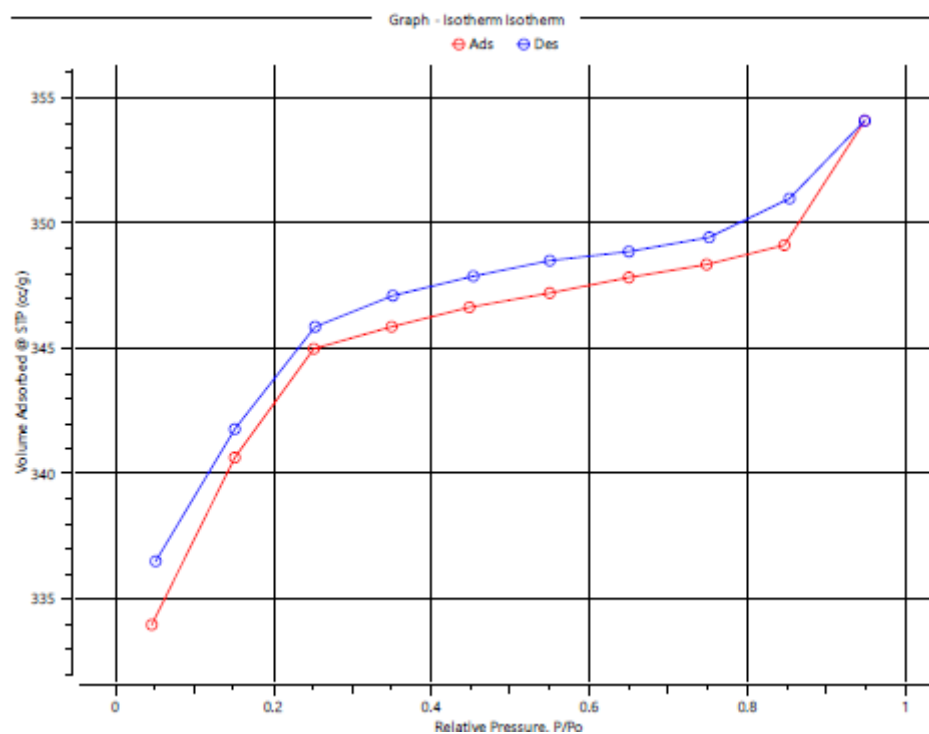
# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman, Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Jun 3 2024      Operator: Yusuf  
 Filename: 05480524\_7 ulang.qcuPhysIso

Analysis Information				
<b>Sample</b>	ID	0548_7 I	Weight	0.0785 <sub>g</sub>
	Description	Komposit CD6/MCM/21F8		
<b>Analysis</b>	Data ID	{647f259e-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}	Date	2024.05.30
	Operator	Yusuf	Duration	176.6 <sub>min</sub>
	Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
	Comments	description of sample		
	Ambient Temp.	21.24 <sub>°c</sub>	Void Volume Mode	NOVA mode
	Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 <sub>sec</sub>
	Cell ID		Po Mode	Continuous
<b>Adsorbate</b>	Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 <sub>g/mol</sub>
	Non-ideality	6.580000e-05 <sub>1/mol</sub>	Bath Temperature	77.35 <sub>°c</sub>
<b>Desgas Information</b>	Time	2.0 <sub>hour</sub>	Temp	120.000000 <sub>°c</sub>
	Thermal Transpiration	yes	Data Reduction Parameters	
	Eff. Cell Diameter	0 <sub>mm</sub>	Eff. Molec. Diameter    0 <sub>Å</sub>	



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



<b>Report date:</b>	Mon Jun 3 2024	<b>Operator:</b>	Yusuf
<b>Filename:</b>	05480524_7 ulang.qcuPhysIso		

### Analysis Information

<b>Sample</b>			
ID	0548_7 i	Weight	0.0785g
Description	Komposit CD6/MCM/21F8		
<b>Analysis</b>			
Data ID	{647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}		
Operator	Yusuf	Date	2024.05.30
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	21.24°C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300sec
<b>Adsorbate</b>		Cell ID	43
Name	Nitrogen	Po Mode	Continuous
Non-ideality	6.580000e-05 1/torr	Molecular Weight	28.013g/mol
<b>Degas information</b>		Bath Temperature	77.35K
Time	2.0hours	Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /mol
		Temp	120.000000°C

### Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0mm		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
<b>Adsorbate Model</b>			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35K	Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /molec

### Total Pore Volume results

Total Pore Volume	5.4908e-01 cc/g
for pores smaller than	19.73 nm (radius)
at relative pressure	0.94869

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



<b>Report date:</b>	Mon Jun 3 2024	<b>Operator:</b>	Yusuf
<b>Filename:</b>	05480524_7 ulang.qcuPhysIso		

### Analysis Information

<b>Sample</b>			
ID	0548_7 i	Weight	0.0785 <sub>g</sub>
Description	Komposit CD6/MCM/21F8		
<b>Analysis</b>			
Data ID	(647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e)		
Operator	Yusuf	Date	2024.05.30
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	21.24 <sup>o</sup> C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 <sub>sec</sub>
<b>Adsorbate</b>			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 <sub>g/mol</sub>
Non-ideality	6.580000e-05 <sub>1/mor</sub>	Bath Temperature	77.35 <sub>K</sub>
<b>Degas information</b>			
Time	2.0 <sub>hour</sub>	Temp	120.000000 <sup>o</sup> C

### Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration	no		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
P-tags below 0.35	ignored		
<b>Adsorbate Model</b>			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 <sub>g</sub>
Bath Temperature	77.35 <sub>K</sub>	Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /molec
		Moving Pt. Average	off

### Area-Volume Summary results

<b>Surface Area Results</b>	
Multipoint BET	966.991 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>
BJH adsorption	4.73247 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>
BJH desorption	4.44937 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>
<b>Pore Volume Results</b>	
BJH adsorption cumulative micropore volume	0.0141959 <sub>cc/g</sub>
BJH desorption cumulative micropore volume	0.0120984 <sub>cc/g</sub>
Total Pore Volume	0.549079 <sub>cc/g</sub>
<b>Pore Size Results</b>	
BJH adsorption pore radius	2.04166 <sub>nm</sub>
BJH desorption pore radius	2.05423 <sub>nm</sub>
Average Pore Size	1.13564 <sub>nm</sub>

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon Jun 3 2024      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 05480524\_7 ulang.qcuPhysIso

### Analysis Information

<b>Sample</b>		<b>ID</b> 0548_7 i	<b>Weight</b> 0.0785 <sub>g</sub>	
<b>Description</b>		Komposit CD6/MCM/21F8		
<b>Analysis</b>				
<b>Data ID</b>	{647f259a-09bb-4d28-827e-228749bd0c7e}	<b>Date</b> 2024.05.30	<b>Duration</b> 176.6 <sub>min</sub>	
<b>Operator</b>	Yusuf		<b>Firmware</b> 1.07	
<b>Instrument</b>	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]			
<b>Comments</b>	description of sample			
<b>Ambient Temp.</b>	21.24 <sup>o</sup> c	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode	<b>Cell ID</b> 43
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 <sub>sec</sub>	<b>Po Mode</b> Continuous
<b>Adsorbate</b>				
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>	<b>Cross Section Area</b> 16.2 <sub>Å<sup>2</sup>/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 <sub>1/torr</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>K</sub>	
<b>Degas information</b>				
<b>Time</b>	2.0 <sub>hour</sub>	<b>Temp</b>	120.000000 <sup>o</sup> c	

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0 <sub>Å</sub>
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 <sub>mm</sub>		
<b>Thickness Method</b>	deBoer		

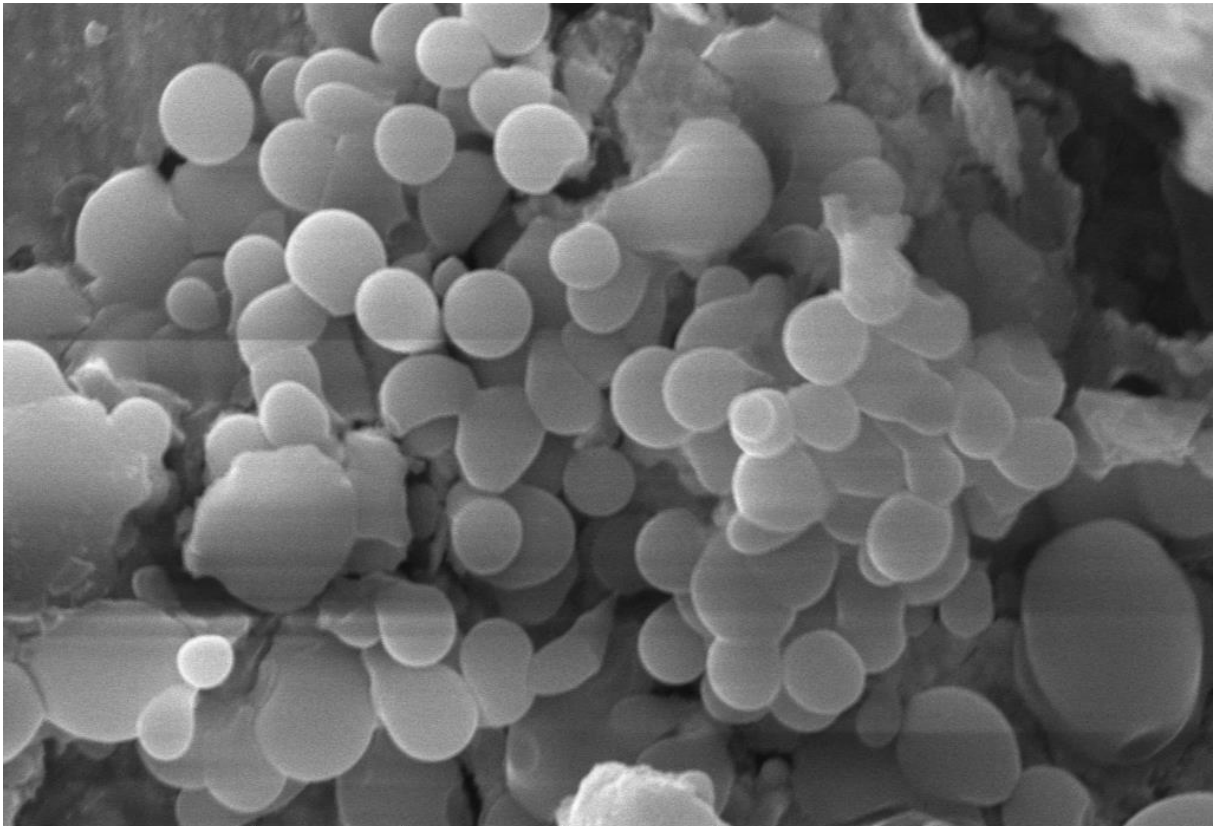
### t plot results

<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption
<b>Slope</b>	12.2607 <sub>cc/mm/g</sub>
<b>Intercept</b>	339.243 <sub>cc/g</sub>
<b>Correlation coefficient, r</b>	0.997709
<b>Micropore volume</b>	0.526048 <sub>cc/g</sub>
<b>Micropore area</b>	947.979 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>
<b>External surface area</b>	19.012 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>

### Table - t plot

Relative Pressure	Volume Adsorbed @ STP cc/g	Statistical Thickness nm
0.250771	344.965	0.4695
0.349754	345.858	0.5342
0.447895	346.624	0.6045

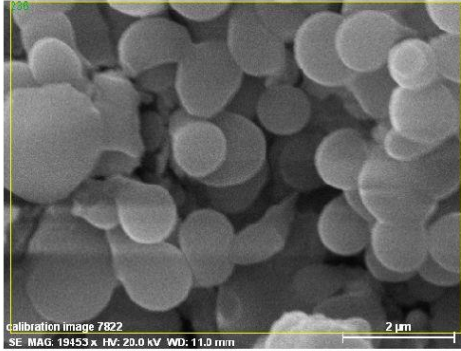
C.6. SEM-EDX  
C.6.1 MCM-41



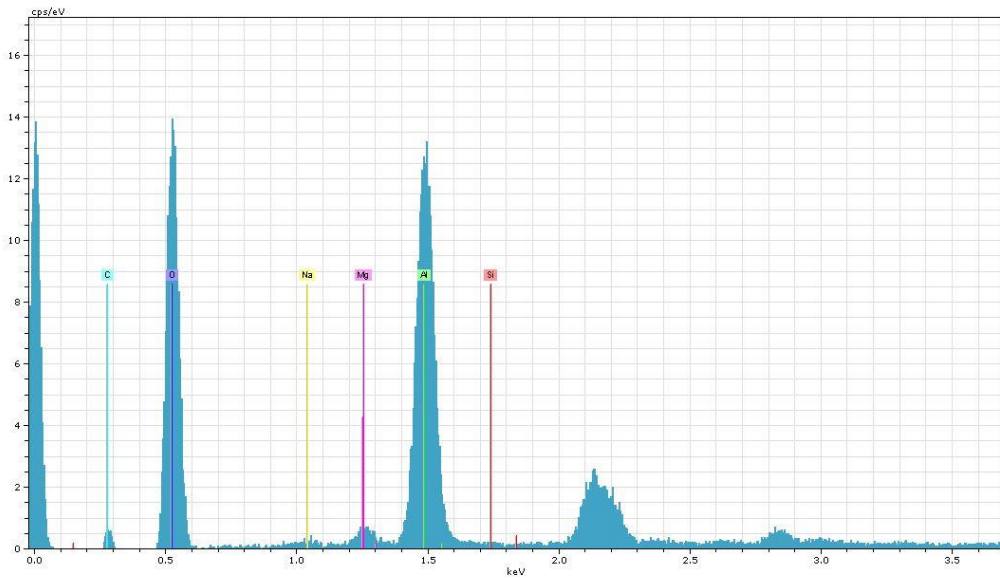
Lab. Energi dan Lingkungan DKPU - ITS	EHT = 20.00 kV	Signal A = SE1	1 $\mu$ m   	File Name = MCM CFA -07.tif
	WD = 11.0 mm	Mag = 10.42 K X		Sample ID =



# MCM CFA



calibration image 7822 Date: 6/12/2024 10:03:45 AM Image size: 512 x 384 Mag: 19453.11719x HV: 20.0kV



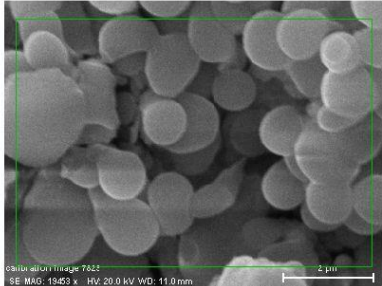
236 Date: 6/12/2024 10:04:40 AM HV: 20.0kV Puls th.: 3.88kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	83.59	83.59	88.30	27.2
Al	13	K-series	14.07	14.07	8.81	0.7
C	6	K-series	1.77	1.77	2.49	1.5
Mg	12	K-series	0.45	0.45	0.31	0.1
Na	11	K-series	0.12	0.12	0.09	0.0
Si	14	K-series	0.00	0.00	0.00	0.0
Total:			100.00	100.00	100.00	

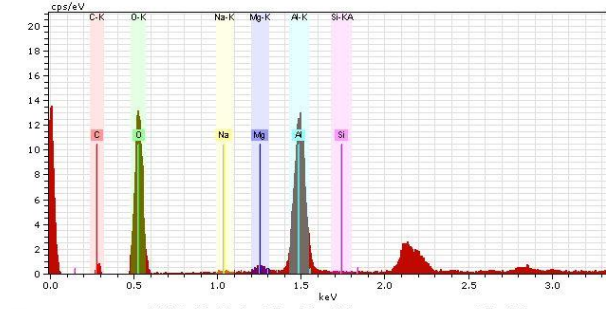
6/12/2024

1. Page

# MCM CFA

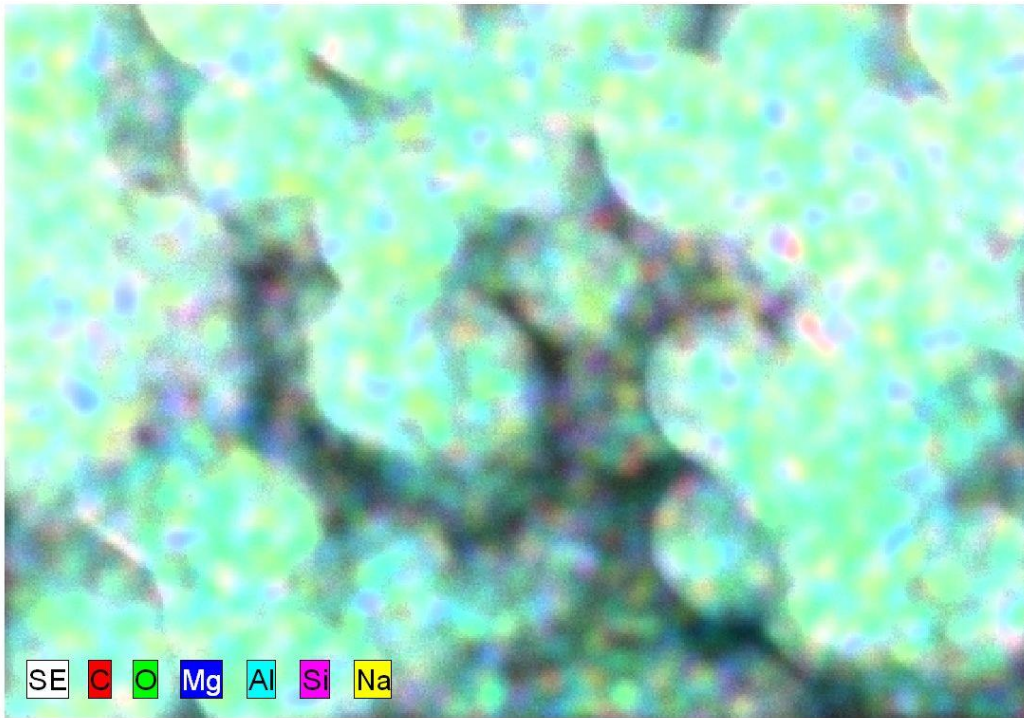


calibration image 7823 Date:6/12/2024  
10:03:45 AM Image size:512 x  
384 Mag:19453.11719x HV:20.0kV



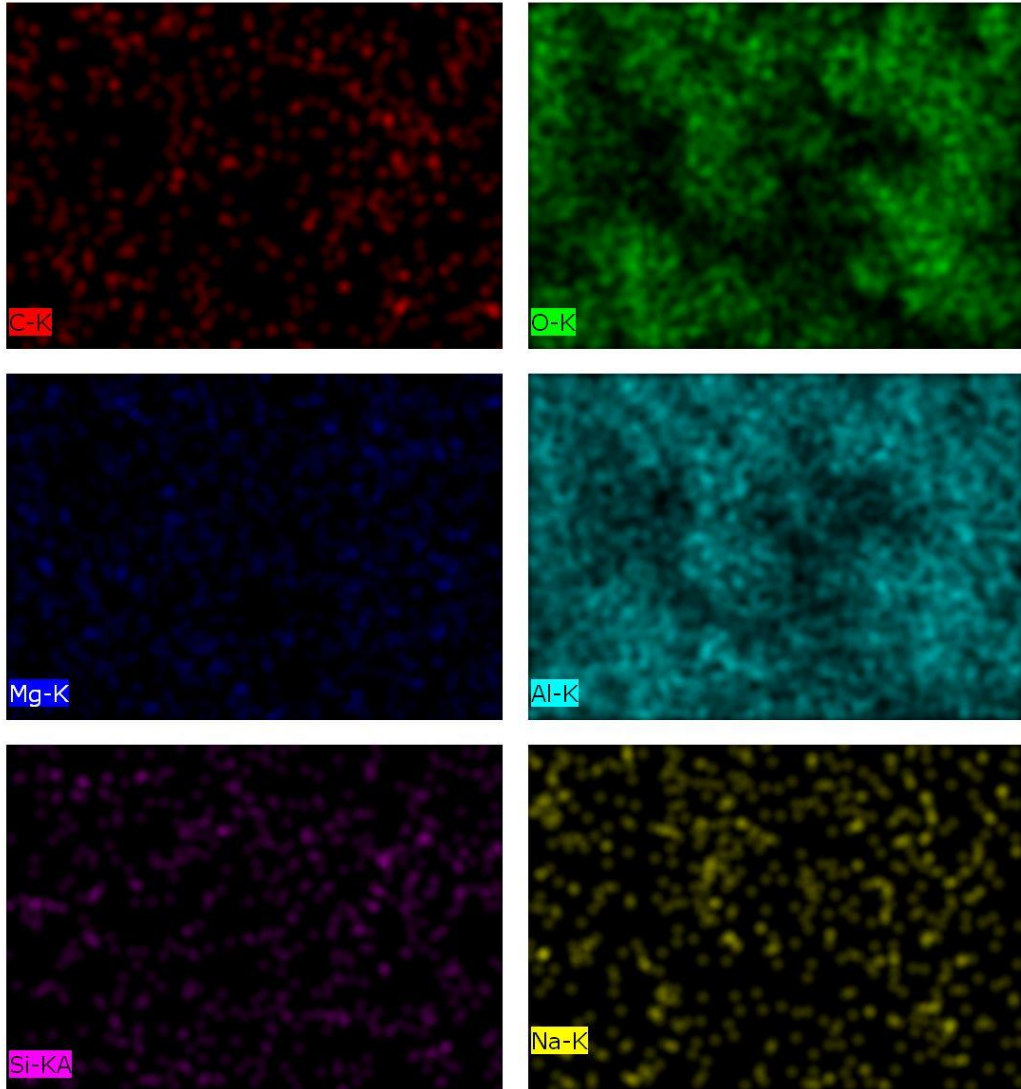
Map Date:6/12/2024 10:10:54 AM HV:20.0kV  
Puls th.:3.66kcps

calibration image 21 6571 Date:6/12/2024 10:10:54 AM Image size:479 x  
334 Mag:19453.11719x HV:20.0kV



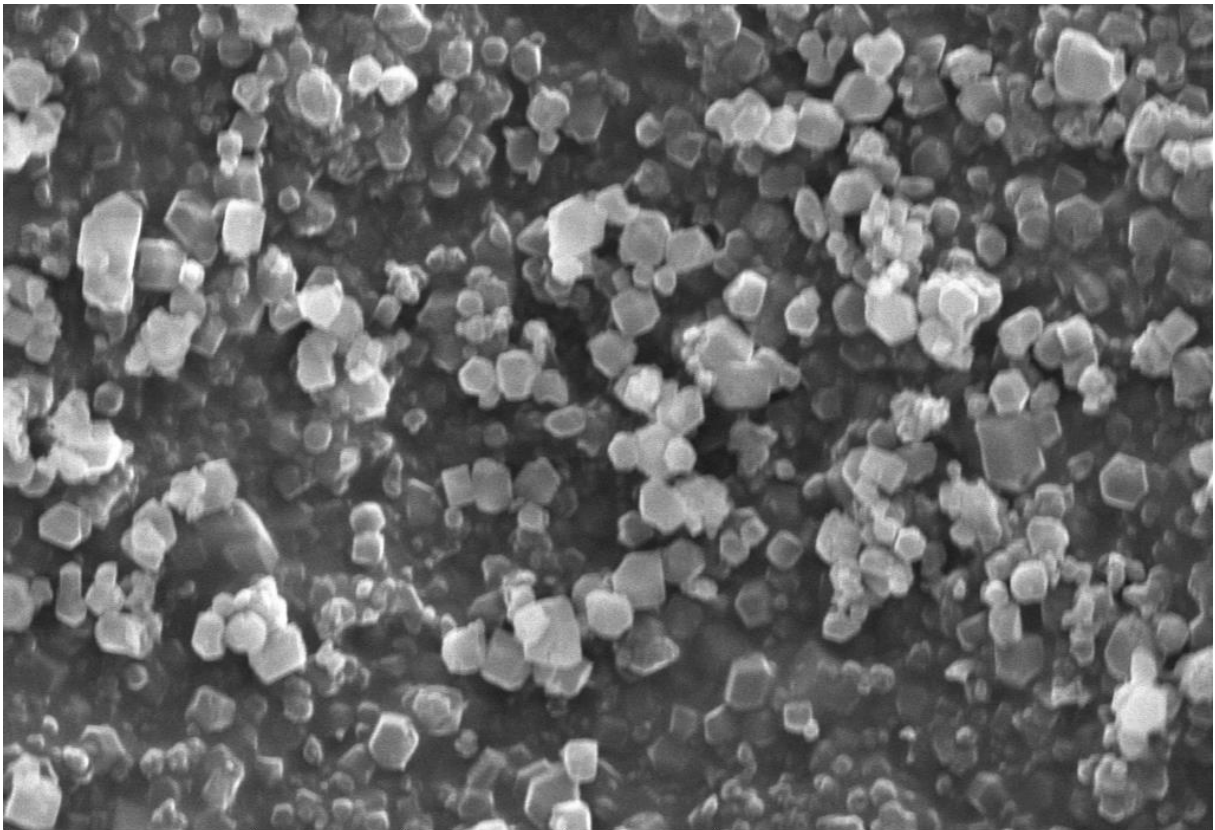
6/12/2024

2. Page



C-K, O-K, Mg-K, Al-K, Si-KA, Na-K Date: 6/12/2024 10:11:49 AM  
Image size: 479 x 334  
Mag: 19453.11719x  
HV: 20.0kV

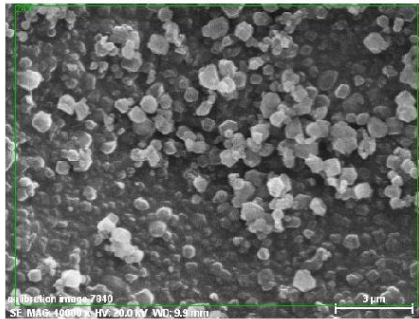
### C.6.2 CMZ



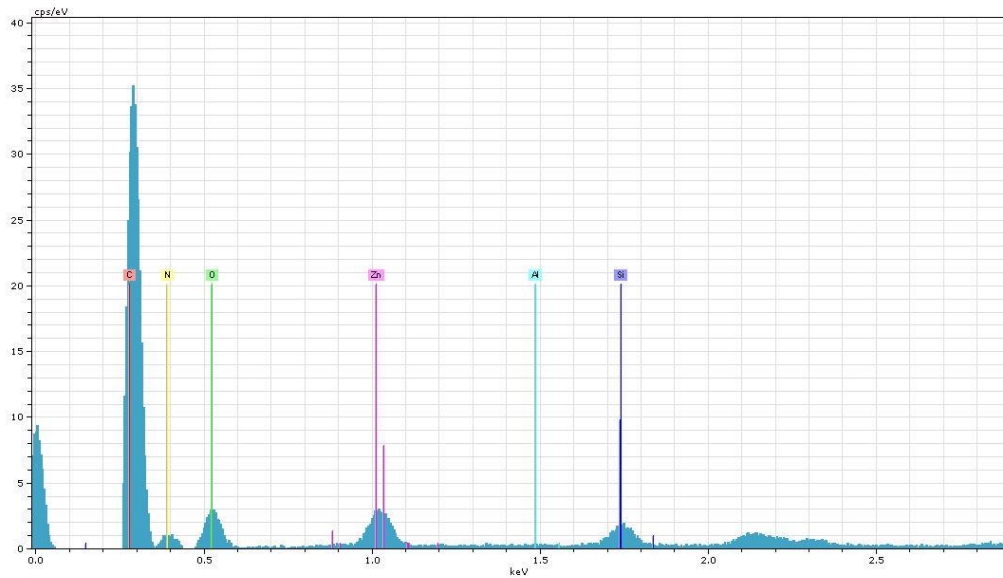
Lab. Energi dan Lingkungan DKPU - ITS	EHT = 20.00 kV	Signal A = SE1	2 $\mu$ m  —————	File Name = CDS - MCM - ZIF 8 - 01.tif
	WD = 10.0 mm	Mag = 10.00 K X		Sample ID =



# CDS/MCM/ZIF-8



calibration image 7840 Date: 6/13/2024  
 1:48:48 PM Image size: 512 x  
 384 Mag: 10000.00098 x HV: 20.0kV



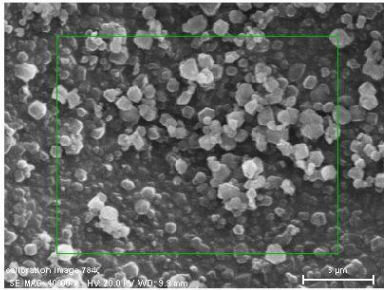
245 Date: 6/13/2024 1:49:38 PM HV: 20.0kV Puls th.: 4.11kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	40.79	40.80	49.63	13.1
O	8	K-series	29.44	29.44	26.89	10.2
N	7	K-series	20.08	20.08	20.95	7.6
Zn	30	K-series	8.44	8.44	1.89	0.3
Si	14	K-series	1.22	1.22	0.63	0.1
Al	13	K-series	0.03	0.03	0.02	0.0
Total:			100.00	100.00	100.00	

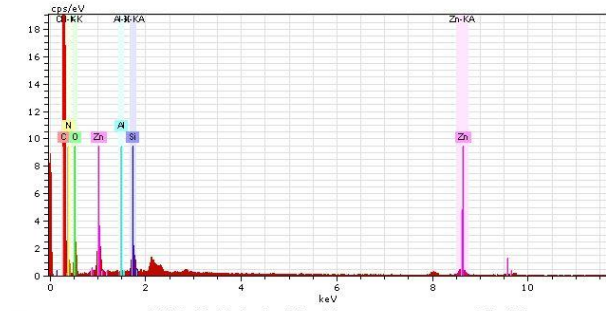
6/13/2024

1. Page

# CDS/MCM/ZIF-8

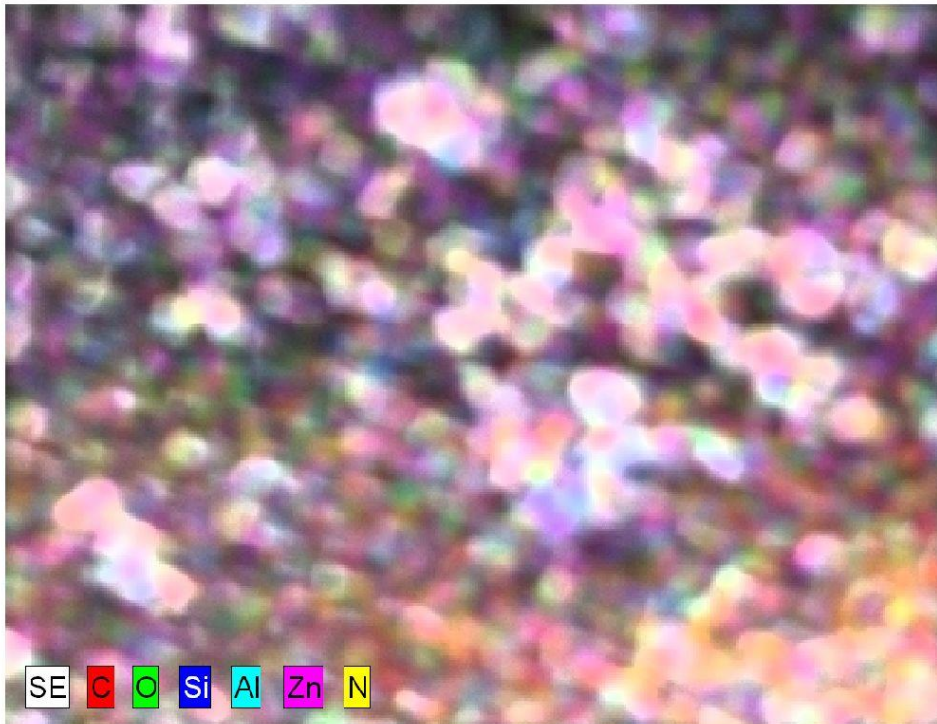


calibration image 7840 Date:6/13/2024 1:48:48  
PMImage size:512 x  
384Mag:10000.00098xHV:20.0kV



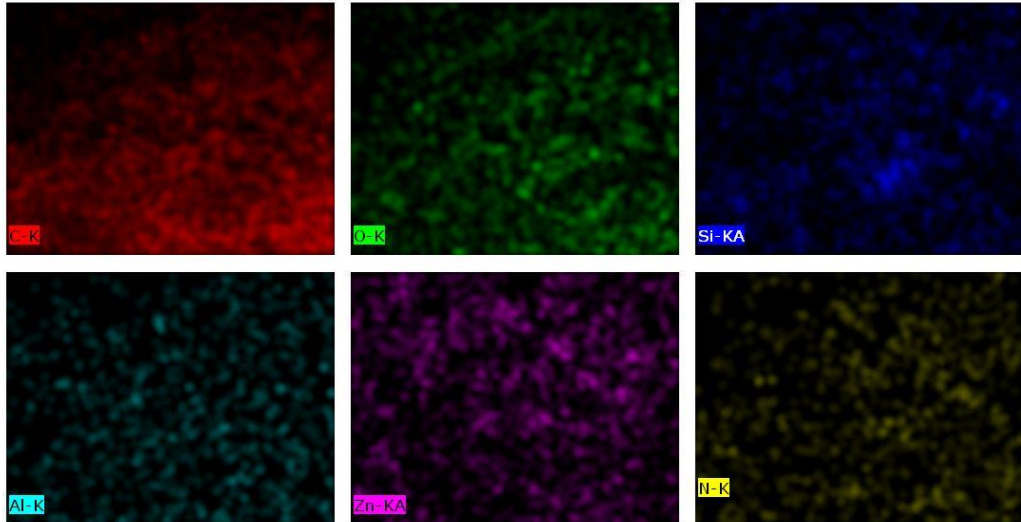
Map Date:6/13/2024 1:52:04 PM HV:20.0kV  
Puls th.:3.15kcps

calibration image 21 6580 Date:6/13/2024 1:52:04 PMImage size:378 x  
291Mag:10000.00098xHV:20.0kV



6/13/2024

2. Page



C-K, O-K, Si-KA, Al-K, Zn-KA, N-K Date:6/13/2024 1:52:41 PM  
Image size:378 x 291  
Mag:10000.00098x  
HV:20.0kV

## LAMPIRAN D PERHITUNGAN UJI ADSORPSI

### 1. Pembuatan Larutan Induk MB

Larutan induk MB 200 ppm dibuat dengan melarutkan 0,05 gram MB dengan aqua dm dalam labu ukur 250 ml.

### 2. Pembuatan Larutan Standar MB

Larutan standar dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk 200 ppm menjadi konsentrasi tertentu menggunakan persamaan:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Dengan  $C_1$  sebagai konsentrasi larutan induk (ppm);  $C_2$  sebagai konsentrasi larutan akhir (ppm);  $V_1$  sebagai volume larutan induk (ml);  $V_2$  sebagai volume pengenceran

C2 (ppm)	V2 (ml)	C1 (ppm)	V1 (ml)
1	5	200	0.025
2	5	200	0.05
3	5	200	0.075
4	5	200	0.1
5	5	200	0.125

### 3. Tabel Data Kurva Kalibrasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
1	0.167
2	0.399
3	0.574
4	0.778
5	0.954

### 4. Pembuatan Larutan MB 20 ppm

Larutan 20 ppm dibuat dengan mengencerkan larutan stok 200 ppm dengan aqua DM dalam labu ukur 50 ml.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$200 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 5 \text{ ml}$$



## LAMPIRAN E DATA ADSORPSI

### 1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{W}$$

$$\%removal = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$$

$$fp = \frac{\text{volume larutan setelah pengenceran (mL)}}{\text{volume larutan awal yang dipipet (mL)}}$$

Keterangan:

- $Q_t$  = Kapasitas adsorpsi pada waktu tertentu (mg/g)  
 $C_0$  = Konsentrasi awal MB (mg/L)  
 $C_t$  = Konsentrasi akhir MB setelah adsorpsi (mg/L)  
 $V$  = Volume adsorbat (L)  
 $W$  = Massa adsorben (mg)  
 $F_p$  = Faktor pengenceran

### 2. Tabel Data Adsorpsi MB

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal ( $C_0$ ) (ppm)	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	a	b	R2	Fp	Absorbansi (y)	Konsentrasi Akhir ( $C_t$ )(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi ( $Q_e$ )(mg/g)	%removal
MCM-41												
15	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.921	19.13268	0.867321	4.336603	4.336603
30	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.881	18.30666	1.69334	8.466701	8.466701
45	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.828	17.21218	2.787816	13.93908	13.93908
60	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.805	16.73722	3.262777	16.31389	16.31389

75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.8	16.63397	3.36603	16.83015	16.83015
ZIF-8												
15	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.899	19.8348	0.16520 4	0.82602	0.82602
30	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.88	19.29788	0.70211 7	3.510583	3.510583
45	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	10	0.342	17.94011	2.05988 6	10.29943	10.29943
60	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.845	17.56324	2.43675 8	12.18379	12.18379
75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.846	17.58389	2.41610 7	12.08054	12.08054
MCM-41/ZIF-8												
15	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.875	18.18276	1.81724 3	9.086216	9.086216
30	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.856	17.7904	2.20960 2	11.04801	11.04801
45	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.842	17.50129	2.49870 9	12.49355	12.49355

60	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.826	17.17088	2.82911 7	14.14559	14.14559
75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.823	17.10893	2.89106 9	14.45534	14.45534
CDs												
15	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.708	14.73412	5.26587 5	26.32938	26.32938
30	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.681	14.17656	5.82343 8	29.11719	29.11719
45	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.649	13.51575	6.48425 4	32.42127	32.42127
60	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.642	13.37119	6.62880 7	33.14404	33.14404
75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	10	0.254	13.39701	6.60299 4	33.01497	33.01497
CMZ (2,5)												
15	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.679	14.13526	5.86473 9	29.3237	29.3237
30	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.579	12.07021	7.92978 8	39.64894	39.64894

45	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.561	11.6985	8.30149 7	41.50749	41.50749
60	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.549	11.4507	8.54930 3	42.74652	42.74652
75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.552	11.51265	8.48735 2	42.43676	42.43676
CMZ (5)												
15	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.692	14.40372	5.59628 3	27.98141	27.98141
30	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.642	13.37119	6.62880 7	33.14404	33.14404
45	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.636	13.24729	6.75271	33.76355	33.76355
60	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	10	0.251	13.24213	6.75787 3	33.78936	33.78936
75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.643	13.39184	6.60815 7	33.04078	33.04078
CMZ (10)												
15	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.7	14.56892	5.43107 9	27.15539	27.15539

30	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.679	14.13526	5.86473 9	29.3237	29.3237
45	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.639	13.30924	6.69075 9	33.45379	33.45379
60	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.637	13.26794	6.73206	33.6603	33.6603
75	20	0.01	0.05	0.193 7	- 0.005 5	0.998 6	4	0.636	13.24729	6.75271	33.76355	33.76355

## LAMPIRAN f PERHITUNGAN KINETIKA ADSORPSI

### 1. Perhitungan Pseudo Orde Satu Semu

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t$$

Dengan  $Q_{e,cal} = 2,303 \log$  intersep

$K_1 = -$  slope

### 2. Perhitungan Pseudo Orde Dua Semu

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e}$$

Dengan  $Q_{e,cal} = 1/\text{slope}$

$K_2 = (\text{slope})^2 / \text{intersep}$

### 3. Tabel Data Orde Satu Semu

waktu (t) (menit)	Qe (mg/g)	Qt (mg/g)	Qe-Qt	ln (Qe-Qt)
MCM-41				
15	4.336602994	16.8301497	12.49355	2.525212
30	8.466701084	16.8301497	8.363449	2.123871
45	13.93908105	16.8301497	2.891069	1.061626
60	16.31388745	16.8301497	0.516262	-0.66114
75	16.83014972	16.8301497	0	0
ZIF-8				
15	6.608156944	12.1837894	5.575632	1.718406
30	10.63500258	12.1837894	1.548787	0.437472
45	10.29943211	12.1837894	1.884357	0.633587
60	12.18378936	12.1837894	0	0
75	12.08053691	12.1837894	0.103252	-2.27058
MCM-41/ZIF-8				
15	9.086215798	14.4553433	5.369128	1.680665
30	11.04801239	14.4553433	3.407331	1.225929
45	12.49354672	14.4553433	1.961797	0.673861
60	14.14558596	14.4553433	0.309757	-1.17197
75	14.45534331	14.4553433	0	0
CDs				
15	26.32937532	33.1440372	6.814662	1.919076
30	29.11719153	33.1440372	4.026846	1.392983
45	32.42127001	33.1440372	0.722767	-0.32467
60	33.14403717	33.1440372	0	0
75	33.01497161	33.1440372	0.129066	-2.04743
CMZ (2,5)				
15	29.32369644	42.7465152	13.42282	2.596956

30	39.64894166	42.7465152	3.097574	1.130619
45	41.5074858	42.7465152	1.239029	0.214328
60	42.74651523	42.7465152	0	0
75	42.43675787	42.7465152	0.309757	-1.17197
CMZ (5)				
15	27.98141456	33.789365	5.80795	1.759228
30	33.14403717	33.789365	0.645328	-0.438
45	33.76355188	33.789365	0.025813	-3.65687
60	33.789365	33.789365	0	0
75	33.04078472	33.789365	0.74858	-0.28958
CMZ (10)				
15	27.15539494	33.7635519	6.608157	1.888305
30	29.32369644	33.7635519	4.439855	1.490622
45	33.45379453	33.7635519	0.309757	-1.17197
60	33.66029943	33.7635519	0.103252	-2.27058
75	33.76355188	33.7635519	0	0

#### 4. Tabel Data Orde Dua Semu

waktu (t) (menit)	Qe (mg/g)	Qt (mg/g)	Qe-Qt	t/Qe
MCM-41				
15	4.336602994	16.8301497	12.49355	3.458929
30	8.466701084	16.8301497	8.363449	3.543293
45	13.93908105	16.8301497	2.891069	3.228333
60	16.31388745	16.8301497	0.516262	3.677848
75	16.83014972	16.8301497	0	4.456288
ZIF-8				
15	6.608156944	12.1837894	5.575632	2.269922
30	10.63500258	12.1837894	1.548787	2.820874
45	10.29943211	12.1837894	1.884357	4.369173
60	12.18378936	12.1837894	0	4.924576
75	12.08053691	12.1837894	0.103252	6.208333
MCM-41/ZIF-8				
15	9.086215798	14.4553433	5.369128	1.650852
30	11.04801239	14.4553433	3.407331	2.715421
45	12.49354672	14.4553433	1.961797	3.60186
60	14.14558596	14.4553433	0.309757	4.241606
75	14.45534331	14.4553433	0	5.188393
CDs				
15	26.32937532	33.1440372	6.814662	0.569706
30	29.11719153	33.1440372	4.026846	1.030319
45	32.42127001	33.1440372	0.722767	1.387978
60	33.14403717	33.1440372	0	1.81028

75	33.01497161	33.1440372	0.129066	2.271697
CMZ (2,5)				
15	29.32369644	42.7465152	13.42282	0.511532
30	39.64894166	42.7465152	3.097574	0.756641
45	41.5074858	42.7465152	1.239029	1.084142
60	42.74651523	42.7465152	0	1.403623
75	42.43675787	42.7465152	0.309757	1.767336
CMZ (5)				
15	27.98141456	33.789365	5.80795	0.53607
30	33.14403717	33.789365	0.645328	0.90514
45	33.76355188	33.789365	0.025813	1.332798
60	33.789365	33.789365	0	1.775707
75	33.04078472	33.789365	0.74858	2.269922
CMZ (10)				
15	27.15539494	33.7635519	6.608157	0.552376
30	29.32369644	33.7635519	4.439855	1.023063
45	33.45379453	33.7635519	0.309757	1.345139
60	33.66029943	33.7635519	0.103252	1.782515
75	33.76355188	33.7635519	0	2.22133

#### 5. Tabel Perhitungan Orde Satu Semu

	r2	K1=- slope	intercept (b)=lnqe	Qecal
mcm41	0.8351	0.0522	3.3605	1.212308
zif	0.9292	0.07711	4.059	1.401189
mz	0.664	0.0384	2.2095	0.792909
cd	0.8926	0.0622	2.9858	1.094065
cmz 2,5	0.9503	0.0578	3.1545	1.149037
cmz 5	0.0872	0.0244	0.5728	-0.55732
cmz 10	0.4613	0.0503	2.2486	0.810454

#### 6. Tabel Perhitungan Orde Dua Semu

K=slope kuadr	R2	Qecal=1/slope	ax	b
0.004786705	0.9973	36.63004	0.0273	0.1557
0.013384776	0.9973	34.60208	0.0289	0.0624
0.002833927	0.9958	47.39336	0.0211	0.1571
0.004901826	0.9984	35.84229	0.0279	0.1588
0.003651346	0.9939	17.45201	0.0573	0.8992
0.002016544	0.59	-5.44959	-0.1835	16.698
6.64557E-05	0.5188	70.42254	0.0142	3.0342



## LAMPIRAN G DATA FOTOKATALITIK

### 1. Perhitungan Uji Fotokatalitik

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{W}$$

$$\%removal = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$$

$$fp = \frac{\text{volume larutan setelah pengenceran (mL)}}{\text{volume larutan awal yang dipipet (mL)}}$$

Dengan:

C<sub>0</sub> = konsentrasi awal MB (ppm)

C<sub>t</sub> = konsentrasi akhir MB (ppm)

V = volume adsorbat (ml)

W = massa adsorben (mg)

F<sub>p</sub> = faktor pengenceran

## 2. Data Fotokatalitik

### 2.1 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik ZIF-8

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal (ppm)	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ct)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.899	19.47288393	0.52712	2.6355803	2.6355803	0.973644
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.88	18.94576787	1.05423	5.2711607	5.2711607	0.947288
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	10	0.342	17.61277243	2.38723	11.936138	11.936138	0.880639
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.845	17.2427775	2.75722	13.786113	13.786113	0.862139
15	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	10	0.326	17.11409396	2.88591	14.42953	14.42953	0.855705
30	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.696	14.48631905	5.51368	27.568405	27.568405	0.724316
45	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.662	13.78420237	6.2158	31.078988	31.078988	0.68921
60	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.649	13.515746	6.48425	32.42127	32.42127	0.675787
75	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.647	13.47444502	6.52555	32.627775	32.627775	0.673722

### 2.2 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik MCM-41

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ce)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.921	18.78357831	1.21642	6.0821085	6.0821085	0.939179
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.881	17.97263051	2.02737	10.136847	10.136847	0.898632
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.828	16.89812468	3.10188	15.509377	15.509377	0.844906
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.805	16.4318297	3.56817	17.840851	17.840851	0.821591
15	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.796	16.55136809	3.44863	6.8972638	17.24316	0.827568
30	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.803	16.69592153	3.30408	6.6081569	16.520392	0.834796
45	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.798	16.59266908	3.40733	6.8146618	17.036655	0.829633
60	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.803	16.69592153	3.30408	6.6081569	16.520392	0.834796
75	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.79	16.42746515	3.57253	7.1450697	17.862674	0.821373

2.3 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik MCM-41/ZIF-8

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ce)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.875	17.85098834	2.14901	10.745058	10.745058	0.892549
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.856	17.46578814	2.53421	12.671059	12.671059	0.873289
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.842	17.18195641	2.81804	14.090218	14.090218	0.859098
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.826	16.85757729	3.14242	15.712114	15.712114	0.842879
15	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	10	0.32	16.8043366	3.19566	6.3913268	15.978317	0.840217
30	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	10	0.296	15.56530718	4.43469	8.8693856	22.173464	0.778265
45	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.662	13.78420237	6.2158	12.431595	31.078988	0.68921
60	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.65	13.53639649	6.4636	12.927207	32.318018	0.67682
75	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.64	13.32989158	6.67011	13.340217	33.350542	0.666495

2.4 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik CDs

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal (ppm)	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ce)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.708	14.4652813	5.53472	27.673594	27.673594	0.723264
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.681	13.91789154	6.08211	30.410542	30.410542	0.695895
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.649	13.2691333	6.73087	33.654334	33.654334	0.663457
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.642	13.12721744	6.87278	34.363913	34.363913	0.656361
15	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.894	9.28755808	10.7124	53.56221	53.56221	0.464378
30	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.623	3.244708312	16.7553	83.776458	83.776458	0.162235
45	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.641	3.337635519	16.6624	83.311822	83.311822	0.166882
60	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.636	3.311822406	16.6882	83.440888	83.440888	0.165591
75	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.593	3.089829633	16.9102	84.550852	84.550852	0.154491

2.5 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik 2,5 CMZ

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ce)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.679	13.87734415	6.12266	30.613279	30.613279	0.693867
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.579	11.84997466	8.15003	40.750127	40.750127	0.592499
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.561	11.48504815	8.51495	42.574759	42.574759	0.574252
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.549	11.24176381	8.75824	43.791181	43.791181	0.562088
15	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.827	8.595766649	11.4042	57.021167	57.021167	0.429788
30	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.714	3.71450697	16.2855	81.427465	81.427465	0.185725
45	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.656	3.415074858	16.5849	82.924626	82.924626	0.170754
60	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.642	3.342798141	16.6572	83.286009	83.286009	0.16714
75	20	0.01	0.05	0.1937	-0.0055	0.9986	1	0.64	3.332472896	16.6675	83.337636	83.337636	0.166624

2.6 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik 5 CMZ

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ce)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.692	14.14090218	5.8591	29.295489	29.295489	0.707045
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.642	13.12721744	6.87278	34.363913	34.363913	0.656361
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.636	13.00557527	6.99442	34.972124	34.972124	0.650279
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	10	0.251	13.00050684	6.99949	34.997466	34.997466	0.650025
15	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.871	9.050077439	10.9499	21.899845	54.749613	0.452504
30	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.811	8.430562726	11.5694	23.138875	57.847186	0.421528
45	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.796	8.275684047	11.7243	23.448632	58.62158	0.413784
60	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.373	7.816210635	12.1838	24.367579	60.918947	0.390811
75	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.378	7.919463087	12.0805	24.161074	60.402685	0.395973
90	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.372	7.795560145	12.2044	24.40888	61.022199	0.389778

2.7 Tabel Data Aktivitas Fotokatalitik 10 CMZ

Waktu Kontak (min)	Konsentrasi Awal	Massa Adsorben (gr)	Volume (L)	A	B	R2	Fp	Absorbansi	Konsentrasi Akhir (Ce)(mg/L)	Co-Ct	Kapasitas Adsorpsi (Qe)(mg/g)	%Removal	Ct/Co
-45	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.7	14.30309174	5.69691	28.484541	28.484541	0.715155
-30	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.679	13.87734415	6.12266	30.613279	30.613279	0.693867
-15	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.639	13.06639635	6.9336	34.668018	34.668018	0.65332
0	20	0.01	0.05	0.1973	-0.0055	0.9986	4	0.637	13.02584896	6.97415	34.870755	34.870755	0.651292
15	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.566	11.80175529	8.19824	16.396489	40.991224	0.590088
30	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.813	8.451213216	11.5488	23.097574	57.743934	0.422561
45	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	2	0.775	8.058853898	11.9411	23.882292	59.705731	0.402943
60	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.378	7.919463087	12.0805	24.161074	60.402685	0.395973
75	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.384	8.04336603	11.9566	23.913268	59.78317	0.402168
90	20	0.01	0.02	0.1937	-0.0055	0.9986	4	0.382	8.002065049	11.9979	23.99587	59.989675	0.400103

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Nourma Sulistyowati lahir di Gresik, 5 Januari 2002, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di MI Modern Sunan Giri (YIS), SMPN 2 Kebomas dan SMAN 1 Manyar. Setelah lulus dari SMA tahun 2020, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Kimia FSAD-ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5004201063. Di Departemen Kimia ini, Penulis mengambil bidang penelitian kimia anorganik tentang fotokatalis di bawah bimbingan Prof. Dra. Ratna Ediati, M.S., Ph.D. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh Departemen Kimia dan aktif sebagai Asisten Praktikum kimia dasar. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik (email) dengan alamat [nourmasulistyowati@gmail.com](mailto:nourmasulistyowati@gmail.com).