

**ADSORPSI ZAT WARNA *MALACHITE GREEN* DAN *CONGO RED*
DENGAN MENGGUNAKAN SILIKA MESOPORI MCM-48**

**ADSORPTION OF *MALACHITE GREEN* AND *CONGO RED* COLORS
USING MESOPORIC SILICA MCM-48**

FARIDATUN SHOLEHAH

H012191020



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

**ADSORPSI ZAT WARNA MALACHITE GREEN DAN CONGO RED
DENGAN MENGGUNAKAN SILIKA MESOPORI MCM-48**

Disusun dan diajukan oleh

**FARIDATUN SHOLEHAH
NOMOR POKOK: H012191020**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 27 januari 2022
Dan dinyatakan memenuhi syarat

Menyetujui:
Komisi penasehat



Prof. Dr. Paulina Taba, M.Phil



Dr. Yusafir Hala, M.Si

Ketua Program Studi
Magister Kimia



Dr. Hasnah Natsir, MS.i

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng Amiruddin, M.Si

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Faridatun Sholehah
Nim : H012191020
Program Studi : Kimia
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Adsorpsi Zat Warna *Malachite Green* dan *Congo Red* Dengan Menggunakan Silika Mesopori MCM-48

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 4 Februari 2022

Yang menyatakan

(Faridatun Sholehah)



PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayah serta ilmu pengetahuan yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Berhasilnya penyusunan tesis dengan judul "**Adsorpsi Zat Warna *Malachite Green* dan *Congo Red* dengan menggunakan Silika Mesopori MCM-48**" menandakan berakhirnya suatu dimensi perjuangan syarat akan makna dan penuh kenangan dalam menggapai ilmu di Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Kampus Merah Universitas Hasanuddin.

Penulis sadar bahwa segala bentuk suka maupun duka merupakan bagian yang tak terpisahkan dalam kehidupan ini, begitu pula dalam penelitian dan penyusunan tesis ini. Penulis dapat mengatasinya berkat bantuan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada **Ibu Prof. Dr. Paulina Taba M.Phill** selaku ketua komisi penasehat dan **bapak Dr. Yusafir Hala, M.Si** selaku komisi penasehat, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dengan penuh kesabaran dan pengertian dalam memberikan ilmu yang tak ternilai selama penelitian dan penyusunan tesis sehingga berbagai kendala dapat diatasi serta ucapan maaf atas segala kesalahan selama persiapan penelitian hingga penyusunan tesis ini selesai. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. **Ibu Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc, Bapak Dr. Firdaus Zenta, M.S, Ibu Dr. Hasnah Natsir M.Si** selaku komisi penilai, terimakasih masukan yang telah diberikan demi penyempurnaan penulisan tesis.
2. **Ibu Dr. Hasnah Natsir M.Si** selaku Ketua Program Studi Kimia Pascasarjana Unhas beserta dosen dan **Staf Departemen** Kimia yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia.
3. Tesis ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua penulis, **Ayahanda H. Muhdar** dan **Ibunda Hj. Nafisah** tercinta untuk perhatian, pengorbanan, kasih sayang, kesabaran, dukungan materi dan ketulusan doa yang tiada henti bagi penulis. Semoga Allah SWT membalas pengorbanan mereka dengan Jannah-Nya. Sodara dan keluarga besar penulis **M. Khalid Rijaluddin, Ishma Humaidatur Rasyida dan Bunda Siti Shalehah** serta **Keluarga besar** yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan.
4. Seluruh **Analisis laboratorium kimia** Departemen Kimia, Universitas
5. **BAHRUN, Wahidah Febrya R, Elva Sihaya, Besse Illang Sari, Nurul Riski Arini, dan Ni Putu Kasturiasi** terima kasih yang selalu meluangkan waktu membantu, merawat disaat suka duka serta kenangan-kenangan yang tak terlupakan selama berada dikampus. Semoga ALLAH membalas semua kebaikannya.
6. Sahabat-Sahabat ku **Jumratun Tri Novianti, lin Indriani, Basecamp 2014, TBB_Aypot, RHSM, AX_KAPAK**, yang selalu setia mendukung semua hal yang saya lakukan.

7. Saudara-saudaraku **kimia 2019 “OKS19EN”**, Terima kasih atas semangat, rasa persaudaraan, penghibur dikala suka dan duka, serta memberikan pengalaman yang sangat berharga dalam kehidupan kampus dan untuk kepribadianku.
8. Rekan penelitian **Kak Kolo, Kak Ida, Kak Ina, Kak Miftah, Kak Andin, Liki, Desy, Irma, dan Kak lin, kak sam, serta adik-adik S1** terima kasih atas kerja sama dan bantuannya.
2. **Semua pihak** yang tidak sempat disebut namanya yang telah memberikan bantuan, dukungan dan doa kepada penulis.

Penulisan tesis ini tidak luput dari kekhilafan, maka dari itu penulis sangat menghargai apabila ada kritik dan saran demi penyempurnaan tesis dan perkembangan ilmu pengetahuan serta penelitian kedepannya. Semoga tesis ini bernilai ibadah di sisi Allah SWT dan dapat memberikan kepada kita semua. Aamiin Allahumma Aamiin

Makassar, Januari 2022

Penulis

ABSTRAK

FARIDATUN SHOLEHAH. Adsorpsi Zat Warna *Malachite Green* dan *Congo Red* dengan menggunakan Silika Mesopori MCM-48.

Sintesis silika mesopori MCM-48 dengan metode hidrotermal dilakukan untuk mengadsorpsi limbah zat warna *malachite green* (MG) dan *congo red* (CR) dari larutan berair. Material disintesis menggunakan ludox HS40 sebagai sumber silika, surfaktan berupa CTAB dan Triton X-100 sebagai *template*. Surfaktan kemudian dihilangkan sebagian melalui pencucian 1 kali (MCM-48 C1) dan 2 kali (MCM-48 C2) dengan campuran HCl-etanol. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan Barret-Joyner-Hallenda (BJH). Kemampuan adsorpsi MCM-48 dipelajari dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi adsorbat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum adsorpsi MG oleh MCM-48 TC dan MCM-48 C1 sebesar 75 menit dan untuk MCM-48 C2 sebesar 90 menit, sedangkan waktu optimum CR untuk ketiga sampel berturut-turut 20 menit untuk MCM-48 TC dan 25 menit untuk MCM-48 C1 dan MCM-48 C2. Melalui percobaan kinetika dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi untuk semua sampel mengikuti model kinetika persamaan orde dua semu. Berdasarkan permodelan isoterm adsorpsi, adsorpsi MCM-48 mengikuti model isoterm Langmuir baik pada zat warna MG maupun CR. Kapasitas adsorpsi yang MCM-48 TC lebih tinggi dari pada sampel setelah dilakukan pencucian 1 kali dan 2 kali dari kedua zat warna. Rasio desorpsi yang baik menggunakan suhu 70 °C dibandingkan dengan suhu yang lain. Hasil ini menunjukkan bahwa bahan MCM-48 yang memiliki jumlah surfaktan yang lebih banyak menjanjikan untuk digunakan sebagai adsorben zat warna dan silika mesopori dapat direkomendasikan sebagai adsorben yang baik.

Kata kunci: adsorpsi, silika mesopori MCM-48, *malachite green*, *congo red*.

ABSTRACT

FARIDATU SHOLEHAH. Adsorption of Malachite Green and Congo Red Dyes using Mesoporous Silica MCM-48.

Mesoporous silica MCM-48 was synthesized by hydrothermal method to adsorb malachite green (MG) and congo red (CR) dye waste from an aqueous solution. The material was synthesized using Ludox HS40 as a silica source, a surfactant in CTAB, and Triton X-100 as a template. The surfactant was then partially removed by washing one time (MCM-48 C1) and two times (MCM-48 C2) with a mixture of HCl-ethanol. Characterization using X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infra-Red (FTIR) spectroscopy, Scanning Electron Microscope (SEM), and Barret-Joyner-Hallenda (BJH). MCM-48 adsorption ability by varying the contact time and adsorbate concentration. The results showed that the optimum time for MG adsorption by MCM-48 TC and MCM-48 C1 was 75 minutes, and for MCM-48 C2 was 90 minutes. Meanwhile, the optimum CR time for the three samples was 20 minutes for MCM-48 TC and 25 minutes for MCM-48 C1 and MCM-48 C2, respectively. Through kinetic experiments, the adsorption process for all samples follows the kinetics model of pseudo-second order equations. Based on the adsorption isotherm modeling, the adsorption of MCM-48 followed the Langmuir isotherm model for both MG and CR dyes. The adsorption capacity of MCM-48 TC was higher than the sample after washing one time and two times for both dyes. A good desorption ratio using a temperature of 70 °C compared to different temperatures. These results indicate that the MCM-48 material, which has a higher amount of surfactant, promises to be used as an adsorbent for dyestuffs, and mesoporous silica can be recommended as a promising adsorbent.

Keywords: adsorption, mesoporous silica MCM-48, malachite green, congo red.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Zat Warna dan Dampaknya	10
1. Zat Warna Alam	11
2. Zat Warna Sintetik	12
B. Zat Warna Tekstil	13
1. <i>Malachite Green</i>	14
2. <i>Congo Red</i>	15
C. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	17

D. Isoterm Adsorpsi	18
1. Isoterm Langmuir	19
2. Isoterm Freundlich	20
E. Kinetika Reaksi	21
F. Silika Mesopori	22
1. Sintesis Silika Mesopori MCM-48	24
2. Karakterisasi Silika Mesopori MCM-48	26
3. Aplikasi Silika Mesopori MCM-48	32
G. Desorpsi	34
H. Kerangka Pikir	35
I. Hipotesis	38
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Alat dan Bahan	39
1. Alat Penelitian	39
2. Bahan Penelitian	39
B. Waktu dan Tempat Penelitian	39
C. Prosedur Kerja	40
1. Sintesis Silika Mesopori MCM-48	40
2. Karakterisasi Silika Mesopori MCM-48	41
3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna	43
4. Penentuan Waktu Optimum Zat Warna	44
5. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Zat Warna oleh Silika Mesopori MCM-48	44
6. Efektivitas Adsorpsi Zat Warna MG dan CR oleh MCM-48	46
7. Desorpsi Zat Warna MG dan CR oleh MCM-48	46

BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Silika Mesopori MCM-48	48
1. Karakterisasi MCM-48 dengan XRD	48
2. Karakterisasi MCM-48 dengan FTIR	50
3. Karakterisasi MCM-48 dengan SEM	54
4. Karakterisasi Luas Permukaan MCM-48	55
5. Karakterisasi MCM-48 dengan BJH	57
B. Pengaruh Waktu Kontak dan Kinetika Reaksi pada Adsorpsi MG oleh MCM-48 TC	60
C. Pengaruh Waktu Kontak dan Kinetika Reaksi pada Adsorpsi CR oleh MCM-48 TC	64
D. Penentuan Kapasitas Adsorpsi MG oleh MCM-48	68
E. Penentuan Kapasitas Adsorpsi CR oleh MCM-48	72
F. Efektivitas Adsorpsi Zat Warna MG dan CR oleh MCM-48	77
G. Desorpsi Zat Warna MG dan CR oleh MCM-48	80

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	82
B. Saran	83

DAFTAR PUSTAKA	84
-----------------------	----

LAMPIRAN	103
-----------------	-----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik zat warna <i>Malachite Green</i>	14
2. Perbandingan metode sintesis MCM-48	25
3. Perbandingan bilangan gelombang MCM-48 setelah adsorpsi	53
4. Hasil analisis dengan metode BJH	57
5. Data parameter orde satu dan orde dua semu MG oleh MCM-48	63
6. Data parameter orde satu dan orde dua semu CR oleh MCM-48	67
7. Data parameter isotherm adsorpsi MG oleh MCM-48	71
8. Data parameter isotherm adsorpsi CR oleh MCM-48	75
9. Penelitian terkait adsorpsi MG dan CR	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia molekul <i>malachite green</i>	15
2. Struktur kimia molekul <i>congo red</i>	16
3. Struktur dari material mesopori dari golongan M41S	23
4. Spektrum XRD MCM-48	27
5. Spektrum FTIR dan SEM MCM-48	27
6. Tipe Isoterm menurut IUPAC	29
7. Kategori loop Histerisis	31
8. Kerangka pikir penelitian	37
9. Pola difraksi sinar X MCM-48 TC	49
10. Spektrum FTIR MCM-48 sebelum adsorpsi	50
11. Spektrum FTIR MCM-48 setelah adsorpsi	52
12. Hasil SEM MCM-48 sebelum adsorpsi	54
13. Hasil SEM MCM-48 setelah adsorpsi	55
14. Luas permukaan dengan metode Metilen biru	56
15. Isoterm adsorpsi/desorpsi N ₂ pada MCM-48 TC	58
16. Isoterm adsorpsi/desorpsi N ₂ pada MCM-48 C1	58
17. Isoterm adsorpsi/desorpsi N ₂ pada MCM-48 C2	59
18. Waktu adsorpsi MG oleh MCM-48	60
19. Kurva orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorpsi MG oleh MCM-48 TC	62
20. Kurva orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorpsi MG oleh MCM-48 C1.	62

21.	Kurva orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorpsi MG oleh MCM-48 C2.	62
22.	Waktu adsorpsi CR oleh MCM-48	64
23.	Kurva orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorpsi CR oleh MCM-48 TC.	66
24.	Kurva orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorpsi CR oleh MCM-48 C1.	66
25.	Kurva orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorpsi CR oleh MCM-48 C2.	66
26.	Pengaruh konsentrasi dan Kurva Isoterm adsorpsi MG oleh MCM-48 TC.	68
27.	Pengaruh konsentrasi dan Kurva Isoterm adsorpsi MG oleh MCM-48 C1.	69
28.	Pengaruh konsentrasi dan Kurva Isoterm adsorpsi MG oleh MCM-48 C2.	70
29.	Pengaruh konsentrasi dan Kurva Isoterm adsorpsi CR oleh MCM-48 TC.	72
30.	Pengaruh konsentrasi dan Kurva Isoterm adsorpsi CR oleh MCM-48 C1.	73
31.	Pengaruh konsentrasi dan Kurva Isoterm adsorpsi CR oleh MCM-48 C2.	74
32.	Efektivitas Adsorpsi Zat Warna MG dan CR oleh MCM-48	77
33.	Ilustrasi Interaksi Adsorben dengan Zat Warna MG	78
34.	Ilustrasi Interaksi Adsorben dengan Zat Warna CR	79
35.	Desorpsi zat warna MG dan CR oleh MCM-48	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Bagan kerja	103
2. Dokumentasi penelitian	110
3. Data karakterisasi FTIR	115
4. Data karakterisasi SEM	122
5. Penentuan luas permukaan dengan metilen biru	127
6. Data BJH	131
7. Data penentuan Panjang gelombang maksimum	140
8. Data absorbansi kurva standar zat warna	142
9. Penentuan waktu optimum adsorpsi MG oleh MCM-48 TC	144
10. Data kinetika reaksi adsorpsi MG oleh MCM-48 TC	145
11. Penentuan waktu optimum adsorpsi MG oleh MCM-48 C1	147
12. Data kinetika reaksi adsorpsi MG oleh MCM-48 C1	148
13. Penentuan waktu optimum adsorpsi MG oleh MCM-48 C2	150
14. Data kinetika reaksi adsorpsi MG oleh MCM-48 C2	151
15. Penentuan waktu optimum adsorpsi CR oleh MCM-48 TC	153
16. Data kinetika reaksi adsorpsi CR oleh MCM-48 TC	154
17. Penentuan waktu optimum adsorpsi CR oleh MCM-48 C1	156
18. Data kinetika reaksi adsorpsi CR oleh MCM-48 C1	157
19. Penentuan waktu optimum adsorpsi CR oleh MCM-48 C2	159
20. Data kinetika reaksi adsorpsi CR oleh MCM-48 C2	160

21. Penentuan kapasitas adsorpsi MG oleh MC-48 TC	162
22. Penentuan kapasitas adsorpsi MG oleh MC-48 C1	165
23. Penentuan kapasitas adsorpsi MG oleh MC-48 C2	168
24. Penentuan kapasitas adsorpsi CR oleh MC-48 TC	171
25. Penentuan kapasitas adsorpsi CR oleh MC-48 C1	174
26. Penentuan kapasitas adsorpsi CR oleh MC-48 C2	177
27. Efektivitas adsorpsi zat warna MG dan CR oleh MCM-48	180
28. Desorpsi zat warna MG dan CR oleh MCM-48	182

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/ Singkatan	Arti dan keterangan
MCM-48	<i>Mobile composition of materials number 48</i>
MCM-48 TC	MCM-48 tanpa cuci
MCM-48 C1	MCM-48 cuci satu kali
MCM-48 C2	MCM-48 cuci dua kali
MG	<i>Malachite Green</i>
CR	<i>Congo Red</i>
STAB	Setil Trimetil Amonium Bromida
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
BET	Brunaure-Emmet-Teller
BJH	<i>Barret Joyner Hallenda</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Polusi yang diakibatkan oleh bahan kimia beracun dan berbahaya telah menjadi masalah global yang serius dan diperkirakan akan memburuk di tahun-tahun mendatang. Hal ini berbanding lurus dengan banyaknya industri manufaktur seperti zat warna, tekstil, kertas, kapas, sutra, plastik, kosmetik, farmasi dan industri makanan (El Messaoudi *et al.*, 2016; Haji dan Naebe, 2020). Industri ini menggunakan zat warna untuk mewarnai produk dengan volume yang besar sehingga permintaan bahan zat warna meningkat secara eksponensial. Akibatnya, produksi besar-besaran dan penggunaan zat warna seperti zat warna sintetik meningkat. Hal ini tidak dapat dihindari karena zat warna sintesis murah, tahan lama dan mudah didapat (El Messaoudi *et al.*, 2016; Deniz dan Kepekci, 2017).

Zat warna sintetik merupakan salah satu pencemar organik yang sulit terdegradasi secara alami (Cheng *et al.*, 2015). Zat warna sintetik sekitar 60–70% dari total zat warna yang digunakan dalam bahan kimia dan industri (Cheng *et al.*, 2015). Lebih dari 100.000 zat warna tersedia secara komersial. Jumlah produksi tahunan zat warna lebih dari 70.000 ton, di mana sekitar 15-20% dari zat warna dibuang ke lingkungan (Sen *et al.*, 2010; Arora, 2014).

Berdasarkan struktur kimia, zat warna sintetis diklasifikasikan dalam beberapa kategori seperti antrakuinon, nitro, tazin, trifenilmetana dan azo (Lau *et al.*, 2014; Benkhaya *et al.*, 2020; Tkaczyk *et al.*, 2020). Diantara zat warna sintetis komersial, zat warna trifenilmetana dan azo adalah zat warna sintetis yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam makanan, farmasi, kertas, kosmetik, tekstil dan industri kulit (Lipskikh *et al.*, 2018; Berradi *et al.*, 2019; Saratale *et al.*, 2011; Sri Devi *et al.*, 2020).

Salah satu golongan dari zat warna trifenilmetana yaitu zat warna *malachite green* (MG), sedangkan *congo red* (CR) merupakan golongan dari zat warna azo (Chandzu *et al.*, 2019; Choudhary *et al.*, 2020). Zat warna MG adalah zat warna kationik yang larut dalam air dan diklasifikasikan sebagai salah satu kontaminan yang sangat beracun (Mohammed *et al.*, 2019). Keberadaannya di lingkungan dalam konsentrasi tinggi dan untuk waktu yang lama dapat menyebabkan keracunan dan menyebabkan kanker pada manusia (Srivastava *et al.*, 2004). Sedangkan zat warna CR merupakan senyawa diazo anionik yang memiliki struktur yang sangat stabil dan sulit terdegradasi secara alami (Li *et al.*, 2020). Zat warna ini akan menyebabkan gangguan serius pada kesehatan makhluk hidup jika dibiarkan berada di lingkungan untuk jangka panjang (Ma *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2020). Pada proses pewarnaan, zat warna tidak 100% terserap tetapi sekitar 10-15% dilepaskan menjadi limbah. Keberadaannya berbahaya bagi lingkungan perairan, oleh karena itu diperlukan cara yang efektif untuk menghilangkan zat warna tersebut (Foroughi-Dahr *et al.*, 2014).

Metode-metode yang telah digunakan untuk menangani permasalahan penghilangan zat warna pada limbah cair adalah proses pertukaran ion (Mohebbali *et al.*, 2019), membran (Kumar *et al.*, 2018), ultrafiltrasi (Hou *et al.*, 2011), nanofiltrasi (Wang *et al.*, 2018), mineralisasi (Lade *et al.*, 2015), koagulasi-flokulasi (Habiba *et al.*, 2017), fotokatalisis (Naseem *et al.*, 2018) dan adsorpsi (Chanzu *et al.*, 2019; Qu *et al.*, 2019; Eltaweil *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2020). Metode yang banyak digunakan untuk menghilangkan limbah zat warna adalah adsorpsi. Metode adsorpsi merupakan suatu teknik yang lebih efisien, sederhana, murah dan efektif (Ali *et al.*, 2018; Chanzu *et al.*, 2019).

Penelitian tentang adsorpsi zat warna CR dan MG dari limbah cair industri telah dilakukan oleh Chanzu *et al.*, (2019) dengan menggunakan limbah biji-bijian yang dihasilkan dari pembuatan bir, kapasitas adsorpsi yang diperoleh adalah 2,55 mg/g untuk MG dan 36,5 mg/g untuk zat warna CR. Data adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dan kinetika orde dua semu. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Qu *et al.*, (2019) dengan menggunakan karbon aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gugus asam kuat pada karbon aktif memiliki pengaruh yang merugikan pada adsorpsi MG, sedangkan total luas permukaan spesifik memiliki efek penting, menunjukkan hubungan linier positif antara total luas permukaan spesifik dan kemampuan adsorpsi. Oleh karena itu, luas permukaan spesifik total dapat digunakan sebagai parameter kunci untuk menentukan kinerja adsorpsi MG pada karbon aktif. Jumadi *et al.* (2019), menggunakan

nanokomposit kitosan yang digunakan untuk penghilangan zat warna CR pada berbagai pH, waktu kontak, suhu dan konsentrasi zat warna. Hasil penelitian tersebut menunjukkan kapasitas adsorpsi terhadap zat warna CR sebesar 1,3 mg/g.

Hal yang paling penting dalam proses adsorpsi adalah adsorben, beberapa adsorben baik yang tidak berpori maupun yang berpori atau memiliki ruang antar lapisan, seperti polimer telah digunakan untuk mengadsorpsi zat warna (Adeyi *et al.*, 2019), abu layang (Maghfiroh, 2016), karbon aktif (Qu *et al.*, 2019), nanokomposit (Rajabi *et al.*, 2019), selulosa (Arnata *et al.*, 2019), kitosan (Chatterjee *et al.*, 2010), tempurung *Limonia acidissima* (Sartape *et al.*, 2017), zeolit (Wang dan Ariyanto, 2007), kerang walnut (Ali *et al.*, 2017), bulu ayam (Mittal, 2006), biji-bijian dari limbah pembuatan bir (Chanzu *et al.*, 2019), dan silika mesopori (Shaban *et al.*, 2017; Arellano *et al.*, 2020). Faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan adsorben adalah luas permukaan dan volume pori-pori yang besar sehingga, adsorben dapat menyerap adsorbat dengan baik. Adsorben hasil sintetik memiliki keunggulan karena material dapat dibuat dengan ukuran pori tertentu sesuai dengan kebutuhan sehingga akan lebih efektif dalam penggunaannya sebagai adsorben (Oladipo dan Gazi 2014; Burakova *et al.*, 2018).

Silika mesopori telah menarik perhatian para peneliti sejak penemuan *molecular sieves mesopori* (M41S) oleh ilmuwan *Mobil Oil Corporation* (Beck *et al.*, 1992; Kresge *et al.*, 1992), M41S terbagi menjadi

tiga jenis yaitu *Mobile Composition of Materials number* (MCM-41, MCM-48 dan MCM-50). Material tersebut berturut-turut memiliki struktur heksagonal (Beck *et al.*, 1992; Matsumoto *et al.*, 1999), struktur pori kubik dan struktur lamellar yang tidak stabil dan mudah pecah pada proses kalsinasi suhu tinggi (Sayari, 1996; Nejat *et al.*, 2015). Silika mesopore MCM-48, merupakan material dengan ukuran pori meso, material ini memiliki luas permukaan yang tinggi, pori yang teratur dengan distribusi ukuran pori yang sempit, volume pori yang besar dan memiliki biokompatibilitas yang tinggi (Anbia dan Gaffar 2011; Kim *et al.*, 2013). Oleh karena itu MCM-48 banyak digunakan sebagai bahan katalis dalam reaksi-reaksi organik dan proses adsorpsi (Kang *et al.*, 2000; Raji dan Pakizeh 2013). Silika mesopori MCM-48 mempunyai beberapa kelebihan (Zhai *et al.*, 2004). Material ini memiliki saluran tiga dimensi yang memungkinkan partikel masuk dengan mudah ke dalam material karena pori-pori yang tidak terbatas pada satu arah saja, sehingga pemblokiran oleh molekul lain dapat dihindari (Taba, 2001).

Menurut Ryoo *et al.* (1999), surfaktan yang digunakan pada sintesis silika mesopori MCM-48 adalah setiltrimetilamonium bromida (STAB) yang merupakan surfaktan kationik dan Triton X-100 yang merupakan surfaktan netral. Pada proses adsorpsi, surfaktan yang ada dapat berinteraksi dengan zat warna yang mengandung gugus fungsi yang berkesesuaian dengan gugus surfaktan. Oleh karena itu, penggunaan MCM-48 sebagai adsorben sebelum pengeluaran dan setelah pengeluaran surfaktan dari material yang disintesis dapat dibandingkan. Pengeluaran sebagian surfaktan dari

MCM-48 juga telah dilakukan oleh Taba *et al.* (2020), dimana pencucian dengan HCl-etanol dapat melarutkan surfaktan yang menyebabkan pori-pori pada MCM-48 terbuka dan mendapatkan material yang memiliki rongga yang mengandung gugus silanol. Hasil cucian dengan HCl-etanol 1 kali dan 2 kali digunakan untuk megadsorpsi zat warna *brilliant scarlet*. Hasil menunjukkan bahwa MCM-48 yang dicuci 1 kali memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan yang dicuci 2 kali. Fakta ini menunjukkan bahwa surfaktan memegang peranan penting dalam adsorpsi.

Berdasarkan uraian sebelumnya, telah dilakukan sintesis MCM-48 dan digunakan sebagai adsorben zat warna MG dan CR. Dalam penelitian ini, MCM-48 yang masih mengandung surfaktan (MCM-48-TC) digunakan, karena surfaktan yang ada diasumsikan dapat berinteraksi dengan zat warna. Pengeluaran sebagian surfaktan dilakukan melalui pencucian dengan HCl-etanol untuk mendapatkan adsorben yang berpori (MCM-48 C1) dan dilakukan pencucian berulang dengan menggunakan HCl-etanol (MCM-48-C2). Adsorpsi MG dan CR oleh MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 dilakukan sebagai fungsi waktu dan konsentrasi. Sementara isoterm adsorpsi dipelajari dengan menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Desorpsi zat warna yang telah teradsorpsi merupakan bagian yang penting dari penelitian ini untuk mengetahui apakah adsorben dapat diregenerasi atau tidak. Pendesorpsi yang umumnya digunakan seperti HCl, NaCl, NaOH, etanol, metanol dan air (Mohammad *et al.*, 2020). Alkohol dan air banyak digunakan sebagai

pendesorpsi dikarenakan pelarut yang baik terhadap zat warna MG dan CR, akan tetapi pada penelitian ini adsorben MCM-48 yang masih mengandung surfaktan larut dalam alkohol. Berdasarkan fakta tersebut maka digunakan pendesorpsi air dengan suhu yang divariasikan untuk mengetahui persen desorpsi pada zat warna MG dan CR oleh MCM-48. Karakterisasi gugus fungsi yang terlibat dalam adsorpsi dipelajari dengan spektrometer *Fourier Transformn Infra Red* (FTIR).

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. bagaimana hasil karakterisasi MCM-48-TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 sebelum dan setelah mengadsorpsi zat warna MG dan zat warna CR?,
2. berapakah waktu optimum adsorpsi zat warna MG dan zat warna CR oleh MCM-48-TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2?,
3. bagaimanakah kinetika adsorpsi zat warna MG dan zat warna CR oleh MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan dan MCM-48 C2?,
4. model isoterm apakah yang sesuai dengan adsorpsi zat warna MG dan zat warna CR oleh MCM-48-TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 serta berapakah kapasitas adsorpsinya?,
5. berapakah persen desorpsi yang diperoleh untuk mengeluarkan zat warna MG dan zat warna CR yang teradsorpsi?,

6. manakah dari adsorben MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 yang paling baik dalam mengadsorpsi zat warna MG dan zat warna CR?

C. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mensintesis silika mesopori MCM-48 dan mengetahui kemampuan adsorpsi hasil sintesis silika mesopori MCM-48 terhadap zat warna MG dan CR.

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan hasil karakterisasi MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 sebelum dan setelah adsorpsi dengan MG dan CR,
2. menentukan waktu optimum adsorpsi MG dan CR oleh MCM-48 TC dan MCM-48 C1, MCM-48 C2,
3. menganalisis kinetika adsorpsi MG dan zat warna CR oleh MCM-48 TC dan MCM-48 C1, MCM-48 C2,
4. menganalisis model isoterm yang berlaku pada adsorpsi zat warna MG dan zat warna CR oleh MCM-48 TC, MCM-48 C1, dan MCM-48 C2 serta menentukan kapasitas adsorpsinya,
5. menganalisis persen desorpsi MCM-48 TC dan MCM-48 C1, MCM-48 C2 yang diperoleh untuk mengeluarkan zat warna MG dan zat warna CR yang teradsorpsi.
6. menentukan MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 yang paling baik dalam mengadsorpsi zat warna MG dan zat warna CR?

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. dapat memberikan data ilmiah tentang sintesis silika mesopori dari ketiga MCM-48,
2. dapat memberikan informasi tentang kemampuan silika mesopori MCM-48 untuk mengadsorpsizat warna MG dan CR,
3. dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna MG dan CR.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Zat Warna dan Dampaknya

Warna umumnya dapat didefinisikan sebagai bahan untuk mewarnai berbagai produk dalam kehidupan sehari-hari (Gupta dan Suhas, 2009; Noreen *et al.*, 2020). Aplikasi warna telah dikenal mulai dari zaman dahulu, sejak 3500 SM (Kant, 2012). Zat warna adalah salah satu bahan yang banyak diaplikasikan pada suatu proses industri termasuk tekstil, plastik, kulit, kosmetik, farmasi, kertas, percetakan dan makanan, (Kousha *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2015) yang digunakan untuk mewarnai produk (Pavithra *et al.*, 2019). Strukturnya beragam dan memiliki sifat kimia dan fisik yang berbeda (Belpaire *et al.*, 2015).

Zat warna adalah kelas polutan yang penting dan dapat diidentifikasi oleh mata manusia (Gupta dan Suhas, 2009). Banyaknya kebutuhan zat warna sebanding dengan jumlah limbah yang dihasilkan dari proses industri. Produksi zat warna diperkirakan lebih dari 100.000 ton yang diproduksi setiap tahunnya (Forgacs *et al.*, 2004) sehingga sekitar 15-20% dari proses produksi menjadi limbah dan dilepaskan ke lingkungan (Sen *et al.*, 2010).

Zat warna merupakan senyawa organik tak jenuh yang kompleks yang dapat menyerap cahaya dan memberi warna (Rehman *et al.*, 2020).

Zat warna dicirikan oleh kapasitasnya dalam menyerap radiasi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Molekul zat warna terdiri atas dua komponen utama yaitu kromofor yang berfungsi untuk menghasilkan warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dan meningkatkan afinitas (untuk melekat) terhadap serat (Belpaire *et al.*, 2015; Benkhaya *et al.*, 2020). Berdasarkan sumbernya zat warna dapat digolongkan menjadi zat warna alami dan warna sintetik (Amutha *et al.*, 2020).

1. Zat warna alami

Zat warna alami mendapat perhatian yang sangat besar karena sifatnya yang tidak beracun dan ramah lingkungan (Haji dan Naebe, 2020). Zat warna alami (pigmen) digunakan pada zaman kuno yang berasal dari bahan alami seperti hewan, tumbuhan atau dari sumber-sumber mineral. Contoh zat warna alami yang berasal dari hewan adalah *Cochineal* dan *Flamingo*. Zat warna alami tertua untuk tekstil, yang digunakan oleh manusia adalah zat warna indigo yang diperoleh dari tanaman *tinctoria Indigofera* (Samanta dan Agarwal, 2009; Haji dan Naebe, 2020). Zat warna alami memiliki struktur kimia yang beraneka ragam. Ada tiga golongan zat warna alami yang paling penting yaitu tetrapirrol, tetraterpenoid dan flavonoid (Rymbai *et al.*, 2011).

Zat warna alami dianggap lebih ramah lingkungan dan menghasilkan lebih sedikit limbah berbahaya selama proses pewarnaan dibandingkan dengan zat warna sintesis (Phan *et al.*, 2020). Namun secara umum kinerjanya lebih buruk karena tidak stabil, konsentrasi pigmen rendah,

keseagaman warna kurang baik dan spektrum warna terbatas terhadap serat tekstil. Sehingga industri tekstil melakukan inovasi untuk mengatasi masalah tersebut. Beberapa teknologi modifikasi permukaan dan curah telah dikembangkan untuk peningkatan daya celup serat tekstil dengan zat warna alami (Pavithra *et al.*, 2019; Haji dan Naebe, 2020).

2. Zat warna sintetik

Zat warna sintetik pertama kali ditemukan oleh William Perkin pada tahun 1865. Penemuan ini menyebabkan revolusi dalam industri zat warna dan memprakarsai produksi zat warna sintetik dalam skala global (Pereira dan Alves 2012). Zat warna sintetik yang pertama kali ditemukan oleh Parkin diberi nama, *Mauve* yang memberikan warna sangat terang (Saratele *et al.*, 2011).

Pada akhir abad ke-19, zat warna sintetik telah dikembangkan dan digunakan untuk tujuan industri (Saxena dan Raja, 2014). Zat warna sintetik menjadi standar dalam banyak aplikasi seperti dalam kosmetik, zat warna makanan dan tekstil karena dapat meningkatkan penampilan dengan beberapa keunggulan seperti efektif, stabil dan murah (Tkaczyk *et al.*, 2020). Di antara berbagai macam industri, sektor tekstil telah berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Zat warna sintetik yang berbeda-beda digunakan dalam tekstil untuk mewarnai berbagai produk (Birhanli dan Ozmen 2005; Iqbal *et al.*, 2016).

Zat warna sintetik menjadi pilihan karena zat warna biasanya diproduksi secara sintetik dan memiliki struktur aromatik yang rumit yang

menunjukkan kestabilan terhadap cahaya, oksidasi, panas dan air (Siddiqua *et al.*, 2017). Tetapi, zat warna sintetik seperti kelompok zat warna azo dan trifenil metane merupakan salah satu pencemar organik yang non biodegradable (Ali *et al.*, 2017, Zaharia dan Suteu 2012). Berbagai penyakit dapat disebabkan oleh limbah zat warna seperti kanker, alergi, mutasi, dermatitis dan iritasi kulit (Zaharia dan Suteu 2012).

B. Zat Warna Tekstil

Produksi zat warna yang digunakan pada industri tekstil per tahun adalah 7×10^5 ton. Di antara beberapa kelompok zat warna, sekitar 60-70% merupakan zat warna azo yang digunakan dalam industri tekstil (Silva dkk., 2004). Zat warna azo adalah senyawa yang paling banyak terdapat dalam limbah tekstil dan merupakan senyawa aromatik dan heterosiklik yang terdiri atas dua atom nitrogen ($—N=N—$) sebagai kromofor (Saratale *et al.*, 2011; Przystas *et al.*, 2012). Zat warna azo adalah zat warna sintesis terpenting yang pernah ada dan mewakili volume produksi terbesar zat warna kimia saat ini dan bahkan meningkat di masa depan (Benkhaya *et al.*, 2020; Shankarling *et al.*, 2017). Jumlah zat warna azo yang digunakan adalah 70% dari konsumsi zat warna per tahun (Florenza *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2016). Zat warna azo secara teratur digunakan dalam berbagai aplikasi dalam makanan, farmasi, kertas, kosmetik, tekstil dan industri kulit (Saratale *et al.*, 2013).

Penggunaan zat warna azo yang tinggi menyebabkan efek berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya (Sen *et al.*, 2016),

karena sifat biodegradabilitasnya yang buruk, sulit untuk dipecah di lingkungan sehingga mempengaruhi ekosistem (Lau *et al.*, 2014). Selain itu, zat warna azo bersifat karsinogenik dan mutagenik, yang menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia (Florenza *et al.*, 2014; Goscianska dan Ciesielczyk, 2019). Contoh zat warna tekstil yang dapat mencemari lingkungan yaitu MG dan CR (Afiqah *et al.*, 2018).

1. *Malachite green* (MG)

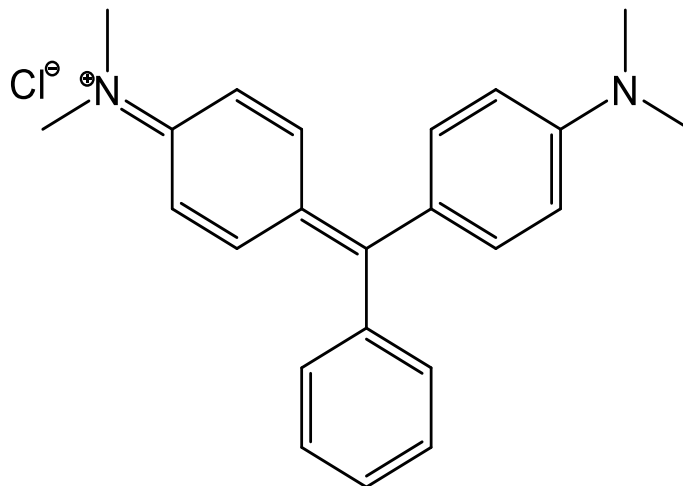
Zat warna MG adalah salah satu senyawa organik yang larut dalam air (Eltaweil *et al.*, 2020). Zat warna MG banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti untuk pencelupan kertas, wol, kulit, tekstil, kapas, serat akrilik dalam industri tekstil, sutra, industri goni (Ghasemi dan Kaykhaii, 2016; Rajabi *et al.*, 2020) dan digunakan sebagai antimikroba dan antijamur dalam industri makanan, perikanan (Zhang *et al.*, 2008) dan Kesehatan. Adapun sifat fisiokimia zat warna MG dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik zat warna MG (Ali *et al.*, 2017)

Parameter	Nilai
Rumus molekul	C ₂₃ H ₂₅ ClN ₂
Berat molekul	364,9 g/mol
Indeks warna	42000
CAS	2437-29-8
<i>Nature</i>	Zat warna Kationik

Zat warna MG adalah salah satu kontaminan yang sangat beracun (Mohamed *et al.*, 2019). Keberadaannya pada konsentrasi tinggi dan untuk waktu yang lama dapat menyebabkan keracunan dan kanker pada manusia

(Srivastava *et al.*, 2004), serta dapat menyebabkan kerusakan pada hati, ginjal, jantung, pernapasan dan juga dapat menyebabkan lesi untuk kulit, gangguan paru-paru dan masalah pada tulang (Sartape *et al.*, 2017; Young *et al.*, 2007). Namun penggunaan MG masih banyak digunakan karena zat warna MG mudah didapat, murah, dan tersedia dalam jumlah banyak (Hameed dan El-Khaiary, 2008; Papinutti *et al.*, 2006). Struktur dari MG dapat dilihat pada Gambar 1.

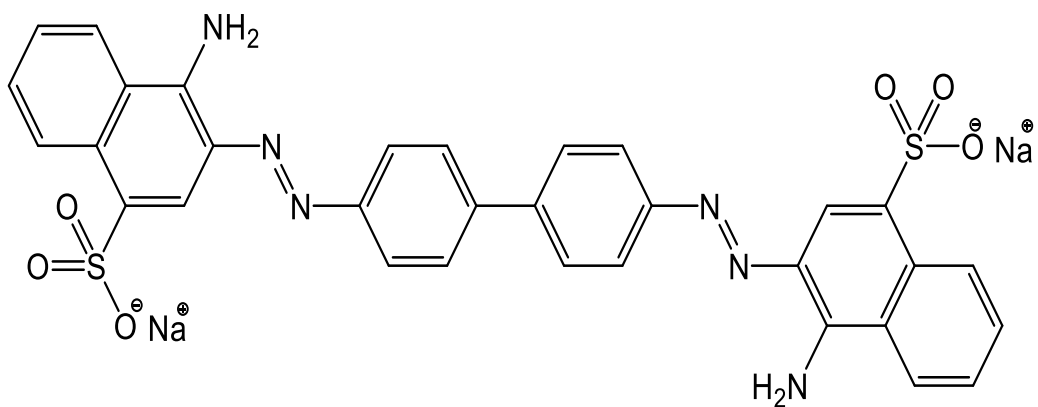


Gambar 1. Struktur kimia zat warna MG (Robati *et al.*, 2016).

2. Congo red (CR)

Zat warna CR adalah zat warna diazo anionik dengan struktur molekul besar dengan dua kelompok azo (N = N) yang terikat pada cincin aromatik yang digunakan terutama untuk mewarnai kertas dan tekstil termasuk kapas, rami dan sutra (Dhaif-Allah *et al.*, 2020; Rong *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2020). Zat warna ini terkandung dalam limbah industri

di seluruh dunia dan dapat dengan mudah dilepaskan ke hidrosfer seperti sungai, danau, laut dan bahkan air tanah. Adanya residu zat warna ini dalam limbah, bahkan pada konsentrasi rendah, dapat mempengaruhi kesehatan organisme akuatik dan manusia (Ma *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2020). Adapun struktur dari CR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kimia zat warna CR (Sunarti, 2019).

Zat warna CR memiliki struktur yang sangat stabil dan sulit diuraikan secara biologis (Amuguni *et al.*, 2019; Arellano *et al.*, 2018). Tetapi zat warna ini akan menyebabkan kerusakan serius pada kesehatan manusia dan pertumbuhan hewan atau tumbuhan di bawah toksisitas langsung atau jangka panjang, mutagenisitas dan karsinogenisitas. Di sisi lain, air berwarna akan menyebabkan berkurangnya cahaya penetrasi, yang akan memiliki efek negatif pada fotosintesis organisme air dan dengan demikian memiliki dampak buruk pada seluruh ekosistem (Sri Devi *et al.*, 2020; Khaniabadi *et al.*, 2017; Naseem *et al.*, 2018; Olusegun dan Mohallem, 2020; Sunarti, 2019; Vimonses *et al.*, 2009).

C. Faktor-faktor yang memengaruhi Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut, baik melalui ikatan kimia maupun fisik (Kong dan Adidharma, 2019; Asip *et al.*, 2008; Ayawei *et al.*, 2017; Mahmoud *et al.*, 2012). Adsorpsi dapat terjadi karena adanya ikatan yang terbentuk antara fasa penjerap dengan fasa terjerap. Zat yang dapat menjerap suatu partikel disebut bahan pengadsorpsi atau adsorben yang merupakan fasa yang dapat terkondensasi yaitu fasa padat dan cair. Sementara itu, zat atau molekul yang teradsorpsi disebut adsorbat yang dapat berupa atom, ion atau molekul dalam fasa padat, cair maupun gas (Ayawei *et al.*, 2017; Asip *et al.*, 2008; Suryawan dan Bambang, 2004). Adsorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, luas permukaan adsorben, waktu kontak, konsentrasi dan distribusi ukuran pori.

1) Luas permukaan adsorben

Adsorbat yang dapat diserap semakin banyak dengan semakin luasnya permukaan adsorben, sehingga proses dapat semakin efektif. Semakin kecil diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben sehingga kecepatan adsorpsi semakin meningkat (Beghei *et al.*, 2019a).

2) Waktu kontak

Proses adsorpsi sangat ditentukan oleh waktu kontak. Semakin lama waktu yang digunakan maka semakin banyak zat yang teradsorpsi

sampai tercapai kesetimbangan. Setelah tercapai kesetimbangan, penambahan waktu adsorpsi tidak meningkatkan kemampuan adsorpsi bahkan cenderung menurun yang disebabkan permukaan adsorben telah mencapai kejenuhan (Begheri *et al.*, 2019b; Sri Devi, 2020).

3) Konsentrasi

Konsentrasi larutan adsorbat mempengaruhi adsorpsi. Semakin tinggi konsentrasi larutan, semakin banyak pula zat terlarut yang dapat teradsorpsi (Olusegun dan Mohallem 2020).

4) Distribusi ukuran pori

Distribusi ukuran pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben. Kebanyakan adsorben merupakan bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau bagian-bagian tertentu di dalam adsorben (Vimonse *et al.*, 2009).

D. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada kesetimbangan dan suhu konstan. Persamaan isoterm adsorpsi yang sering digunakan adalah persamaan Langmuir dan Freundlich (Iriany *et al.*, 2013). Model isoterm Langmuir awalnya dikembangkan untuk mendeskripsikan adsorpsi gas pada adsorbat fasa padat seperti karbon aktif (Foo dan Hameed, 2010). Secara tradisional, model isoterm Langmuir telah digunakan untuk mengukur dan membedakan kapasitas adsorpsi berbagai adsorben (Kundu

dan Gupta, 2006; Foo dan Hameed, 2010). Mekanisme laju adsorpsi dapat dipelajari dari isoterm adsorpsi yang sesuai. Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dari persamaan isoterm adsorpsi yang sesuai (Wijayanti *et al.*, 2018).

1. Isoterm Langmuir

Menurut teori Langmuir, isoterm adsorpsi menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben (Langmuir, 1916). Secara tradisional, model isoterm Langmuir telah digunakan untuk mengukur dan membedakan kapasitas adsorpsi berbagai adsorben (Kundu dan Gupta, 2006; Foo dan Hameed, 2010).

Isoterm adsorpsi Langmuir didasarkan pada beberapa asumsi, yaitu: (1) adsorpsi merupakan lapisan tunggal (Guo dan Wang, 2019; Vijayaraghavan *et al.*, 2006), (2) distribusi situs adsorpsi homogen (Mondal dan Majumder, 2019; Kundu dan Gupta, 2006), (3) energi adsorpsi konstan (Liu *et al.*, 2018) dan (4) interaksi antara molekul adsorbat dapat diabaikan (Allen *et al.*, 2004; Demirbas *et al.*, 2008). Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadi kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi (Guo dan Wang, 2019). Isoterm Langmuir secara linier dinyatakan pada Persamaan (1).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad (1)$$

C_e (mg/L) adalah konsentrasi kesetimbangan zat dalam larutan, q_e (mg/g) adalah jumlah zat teradsorpsi pada saat kesetimbangan, Q_o (mg/g) adalah kapasitas maksimum dan b (L/mg) adalah tetapan Langmuir yang berhubungan dengan energi bebas atau entalpi bersih (Al-Ghouti dan Razavi, 2020; Guo dan Wang, 2019).

2. Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich menggambarkan hubungan antara sejumlah komponen yang teradsorpsi per unit adsorben dan konsentrasi komponen tersebut pada kesetimbangan. Model Freundlich digunakan untuk merepresentasikan fenomena adsorpsi nonlinear (Freundlich, 1906). Isoterm Freundlich diterapkan untuk mewakili adsorpsi multilayer pada permukaan heterogen. Isoterm Freundlich menganggap bahwa proses adsorpsi akan pada semua sisi permukaan pada kondisi yang diberikan. Isoterm Freundlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi-sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi pada saat kesetimbangan tercapai (Zaheer *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2017). Bentuk linier dari persamaan Freundlich diberikan oleh Persamaan (2),

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = \log k + \left(\frac{1}{n} \right) \log C_e \quad (2)$$

x adalah jumlah yang diadsorpsi (mg), m adalah massa adsorben yang digunakan (g), C_e merupakan konsentrasi kesetimbangan (mg/L), k dan n merupakan tetapan-tetapan yang menghubungkan semua faktor yang

mempengaruhi proses adsorpsi, seperti kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Nilai n dan k diperoleh dari kemiringan dan *intercept* kurva linier $\log(x/m)$ dengan $\log C_e$ (Ayawei *et al.*, 2017; Chen, 2019).

E. Kinetika Reaksi

Kinetika adalah penggambaran tentang laju reaksi atau kecepatan saat proses reaksi terjadi (Yan *et al.*, 2020). Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam setiap perubahan waktu (Jasim dan Abbas, 2019). Kinetika adsorpsi bergantung pada luas permukaan adsorben, jenis pelarut, ukuran partikel, suhu, jenis gugus fungsi dan konsentrasi. Kemampuan pengikatan yang tinggi dari gugus fungsi pada adsorben dapat meningkatkan kecepatan reaksi secara keseluruhan (Madan *et al.*, 2019).

Model kinetika orde satu untuk sistem *liquid-solid* yang berbasis pada kapasitas padatan (solid). Orde reaksi ditentukan secara eksperimen dan tidak berhubungan dengan stoikiometri reaksi, namun diatur oleh mekanisme reaksi yaitu dari jumlah spesies yang bertumbukan selama reaksi terjadi (Tang *et al.*, 2020). Persamaan (3) merupakan persamaan orde satu semu.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (3)$$

dengan q_e adalah kapasitas absorpsi pada titik kesetimbangan (mg/g), q_t adalah kapasitas absorpsi pada waktu t (mg/g), k adalah konstanta kinetika. Integrasi persamaan untuk kondisi batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = 0$ hingga $q_t = q_t$ menghasilkan Persamaan (4),

$$\ln \frac{q_e}{q_e - q_t} = kt \quad (4)$$

yang merupakan laju orde satu semu. Persamaan (5) dapat ditulis sebagai,

$$\ln (q_e - q_t) = -kt + \ln q_e \quad (5)$$

plot $\log (q_e - q_t)$ terhadap t atau plot $\ln (q_e - q_t)$ terhadap t merupakan kurva linier dengan slope = k dan intercept = $\ln q_e$ (Eltaweil *et al.*, 2020; Sri Devi *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2020).

Data kinetika juga dapat diolah dengan model kinetika orde dua semu. Persamaan diferensial diberikan oleh Persamaan (6),

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

dimana k adalah konstanta kinetika adsorpsi (g/mg.min). Integrasi persamaan menghasilkan,

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} k_2 t \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat ditulis dalam bentuk linear sebagai berikut:

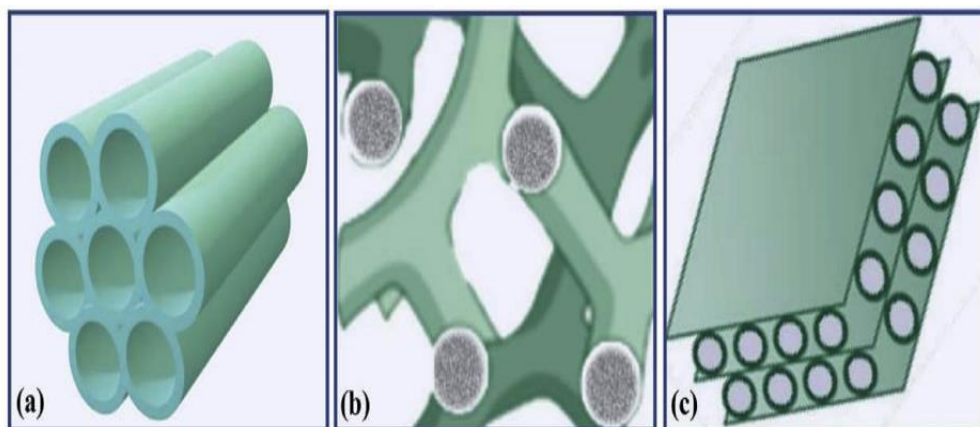
$$t \frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (8)$$

Jika kinetika orde dua semu dipenuhi, plot t/q_t versus t akan menghasilkan garis lurus (Jasim dan Abbas, 2019).

F. Silika Mesopori

Material mesopori berkembang dengan sangat pesat dan menjadi perhatian banyak peneliti, terutama sejak ditemukannya kelompok M41S dari silikat atau aluminosilikat oleh peneliti dari Mobil Oil Corporation pada tahun 1992. Material ini disintesis dalam kondisi dasar dengan adanya

surfaktan sebagai agen pembentuk (pencetak) struktur yang ukuran pori-porinya berada pada kisaran 3–10 (Beck *et al.*, 1992; Kresge *et al.*, 1992; Kresge *et al.*, 2004; Zelenak *et al.*, 2008). Silika mesopori ini terdiri atas *Mobil Composition of Matter number 41* (MCM-41), *Mobil Composition of Matter number 48* (MCM-48), dan *Mobil Composition of Matter number 50* (MCM-50). Struktur MCM-41, MCM-48, dan MCM-50 dapat dibedakan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan mikroskop elektron. Gambar 3 menunjukkan perbedaan ketiga material dengan menggunakan mikroskop elektron (Costa *et al.*, 2020).



Gambar 3. Struktur MCM-41 (a), MCM-48 (b), dan MCM-50 (c) material mesopori dari keluarga M41S (Costa *et al.*, 2020).

Material yang pertama mempunyai struktur heksagonal dengan ukuran pori 1,5 sampai 10 nm dan sistem pori-pori searah (Kresge *et al.*, 1992; Kresge *et al.*, 2004). Material yang kedua mempunyai struktur kubik dengan kelompok ruang yang memiliki saluran mesopori rumit dan membentuk sistem saluran tiga dimensi (Beck, 1992; Taba, 2001; Sutrisno, *et al.*, 2005). Material ketiga adalah material silikat dengan struktur lamellar

dan tidak stabil di mana material ini mudah berubah menjadi amorf jika dipanaskan serta memiliki lapisan ganda surfaktan (Dubois *et al.*, 1993; Kresge *et al.*, 2004), Para ahli banyak mengembangkan silika mesopori untuk beberapa aplikasi, misalnya untuk katalisis (Romero, 2019; Shaban, 2017), menghasilkan senyawa nano (Moller dan Bein, 1998) dan adsorpsi (Meléndez-Ortiz, 2019; Mobarak, 2019; Sastre, 2016).

Struktur MCM-48 lebih kompleks karena terdiri atas 2 jaringan (network) yang tidak saling bergantung dan terjalin secara berbelit-belit dari saluran mesopori. Struktur MCM-48 menghasilkan jaringan tiga dimensi yang mempunyai luas permukaan besar dan aksesibilitas tinggi dalam jaringan berpori. Sehingga MCM-48 mempunyai keuntungan lebih besar dibandingkan dengan MCM-41 yang memiliki struktur heksagonal satu dimensi (Monnier *et al.*, 1993; Vartuli, 1994; Froba *et al.*, 1999; Bandyopadhyay, 2004).

1. Sintesis silika mesopori MCM-48

Sintesis MCM-48 pertama kali dilaporkan oleh Beck dkk (1992) dengan menggunakan 4 komponen utama yaitu sumber silika, surfaktan, pelarut, dan katalis (asam dan basa). Kombinasi natrium silikat, tetrametilamonium silikat, dan tetraetilortosilikat digunakan sebagai sumber silika, dan alkilrimetil-amonium klorida/hidroksida/bromida sebagai surfaktan. Air dan asam sulfat digunakan sebagai pelarut (Beck *et al.*, 1992).

Tahun 1998, Ryoo dkk mensintesis MCM-48 menggunakan prosedur hidrotermal. Peneliti yang sama menemukan metode sintesis MCM-48 yang

lebih mudah dengan menggunakan campuran surfaktan kationik dan surfaktan netral. Silika mesopori yang dihasilkan mengandung surfaktan. Pencucian dengan HCl-etanol digunakan untuk menghilangkan surfaktan yang ada sehingga diperoleh silika berpori ukuran meso (Ryoo, 1999). Sintesis silika mesopori MCM-48 dilakukan dengan menggunakan larutan Ludox HS40, NaOH, CTAB sebagai surfaktan, dan Triton X-100 sebagai templat. Pada proses sintesis, kondisi pH sangat berpengaruh terhadap struktur mesopori yang dihasilkan oleh karena itu, pH sintesis harus diatur sedemikian rupa untuk membentuk silika mesopori MCM-48. Jika pH tidak diatur sampai pH 10 maka akan membentuk silika mesopori dengan struktur yang lain (Taba, 2008). Perbandingan surfaktan dalam silika mesopori MCM-48 dapat dilihat pada Tabel 2.

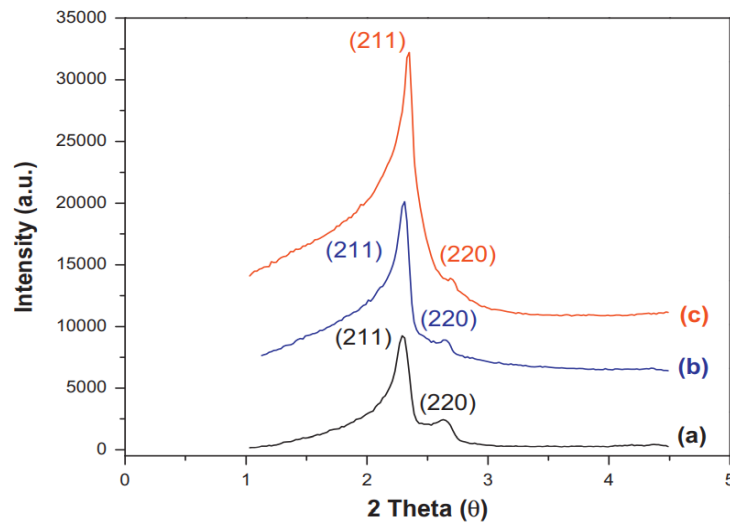
Tabel 2. Silika Mesopori MCM-48 dapat disintesis dari gel dengan berbagai perbandingan:

Perbandingan Surfaktan:Si	Metode Sintesis	Referensi
0,24:1	MCM-48 disintesis dari campuran C ₁₄ TMA dengan surfaktan alkiltrimetil-amonium setelah 8-9 hari	Huo <i>et al.</i> , 1996
0,65:1	MCM-48 diperoleh setelah 3 hari	Monnier <i>et al.</i> , 1993
0,8:1	MCM-48 terbentuk setelah 2-4 hari	Romero <i>et al.</i> , 1997
0,12:1	MCM-48 dan Mn-MCM-48 disintesis dalam 3 hari, tetapi berbagai mesofase intermediet diamati yang bergantung pada suhu reaksinya	Zhao dan Goldfarb, 1995

2. Karakterisasi silika mesopori MCM-48

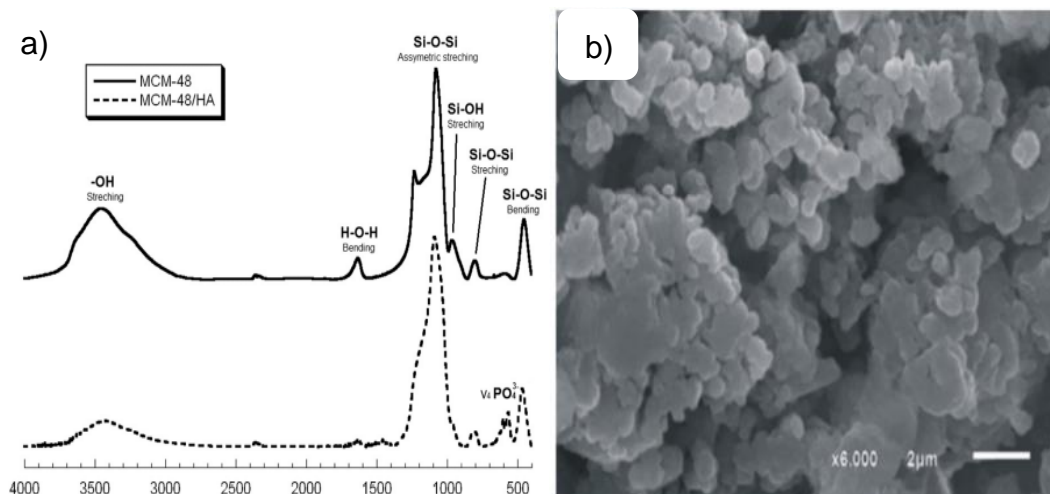
Karakterisasi silika mesopori MCM-48 dapat dilakukan dengan beberapa teknik instrumentasi yaitu XRD, *Fourier Transformer InfraRed* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), Barrett-Joyner-Halend (BJH) dan, Brunauer-Emmet-Teller (BET). Instrumen XRD digunakan untuk meneliti bentuk pori dan simetri dari molekul serta dapat digunakan untuk mengamati stabilitas dari MCM-48. Selain itu metode XRD sangat berguna untuk mempelajari efek dari adanya unsur lain dalam MCM-48 (Ryoo dkk., 1999; Anbia dan Gaffar 2011; Mobarak *et al.*, 2019). Analisis XRD dilakukan dengan difraktometer PANalitik X'pert menggunakan sumber sinar-X Cu-K-alpha, Intensitas difraksi diukur, pada rentang sudut $20^\circ < 2\theta < 90^\circ$ dengan ukuran langkah $0,03^\circ$ dan waktu hitungan 2 detik per langkah (Kim *et al.*, 2013; Romero *et al.*, 2019).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Kim *et al.*, (2013) mengkarakterisasi MCM-48 dengan menggunakan XRD. Hasil penelitian membandingkan pola XRD dari MCM-48, MCM-48 sesudah dilakukan penghilangan surfaktan dengan HCl-etanol 1 M dan MCM-48 sesudah kalsinasi pada suhu 773 K. Hasil karakterisasi sebelum dan sesudah penghilangan surfaktan ditunjukkan pada Gambar 4. Semua pola memiliki refleksi intens (211) dengan puncak kurang intens (220), posisi puncak bergeser ke sudut yang lebih tinggi setelah penghilangan surfaktan dan terjadi penyusutan struktur.



Gambar 4. Pola XRD dari (a) MCM-48, (b) MCM-48 tanpa surfaktan dan (c) MCM-48 sesudah kalsinasi pada suhu 773 (Kim *et.al.*, 2013).

Informasi tentang gugus pada silika mesopori MCM-48 dapat diperoleh dengan menggunakan metode spektroskopi FTIR. Pengukuran FTIR dilakukan dengan menggunakan spektrometer Spektrum 1000 (Perkin Elmer) yang bekerja pada rentang inframerah-tengah. Sampel (MCM-48 dan MCM-48/HA) dipelajari dari pelet KBr. Spektrum FTIR dapat dilihat pada Gambar 5a.



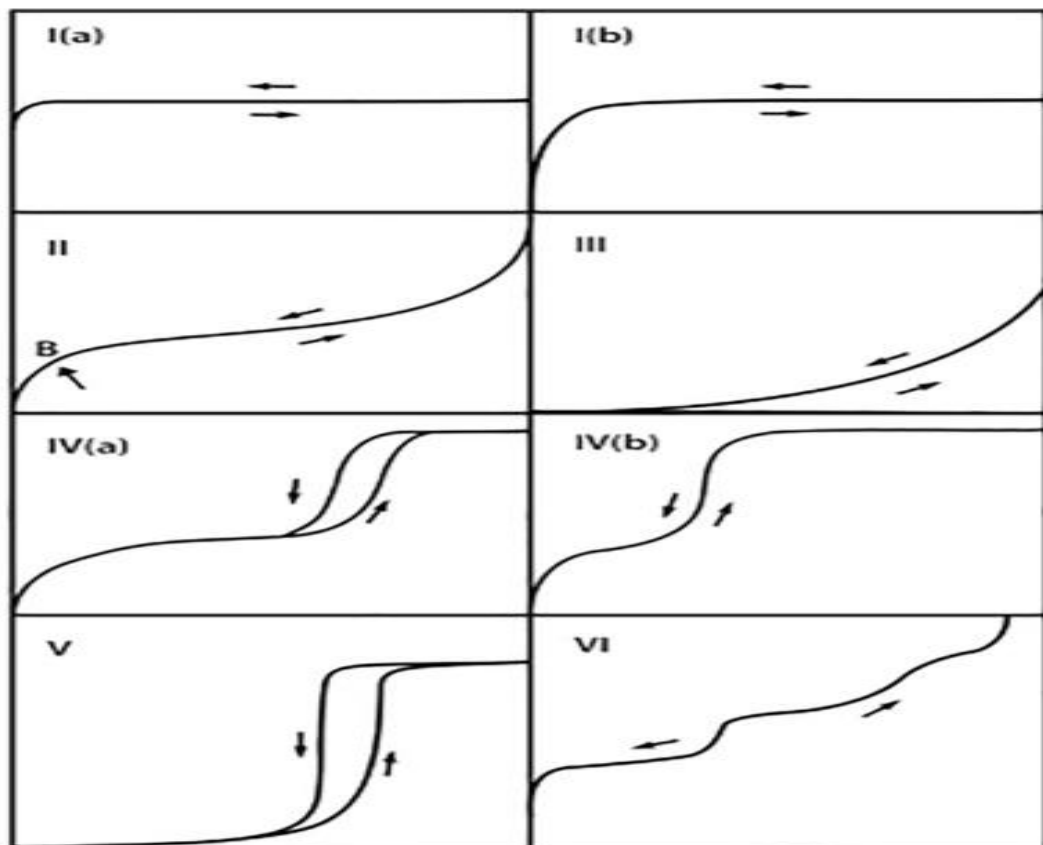
Gambar 5. a) Spektrum FTIR MCM-48 (Pajchel dan Kolodziejski 2018) dan b) SEM MCM-48 (Mobarak *et al.*, 2019)

Gambar 5a menunjukkan puncak-puncak pada spektrum FTIR. Pita serapan pada daerah 1079 cm^{-1} sesuai dengan regangan Si-O-Si antisimetris, pita pada 965 cm^{-1} dengan getaran regangan kelompok Si-OH dan pada 811 cm^{-1} dengan Si-O simetris. Pita yang kuat di 455 cm^{-1} berasal dari getaran tekukan Si-O-Si. Pita lebar pada 1634 dan 3450 cm^{-1} ditetapkan untuk gugus hidroksil. Hal ini menegaskan bahwa MCM-48 telah berhasil disintesis (Pajchel dan Kolodziejski 2018).

Gambar 5b memperlihatkan morfologi dan struktur molekul dari MCM-48 dapat dipelajari dengan SEM. Analisis SEM merupakan suatu metode untuk menyelidiki permukaan material padat dengan pembesaran 3000.000 kali serta resolusi 1-10 nm. Resolusi yang baik digunakan untuk mengetahui komposisi serta informasi kristalografi material yang diselidiki. Karakterisasi MCM-48 dengan menggunakan SEM diselidiki menggunakan SEM (JSM-6700F, JEOL, Jepang). Hasil penelitian menunjukkan partikel-partikel tersebut secara kasar berbentuk bulat dan ukurannya berkisar 300-500 nm. Ciri-ciri tersebut menunjukkan silika mesopori MCM-48 (Mobarak *et al.*, 2019).

Metode yang digunakan untuk menentukan luas permukaan, diameter pori dan volume pori adalah metode BET dan BJH dengan alat spektrofotometer. Karakterisasi menggunakan BET dan BJH didasarkan pada prinsip adsorpsi-desorpsi gas. Mekanisme adsorpsi gas tersebut berupa adsorpsi gas (nitrogen, argon dan helium) oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu (Kim *et al.*, 2013).

Pada prinsipnya, sampel hasil sintesis dipanaskan pada 100 °C selama 6 jam dalam keadaan vakum, diukur pada suhu 77 K, pada alat sorptometer seperti mikromeritik ASAP 2010. Data yang diperoleh dapat memberikan informasi tentang tipe isoterm dan loop histerisis dari suatu material. Sedangkan luas permukaan sampel dihitung dengan plot isoterm BET (Anbia dan Gaffar 2011; Kim *et al.*, 2013). Klasifikasi isoterm adsorpsi menurut IUPAC dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tipe isoterm Menurut IUPAC (Sing *et al.* 1984).

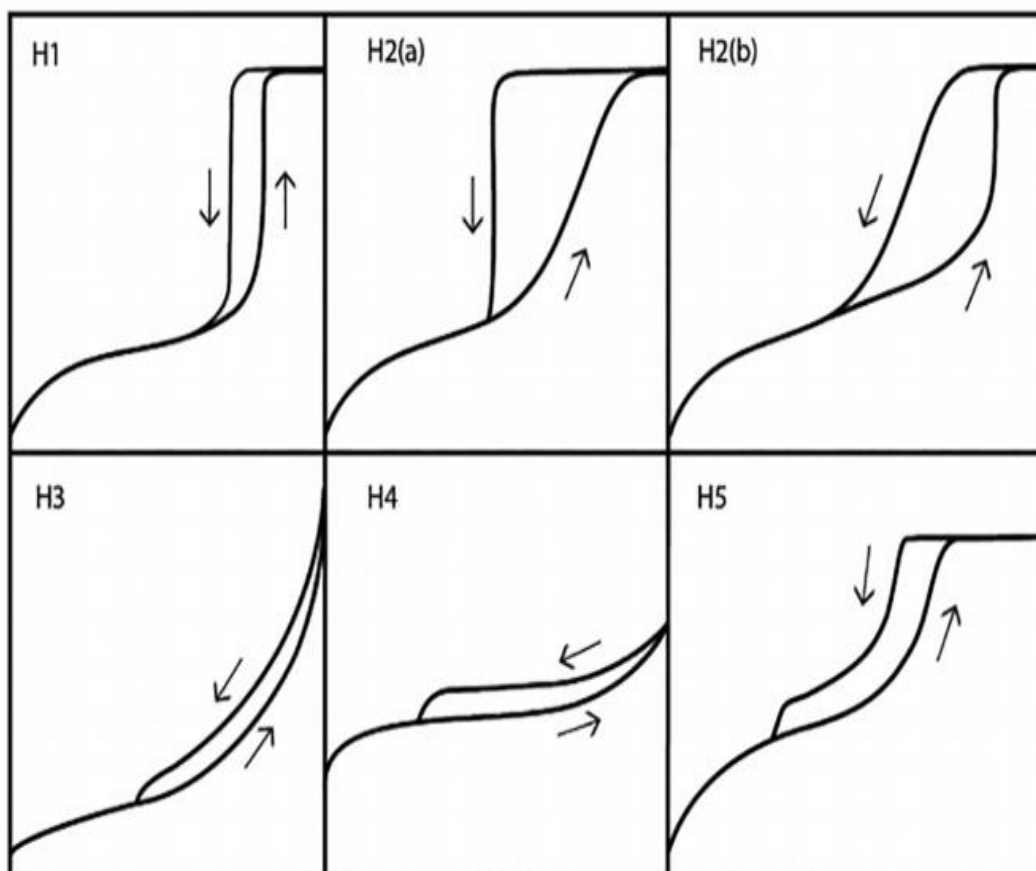
Gambar 6 menunjukkan seluruh isoterm adsorpsi harus sesuai dengan minimal 1 tipe grafik dari 6 klasifikasi isoterm adsorpsi. Isoterm tipe I cekung pada sumbu p/p° dan mendekati nilai batas sebagai p/p° 1. Isoterm

tipe I diberikan oleh padatan berpori mikro yang memiliki permukaan luar yang relatif kecil. Isoterm tipe II adalah bentuk isoterm normal yang diperoleh dengan adsorben tidak berpori atau berpori makro. Isoterm tipe II mewakili adsorpsi lapisan-lapisan tunggal yang tidak dibatasi. Titik B. awal dari bagian tengah isoterm yang hampir linier, sering diambil untuk menunjukkan tahap di mana cakupan *monolayer* selesai dan adsorpsi multilayer akan segera dimulai (Al-Ghouti and Da'ana 2020; Sing *et al.*1984).

Isoterm tipe III adalah cembung ke sumbu p/p° di seluruh rentangnya dan oleh karena itu tidak menunjukkan Titik B. Isoterm jenis ini tidak umum, tetapi ada sejumlah sistem (misalnya nitrogen pada polietilen). Isoterm tipe IV adalah loop histerisisnya, yang dikaitkan dengan kondensasi kapiler yang terjadi di mesopori, dan penyerapan yang terbatas pada kisaran p/p° yang tinggi. Bagian awal dari isoterm tipe IV dikaitkan dengan adsorpsi multilayer monolayer karena mengikuti jalur yang sama. Isoterm tipe IV sesuai dengan adsorben berukuran mesopore (El Alouani *et. al.*, 2019; Sing *et al.*1984). Isoterm tipe V jarang terjadi, ini terkait dengan isoterm tipe III di mana interaksi adsorben-adsorbat lemah tetapi diperoleh dengan adsorben berpori tertentu. Isoterm tipe VI, terjadi tergantung pada sistem dan suhu, yang mewakili adsorpsi multilayer pada permukaan yang tidak berpori seragam (Wang *et. al.*, 2020; Inglezakis *et. al.*, 2018).

Gambar 7 menunjukkan Kategori loop Histerisis. Loop tipe H1 diamati pada material yang menampilkan berbagai mesopori seragam yang sempit, seperti dalam silika (MCM-41, MCM-48, SBA-15). Tipe H1

menampilkan jumlah pori-pori di mana distribusi ukuran pori identik dengan lebar pori/rongga. Loop H2 (a) menampilkan desorpsi yang sangat curam, loop tipe H2 (b) berhubungan dengan pemblokiran pori, namun distribusi ukuran pori cukup besar. Untuk loop tipe H3, komponen adsorpsinya mirip dengan isotherm tipe II, sedangkan komponen desorpsi dibatasi oleh P/P_0 . Komponen adsorpsi loop H4 adalah kombinasi tipe I dan II dimana adsorpsi yang terlihat pada P/P_0 kecil menangkap pengisian pori mikro. Bentuk khas loop H5 terkait dengan struktur pori tertentu yang terdiri dari mesopori sebagian tertutup dan terbuka (Mazloom *et. al.*, 2020; Thommes, *et. al.*, 2015; Sing *et al.* 1984).



Gambar 7. Kategori loop Histerisis (Sing *et al.*1984).

3. Aplikasi silika mesopori MCM-48

MCM-48 banyak digunakan untuk katalisis (Brezoiu *et al.*, 2019; Cakiryilmaz *et al.*, 2018; Pajchel dan Kolodziejski 2018; Souza *et al.*, 2015), pemisahan (Basumatary *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2013), sensor (Abu-Zied *et al.*, 2019; Qi *et al.*, 2018), pelepasan terkontrol obat-obatan (Pajchel dan Kolodziejski 2018; Shah dan Rajput 2017; Jesus *et al.*, 2016), adsorpsi (Kang *et al.*, 2000; Algarra *et al.*, 2005; Raji dan pakizeh, 2013; Santos *et al.*, 2013; Yilmaz *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2017; Cheng *et al.*, 2018; Rao *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2019) dan aplikasi lain. Taba (2001) melaporkan bahwa beberapa peneliti menggunakan MCM-48 sebagai katalis untuk mensintesis senyawa organik.

Meléndez-Ortiz, *et al.*, (2019) telah melakukan penelitian mengenai kinerja adsorpsi silika mesopori terhadap zat warna kationik dan pengaruh mesostruktur terhadap kapasitas adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah zat warna yang diadsorpsi adalah MCM-41, MCM-48, SBA-15 dan *mesocellular silica foam* (MCF), meningkat dengan peningkatan dosis adsorben, waktu kontak, suhu dan pH meningkat menyebabkan menurunnya adsorpsi *toluidine blue O* (TBO), pH larutan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas adsorpsi. Data eksperimental cocok dengan Isoterm adsorpsi Freundlich, yang mencerminkan adsorpsi multilayer dari molekul TBO ke adsorben. Studi kinetika adsorpsi mengungkapkan bahwa proses adsorpsi sesuai dengan model kinetika orde dua semu.

Mobarak, *et. al.* (2019), telah melakukan penelitian mengenai adsorpsi metil jingga dengan menggunakan komposit mesopori orde tinggi dari silika MCM-48 dengan sekam padi. Hasil penelitian menunjukkan penyerapan metil jingga (MJ) sangat cepat dan kesetimbangan adsorpsi dicapai setelah 30 menit pada pH 3 dan mengikuti model isoterm Langmuir. Energi adsorpsi ($E_1 = 29,103$ dan $E_2 = 19,076$ kJ/mol) menyatakan bahwa gaya ikatan dipol dan interaksi elektrostatik terlibat dalam adsorpsi MJ.

Anbia dan Ghaffari (2011) telah melakukan penelitian mengenai penghilangan MG dari air limbah zat warna menggunakan adsorben karbon mesopori. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi yang signifikan untuk zat warna MG. Model Isoterm adsorpsi Langmuir ditemukan paling sesuai. Penghilangan MG dicapai pada pH optimum. Percobaan kinetik, menunjukkan bahwa proses penyerapan mengikuti model kinetika adsorpsi orde satu semu.

Taba, *et. al.* (2020), telah melakukan penelitian mengenai adsorpsi *brilliant scarlet* oleh silika mesopori MCM-48. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum adsorpsi *brilliant scarlet* oleh MCM-48 pencucian 1 kali dan pencucian 2 kali adalah 60 menit. Adapun pH optimum adsorpsi *brilliant scarlet* oleh MCM-48 pencucian 1 kali adalah pH 6 sedangkan MCM-48 pencucian 2 kali adalah pH 5. Adsorpsi *brilliant scarlet* oleh MCM-48 pencucian HCl-etanol 1 kali memenuhi isoterm Langmuir dan pencucian 2 kali memenuhi isoterm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi masing-masing adalah 62,5 mg/g dan 17,53 mg/g. Hasil ini menunjukkan

bahwa material mesopori yang masih mengandung surfaktan cukup menjanjikan digunakan sebagai adsorben zat warna.

G. Desorpsi

Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben. Proses ini sebaiknya memenuhi kriteria yakni zat warna yang dilepaskan memiliki konsentrasi yang mendekati atau sama dengan yang diadsorpsi (Daneshvar *et al.*, 2017). Adsorben dapat digunakan kembali seperti kondisi awalnya sehingga efektif digunakan berulang tanpa mengurangi jumlah zat warna yang ditarik serta tidak terjadi perubahan kimia atau kerusakan pada adsorben. Bahan yang telah teradsorpsi dikeluarkan dengan cara pemanasan dan pencucian dengan bahan yang dapat diadsorpsi (Maqbool *et al.* 2021; Malandez-Ortiz *et al.*, 2019).

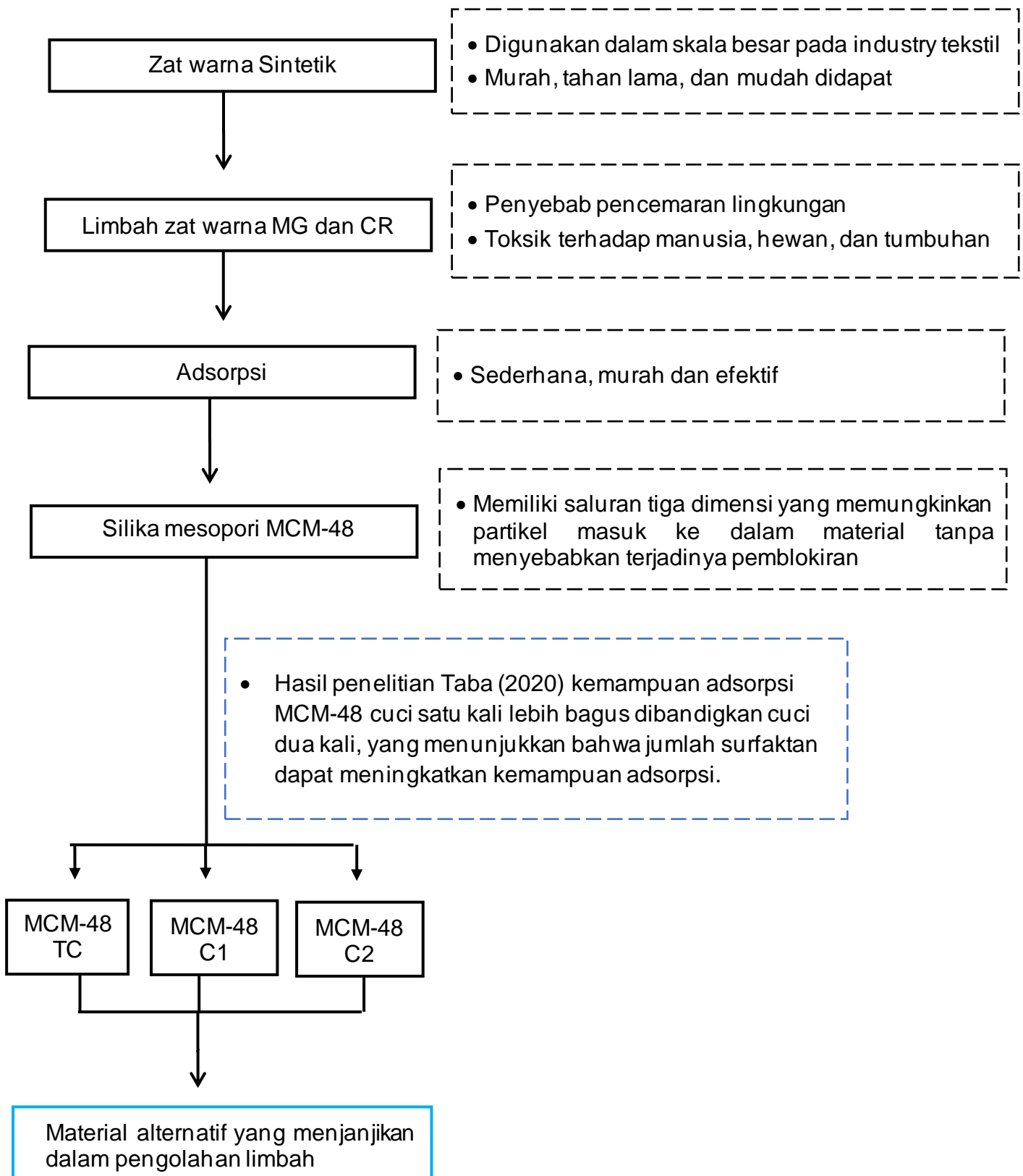
Regenerasi adsorben dapat dilakukan dengan baik melalui pencucian zat warna yang terdapat dalam adsorben dengan larutan yang tepat. Tipe dan kekuatan larutan akan bergantung pada kemampuan untuk mengikat zat warna (Daneshvar *et al.*, 2017). Desorpsi dapat dilakukan dengan mengontakkan adsorben yang telah digunakan dengan larutan yang dikenal sebagai agen pendesorpsi. Zat pendesorpsi yang biasanya digunakan dalam proses desorpsi yaitu HCl, HNO₃, NaOH, NaCl, etanol, metanol dan air (Mohammad *et al.*, 2020). Adsorben yang dapat diregenerasi merupakan suatu hal yang penting untuk memelihara proses dengan harga yang lebih murah (Sadiq *et al.*, 2020).

H. Kerangka Pikir

Zat warna sintetik dalam jumlah yang besar digunakan dalam industri karena murah, tahan lama, dan mudah didapat. Tingginya penggunaan zat warna sintetik menyebabkan limbah yang dihasilkan meningkat yang dapat berakibat terjadinya pencemaran lingkungan. Zat warna CR dan MG merupakan zat warna sintetik yang dapat menyebabkan beberapa efek yang berbahaya seperti kerusakan serius baik akut maupun kronis pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan. Oleh karena itu, proses yang efektif diperlukan untuk pengolahan limbah.

Metode yang dapat dilakukan adalah adsorpsi karena sederhana, murah dan efektif. Adsorben hasil sintesis memiliki keunggulan karena memiliki luas permukaan lebih besar sehingga lebih efektif dalam penggunaannya. Silika mesopori MCM-48 telah dilaporkan sebagai alternatif yang menjanjikan dalam pengolahan limbah, karena memiliki saluran tiga dimensi yang memungkinkan partikel masuk ke dalam material. Beberapa penelitian berkaitan dengan aplikasi MCM-48 sebagai adsorben limbah zat warna telah dilakukan diantaranya untuk mengadsorpsi zat warna *metil orange* (Mobarak et al 2019), *toluidine blue O* (Melendez-ortiz et al., 2019), safranin (Abukhadra dan Shaban 2019) dan *brilliant scarlet* (Taba et al., 2020). Taba et al., (2020) telah menganalisis pengaruh kehadiran surfaktan dalam material MCM-48 terhadap kemampuannya mengadsorpsi zat warna *brilliant scarlet*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MCM-48 yang dicuci satu kali mengandung lebih banyak surfaktan

yang memiliki kemampuan adsorpsi lebih tinggi dibanding MCM-48 yang dicuci dua kali. Hal ini terjadi karena surfaktan dapat berinteraksi dengan gugus yang berkesesuaian dengan molekul yang diadsorpsi. Berdasarkan fakta tersebut, dalam penelitian ini dilakukan sintesis MCM-48 dengan proses pencucian satu kali, dua kali, dan tanpa pencucian untuk melihat pengaruh surfaktan terhadap kemampuan adsorpsi zat warna MG dan CR. Kerangka pikir penelitian disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Kerangka Pikir Penelitian

I. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. silika mesopori MCM-48 yang disintesis memiliki karakteristik material yang khas dengan luas permukaan spesifik dan porositas yang baik serta memiliki gugus-gugus fungsi yang dapat berinteraksi dengan zat warna yang diserap,
2. waktu optimum adsorpsi MG dan CR oleh MCM-48-TC, MCM-48-C1 dan MCM-48-C2 dapat ditentukan dengan variasi waktu,
3. kinetika adsorpsi MG dan CR oleh MCM-48-TC, MCM-48-C1 dan MCM-48-C2 dapat ditentukan dengan mengaplikasikan data yang diperoleh ke dalam persamaan orde satu dan orde dua,
4. kapasitas adsorpsi oleh MCM-48 TC > MCM-48 C1 > MCM-48 C2 dengan MG dan CR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich,
5. agen pendesorpsi yang efektif untuk menarik kembali masing-masing zat warna MG dan CR dari MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 dapat ditentukan.
6. MCM-48 TC, MCM-48 C1 dan MCM-48 C2 yang paling baik dapat ditentukan.