

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN INTERNAL DOSEN
Progam Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknik



**APLIKASI DAN KARAKTERISASI SILIKA AEROGEL SEKAM PADI
TERMODIFIKASI TRIMETILKLOSILAN (TMCS) UNTUK
ADSORPSI METILEN BIRU DALAM AIR**

Tim Peneliti:

**Dyah Setyaningrum, S.Si., M.Sc.
Erwanto, S.Si., M.Si.
Dian Khoirun Nisya'**

Nomor Kontrak

082/ LPPM-LIT/UB/ XI/ 2026

Dibiayai oleh:

Universitas Bojonegoro

Periode 1 Tahun Anggaran 2025/2026

UNIVERSITAS BOJONEGORO

2026

HALAMAN PENGESAHAN

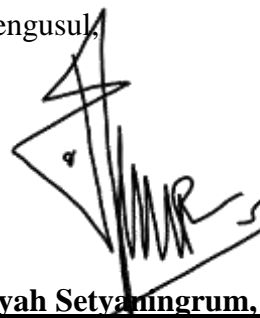
LAPORAN AKHIR PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

1. **Judul Penelitian** : Aplikasi dan Karakterisasi Silika Aerogel Sekam Padi Termodifikasi Trimetilklorosilan (TMCS) untuk Adsorpsi Metilen Biru dalam Air
2. **Ketua Peneliti**
 - a. Nama Peneliti : Dyah Setyaningrum, S.Si., M.Sc
 - b. NIDN : 0711109003
 - c. Program Studi : Kimia
 - d. E-mail : dyah_kimia@unigoro.ac.id
 - e. Bidang Keilmuan : Kimia Analitik
3. **Anggota Peneliti 1**
 - a. Nama (Mahasiswa) : Erwanto, S.Si., M.Si
 - b. NIM : 0718129102
 - c. Program Studi : Kimia
 - d. E-mail : erwantokimia@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Kimia
- Anggota Peneliti 2**
 - a. Nama Mahasiswa : Dian Khoirun Nisya', S.Si
 - b. NIM : -
 - c. Program Studi : Kimia
 - d. E-mail : khoirunnisyadian@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Kimia Analitik
4. Jangka Waktu Penelitian : 6 bulan
5. Lokasi Penelitian : Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknik
6. Dana Diusulkan : Rp 3.500.000

Bojonegoro, 24 Februari 2026

Mengetahui,
Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul,



Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN 07 2108 8601

Dyah Setyaningrum, S.Si., M.Sc
NIDN. 07 1110 9003

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang senantiasa memberikan nikmat, rahmat, dan hidayah-Nya. Syukur Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan laporan akhir penelitian internal Dosen Universitas Bojonegoro ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada uswah Nabi akhir zaman yakni, Nabi Muhammad SAW. Tujuan adanya penelitian ini adalah sebagai salah satu implementasi dari Tri Dharma Perguruan Tinggi.

Laporan akhir ini berisi terkait keseluruhan informasi mengenai penyelenggaraan penelitian, yang kemudian dapat dijadikan sebagai pedoman/ acuan pelaksanaan penelitian. Di dalam laporan akhir ini, penyusun juga memberikan agenda kegiatan pelaksanaan penelitian.

Selama penyusunan dan penulisan laporan akhir ini kami banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak-pihak yang membantu menyelesaikan laporan akhir ini.

Tak ada gading yang tak retak, penyusun menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dalam penyusunan laporan akhir ini. Oleh karena itu, kami memohon saran dan masukan yang bersifat membangun. Harapannya untuk dapat dijadikan sebagai pedoman perbaikan dan penyempurnaan laporan akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
ABSTRAK	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Landasan Teori	4
2.1.1 Silika Sekam Padi.....	4
2.1.2 Silika Aerogel	5
2.1.3 TMCS	7
2.1.4 Methylene blue	8
2.1.5 Adsorpsi	9
2.1.6 Isotermis Adsorpsi	11
2.2 Penelitian Terdahulu	12
2.3 Kerangka Konsep Penelitian.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	16
3.2 Lokasi Penelitian.....	16
3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel.....	16
3.4 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Penelitian.....	20
4.2 Pembahasan.....	20
4.2.1 Analisis Silika Aerogel Sekam Padi Termodifikasi TMCS Untuk Adsorpsi <i>Methylene blue</i>	20
4.2.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Methylene blue.....	20
4.2.3 Penentuan Kurva Kalibrasi Methylene blue	21
4.2.4 Variasi Waktu Kontak Pada Adsorpsi <i>Methylene blue</i>	23
4.2.5 Variasi Konsentrasi <i>Methylene blue</i> dan Kapasitas Adsorpsi Maksimum ..	26
BAB V PENUTUP.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Sifat Fisika Abu Sekam Padi.....	4
Tabel 2. Komponen Silika Aerogel.....	5
Tabel 3. Komponen Kimia dan Fisika <i>Methylene blue</i>	9
Tabel 4. Penelitian Terdahulu	12
Tabel 5. Absorbansi Larutan Standar <i>Methylene blue</i>	22
Tabel 6. Daya Adsorpsi Silika Aerogel Terhadap Zat Warna <i>Methylene blue</i> Dengan Variasi Waktu Kontak	23
Tabel 7. Efektivitas Adsorpsi <i>Methylene blue</i> Berbagai Variasi Waktu Kontak	25
Tabel 8. Kapasitas Adsorpsi Silika Aerogel Terhadap Variasi Konsentrasi <i>Methylene blue</i>	27
Tabel 9. Data Isoterm Adsorpsi Silika Aerogel Terhadap Zat Warna <i>Methylene blue</i>	28
Tabel 10. Perbandingan Adsorpsi <i>Methylene blue</i> Oleh Silika Berbagai Modifikasi.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Silika (Azat dkk., 2019)	6
Gambar 2. Skema Sintesis Aerogel (Akhter dkk., 2021)	6
Gambar 3. Reaksi Silika Termodifikasi TMCS (Mahadik dkk., 2021)	8
Gambar 4. Struktur <i>Methylene blue</i> (Ahmad dkk., 2020).....	8
Gambar 5. Mekanisme Adsorpsi (Goryunova dkk., 2023).	10
Gambar 6. Pendekatan Pemecahan Masalah.....	15
Gambar 7. Kurva Panjang Gelombang Maksimum <i>Methylene blue</i>	21
Gambar 8. Kurva Standar <i>Methylene blue</i>	22
Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Waktu Adsorpsi Dengan Efektivitas Adsorpsi Sebagai Kontak Waktu	25
Gambar 10. Grafik hubungan kapasitas adsorpsi <i>methylene blue</i> oleh silika aerogel dengan zat warna <i>methylene blue</i> waktu kontak 70 menit konsentrasi awal 20, 30, 40, 50 dan 60 ppm	27
Gambar 11. Grafik Isoterm Langmuir Silika Aerogel	29
Gambar 12. Grafik Isoterm Freundlich Silika Aerogel.....	29

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan TMCS sebagai agen pemodifikasi silika aerogel dari sekam padi untuk proses aplikasi dan adsorpsi metilen biru di dalam air. Silika aerogel termodifikasi TMCS memiliki kapasitas adsorpsi yang signifikan terhadap *methylene blue* yang dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dengan nilai kapasitas adsorpsi maksimum pada rasio silika:TMCS:n-heksan 1:2:1 dengan persentase penghapusan zat warna *methylene blue* sebesar 97,9%. Analisis isoterm adsorpsi menggunakan model Langmuir dan Freundlich menunjukkan bahwa model isoterm Freundlich lebih cocok untuk menggambarkan proses adsorpsi ini, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9466.

Kata Kunci: Adsorpsi; Aerogel; Sekam_Padi; Silika; TMCS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran air oleh senyawa-senyawa organik, khususnya berbagai jenis pewarna misalnya: anionik, kationik, reaktif dan non-ionik menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan karena merupakan polutan beracun yang dapat menyebabkannya efek karsinogenik pada organisme hidup (Ravi & Pandey, 2019). *Methylene blue* (3,7-bis(dimetilamino) fenotiazin klorida tetra metiltionin klorida) adalah salah satu pewarna sintetik yang banyak digunakan dalam jumlah besar sebagai pewarna kertas, pada wol, sutra, dan katun (Li dkk., 2020). Pelepasan air limbah *methylene blue* secara parsial atau tidak diolah dapat menyebabkan banyak dampak negatif. Banyak metode yang digunakan untuk menghilangkan dan mengurangi *methylene blue* yang diklasifikasikan secara fisika (Abdel-Karim dkk., 2018), biologi (Ahmed dkk., 2017), dan kimia (Nidheesh dkk., 2018). Beberapa metode yaitu elektrokoagulasi, fotokatalis, biopurifikasi, fitoremediasi, membran vakum distilasi, ekstraksi cair-cair, ultrafiltrasi dan nanofiltrasi. Namun, penelitian tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar metode ini memiliki beberapa kelemahan seperti mahal, konsumsi energi yang tinggi, membutuhkan waktu yang lama dan biaya operasional tinggi (Oladoye dkk., 2022). Berbeda dengan metode-metode ini, metode adsorpsi telah banyak digunakan dan efektif untuk menghilangkan *methylene blue* dalam air (Fito dkk., 2023).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, silika aerogel menunjukkan hasil yang menjanjikan sebagai adsorben dan memiliki kemampuan adsorpsi yang baik. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis silika aerogel dari sekam padi yang memiliki kandungan silika tinggi, dan akan dimodifikasi menggunakan trimetilklorosilan (TMCS).

Modifikasi dengan TMCS dapat meningkatkan sifat hidrofobik pada silika aerogel dan mengubah gugus silanol menjadi gugus $(-\text{Si}-(\text{CH}_3)_3)$ yang mengurangi afinitas aerogel terhadap air dan meningkatkan interaksi dengan

molekul lain, sehingga memungkinkan peningkatan kapasitas dalam mengadsorpsi zat warna. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi seperti variasi modifikasi silika aerogel sebagai adsorben, waktu kontak dan variasi konsentrasi akan dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum silika aerogel sebagai adsorben methylene blue. Dengan demikian, penelitian ini akan berfokus pada sintesis silika aerogel dari sekam padi termodifikasi trimetilklorosilan (TMCS) sebagai adsorben methylene blue dalam larutan.

Berdasarkan penjabaran yang telah dituturkan di atas, penulis berinisiatif melakukan riset penelitian yang berjudul “Aplikasi dan Karakterisasi Silika Aerogel Sekam Padi Termodifikasi Trimetilklorosilan (TMCS) untuk Adsorpsi Metilen Biru dalam Air”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu kontak silika aerogel terhadap zat warna methylene biru?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi silika aerogel terhadap zat warna methylene biru?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak silika aerogel terhadap zat warna methylene biru.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi silika aerogel terhadap zat warna methylene biru.

1.4 Manfaat Penelitian

Riset ini diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pihak, diantaranya:

1. Instansi

Riset ini dapat menjadi sumber informasi dan referensi yang berharga untuk memperluas pengetahuan mahasiswa tentang pengolahan

air yang mengandung metilen biru menggunakan adsorben dari berbagai jenis limbah sebagai media pengolahannya.

2. Akademisi

Hasil riset ini dapat menjadi sumber data yang berguna bagi akademisi dan peneliti yang tertarik untuk mengembangkan penelitian tentang alternatif pengolahan air yang mengandung zat warna metilen biru. Data tersebut dapat digunakan sebagai bahan perbandingan dan referensi dalam upaya pengembangan penelitian lebih lanjut

3. Masyarakat

Hasil riset ini dapat diaplikasikan secara langsung oleh masyarakat untuk mengurangi pencemaran pada air, yang merupakan sumber kehidupan bagi manusia dan makhluk lainnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Silika Sekam Padi

Pada tahun 2023, luas panen padi di Indonesia sebesar 10,20 juta hektar dengan produksi padi sebesar 53,63 juta ton gabah kering giling (GKG). Sekam padi, merupakan hasil samping dari proses penggilingan padi dan merupakan salah satu limbah pertanian yang paling banyak tersedia yaitu sebesar 15 juta ton per tahunnya (Badan Pusat Statistik, 2023). Meskipun dianggap sebagai limbah, sekam padi dapat dimanfaatkan dengan cara yang bermanfaat untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Sekam padi umumnya dimanfaatkan sebagai pupuk organik, bahan baku bioethanol dan masih banyak lagi diantaranya dibakar atau dibuang sia-sia. Namun sekam padi juga merupakan limbah yang bisa dimanfaatkan menjadi bahan standar pada pembuatan silika (Riza dkk., 2022).

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Sifat Fisika Abu Sekam Padi

Karakteristik	Komponen	Kadar persentase (%)
Kimia (% dari berat)	SiO ₂	91,15
	Al ₂ O ₃	0,41
	Fe ₂ O ₃	0,21
	CaO	0,41
	MgO	0,45
	SO ₃	0,62
	K ₂ O	6,25
	Na ₂ O	0,05
Fisika	Luas Permukaan (m ² /g)	4,091 2,07
	Berat Jenis	

Sumber: (Nzereogu dkk., 2023)

Sekam padi tersusun dari beberapa campuran bahan organik seperti selulosa, lignin, dan komponen mineral termasuk silika, alkali serta elemen jejak. Abu sekam padi sebagian besar terdiri dari 90-98% silika, karakteristik silika dari sekam padi sendiri memiliki sifat pori tinggi, ketahananya yang tinggi, sifat anti

korosi baja, aluminium dan tembaga, kelembaban dan permeabilitas rendah, ringan serta luas permukaan yang besar. K_2O , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , dan Fe_2O_3 hadir dalam abu sekam padi pada suhu yang lebih rendah dengan persentase konsentrasi kurang dari 1% (Nzereogu dkk., 2023).

Sekam padi mengandung silika dalam bentuk amorf, yaitu bentuk silika yang tidak memiliki struktur kristal teratur. Abu sekam padi menjadi bahan baku yang lebih murah dan ekonomis untuk pembuatan gel silika. Gel silika dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan perbedaan dalam metode pembuatan, struktur dan sifat-sifatnya yaitu silika aerogel, silika xerogel dan silika hidrogel. Perbedaan yang jelas dari mereka, aerogel terbentuk saat cairan dari gel diekstraksi pada kondisi superkritis, sedangkan xerogel terbentuk saat cairan dari gel diuapkan pada suhu kamar. Hidrogel adalah silika gel yang pori-porinya terisi oleh air. Aerogel dan xerogel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pemurnian air dan adsorpsi selektif melalui interaksi (Zou & Yang, 2019).

2.1.2. Silika Aerogel

Silika aerogel merupakan material solid berpori dengan karakteristik porositas yang besar, konstanta dielektrik, harga indeks refraksi dan densitas rendah serta luas permukaan yang besar. Silika merupakan bahan yang berlimpah dan murah yang cocok untuk sintesis bahan dan aplikasi komersial. Silika aerogel menjadi semakin penting dan menarik banyak minat karena sifatnya yang luar biasa dan banyak penerapannya (Mazrouei-Sebdani dkk., 2021).

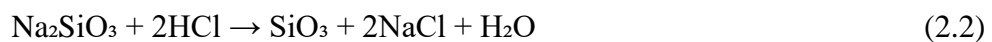
Tabel 2. Komponen Silika Aerogel

Karakteristik	Nilai
Densitas	0,003-0,5 g/cm ³
Luas permukaan	500-1500 m ² /g
Porositas	80-98%
% solid	0,13-15%
Diameter pori	2-50 nm
Indeks bias	1,007-1,24
Konstanta dielektrik	1-2

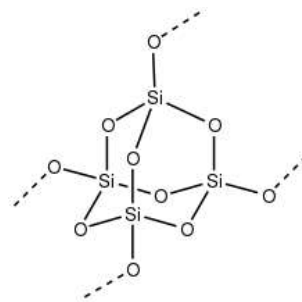
Sumber: (Akhter dkk., 2021)

Silika aerogel adalah jaringan rantai yang saling berhubungan, dimana masing-masing rantai terbuat dari nanopartikel bulat. Aerogel silika biasanya

disintesis dengan metode sol-gel, yang tahap akhirnya mengganti cairan dalam gel dengan udara, dengan cara mengekstraksi cairan dari gel pada temperatur dan tekanan yang sangat tinggi yang biasanya disebut dengan pengeringan superkritis. Sekam padi diperlakukan dengan metode sol gel untuk nantinya dapat digunakan sebagai sumber silika pada silika aerogel dengan dikalsinasi pada suhu tinggi dan penambahan NaOH serta asam HCl (Azat dkk., 2019).

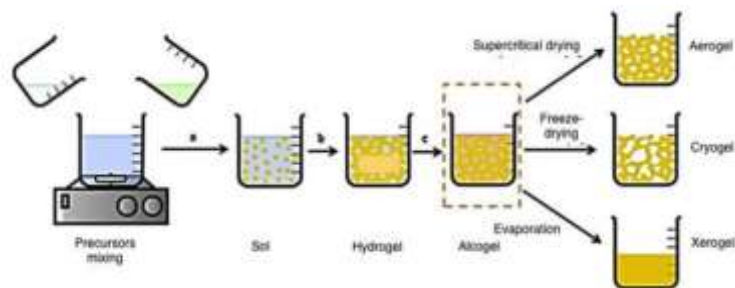


Perlakuan pelarut basa dengan asam klorida meningkatkan silanol ($\text{R}_3\text{Si-OH}$). Pembentukan dan kondensasi yang mengarah pada pembentukan jaringan Si-O-Si tiga dimensi.



Gambar 1. Struktur Silika (Azat dkk., 2019)

Setelah gel sudah terbentuk, maka tahapan selanjutnya yaitu aging. Selama proses aging terjadi evaporasi pelarut dan distribusi ukuran partikel, peningkatan pada volume dan diameter pori, namun proses aging tidak berpengaruh pada luas permukaan aerogel sehingga hanya terjadi sedikit pengerutan saat proses pengeringan. Lamanya proses aging memberikan pengaruh pada properti silika aerogel berbasis natrium silikat (Akhter dkk., 2021).



Gambar 2. Skema Sintesis Aerogel (Akhter dkk., 2021)

Drying atau pengeringan merupakan langkah terakhir dan terpenting karena menentukan sifat gel yang diperoleh. Umumnya gel yang disintesis adalah xerogel, aerogel dan cryogel. Perbedaan pada ketiga gel tersebut adalah metode pengeringan yang digunakan. Karena itu, ketiga jenis gel tersebut menunjukkan sifat yang berbeda seperti porositas dan luas permukaan. Aerogel biasanya disintesis melalui pengeringan superkritis, namun aerogel silika yang disintesis dengan metode ini bersifat higroskopis, sehingga dalam penggunaannya mudah menyerap air dari udara. Selain itu, pengeringan superkritis juga menghabiskan konsumsi energi yang tinggi serta tidak aman (Abbas dkk., 2019).

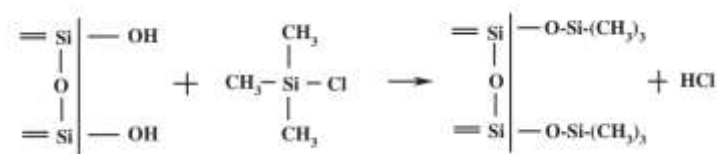
Sintesis silika aerogel menggunakan teknik ambient pressure drying (APD) lebih hemat biaya dibandingkan dengan metode pengeringan superkritis yang lebih mahal dan bersifat karsinogenik karena bahan kimia tersebut akan menunjukkan sifat fisiokimia yang unggul setelah modifikasi permukaan selesai. APD membantu meningkatkan kekuatan jaringan gel, menyebabkan modifikasi permukaan dan pertukaran pelarut pada gel basah. Akibat adanya antarmuka uapcair, gel basah akan menjadi kering karena adanya penguapan cairan ke lingkungan. Teknik APD membutuhkan proses modifikasi pada permukaan silika aerogel menggunakan agen pemodifikasi permukaan sehingga silika aerogel bersifat hidrofobik dan reaksi kondensasi tidak terjadi selama proses pengeringan.

2.1.3. TMCS

Silika aerogel yang disintesis memiliki permukaannya terdiri dari gugus silanol (OH) dan siloksan kelompok (Si-O-Si). Gugus silanol yang higroskopis menyebabkan permukaan silika aerogel menjadi hidrofilik. Sifat hidrofilik gugus silanol membuatnya mudah untuk mengikat hidrogen secara kuat dengan air, sehingga mempengaruhi penggunaannya aerogel di berbagai bidang. Sifat ini dapat dimodifikasi melalui reaksi dengan senyawa organik pada permukaan silika gel untuk mengubah polaritas silika gel ke non-polar, yang umum digunakan sebagai agen siliasi dan pemodifikasi silika aerogel adalah TMCS (Tanheitafino dkk., 2020).

Trimetilklorosilan adalah senyawa organosilikon (silil halida), dengan rumus $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$, sering disingkat Me_3SiCl atau TMCS. Ini adalah cairan mudah

menguap tidak berwarna yang stabil tanpa adanya air. TMCS banyak digunakan dalam berbagai aplikasi kimia, termasuk dalam modifikasi permukaan material seperti silika aerogel. Dalam silika aerogel, TMCS dapat digunakan sebagai agen modifikasi untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu dari aerogel. Proses modifikasi dengan TMCS dapat menghasilkan silika aerogel yang lebih hidrofobik (tahan terhadap air), karena gugus trimetilsilil (-Si(CH₃)₃) dalam senyawa ini pada permukaan aerogel dapat membuatnya lebih repelen terhadap air (Mahadik dkk., 2011).

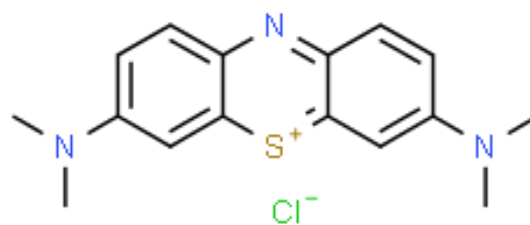


Gambar 3. Reaksi Silika Termodifikasi TMCS (Mahadik dkk., 2021)

Penggunaan TMCS dalam modifikasi permukaan silika aerogel dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan daya serap atau adsorpsi terhadap molekul tertentu pada zat pewarna atau senyawa organik.

2.1.4. Methylene blue

Methylene blue (MB) adalah senyawa heterosiklik dengan struktur planar. Berat molekul *methylene blue* yaitu 319,85 g/mol dengan struktur C₁₆H₁₈ClN₃S. MB adalah jenis pewarna biru, kationik, dan tiazin yang banyak digunakan dalam industri tekstil sebagai zat pewarna serat dan juga dalam bidang kedokteran sebagai zat pewarna (Ahmad dkk., 2020).



Gambar 4. Struktur *Methylene blue* (Ahmad dkk., 2020)

Kehadiran MB bisa berperan sebagai ancaman serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. MB umumnya memiliki koefisien penyerapan molar yang

tinggi ($8,4 \times 10^4 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ pada 665 nm), dan ini dapat mengakibatkan melemahnya transmisi sinar matahari, sehingga menggagalkan cahaya yang mencapai aliran/sungai tersebut. Oleh karena itu, keberadaan MB dapat berdampak negatif terhadap proses fotosintesis, kebutuhan oksigen kimia (COD), kebutuhan oksigen biologis (COD) dan tingkat kebutuhan oksigen, sehingga mempengaruhi keseluruhan air ekosistem (Meng dkk., 2019).

Tabel 3. Komponen Kimia dan Fisika *Methylene blue*

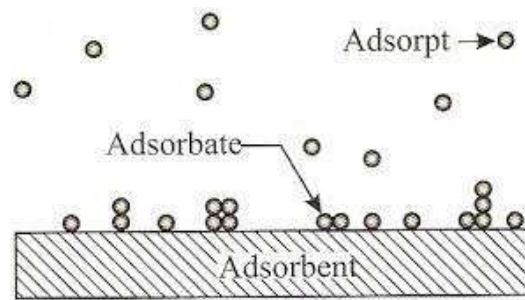
Parameter	Nilai
Panjang gelombang maksimum	665 nm
Ionisasi	Dasar
Derajat kelarutan	3,55%
Nomor indeks biru dasar	<i>Basic blue 9</i>
Nomor indeks warna	52015
pH air	2,0-3,5

Sumber: (Meng dkk., 2019)

MB memiliki afinitas yang kuat terhadap air pada kondisi suhu normal dan secara umum juga sulit terurai. Maka dari itu perlu adanya suatu metode untuk menghilangkan *methylene blue* dalam larutan. Beberapa metode yang dapat digunakan yaitu elektrokoagulasi, fotokatalis, biopurifikasi, fitoremediasi, membran vakum distilasi, ekstraksi cair-cair, ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan adsorpsi (Titchou dkk., 2020).

2.1.5. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses di mana molekul atau ion dari larutan atau gas diserap dan melekat pada permukaan suatu material, yang disebut adsorben. Proses ini terjadi karena adanya gaya-gaya tarik antara molekul adsorbat (yang diserap) dan permukaan adsorben. Adsorpsi dapat ditemui dalam berbagai konteks dan aplikasi, termasuk pengolahan air limbah, pemurnian air, adsorpsi gas, dan banyak lagi. Bahan adsorben yang umum digunakan melibatkan material berpori dengan permukaan yang luas, seperti arang aktif, zeolit, atau silika aerogel. Proses adsorpsi sangat penting dalam pengolahan limbah dan perlindungan lingkungan, karena dapat membantu menghilangkan kontaminan dari lingkungan (Goryunova dkk., 2023).



Gambar 5. Mekanisme Adsorpsi (Goryunova dkk., 2023).

Teknologi adsorpsi untuk menghilangkan pewarna, seperti MB, menggunakan penggunaan sorben padat. Teknik ini telah banyak digunakan dan efektif digunakan untuk menghilangkan MB dari air limbah. Ada banyak adsorben yang telah diteliti dan berhasil diterapkan untuk mereduksi konsentrasi pewarna dari larutan air. Adsorpsi memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya menjadi metode yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pemurnian air, pengolahan limbah, dan pemisahan senyawa seperti, efisiensi penghilangan pencemar. Adsorpsi seringkali sangat efisien dalam menghilangkan zat pencemar dari larutan. Adsorben yang digunakan dapat memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap berbagai jenis senyawa atau ion. Selektivitas, proses adsorpsi dapat dirancang untuk menargetkan senyawa atau ion tertentu tanpa mempengaruhi komponen lain dalam larutan. Tidak memerlukan energi tinggi, adsorpsi dapat berlangsung pada suhu kamar atau suhu rendah, mengurangi konsumsi energi (Li dkk., 2020). Silika aerogel yang telah dimodifikasi dengan TMCS dapat menjadi adsorben yang efektif untuk adsorpsi *methylene blue*. Modifikasi dengan TMCS dapat meningkatkan sifat hidrofobik dan kemampuan adsorpsi aerogel.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Memahami faktor-faktor ini penting untuk merancang dan mengoptimalkan sistem adsorpsi *methylene blue*. Berikut adalah beberapa faktor utama yang dapat mempengaruhi adsorpsi (Goryunova dkk., 2023):

1. **Luas Permukaan:** Luas permukaan adsorben merupakan faktor kritis, karena mempengaruhi jumlah adsorpsi yang tersedia. Semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi.

2. Suhu: Suhu larutan dapat memengaruhi kinetika dan kapasitas adsorpsi. Pada umumnya, peningkatan suhu dapat meningkatkan laju adsorpsi.
3. pH Larutan: pH larutan dapat mempengaruhi muatan permukaan adsorben dan ionisasi adsorbat, yang berdampak pada kapasitas adsorpsi.
4. Waktu kontak antara adsorbat dan adsorben dapat mempengaruhi tingkat adsorpsi. Proses adsorpsi dapat mencapai kesetimbangan seiring berjalannya waktu.
5. Konsentrasi Adsorbat : Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben
6. Regenerasi Adsorben: Kemampuan untuk meregenerasi adsorben setelah jenuh dapat memengaruhi efisiensi dari proses adsorpsi.
7. Kecepatan Pengadukan : Bila pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, tetapi bila pengadukan terlalu cepat kemungkinan struktur adsorben cepat rusak, sehingga proses adsorpsi kurang optimal.

2.1.6. Isotermis Adsorpsi

Isotermis adsorpsi adalah hubungan matematis antara jumlah adsorbat (zat yang diserap) yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan konsentrasinya dalam fase fluida (biasanya larutan atau gas) pada suhu dan tekanan tertentu. Isotermis ini digunakan untuk menggambarkan sejauh mana material adsorben dapat menyerap zat tertentu pada berbagai konsentrasi. Isotermis adsorpsi umumnya dijelaskan menggunakan beberapa model isotermis yang paling umum, di antaranya adalah:

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

$$Q = \frac{X_m K C_e}{(1 + K C_e)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- Q = Banyaknya zat yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)
 C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L)
 X_m = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
 K = Konstanta Langmuir (L/mol)

Persamaan diatas dapat dilinierkan menjadi:

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{X_m K} + \frac{C_e}{X_m} \quad (2.4)$$

Berdasarkan persamaan isoterms Langmuir dengan sumbu $x = C_e$ dan sumbu $y = C_e/Q$ maka persamaan garis $y = ax + b$ dengan a (slope) = $\frac{1}{X_m K}$ dan b (intersep) = $\frac{1}{X_m K}$ (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

Sementara itu, persamaan isoterm adsorpsi Freundlich (Wijayanti & Kurniawati, 2019) dirumuskan dengan:

$$Q = K_f C_e^{1/n} \quad (2.5)$$

Keterangan:

Q = Banyaknya zat yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)

C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L)

K_f = Konstanta Freundlich (L/mol)

n = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

Persamaan diatas dapat dilinierkan dengan mengambil logaritmanya menjadi:

$$\log Q = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan isoterms Freundlich dengan sumbu $x = \log C_e$ dan sumbu $y = Q$ maka persamaan garis $y = ax + b$ dengan a (slope) = $\frac{1}{n}$ dan b (intersep) = $\log K_f$.

Hasil persamaan garis $y = ax + b$ dari persamaan isoterms Langmuir dan Freundlich dapat diketahui besarnya R^2 (koefisien regresi linier). Apabila nilai R^2 mendekati 1 maka adsorpsi isoterms *methylene blue* terhadap silika aerogel termodifikasi TMCS sesuai dengan persamaan isoterms Langmuir dan Freundlich yang mempunyai nilai R^2 mendekati 1 (Nazriati dkk., 2019).

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan permasalahan penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Penelitian	Judul penelitian	Variabel atau Instrumen	Hasil Penelitian
1.	(Feng (2018)	Synthesis of high specific surface area silica	rasio volumetrik TMCS/n-heksan 0/50; 2,5/50;	Hasil penelitian dengan metode APD sintesis

		aerogel from rice husk ash via ambient pressure drying	5/50; 7,5/50; dan 10/50.	silika aerogel sekam padi pada pH adalah 5,0 dan rasio volumetrik TMCS terhadap n-heksana adalah 7/50, silika aerogel diperoleh dengan kinerja optimal yang sangat tinggi luas permukaan spesifik (945,8 m ² /g), volume pori (0,889 cm ³ /g), kepadatan rendah (0,071 g/cm ³) distribusi ukuran pori seragam, suhu tahan panas tinggi hingga 400 °C.
2	Mahardhika & Muldarisnur (2021)	Sintesis dan Karakterisasi Silika Aerogel Sebagai Adsorben Tumpahan Minyak.	Sintesis silika aerogel dengan penambahan try methylchlorosilane (TMCS) sebagai adsorben tumpahan minyak.	Dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan TMCS terhadap karakteristik silika aerogel. Silika aerogel disintesis menggunakan metode sol-gel dan proses pengeringan ambient pressure drying (APD). Hasil penelitian menunjukkan terdapat gugus –OSiCH ₃ pada silika aerogel hasil sintesis yang mengindikasikan proses sililasi sudah terjadi. Silika aerogel hasil sintesis dengan penambahan TMCS dapat menyerap minyak sampai 4,8 kali masa keringnya. Porositas silika aerogel terendah didapatkan sebesar 37,3 % dan tertinggi yaitu sebesar 73,3 %.
3	Hidayatullo h (2021))	Pemanfaatan Silika Sekam Padi sebagai Aerogel	Silika Aerogel disintesis melalui perolehan Silika dari	Hasil penelitian menunjukkan Silika Aerogel berfungsi

Adsorben untuk Menurunkan Kandungan Logam pada Air.	sekam padi yang dimurnikan dengan pengekstrak NaOH, penambahan H ₂ SO ₄ , penambahan Trimetilklorosilan (TMCS), pencucian menggunakan air dengan metode pengeringan Freeze Drying	aktif sebagai adsorben dengan tingkat adsorpsivitas yang cukup tinggi. Kondisi optimum Silika Aerogel berperan sebagai adsorben yaitu pada kondisi pH netral atau mendekati netral, waktu kontak 24 jam, dan dilakukan pada kondisi standar. Kemampuan adsorpsi silika aerogel terhadap removal logam Cu, Pb, Cd dan Ni berturut-turut 33,4%, 96,9%, 10,5% dan 2,5%.
---	---	--

Sumber: Hasil penelitian sebelumnya diolah (2024)

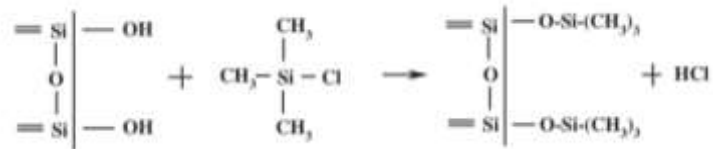
2.3 Kerangka Konsep Penelitian

Sintesis silika xerogel menghasilkan gugus aktif silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) dan siloksan (Si-O-Si). Gugus silanol bersifat higroskopis, sehingga menyebabkan permukaan silika xerogel bersifat hidrofilik (Ivanov et al., 2017). Sehingga perlu modifikasi agar terjadi perubahan polaritasnya menjadi non polar. Senyawa organik yang digunakan untuk modifikasi permukaan silika adalah trimethylchlorosilane (TMCS) karena lebih reaktif (Tanheitafino, Shofiyani, Sasri, & Rudiyanasyah, 2020).

Pada proses sintesis silika hidrofobik, campuran pelarut yang biasa digunakan bersama dengan TMCS adalah n-heptana atau n-heksana. Namun menurut (Tanheitafino, Shofiyani, Sasri, & Rudiyanasyah, 2020), jenis pelarut organik petroleum benzena (PB) memberikan hasil campuran yang lebih baik dengan TMCS serta mudah dipisahkan dengan penguapan. Selain itu juga ditambahkan pelarut methanol yang bersifat ambipolar, sehingga menguntungkan sebagai mediator fasa menengah.

Silika xerogel umumnya disintesis dengan metode sol gel menggunakan prekursor natrium silikat seperti tetraethylortosilicate (TEOS) atau tetramethoxysilane (TMOS) (Oikawa et al., 2017). Namun senyawa ini bersifat

racun, harganya mahal, dan membutuhkan alkohol sebagai pelarut pada tahap hidrolisis (Rahayu et al., 2019). Produksi silika gel dari limbah pertanian telah banyak dilaporkan seperti abu sekam padi (Hidayatulloh et al., 2021), abu bagasse (Rahayu et al., 2019), dan abu daun salak (Fatimah et al., 2021).



Gambar 6. Pendekatan Pemecahan Masalah

Berdasarkan hasil penelitian awal terkait kandungan silikanya, silika sekam padi memiliki 98,7% (Fatimah et al., 2021). Sehingga bahan ini bisa menjadi bahan baku yang ekonomis untuk menyintesis natrium silika atau material maju berbasis silika.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan eksperimen menggunakan sekam padi untuk pembuatan silika aerogel yang dimodifikasi dengan TMCS. Proses yang dilakukan meliputi sintesis silika abu sekam padi, modifikasi silika aerogel, karakterisasi serta adsorpsi methylene blue. Karakterisasi sampel menggunakan instrumen XRD (X-Ray Diffraction), FTIR (Fourier Transform Infrared spectroscopy) dan spektrofotometer UV-Vis.

3.2 Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan dari petani lokal di daerah Bancar Tuban. Selanjutnya tahap preparasi, sintesis, dan analisis penelitian ini dilakukan di laboratorium Kimia Fakultas Teknik dan Sains Universitas Bojonegoro.

3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

Populasi adalah semua jenis sekam padi. Sampel adalah sekam padi yang telah disintesis sebagai silika aerogel. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara acak dan representatif.

3.4 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

Jenis data adalah data primer yang diperoleh dari hasil laboratorium. Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan memerlukan alat dan bahan berupa buret, statif dan klem, spatula, pipet tetes, hot plate, beaker glass 250 mL, Erlenmeyer 250 mL, neraca analitik, furnace, cawan porselin, ayakan 100 mesh, corong, pipet ukur 10 mL, magnetic stirrer, labu ukur 100 mL, pH meter, pipet volume 10 mL, labu ukur 100 mL, desikator, dan oven.

Bahan yang digunakan sekam padi, trimetilklorosilan (TMCS), n-heksan, etanol, asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), dan aquades. Sedangkan prosedur kerja yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yang dijabarkan sebagai berikut,

a. Pembuatan Larutan Baku *Methylene blue* 20 ppm

Pembuatan larutan baku *methylene blue* konsentrasi 20 ppm dengan menimbang sebanyak 0,002 gram kristal *methylene blue*. Kemudian dilarutkan

dengan aquades dan diencerkan dengan labu ukur 100 ml hingga tanda batas (Nurzihan dkk., 2019).

b. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan cara menganalisis larutan *methylene blue* 20 ppm dengan instrumen spektrofotometer UV-VIS pada range panjang gelombang 650-700 nm. Kemudian dilihat nilai absorbansi tertinggi (optimum) dari larutan standar *methylene blue* (Nurzihan dkk., 2019).

c. Pembuatan Kurva Kalibrasi *Methylene blue*

Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan membuat deret standar larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm. Selanjutnya diukur absorbansi masing-masing larutan pada panjang gelombang optimum dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS kemudian dibuat kurva standar yang menyatakan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi sehingga diperoleh persamaan garis $y = ax + b$ (Nurzihan dkk., 2019).

d. Variasi Waktu Kontak Adsorpsi *Methylene blue*

Adsorben silika aerogel termodifikasi TMCS dengan berbagai variasi yang telah dibuat dimasukan sebanyak 0,1 gram ke dalam 25 ml *methylene blue* 20 ppm kemudian ditutup dengan aluminium foil yang selanjutnya sampel dishaker 200 rpm dengan variasi waktu kontak 10, 30, 50, 70 dan 90 menit. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan kemudian filtratnya dianalisis dengan instrumen spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum untuk melihat efektifitas penurunan kadar *methylene blue* (Nazriati dkk., 2019).

e. Variasi Konsentrasi *Methylene blue* dan Kapasitas Adsorpsi Maksimum

Disiapkan masing-masing 25 ml larutan *methylene blue* dengan variasi konsentrasi 20, 30, 40, 50 dan 60 ppm kemudian dimasukan 0,1 gram silika aerogel. Kemudian ditutup dengan aluminium foil yang selanjutnya sampel dishaker 200 rpm pada waktu kontak optimum. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan kemudian filtratnya dianalisis dengan instrumen

spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum (Nazriati dkk., 2019).

f. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menentukan konsentrasi akhir *methylene blue* setelah melalui proses adsorpsi dari konsentrasi adsorbat terhadap kapasitas adsorpsi. Dimana besarnya *methylene blue* teradsorpsi oleh adsorben silika aerogel termodifikasi TMCS dihitung dengan rumus (Nazriati dkk., 2019):

$$\%removal = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Keterangan:

C_0 = Konsentrasi awal adsorbat (ppm)

C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (ppm)

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \times V \quad (3.2)$$

Keterangan:

Q = kapasitas adsorpsi per bobot molekul (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal adsorbat (ppm)

C_e = konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (ppm)

m = massa adsorben (g)

V = volume larutan (L)

Hasil analisis ini kemudian dimasukkan ke dalam persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich untuk menentukan model isoterm adsorpsi pada adsorben. Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

$$Q = \frac{X_m K C_e}{(1 + K C_e)} \quad (3.3)$$

Keterangan:

Q = Banyaknya zat yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)

C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L)

X_m = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

K = Konstanta Langmuir (L/mol)

Persamaan diatas dapat dilinierkan menjadi:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{X_m K} + \frac{C_e}{X_m} \quad (3.4)$$

Berdasarkan persamaan isoterms Langmuir dengan sumbu $x = C_e$ dan sumbu $y = C_e/Q$ maka persamaan garis $y = ax + b$ dengan a (slope) $= \frac{1}{X_m K}$ dan b (intersep) $= \frac{1}{X_m K}$ (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

Sementara itu, persamaan isoterm adsorpsi Freundlich (Wijayanti & Kurniawati, 2019) dirumuskan dengan:

$$Q = K_f C_e^{1/n} \quad (3.5)$$

Keterangan:

Q = Banyaknya zat yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g)

C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mg/L)

K_f = Konstanta Freundlich (L/mol)

n = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

Persamaan diatas dapat dilinierkan dengan mengambil logaritmanya menjadi:

$$\log Q = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3.6)$$

Berdasarkan persamaan isoterms Freundlich dengan sumbu $x = \log C_e$ dan sumbu $y = \log Q$ maka persamaan garis $y = ax + b$ dengan a (slope) $= \frac{1}{n}$ dan b (intersep) $= \log K_f$.

Hasil persamaan garis $y = ax + b$ dari persamaan isoterms Langmuir dan Freundlich dapat diketahui besarnya R^2 (koefisien regresi linier). Apabila nilai R^2 mendekati 1 maka adsorpsi isoterms *methylene blue* terhadap silika aerogel termodifikasi TMCS sesuai dengan persamaan isoterms Langmuir dan Freundlich yang mempunyai nilai R^2 mendekati 1 (Nazriati dkk., 2019).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada bab ini, akan dibahas hasil penelitian Aplikasi dan Karakterisasi Silika Aerogel Sekam Padi Termodifikasi Trimetilklorosilan (TMCS) untuk Adsorpsi Metilen Biru dalam Air. Uji adsorpsi *methylene blue* dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi dan memahami pengaruh berbagai parameter seperti waktu kontak dan konsentrasi awal *methylene blue* terhadap kinerja adsorpsi. Pembahasan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai manfaat dan keterbatasan silika aerogel termodifikasi TMCS sebagai adsorben untuk *methylene blue* serta kontribusinya terhadap perkembangan teknologi material adsorben.

4.2 Pembahasan

Pembahasan dari masing-masing hasil prosedur penelitian dijabarkan di sub bab berikut.

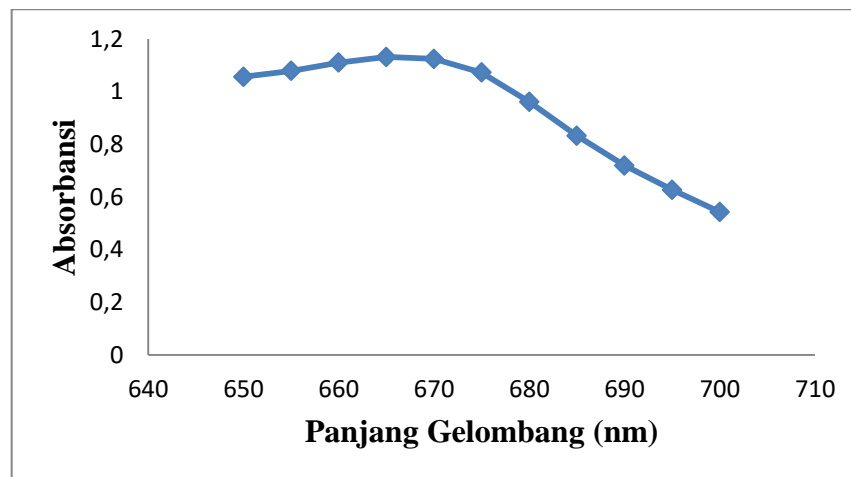
4.2.1 Analisis Silika Aerogel Sekam Padi Termodifikasi TMCS Untuk Adsorpsi *Methylene blue*

Silika aerogel yang telah dimodifikasi TMCS diaplikasikan untuk adsorpsi zat warna *methylene blue* untuk mengetahui sifat hidrofobik aerogel yang memfasilitasi interaksi keduanya. Variasi waktu kontak dan konsentrasi *methylene blue* dilakukan untuk mengetahui efektifitas kapasitas adsorpsi oleh silika aerogel.

4.2.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum *Methylene blue*

Penentuan panjang gelombang maksimum merupakan parameter penting dalam analisis spektrofotometri, hal ini dikarenakan pada panjang gelombang maksimum zat warna menyerap cahaya yang paling intensif dan memungkinkan deteksi serta kuantifikasi yang akurat. *Methylene blue* 20 ppm diidentifikasi puncak absorpsi tertinggi untuk menentukan panjang gelombang maksimum pada *range* panjang gelombang 650-700 nm. Dari hasil pengukuran spektrum absorpsi, diperoleh data panjang gelombang dan absorbansi. Grafik spektrum absorpsi

methylene blue menunjukkan puncak absorpsi tertinggi yang menandakan panjang gelombang maksimum pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Panjang Gelombang Maksimum *Methylene blue*

Gambar 7 menunjukkan puncak tertinggi pada panjang gelombang 665 nm dengan nilai absorbansi sebesar 1,131. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Fernandez-Perez & Marban (2020) dimana *methylene blue* diukur pada rentang panjang gelombang 400-800 nm pada temperatur ruang menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan didapatkan panjang gelombang maksimum pada 665 nm dalam larutan air. Ini adalah panjang gelombang dimana *methylene blue* menyerap cahaya paling kuat dan intensitas paling tinggi sehingga meningkatkan sensitivitas pengukuran. Sensitivitas yang tinggi memungkinkan deteksi konsentrasi *methylene blue* yang sangat rendah, yang penting untuk analisis yang memerlukan ketelitian tinggi.

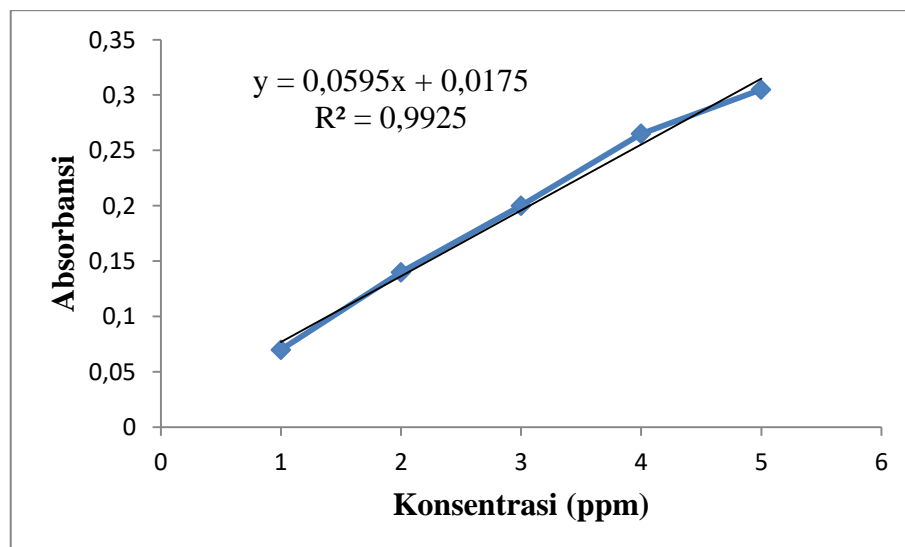
4.2.3 Penentuan Kurva Kalibrasi *Methylene blue*

Kurva kalibrasi menunjukan hubungan antara konsentrasi suatu zat dan absorbansi yang diukur pada panjang gelombang maksimumnya. Kurva ini digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu zat dalam sampel yang belum diketahui berdasarkan nilai absorbansi yang diukur. Deret larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm diukur nilai absorbansinya dengan pengulangan sebanyak 3 kali pada panjang gelombang maksimum yaitu 665 nm, hasil absorbansi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Absorbansi Larutan Standar *Methylene blue*

Konsentrasi <i>Methylene blue</i> (ppm)	Absorbansi
1	0,071
2	0,143
3	0,200
4	0,265
5	0,305

Tabel 5 menunjukkan data dari absorbansi larutan standar *methylene blue*, dari data di atas dibuat kurva yang menunjukkan konsentrasi sebagai sumbu x dan absorbansi sebagai sumbu y sehingga akan diperoleh persamaan seperti pada gambar 8.

**Gambar 8. Kurva Standar *Methylene blue***

Gambar 8 menunjukkan kurva standar hubungan linier antara konsentrasi zat warna *methylene blue* dan absorbansinya. Dilihat pada gambar bahwa semakin besar konsentrasi zat warna *methylene blue* maka semakin tinggi pula nilai absorbansinya, hal ini sesuai dengan hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa absorbansi dari sebuah larutan pada suatu panjang gelombang tertentu adalah berbanding lurus dengan konsentrasi zat dalam larutan dan panjang jalur cahaya yang dilalui melalui larutan itu sendiri. Persamaan regresi linier yang diperoleh yaitu $y = 0,0595x + 0,0175$, dimana y yaitu absorbansi dan x adalah konsentrasi larutan *methylene blue*. Nilai koefisien determinasi (R^2) adalah

0,9925, yang menunjukkan koefisien determinasi yang diperoleh baik karena mendekati 1. Hal ini memberikan dasar yang baik untuk menggunakan kurva tersebut dalam menentukan konsentrasi *methylene blue* dalam sampel yang tidak diketahui dengan akurasi yang tinggi.

4.2.4 Variasi Waktu Kontak Pada Adsorpsi *Methylene blue*

Variasi waktu kontak digunakan untuk menentukan waktu optimal yang diperlukan untuk melihat efektivitas proses adsorpsi. Pada penelitian ini, silika aerogel tanpa variasi dan berbagai variasi TMCS digunakan sebagai adsorben *methylene blue*, dengan memasukan 0,1 gram ke dalam 25 ml *methylene blue* 20 ppm. Selanjutnya sampel dishaker kecepatan 200 rpm dengan variasi waktu kontak 10, 30, 50, 70 dan 90 menit. Selanjutnya dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring whatman no. 42. Kemudian filtratnya dianalisis dengan instrumen spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum untuk melihat efektivitas penurunan kadar *methylene blue*. Dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Tabel 6 menunjukkan nilai absorbansi *methylene blue* setelah di adsorpsi oleh silika aerogel dengan berbagai variasi waktu kontak.

Tabel 6. Daya Adsorpsi Silika Aerogel Terhadap Zat Warna *Methylene blue* Dengan Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak	Absorbansi	Variasi Aerogel				
		Tanpa Variasi TMCS	1:0,5:1	1:1:1	1:1,5:1	1:2:1
10 Menit	R1	0,365	0,205	0,203	0,230	0,105
	R2	0,365	0,207	0,203	0,229	0,103
	R3	0,368	0,207	0,206	0,229	0,105
	Rata-Rata	0,336	0,206	0,204	0,229	0,104
30 Menit	R1	0,285	0,084	0,072	0,07	0,072
	R2	0,284	0,084	0,071	0,068	0,072
	R3	0,285	0,084	0,072	0,067	0,071
	Rata-Rata	0,285	0,084	0,072	0,068	0,072
	R1	0,325	0,061	0,061	0,082	0,07

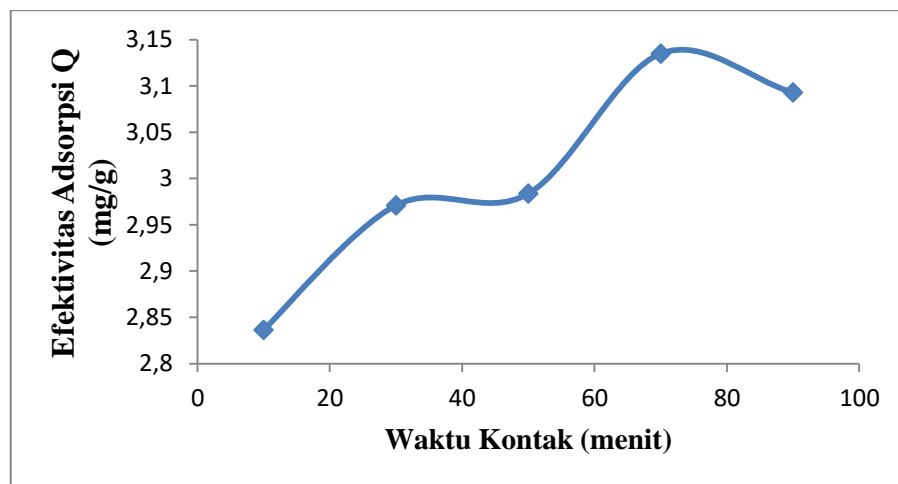
50	R2	0,325	0,061	0,061	0,082	0,069
Menit	R3	0,326	0,061	0,060	0,081	0,069
	Rata-Rata	0,325	0,061	0,061	0,082	0,069
	R1	0,447	0,091	0,100	0,114	0,033
70	R2	0,446	0,091	0,100	0,114	0,033
Menit	R3	0,445	0,091	0,100	0,114	0,033
	Rata-Rata	0,446	0,091	0,100	0,114	0,033
	R1	0,358	0,070	0,078	0,135	0,044
90	R2	0,358	0,069	0,077	0,134	0,042
Menit	R3	0,358	0,070	0,077	0,134	0,042
	Rata-Rata	0,358	0,070	0,077	0,134	0,043

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai absorbansi terendah yaitu silika aerogel dengan variasi rasio silika:TMCS:n-heksana 1:2:1 dengan waktu pengadukan 70 menit. Sedangkan pada adsorpsi oleh silika aerogel yang tidak dimodifikasi masih menunjukkan nilai absorbansi yang cukup tinggi dibandingkan dengan silika aerogel termodifikasi TMCS. Nilai absorbansi yang rendah menunjukkan bahwa konsentrasi *methylene blue* yang tersisa dalam larutan berkurang secara signifikan dan menunjukkan efisiensi adsorpsi yang baik. Ini menunjukkan bahwa rasio dan kondisi pengadukan tersebut memberikan efisiensi adsorpsi terbaik, dimana sebagian besar *methylene blue* telah diadsorpsi oleh silika aerogel. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Tanheitafino dkk (2020) dimana semakin besar volume TMCS yang digunakan yaitu rasio tertinggi 2,5:1:1 didapatkan hasil luas permukaan dan sifat hidrofobisitas tertinggi. Karena inilah pada rasio terbesar penambahan TMCS yaitu 1:2:1 merupakan rasio yang paling efektif dalam mengadsorpsi zat warna *methylene blue*. Tabel 7 menunjukkan efektivitas adsorpsi dari pengaruh waktu kontak untuk penentuan waktu optimum adsorpsi silika aerogel termodifikasi TMCS terhadap zat warna *methylene blue*.

Tabel 7. Efektivitas Adsorpsi *Methylene blue* Berbagai Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Kesetimbangan <i>Methylene blue</i> , C_e (mg/L)	Efektifitas Adsorpsi, Q (mg/g)
10	1,4538	2,8365
30	0,9159	2,9711
50	0,8655	2,9836
70	0,2605	3,1349
90	0,4286	3,0928

Grafik pengaruh variasi waktu kontak terhadap efektivitas adsorpsi *methylene blue* oleh adsorben silika aerogel termodifikasi TMCS dapat dilihat pada Gambar 9.

**Gambar 9.** Grafik Hubungan Antara Waktu Adsorpsi Dengan Efektivitas Adsorpsi Sebagai Kontak Waktu

Berdasarkan Gambar 9 menunjukkan pada waktu kontak 10 sampai dengan 70 menit laju adsorpsi meningkat karena banyaknya situs aktif yang tersedia pada permukaan silika aerogel serta waktu kontak yang semakin lama dapat menyebabkan interaksi antara adsorben silika aerogel dengan adsorbat zat warna *methylene blue* semakin besar. Namun pada waktu kontak 90 menit terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini disebabkan karena laju adsorpsi telah mencapai titik kesetimbangan, dimana jumlah molekul *methylene blue* yang diadsorpsi sama dengan jumlah yang terdesorpsi dari permukaan silika aerogel. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dwijayanti (2020) mengatakan bahwa waktu kontak antara *methylene blue* dengan adsorben pada waktu yang

lama maka akan menyebabkan *methylene blue* dapat terlepas kembali ke dalam larutan, sehingga menyebabkan jumlah *methylene blue* tertukar semakin besar dan tidak ada peningkatan signifikan dalam adsorpsi serta daya serapnya juga menurun.

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan antara waktu kontak terhadap efektivitas adsorpsi, dimana kapasitas adsorpsi silika aerogel meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas adsorpsi tertinggi dan optimum pada waktu kontak 70 menit. Jika dilakukan perbandingan hasil waktu kontak optimum dari silika aerogel tanpa modifikasi TMCS yaitu 30 menit dengan silika aerogel termodifikasi TMCS dengan waktu optimum 70 menit memiliki perbedaan yang cukup besar dari efektivitas adsorpsinya yaitu berturut-turut 2,0774 g/mg dan 3,1348 g/mg, dengan persentase penghapusan zat warna *methylene blue* masing-masing 64,9% dan 97,9%. Besarnya jumlah *methylene blue* yang teradsorpsi oleh silika aerogel termodifikasi TMCS disebabkan oleh permukaan silika yang lebih hidrofobik (tidak suka air) sehingga *methylene blue* lebih mudah menempel pada permukaan tersebut. Semakin banyak TMCS yang ditambahkan, semakin hidrofobik permukaan silika aerogel, sehingga *methylene blue* mudah diadsorpsi. Selain itu, penambahan TMCS juga menyebabkan permukaan silika aerogel memiliki lebih banyak situs aktif yang memungkinkan terjadinya ikatan atau interaksi dengan molekul adsorbat dalam hal ini *methylene blue* (Nazriati dkk., 2019). Sehingga persentase serta efektivitas adsorpsi oleh silika aerogel termodifikasi TMCS lebih besar dibandingkan dengan silika aerogel tanpa modifikasi.

4.2.5 Variasi Konsentrasi *Methylene blue* dan Kapasitas Adsorpsi Maksimum

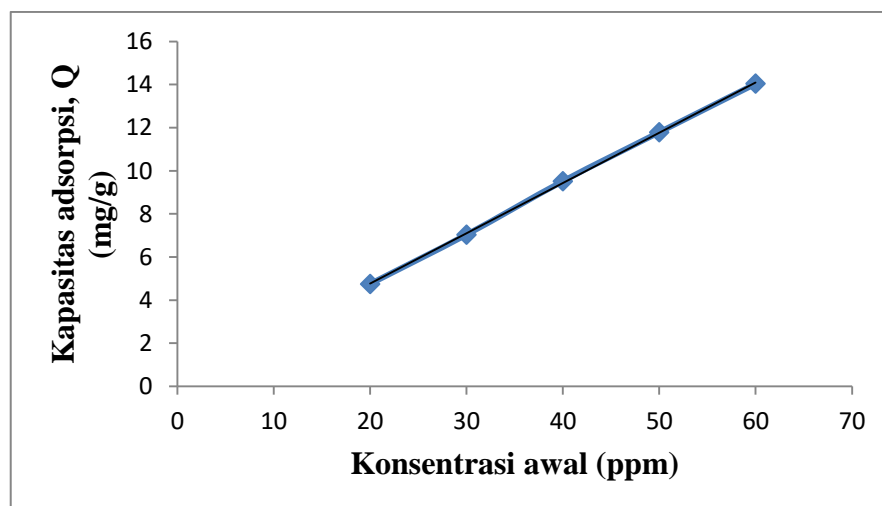
Variasi konsentrasi awal zat warna *methylene blue* dilakukan dengan tujuan untuk dapat menentukan kapasitas adsorpsi maksimum silika aerogel dan untuk analisis pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap efisiensi adsorpsi. Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum dilakukan dengan cara menyiapkan masing-masing 25 ml larutan *methylene blue* dengan variasi konsentrasi 20, 30, 40, 50 dan 60 ppm kemudian dimasukan 0,1 gram silika aerogel. Kemudian

ditutup dengan aluminium foil yang selanjutnya sampel dishaker 200 rpm pada waktu kontak optimum yaitu 70 menit. Hasil adsorpsi dengan variasi konsentrasi *methylene blue* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kapasitas Adsorpsi Silika Aerogel Terhadap Variasi Konsentrasi *Methylene blue*

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi Q (mg/g)
20	0,9943	19,0057	4,7514
30	1,8571	28,1429	7,0357
40	1,9299	38,0701	9,5175
50	2,8543	47,1457	11,7864
60	3,8627	56,1373	14,0343

Tabel 8 menunjukkan Co yang merupakan konsentrasi awal adsorbat (*methylene blue*) dalam ppm, Ce konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan, serta Q yaitu kapasitas adsorpsi per bobot molekul dalam satuan mg/g. berdasarkan tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara variasi konsentrasi awal *methylene blue* dengan kapasitas adsorpsi yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan kapasitas adsorpsi *methylene blue* oleh silika aerogel dengan zat warna *methylene blue* waktu kontak 70 menit konsentrasi awal 20, 30, 40, 50 dan 60 ppm

Gambar 10 menunjukkan kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi awal *methylene blue*. Hal ini dapat disebabkan oleh banyaknya situs aktif pada adsorben dimana semakin tinggi konsentrasi awal,

semakin banyak molekul *methylene blue* yang tersedia untuk dapat berikatan, sehingga peluang untuk terjadinya adsorpsi juga semakin besar. Berdasarkan grafik tersebut juga menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum silika aerogel termodifikasi TMCS terhadap zat warna *methylene blue* sebesar 14,0343 mg/g. Kapasitas adsorpsi maksimum ini didapat dari konsentrasi awal *methylene blue* 60 ppm. Konsentrasi awal *methylene blue* berhubungan dengan permukaan silika aerogel dimana terdapat sisi aktif. Jika jumlah sisi aktif lebih besar dibandingkan dengan jumlah zat warna *methylene blue*, maka kapasitas adsorpsi akan semakin tinggi.

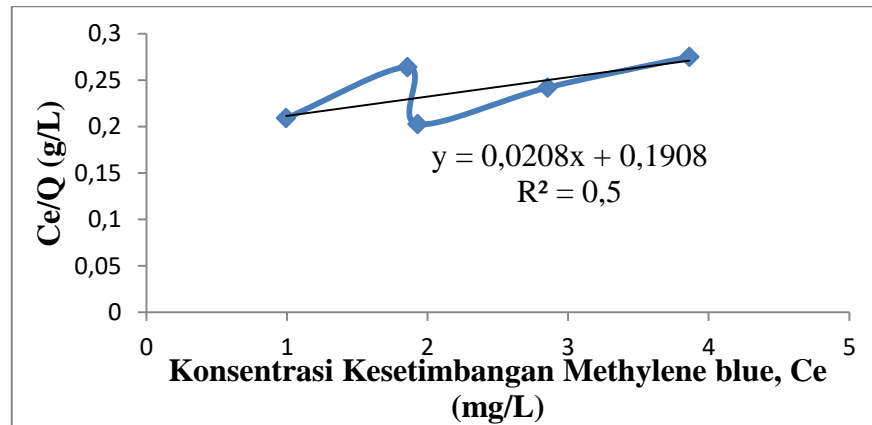
Hubungan antara variasi konsentrasi awal zat warna *methylene blue* dan kapasitas adsorpsi maksimum dapat dimodelkan dengan berbagai model isoterm adsorpsi yaitu Langmuir dan Freundlich. Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan yang homogen serta setiap situs adsorpsi hanya bisa ditempati oleh satu molekul adsorbat saja atau monolayer adsorpsi. Sedangkan isoterm Freundlich yaitu suatu adsorpsi terjadi pada permukaan heterogen dan memiliki beberapa lapisan molekul adsorbat atau multilayer adsorpsi (Wang & Guo, 2020). Data dari isoterm adsorpsi silika aerogel dari dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Isoterm Adsorpsi Silika Aerogel Terhadap Zat Warna *Methylene blue*

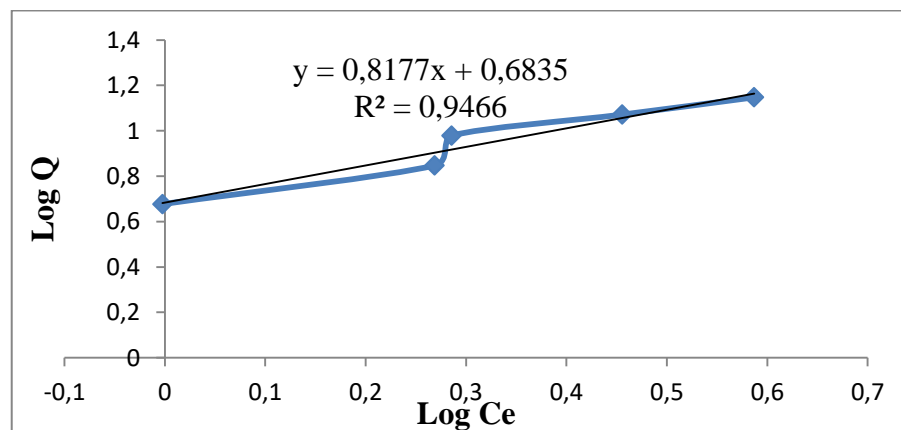
Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/L)	log Ce	Q (mg/g)	log Q	Ce/Q (g/L)
20	0,9943	19,0057	-0,0025	4,7514	0,6768	0,2093
30	1,8571	28,1429	0,2688	7,0357	0,8473	0,2640
40	1,9299	38,0701	0,2855	9,5175	0,9785	0,2028
50	2,8543	47,1457	0,4555	11,7864	1,0714	0,2422
60	3,8627	56,1373	0,5869	14,0343	1,1472	0,2752

Dari data pada Tabel 9 dapat dibuat grafik isoterm Langmuir dengan memplotkan sumbu x= Ce dan sumbu y= Ce/Q serta isoterm Freundlich dengan

sumbu $x = \log C_e$ dan sumbu $y = \log Q$. Grafik isoterm Langmuir dan freundlich dapat dilihat pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 11. Grafik Isoterm Langmuir Silika Aerogel



Gambar 12. Grafik Isoterm Freundlich Silika Aerogel

Gambar 4.10 menunjukkan grafik isoterm Langmuir yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi *methylene blue* dalam larutan pada kesetimbangan (C_e) dengan C_e/Q dan diperoleh persamaan $y = 0,0208x + 0,1908$ serta koefisien regresi $R^2 = 0,5$. Sedangkan pada Gambar 11 menunjukkan plot grafik isoterm freundlich, hubungan antara $\log C_e$ dengan $\log Q$ dan diperoleh persamaan $y = 0,8177x + 0,6835$ serta koefisien regresi $R^2 = 0,9466$.

Hasil persamaan garis $y = ax + b$ dari persamaan isotermis Langmuir dan Freundlich dapat diketahui besarnya R^2 . Apabila nilai R^2 mendekati 1 maka adsorpsi isotermis *methylene blue* terhadap silika aerogel termodifikasi TMCS

sesuai dengan persamaan isoterms Langmuir dan Freundlich yang mempunyai nilai R^2 mendekati 1 (Wang & Guo, 2020). Nilai R^2 yang rendah pada grafik isoterm Langmuir menunjukkan bahwa model tersebut tidak sepenuhnya menggambarkan adsorpsi *methylene blue* oleh silika aerogel termodifikasi TMCS dalam penelitian ini. Sedangkan nilai dari R^2 dari grafik Freundlich menunjukkan nilai koefisien regresi yang lebih tinggi dan mendekati 1 yaitu sebesar 0,9466 dibandingkan dengan grafik isoterm Langmuir 0,5. Nilai ini dapat diasumsikan bahwa isoterms adsorpsi *methylene blue* oleh silika aerogel lebih mengikuti model isoterm Freundlich. Model ini mengasumsikan bahwa ada lebih dari satu permukaan adsorben atau disebut dengan multilayer serta permukaan adsorben yang heterogen. Isoterm Freundlich menggambarkan proses adsorpsi multilayer dengan baik. Hal ini karena model ini mengasumsikan bahwa adsorbat dapat menempel pada permukaan adsorben dalam lapisan multilayer, sehingga dapat menggambarkan proses adsorpsi yang lebih kompleks (Miri & Narimo, 2022).

Tabel 10. Perbandingan Adsorpsi *Methylene blue* Oleh Silika Berbagai Modifikasi

<i>Adsorbent based on silica</i>	Referensi	Jumlah % adsorpsi <i>methylene blue</i>	Kondisi reaksi (suhu, pH, waktu kontak)
Silika aerogel <i>based on</i> sekam padi	Pekerjaan sekarang	64,9	Suhu ruang, pH netral, 30 menit
Silika aerogel <i>based on</i> sekam padi termodifikasi TMCS	Pekerjaan sekarang	97,9	Suhu ruang, pH netral, 70 menit
Silika aerogel <i>based on</i> abu ampas tebu	(Nazriati dkk., 2019)	89,4	Suhu ruang, pH netral, 90 menit
Silika aerogel <i>based on</i> TEOS-PhTMS	(Saad dkk., 2015)	70	Suhu ruang, pH 9, 30 menit
Aerogel <i>based</i> CaCO ₃ @STA/PAM/TOCN	(P. Li et dkk., 2022)	94,5	Suhu ruang, pH netral, 6 jam

Pada tabel 10 dapat dilihat perbandingan adsorpsi methylene blue oleh silika aerogel sebagai sumber dan modifikasi. Dimana kondisi reaksi seperti suhu, pH dan waktu kontak merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin tinggi nilai persentase penghapusan methylene blue maka kinerja adsorben semakin baik. Silika aerogel dari sekam padi yang termodifikasi oleh TMCS menunjukkan persentase tertinggi dibandingkan dengan silika aerogel berbagai sumber dan modifikasi permukaan. Besarnya jumlah methylene blue yang teradsorpsi oleh silika aerogel sekam padi termodifikasi TMCS disebabkan oleh permukaan silika yang lebih hidrofobik (tidak suka air) yang ditunjukkan dengan penggantian gugus $-OH$ polar permukaan dengan gugus $-CH_3$ non-polar pada silika aerogel. Air dapat menyumbat pori-pori adsorben, sehingga mengurangi kemampuan adsorpsi. Hidrofobitas dari silika aerogel termodifikasi TMCS ini dapat meningkatkan interaksi antara silika aerogel dengan methylene blue, karena tidak adanya interaksi silika aerogel dengan air sehingga adsorbat methylene blue lebih mudah menempel pada permukaan silika aerogel. Hidrofobitas juga memungkinkan luas permukaan silika aerogel untuk digunakan secara efektif dalam adsorpsi, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi (Yi dkk., 2019). Semakin banyak TMCS yang ditambahkan, semakin hidrofobik permukaan silika aerogel, sehingga methylene blue mudah diadsorpsi. Selain itu, penambahan TMCS juga menyebabkan permukaan silika aerogel memiliki lebih banyak situs aktif yang memungkinkan terjadinya ikatan atau interaksi dengan molekul adsorbat dalam hal ini methylene blue (Nazriati dkk., 2019). Interaksi elektrostatik antara silika aerogel dan methylene blue dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi methylene blue pada silika aerogel. Gaya tarik antara muatan positif dari methylene blue dan muatan negatif pada silika aerogel dapat menyebabkan adsorpsi methylene blue yang efektif (Yi dkk., 2019). Pemilihan bahan baku dan agen pemodifikasi memiliki peran penting dalam menentukan efisiensi adsorpsi, selain itu kondisi optimum seperti waktu kontak, suhu, pH juga bervariasi tergantung pada sifat kimia dan fisika aerogel.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi rasio silika:TMCS:n-heksana pada silika aerogel memiliki pengaruh terhadap adsorpsi *methylene blue*. Rasio terbesar penambahan TMCS yaitu 1:2:1 dengan waktu kontak 70 menit merupakan kondisi optimum dalam mengadsorpsi zat warna *methylene blue* dengan persentase penghapusan sebesar 97,9%.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini perlu untuk dilakukan lebih lanjut seperti meningkatkan variasi silika:TMCS:n-heksan untuk mengoptimalkan modifikasi silika aerogel dan penelitian lanjutan karakterisasi SEM (*scanning electron microscopy*) serta BET (*brunaeur emmet terller*) untuk menganalisis distribusi ukuran pori dan luas permukaan spesifik silika aerogel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Karim, A., Leaper, S., Alberto, M., Vijayaraghavan, A., Fan, X., Holmes, S. M., Souaya, E. R., Badawy, M. I., & Gorgojo, P. (2018). High flux and fouling resistant flat sheet polyethersulfone membranes incorporated with graphene oxide for ultrafiltration applications. *Chemical Engineering Journal*, *334*, 789–799. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.069>
- Ahmad, A., Khan, N., Giri, B. S., Chowdhary, P., & Chaturvedi, P. (2020). Removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung and sludge biochar: Characterization, application, and kinetic studies. *Bioresource Technology*, *306*(January), 123202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123202>
- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, *323*, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023 (Angka Sementara). *Badan Pusat Statistik*, *2023*(68), 1–8.
- Dwijayanti, U., Gunawan, G., Setyo Widodo, D., Haris, A., Suyati, L., & Ariadi Lusiana, R. (2020). ADSORPSI METHYLENE BLUE (MB) MENGGUNAKAN ABU LAYANG BATUBARA TERAKTIVASI LARUTAN NaOH. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, *5*(01), 01–14. <https://doi.org/10.23960/aec.v5.i1.2020.p01-14>
- Fatimah, I., Zaenuri, F. U., Doewandono, L. N., Yahya, A., Citradewi, P. W., Sagadevan, S., & Oh, W. C. (2021). Biogenic Silica Extracted from Salacca Leaf Ash for Salicylic Acid Adsorption. *Science and Technology Indonesia*, *6*(4), 296–302. <https://doi.org/10.26554/sti.2021.6.4.296-302>
- Fernandez-Perez, A., & Marban, G. (2020). Visible light spectroscopic analysis of methylene blue in water; what comes after dimer? *ACS Omega*, *5*(46), 29801–29815. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03830>

- Firdayanti, N. (2018). PENGARUH VARIASI SUHU KARBONISASI DAN JENIS ACTIVATOR AGENT TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG BIJI KELUAK (Pangium Edule R.). In *Universitas Brawijaya*.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=119374333&site=ehostlive&scope=site%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.07.032%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2017.03.010%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.08.006>
- Fito, J., Abewaa, M., Mengistu, A., Angassa, K., Ambaye, A. D., Moyo, W., & Nkambule, T. (2023). Adsorption of methylene blue from textile industrial wastewater using activated carbon developed from *Rumex abyssinicus* plant. *Scientific Reports*, *13*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32341-w>
- Goryunova, K., Gahramanli, Y., & Gurbanova, R. (2023). Adsorption properties of silica aerogel-based materials. *RSC Advances*, *13*(27), 18207–18216. <https://doi.org/10.1039/d3ra02462h>
- Hidayatulloh, C. Y., Iskandar, A. S., Al-ayubi, S., Permanasari, A. R., & Kunci, K. (2021). Kajian Pustaka Pemanfaatan Silika Sekam Padi sebagai Aerogel Adsorben untuk Menurunkan Kandungan Logam pada Air. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 779–784.
- Ivanov, P., Bogdanov, B., & Hristov, Y. (2017). SYNTHESIS OF HYDROPHILIC AND HYDROPHOBIC XEROGEL. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, *52*(3), 457–462.
- Li, P., Yang, C., Xu, X., Miao, C., He, T., Jiang, B., & Wu, W. (2022). Preparation of Bio-Based Aerogel and Its Adsorption Properties for Organic Dyes. *Gels*, *8*(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/gels8110755>
- Li, Z., Sellaoui, L., Gueddida, S., Dotto, G. L., Ben Lamine, A., Bonilla-Petriciolet, A., & Badawi, M. (2020). Adsorption of methylene blue on silica nanoparticles: Modelling analysis of the adsorption mechanism via a double layer model. *Journal of Molecular Liquids*, *319*. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114348>
- Meng, S., Zhang, J. Y., Xu, W., Chen, W. P., Zhu, L. P., Zhou, Z., & Zhu, M. F.

- (2019). Structural control of silica aerogel fibers for methylene blue removal. *Science China Technological Sciences*, 62(6), 958–964. <https://doi.org/10.1007/s11431-018-9389-7>
- Miri, N, S, S., & Narimo. (2022). *Review : Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa*. 2(2), 58–71.
- Nazriati, Maknun, L., & Fajaroh, F. (2019). Removal methylene blue from aqueous solution using silica aerogel prepared from bagasse ash. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 299(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012044>
- Nidheesh, P. V., Zhou, M., & Oturan, M. A. (2018). An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemosphere*, 197, 210–227. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.195>
- Nurzihan, A., Ulfah, R., Hrp, N., Siregar, S. H., & Nasution, H. (2019). ADSORPSI ZAT WARNA METHYLENE BLUE MENGGUNAKAN BENTONIT TERMODIFIKASI ETHYLENE DIAMINE TETRA ACETICACID (EDTA). *Prosiding SainsTeKes Semnas MIPAKes UMRi*, 1, 1–13.
- Nzereogu, P. U., Omah, A. D., Ezema, F. I., Iwuoha, E. I., & Nwanya, A. C. (2023). Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. *Hybrid Advances*, 4(August), 100111. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100111>
- Oikawa, K., Toyota, K., Sakatani, S., Hayashi, Y., & Takizawa, H. (2017). Effect of organic hydrophobic groups on the pore structure and thermal properties of waterglass-based silica xerogels. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 125(12), 906–912. <https://doi.org/10.2109/jcersj2.17131>
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 16(September), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>

- Rahayu, I., Fajaroh, F., & Nur, A. (2019). Adsorpsi Ion Kadmium Menggunakan Silika Xerogel Berbasis Abu Bagasse. *Journal Cis-Trans (JC-T) Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 3(1), 10–16. <https://doi.org/10.17977/um0260v3i12019p010>
- Ravi, & Pandey, L. M. (2019). Enhanced adsorption capacity of designed bentonite and alginate beads for the effective removal of methylene blue. *Applied Clay Science*, 169(December 2018), 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.12.019>
- Riza, M., Fachraniah, F., & Syafruddin, S. (2022). Pembuatan Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Pereaksi Asam Kuat dan Asam Lemah dengan Menggunakan Variasi Jumlah Abu Silikat. *Jurnal Teknologi*, 22(2), 55. <https://doi.org/10.30811/teknologi.v22i2.3116>
- Saad, N., Al-Mawla, M., Moubarak, E., Al-Ghoul, M., & El-Rassy, H. (2015). Surface-functionalized silica aerogels and alcogels for methylene blue adsorption. *RSC Advances*, 5(8), 6111–6122. <https://doi.org/10.1039/c4ra15504a>
- Tanheitafino, S., Shofiyani, A., Sasri, R., & Rudiyanshah. (2020). Synthesis and Characterization of Trimethylchlorosilane Modified Silica Xerogel. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(7), 249–254.
- Tanheitafino, S., Shofiyani, A., Sasri, R., & Rudiyansyah. (2020). Characterization of Trimethylchlorosilane Modified Silica Xerogel. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(7), 249–254. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jksa.23.7.249-254>
- Titchou, F. E., Akbour, R. A., Assabbane, A., & Hamdani, M. (2020). Removal of cationic dye from aqueous solution using Moroccan pozzolana as adsorbent: Isotherms, kinetic studies, and application on real textile wastewater treatment. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(April), 100405. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100405>
- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method. *Chemosphere*, 258, 127279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127279>

- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.6119>
- Yi, Z., Tang, Q., Jiang, T., & Cheng, Y. (2019). Adsorption performance of hydrophobic/hydrophilic silica aerogel for low concentration organic pollutant in aqueous solution. *Nanotechnology Reviews*, 8(1), 266–274. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2019-0025>
- Zou, Y., & Yang, T. (2019). Rice husk, rice husk ash and their applications. In *Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing and Utilization*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00009-3>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian



Pembuatan larutan baku MB 20 ppm dan deret standar 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm



MB sebelum diadsorpsi



Variasi waktu kontak adsorpsi MB oleh silika aerogel berbagai variasi



MB setelah diadsorpsi

Lampiran 2. Bukti Submit Luaran Jurnal Sinta 2



The screenshot shows the author interface of the ALCHEMY journal website. The header includes the journal title "ALCHEMY JURNAL PENELITIAN KIMIA" and the publisher information: "Published by: Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36A 57126 Surakarta, Indonesia". A navigation menu contains links for HOME, ABOUT, CATEGORIES, CURRENT, ARCHIVES, ANNOUNCEMENTS, STATISTICS, INDEXING, and IN PRESS. The main content area is titled "Active Submissions" and features a table with the following data:

ID	MM-DD Submit	Sec	Authors	Title	Status
112186	12-07	ART	Setyaningrum, Erwanto, Nisya	Synthesis of Silica Aerogel from Rice Husk Modified	Awaiting assignment