

**ANALISIS PENGARUH pH AEROGEL SILIKA TERHADAP
ABSORBANSI METILEN JINGGA**

SKRIPSI

Oleh:

FIKRI ARDIANSYAH RAHMATULLAH
NIM. 210604110013



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PENGANTAR

**ANALISIS PENGARUH pH AEROGEL SILIKA TERHADAP ABSORBANSI
METILEN JENGA**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

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

Oleh:

**Fikri Ardiansyah Rahmatullah
NIM. 210604110013**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH pH AEROGEL SILIKA TERHADAP ABSORBANSI METILEN JINGGA

SKRIPSI

Oleh:

Fikri Ardiansyah Rahmatullah
NIM. 210604110013

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal, 20 Desember 2025

Pembimbing I



Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si
NIP. 19930617 202012 2 003

Pembimbing II



Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si
NIP. 19641211 19911 1 001



HALAMAN PENGESAHAN


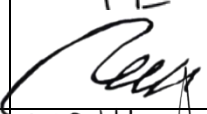

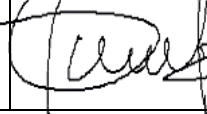
ANALISIS PENGARUH pH AEROGEL SILIKA TERHADAP ABSORBANSI METILEN JINGGA

SKRIPSI

Oleh:

Fikri Ardiansyah Rahmatullah
NIM. 210604110013

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal 23 Desember 2025

Penguji Utama	<u>Dr. Erna Hastuti, M. Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Ketua Penguji	<u>Rusli, M. Si</u> NIP. 19880715 202012 1 003	
Sekretaris Penguji	<u>Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si</u> NIP. 19930617 202012 2 003	
Anggota Penguji	<u>Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 19911 1 001	

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Fahri Sanjaya Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fikri Ardiansyah Rahmatullah
NIM : 210604110013
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Analisis Pengaruh pH Aerogel Silika Terhadap Absorbansi Metilen Jingga

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

Malang, 23 Desember 2025
Yang Membuat Pernyataan



METERAT
TUMPEB
002ADAJX410191292

FIKRI ARDIANSYAH R.
NIM. 210604110013

MOTTO

“Jangan takut gagal. Takutlah pada peluang yang belum pernah kau coba.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Sujud syukur kusembahkan kepada tuhan yang maha Esa, yang lagi penyayang dan maha tinggi (ALLAH SWT). Atas takdirmu bisa berkuliah, mendapatkan ilmu dan menjadikan pribadi yang berfikir serta bersabar. Semoga keberhasilan ini menjadi salah satu langkah awal untuk masa depanku dalam meraih cita-cita dan membuat bangga orang tua.

Dengan ini saya persembahkan karya ini kepada

“Ayah (YATENO) dan Ibu (SARLIN)”

Terimakasih atas kasih sayang yang diberikan, limpahan do’a, dan biaya serta hal-hal yang telah ibu dan bapak lakukan ,semuanya yang terbaik dan menjadi contoh untuk anakmu. Lembaran-lembaran ini adalah sebagian kecil kasihku untukmu.

Terima kasih bapak dan ibu.

Dosen pembimbing tugas akhir

Ibu Fikriyatul Azizah Su’ud, M.Si yang telah bersedia menjadi orang tua kedua selama di kampus. Terimakasih atas bantuan baik nasehat, waktu, ilmu, tenaga, dan pikiran yang diberi ke saya dengan tulus dan ikhlas, tanpa ibu tidaklah mungkin ada skripsi ini. Semoga ibu selalu diberi keberkahan dan kebahagiaan oleh Allah SWT serta dibalas kebaikan yang lebih banyak.

Untuk semua pihak yang belum saya sebutkan

Terimakasih atas semuanya. Semoga dibalas kebaikan kalian, serta dimudahkan dan diberkahi oleh Allah SWT.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh pH Aerogel Silika Terhadap Absorbansi Metilen Jingga”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Dalam penyusunan proposal skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehingga penulis dapat menulis proposal ini.
2. Bapak dan Ibu penulis yang telah memberikan dukungan, doa, dan nasehat kepada penulis.
3. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., CAHRM., CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Agus Mulyono, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Farid Samsu H., M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Fikriyatul Azizah Suud, M.Si, selaku dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.

7. Orang tua tercinta beserta keluarga yang telah memberikan nasihat, do'a, bantuan dalam perkuliahan dan dukungan serta memotivasi penulis untuk senantiasa pantang menyerah hingga saat ini.
8. Segenap dosen, Laboran dan Admin Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu.
9. Teman-teman angkatan 2021, khususnya Fisika Material yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
10. Semua pihak yang memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 23 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
المُلخَص.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pasir Silika	7
2.2 Aerogel	9
2.3 Metode Sol-gel	11
2.4 Metilen Jingga.....	12
2.5 Karakterisasi.....	14
2.5.1 Uji Sudut Kontak.....	14
2.5.2 Spektroskopi Forier Transform Infrared (FTIR).....	15
2.5.3 Spektrofotometer UV-Vis	16
2.5.4 Brunauer-Emmett-Teller (BET)	17
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Jenis Penelitian.....	20
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.3 Alat dan Bahan	20
3.3.1 Alat Penelitian	20
3.3.2 Bahan Penelitian.....	21
3.3.3 Alat Karakterisasi	21

3.4 Variabel Penelitian	22
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.5.1 Diagram Alir Sintesis Silika Aerogel	24
3.6 Prosedur Penelitian.....	27
3.6.1 Sintesis Aerogel Silika.....	27
3.7 Rencana Analisis Data.....	28
3.7.1 Sudut Kontak.....	28
3.7.2 Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR).....	29
3.7.3 Spektrofotometer UV-Vis	29
3.7.4 Brunauer-Emmett-Teller (BET)	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Data Hasil Penelitian.....	31
4.1.1 Pembuatan Sampel	31
4.1.2 Pengukuran Sudut Kontak.....	33
4.1.3 Karakterisasi FTIR	34
4.1.4 Karakterisasi BET	35
4.1.5 Analisa Spektrofotometer Uv-Vis	38
4.2 Pembahasan.....	44
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kehidrofibisitas suatu material (Eskani et al., 2019).	15
Gambar 2. 2 Grafik Klasifikasi Isoterm IUPAC (Prihatini et al., 2024)	19
Gambar 3. 1 Diagram alir Penelital	23
Gambar 3. 2 Diagram alir Ekstraksi Silika	24
Gambar 3. 3 Diagram alir Pembuatan Hidrogel.....	25
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan Silika Aerogel	26
Gambar 4. 1 Gambar A (Pasir Silika) dan B (Serbuk Silika).....	31
Gambar 4. 2 Hasil Sintesis Aerogel Silika A (pH 11), B (pH 9), C (pH 7), D (pH 5), E (pH 3).....	32
Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran Sudut kontak Menggunakan Software Autocad .	33
Gambar 4. 4 Hasil Karakterisasi FTIR pH 3 (hitam), 5 (merah), 7 (biru)	34
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Tekanan Relatif dengan Volume Adsorbed A (pH 3), B (pH 5), dan C (pH 7).....	36
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Tekanan Relatif Terhadap $1/[W((P/P_0)-1)]$ A (pH 3), B (pH 5), dan C (pH 7).....	37
Gambar 4. 7 Grafik Kurva Standar Konsentrasi Metilen Jingga Terhadap Absorpsi	39
Gambar 4. 8 Grafik Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum.....	40
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Waktu dengan Konsentrasi Akhir Metilen jingga	41
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Waktu dengan Kapasitas Absorpsi	42
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Waktu dengan Efisiensi Penyerapan	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ciri-ciri aerogel silika (Gurav et al., 2010)	10
Tabel 2. 2 Sifat dan Karakteristik Metilen Jingga (Santos et al., 2019).....	13
Tabel 2. 3 Klasifikasi Ukuran pori	19
Tabel 3. 1 Variasi aerogel silka.....	22
Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan Uji Sudut Kontak	29
Tabel 3. 3 Rancangan Uji FTIR	29
Tabel 3. 4 Rancangan Percobaan Uji UV-Vis	29
Tabel 3. 5 Rancangan Percobaan Uji BET	30
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sudut Kontak	33
Tabel 4. 2 Perbandingan Wavenumber (Cm^{-1}) spektra FTIR Aerogel pada variasi pH 3, 5, dan 7 Spektra IR.....	35
Tabel 4. 3 Hasil Karakterisasi BET Luas Permukaan Spesifik dan Volume Mikropori Aerogel Silika Pada Variasi pH.	38
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Uv-Vis pH 7.....	40

ABSTRAK

Rahmatullah, Fikri Ardiansyah, 2025. **Analisis Pengaruh pH Aerogel Silika Terhadap Absorbansi Metilen Jingga**. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dosen Pembimbing : (1) Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si (II) Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si

Kata Kunci: Silika, Aerogel, Hidrofilik, Adsorben, Metilen Jingga

Aerogel berbasis silika merupakan material yang berpotensi besar dalam mengurangi limbah zat warna, yang dibuat menggunakan bahan dasar silika. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi pH sintesis aerogel silika berbahan dasar pasir alam Tuban terhadap karakteristik fisikokimia dan kinerjanya sebagai adsorben metilen jingga. Aerogel disintesis melalui metode sol-gel dengan pengeringan suhu rendah dan divariasikan pada pH 3, 5, 7, 9, dan 11, namun hanya sampel pH 3, 5, dan 7 yang berhasil dikarakterisasi secara lengkap. Karakterisasi meliputi uji sudut kontak, FTIR, BET, dan spektrofotometri UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua sampel aerogel bersifat hidrofilik dengan sudut kontak di bawah 90° , dimana hidrofilisitas tertinggi terdapat pada pH 5 (39.4°). Luas permukaan spesifik tertinggi diperoleh pada pH 3 ($60.028 \text{ m}^2/\text{g}$). Dari segi kinerja adsorpsi, kapasitas adsorpsi tertinggi terhadap metilen jingga dicapai pada pH 7 dan pH 5 (masing-masing $5,92 \text{ mg/g}$ setelah 120 menit). Efisiensi penyerapan tertinggi diperoleh pada pH 7 (26.87%). Hasil ini mengindikasikan bahwa pH sintesis tidak hanya memengaruhi sifat hidrofilisitas dan struktur pori aerogel, tetapi juga menentukan efektivitasnya sebagai adsorben, dengan pH 7 menunjukkan kinerja optimal dalam penyerapan metilen jingga.

ABSTRACT

Rahmatullah, Fikri Ardiansyah, 2025. **Analysis of the Influence of Silica Aerogel pH on Methylene Orange Absorbance**. Thesis. Department of Physics. Faculty of Science and Technology. Maulana Malik Ibrahim Islamic State University Malang. Supervisors: (1) Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si (II) Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si

Keywords: Silica, Aerogel, Hydrophilic, Adsorbent, Methylene Orange

Silica-based aerogel is a promising material in reducing dye waste, made using silica as the base material. This study aims to analyze the influence of synthesis pH variation of silica aerogel based on Tuban natural sand on its physicochemical characteristics and performance as a methylene orange adsorbent. Aerogel was synthesized through the sol-gel method with low-temperature drying and varied at pH 3, 5, 7, 9, and 11, but only samples at pH 3, 5, and 7 were successfully fully characterized. Characterization included contact angle test, FTIR, BET, and UV-Vis spectrophotometry. The results show that all aerogel samples are hydrophilic with contact angles below 90°, where the highest hydrophilicity is at pH 5 (39.4°). The highest specific surface area was obtained at pH 3 (60.028 m²/g). In terms of adsorption performance, the highest adsorption capacity for methylene orange was achieved at pH 7 and pH 5 (respectively 5.92 mg/g after 120 minutes). The highest absorption efficiency was obtained at pH 7 (26.87%). These results indicate that the synthesis pH not only affects the hydrophilicity and pore structure of the aerogel but also determines its effectiveness as an adsorbent, with pH 7 showing optimal performance in methylene orange absorption.

الملخص

رحمة الله، فيكري أرديانشاه، 2025. تحليل تأثير درجة الحموضة في الهلام الهوائي السيليكي على امتصاص البرتقالي الميثيليني. رسالة. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم، أستاذ الدكتور الدكتور محمد تيرونو (II) مالانغ. المشرفون: (1) فيكرياتول عزيزة سوود، ماجستير العلوم ماجستير العلوم

الكلمات المفتاحية: السيليكا، الهلام الهوائي، هيدروفيلي، ماص، البرتقالي الميثيليني

الهلام الهوائي القائم على السيليكا هو مادة واعدة في تقليل نفايات صبغة الألوان، والتي تُصنع باستخدام السيليكا كمادة أساسية. يهدف هذا البحث إلى تحليل تأثير اختلاف درجة الحموضة في تخليق الهلام الهوائي السيليكي القائم على رمل طبيعي من توبان على خصائصه الفيزيوكيميائية وأدائه كماص للبرتقالي الميثيليني. تم تخليق الهلام الهوائي من خلال طريقة الجيل-السول مع التجفيف عند درجة حرارة منخفضة وتم تنويعها عند درجة الحموضة 3، 5، 7، 9، 11، لكن تم تصنيف عينات درجة الحموضة 3، 5، 7 فقط بشكل كامل. شمل التصنيف اختبار 3، 5، 7، 9، 11، أظهرت النتائج أن جميع عينات الهلام الهوائي هي هيدروفيلية مع UV-Vis، و سطحيًا، BET، FTIR، زاوية الاتصال زوايا اتصال أقل من 90 درجة، حيث تكون أعلى هيدروفيلية عند درجة الحموضة 5 (39.4 درجة). تم الحصول على أعلى مساحة سطح محددة عند درجة الحموضة 3 (60.028 م²/غ). من حيث أداء الامتصاص، تم تحقيق أعلى سعة امتصاص للبرتقالي الميثيليني عند درجة الحموضة 7 ودرجة الحموضة 5 (5.92 ملغ/غ على التوالي بعد دقيقة). تم الحصول على أعلى كفاءة امتصاص عند درجة الحموضة 7 (26.87%). تشير هذه النتائج إلى أن 120 درجة الحموضة في التخليق لا تؤثر فقط على الهيدروفيلية وبنية المسام في الهلام الهوائي، بل تحدد أيضًا فعاليته كماص، مع إظهار درجة الحموضة 7 أداءً مثاليًا في امتصاص البرتقالي الميثيليني.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan penghasil limbah zat warna terbesar di perairan. Limbah tersebut berasal dari proses pewarnaan yaitu berupa zat warna yang larut dalam air (Arini, 2022). Metilen jingga merupakan zat warna azo model yang sering digunakan dalam penelitian adsorpsi karena toksisitas dan sifatnya yang representatif sebagai polutan warna, meskipun dalam industri tekstil modern penggunaannya terbatas (Cis-trans et al., 2021). Akan tetapi zat warna ini sulit terurai sehingga menyebabkan zat warna bertahan lama di lingkungan. Akibatnya menimbulkan potensi bahaya yang besar bagi manusia dan alam sekitar (Wang et al., 2021). Berbagai metode telah digunakan untuk mengurangi limbah ini sebelum dibuang ke sungai, diantaranya adsorpsi (Cis-trans et al., 2021), koagulasi (Martina et al., 2018) dan elektrolisis (Setiyo et al., 2018).

Penggunaan aerogel silika sebagai adsorben dalam proses adsorpsi dinilai memiliki prospek besar untuk reduksi zat warna, karena metode ini relatif sederhana, rendah biaya, dan bersifat ramah lingkungan. (Arini, 2022). Karakteristik fisik aerogel seperti porositas tinggi, kepadatan rendah, dan luas permukaan yang besar memberikan material ini efektivitas yang baik dalam mengadsorpsi metilen jingga (Aegerter et al., n.d.).

Pasir silika sebagai bahan baku aerogel silika dikenal sebagai material yang sangat melimpah di Indonesia. Material ini banyak dijumpai di berbagai tempat seperti pesisir pantai, sungai, danau, serta laut dangkal (Lubis et al., 2022), dengan komposisi silika (SiO_2) berkisar antara 40-70% dan mengandung mineral seperti

SO_3 , CaO , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 (Yonando et al., 2018). Kandungan silika yang tinggi ini menjadikan pasir kuarsa sebagai bahan baku ideal untuk pembuatan aerogel silika.

Proses sintesis aerogel silika diawali dengan pembentukan silika gel melalui metode *sol-gel*, yang selanjutnya dikeringkan dengan berbagai teknik, diantaranya *freeze drying* (Hasdiana, 2018), hidrotermal (Eddy & Dkk, 2016) dan tekanan *ambient* (Mohamad et al., 2020). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah *sol-gel* dengan pengeringan tekanan *ambient*. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya menghasilkan silika gel dengan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan metode sintesis lainnya (Budiharti & Supardi, 2015).

Diantara proses sintesis aerogel yaitu penentuan pH gel. Tahap penentuan pH gel adalah proses penting dalam sintesis aerogel silika karena kondisi pH (asam, netral, atau basa) secara langsung mempengaruhi sifat-sifat gel. Masing-masing tingkat pH tersebut akan menghasilkan aerogel dengan karakter yang berbeda-beda, menjadikan proses ini sangat krusial untuk mendapatkan produk dengan sifat yang diinginkan (Andini et al., 2022). Penelitian ini dirancang untuk mengkaji pengaruh variasi pH (asam, netral, dan basa) aerogel silika terhadap absorbansi metilen jingga, sehingga pada akhirnya dapat memberikan sebuah informasi yang jelas terkait kondisi pH optimum berdasarkan sifat material yang ingin dicapai.

Beberapa aplikasi aerogel silika diantaranya pada bidang medis yaitu untuk pengiriman obat (Huang et al., 2022), dan antibakteri (Jahed et al., 2023). Selain itu dapat juga dimanfaatkan untuk meningkatkan jumlah daun pada tumbuhan binahong yang pernah dilakukan oleh Utami et al. (2020). Aerogel juga dapat digunakan untuk absorben minyak (Mahardhika & Muldarisnur, 2021) dan limbah

cair (Akhter et al., 2023). Saat ini aerogel silika berpotensi besar menjadi bahan yang menjanjikan untuk penyerapan metilen jingga (Arini, 2022). Selain karena bahan baku berupa pasir silika yang melimpah, pembuatan aerogel menggunakan metode sol-gel lebih sederhana. Penelitian ini sejalan dengan dalil dalam Al Quran (Q.S Al A'raf : 58). Dimana pasir yang digunakan sebagai bahan baku merupakan salah satu contoh tanah yang bermanfaat.

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتُهُ ۖ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۚ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرِجُ إِلَّا نَكِدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ۝

Artinya : “Tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur seizin Tuhannya. Adapun tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami jelaskan berulang kali tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.”

Muhammad Quraish Sihab dalam tafsirnya menjelaskan bahwa tanah dimuka bumi ini ada yang baik dan subur, dan ada pula yang tidak baik. Tanah yang baik dan subur apabila disirami hujan sedikit saja, dapat menumbuhkan berbagai macam tanaman. Sedangkan tanah yang tidak baik atau tandur meskipun disirami hujan yang lebat namun tumbuhan-tumbuhannya tidak dapat menghasilkan apa-apa (Rosyadi, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan sintesis aerogel silika. Akhter et al., (2023) telah melakukan studi tentang perbandingan penambahan TEOS dan tanpa TEOS pada aerogel silika. Metode yang digunakan ialah sol gel dengan pengeringan tekanan *ambient*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa aerogel dengan penambahan TEOS memiliki kemampuan lebih baik untuk menyerap ion Pb pada limbah cair.

Andini et al., (2022) telah berhasil melakukan sintesis Silika xerogel melalui metode sol-gel menggunakan TEOS sebagai prekursor dan TMCS sebagai ko-

prekursor dengan memvariasikan pH (4, 6, 7, 8, dan 10) dan suhu pembakaran (300 dan 500°C). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pH 6 memberikan stabilitas termal terbaik karena mengalami dekomposisi klorin dan oksidasi kelompok -CH₃. Hasil analisis metode BET menunjukkan bahwa kondisi larutan pada pH 7 merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan sampel dengan diameter pori dan volume yang besar.

Wang et al., (2021) melakukan penelitian mengenai adsorpsi methyl orange (MO) menggunakan nanopartikel silika termodifikasi surfaktan gemini multi-hidroksil (G_{16}). Dalam penelitian ini, nanopartikel silika (SiNPs) dimodifikasi dengan surfaktan G_{16} melalui proses pertukaran kation dengan variasi dosis G_{16} sebesar 0,42; 0,84; 1,26; 1,68; dan 2,10 mmol. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa modifikasi berhasil meningkatkan hidrofobisitas, memperluas jarak antar lapisan, dan meningkatkan kapasitas adsorpsi G_{16} -SiNPs terhadap MO hingga 401,88 mg/g, jauh lebih tinggi dibanding SiNPs tanpa modifikasi (64,72 mg/g). Dosis G_{16} optimal adalah 0,84 mmol, yang menghasilkan kapasitas adsorpsi tertinggi. Mekanisme adsorpsi utama melibatkan proses partisi, interaksi elektrostatik, dan interaksi OH- π , yang didukung oleh studi kinetika, isoterm, dan simulasi DFT. Hasil ini menunjukkan bahwa G_{16} -SiNPs berpotensi sebagai adsorben yang efektif untuk pewarna anionik.

Mohamad et al. (2020) melakukan sintesis aerogel silika yang terbentuk dari abu sekam padi dengan tambahan TEOS dan dikeringkan menggunakan metode pengeringan tekanan ambien telah dikarakterisasi menggunakan FTIR, EA, dan SEM. Hasilnya menunjukkan bahwa karbon di sekam padi mengalami penyusutan ketika diubah menjadi silika aerogel akibat pembakaran kandungan karbon di

dalamnya persiapan silika. Studi SEM mengkonfirmasi bahwa silika aerogel memiliki struktur berpori dan memiliki kemampuan untuk aplikasi proses adsorpsi seperti adsorpsi karbon dioksida, adsorpsi metilen dan aplikasi lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi pH pada proses sintesis aerogel silika terhadap karakteristik aerogel silika, khususnya hidrofobisitas dan luas permukaan spesifik ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pH aerogel silika terhadap kemampuan adsorpsi metilen jingga, yang ditinjau dari konsentrasi, kapasitas adsorpsi, dan efisiensi penyerapan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan permasalahan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi pH pada proses sintesis aerogel silika terhadap karakteristik aerogel silika, khususnya hidrofobisitas dan luas permukaan spesifik.
2. Untuk mengetahui variasi pH aerogel silika terhadap kemampuan adsorpsi metilen jingga, yang ditinjau dari konsentrasi, kapasitas adsorpsi, dan efisiensi penyerapan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya fokus pada pengaruh pH.
2. Menggunakan bahan dasar utama berupa silika.

3. Menggunakan metode sol-gel
4. Karakterisasi sudut kontak, FTIR, BET, dan UV-Vis.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengaruh pH terhadap absorbansi metilen jingga dalam menghasilkan aerogel silika berbahan dasar pasir alam Tuban sehingga dapat memberikan informasi serta peluang ke depan untuk melakukan penelitian lanjutan terkait aerogel silika.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Silika

Pasir silika, yang juga dikenal sebagai pasir kuarsa, merupakan salah satu bahan galian non-logam yang sangat melimpah di Indonesia. Keberadaan ini dipengaruhi oleh kondisi alam Indonesia yang sebagian besar terdiri dari batuan beku asam yang menjadi sumber pembentukan bahan galian tersebut. Di Indonesia, pasir silika banyak ditemukan di daerah pesisir pantai, sungai, danau, serta sebagian di laut dangkal (Lubis et al., 2022). Data terkini dari Kementerian ESDM mengungkapkan bahwa Indonesia mempunyai potensi besar dalam sumber daya pasir silika. Cadangan yang tercatat kira-kira mencapai 330 juta ton. Lebih lanjut, potensi ini diwujudkan melalui aktivitas 328 perusahaan pencadangan dan 98 pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang beroperasi di sektor ini. Komposisi pasir silika berwarna putih umumnya 40% - 70% silika. Berdasarkan hasil uji karakterisasi XRD (Xray Diffraction), pasir pantai memiliki kandungan mineral utama didominasi oleh SiO_2 (silika) dan diikuti oleh mineral ikutan seperti SO_3 , CaO , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 (Yonando et al., 2018).

Silika, atau silikon dioksida (SiO_2), merupakan senyawa kimia yang dapat diperoleh dari mineral, tumbuhan, dan sintesis. Silika mineral dapat ditemukan dalam bentuk pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal silika (Ningrum, 2018). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Hasri (2021) bahwa kandungan kadar silika (SiO_2) pada pasir Pantai Takalar sebesar 59,82 %. Adapun karakteristik nanopartikel silika yang dihasilkan pada metode hidrotermal yaitu berada pada fasa kristal kuarsa dan kristobalit dengan sistem kristal masing-masing

trigonal dan tetragonal yang memiliki kisaran rata-rata ukuran partikel 45,07 nm – 48,68 nm.

Silika, sebagai bahan baku aerogel, silika dikenal sebagai smart material dengan nanopori berukuran kurang dari 50 nanometer, luas permukaan 1000 m²/g, konduktivitas termal rendah ($\sim 0,05$ W/m), massa jenis rendah 50 g/cm³, dan konstanta dielektrik rendah (Yonando et al., 2018). , pengering, dan penopang katalis, serta aman untuk menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik, dan film tanpa mengubah kondisinya, bahkan saat dipegang butiran silika gel tetap kering (Handayani et al., 2014).

Silika gel adalah salah satu adsorben yang paling banyak tersedia di pasaran. Silika gel dapat diperoleh melalui sintesis dari bahan-bahan yang mengandung silika. Bahan-bahan yang mengandung silika ini mudah ditemukan di Indonesia, seperti pasir kuarsa, abu sekam padi, abu sabut kelapa, limbah pembakaran batubara, dan sebagainya. Silika gel merupakan media adsorpsi dengan kemampuan tinggi dalam menyerap air. Selain itu, silika gel cukup mudah untuk diregenerasi dan dapat digunakan langsung tanpa perlu diaktivasi terlebih dahulu (Rais et al., 2018).

Berdasarkan struktur, silika dapat diklasifikasikan menjadi dua bentuk utama, yaitu silika kristal dan silika amorf, yang menunjukkan karakteristik struktur yang berbeda. Silika kristal memiliki susunan atom yang teratur dan periodik, yang selanjutnya terbagi menjadi dua subkategori, yaitu silika monokristalin dan polikristalin. Silika monokristalin tersusun atas kristal tunggal kontinu tanpa adanya batas butir, dengan atom silikon yang tersusun secara homogen dalam kisi kristal yang terdefinisi dengan baik. Sementara itu, silika polikristalin terdiri atas

kumpulan kristal-kristal kecil dengan orientasi berbeda, tetapi saling terhubung membentuk struktur yang lebih kompleks. Pada kedua jenis silika kristal tersebut, atom silikon berikatan dalam konfigurasi tetrahedral dengan empat atom tetangga, menghasilkan kisi kristal yang stabil dan teratur. Sebaliknya, silika amorf tidak memiliki keteraturan struktur dalam skala jangka panjang. Pada silika amorf, atom silikon membentuk ikatan secara acak dengan sejumlah besar ikatan valensi yang tidak terisi sempurna, sehingga menciptakan ikatan menggantung (*dangling bonds*). Keberadaan ikatan-ikatan tersebut menghasilkan konsentrasi pusat rekombinasi yang tinggi, yang dapat menurunkan efisiensi transportasi pembawa muatan. Dalam aplikasi seperti sel surya, di mana pemisahan pembawa muatan secara efisien sangat dibutuhkan, struktur amorf cenderung kurang optimal dibandingkan silika kristal karena dapat menghambat kinerja konversi energi (Prayogi, 2022).

2.2 Aerogel

Aerogel silika merupakan material padat yang sangat porous dengan porositas $\geq 90\%$ dan luas permukaan sekitar $1500 \text{ m}^2/\text{g}$. Material ini memiliki transmisi optik yang tinggi sekitar 90% , konduktivitas termal yang rendah sekitar $0,05 \text{ W/mK}$, serta konstanta dielektrik yang rendah sekitar $1,1$ (Nizar et al., 2016). Terdapat berbagai jenis aerogel silika, yang secara umum dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu hidrofilik dan hidrofobik. Aerogel silika hidrofilik dapat larut dalam air, sementara aerogel silika hidrofobik menunjukkan perilaku tolak-menolak terhadap air. Perbedaan perilaku ini menyebabkan masing-masing aerogel silika memiliki sifat yang berbeda, yang pada gilirannya memungkinkan berbagai aplikasi yang beragam (Akhter et al., 2023). Penjelasan terkait ciri-ciri aerogel silika ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Ciri-ciri aerogel silika (Gurav et al., 2010)

Ciri-ciri	Nilai
Massa Jenis	0,003-0,35 g/cm ³
Luas permukaan	600-1000 m ² /g
% zat padat	0,13-15%
Rata-rata diameter pori-pori	~20 nm
Diameter partikel	2-5 nm
Indeks bias	1-1,08
Koefisien ekspansi termal	2,0-4,0x10 ⁻⁶
Konstanta dielektrik	~1,1

Aerogel dapat diproduksi dengan menggunakan prekursor organik atau anorganik dengan berbagai metode, dan metode yang paling sesuai adalah sintesis aerogel silika dari tetraethyl ortosilicate (TEOS) dengan menggunakan pengeringan tekanan ambien. Pertama TEOS dapat bertindak sebagai prekursor dalam produksi aerogel silika karena menghasilkan hasil yang lebih baik dalam hal kekuatan dibandingkan dengan produksi aerogel silika hanya dengan kehadiran air yang berfungsi sebagai fluida pori, karena TEOS memiliki kemampuan untuk mempertahankan integritas strukturalnya dengan mencegah gel dari retak. Selain itu, TEOS juga meningkatkan porositas untuk menjebak lebih banyak karbon dioksida. Hal ini juga akan meningkatkan sifat fisik aerogel silika, seperti memiliki warna yang lebih baik, yaitu putih-transparan, dan akhirnya menghasilkan penurunan kepadatan massa (Mohamad et al., 2020).

Proses pembuatan aerogel terdiri dari dua tahapan utama, yaitu pembentukan gel (hidrogel) dan pengeringan gel menjadi aerogel. Pengeringan gel menjadi aerogel silika dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu pengeringan superkritis menggunakan autoklaf dan pengeringan ambien menggunakan alkoksida dalam sintesis sol-gel. Dibandingkan dengan pengeringan *superkritis*, pengeringan pada tekanan ambien lebih efisien dalam hal konsumsi energi, serta memiliki parameter dan kondisi yang lebih mudah dikendalikan. Metode

pengeringan ambien untuk aerogel silika melibatkan modifikasi permukaan dengan mengganti campuran air dan alkohol dalam pori-pori gel menggunakan pelarut bebas air, kemudian mereaksikannya dengan agen sililasi untuk menyililasi gugus Si-OH secara efisien (Zulfikar & Tjahjanto, Rachmat Triadi, 2014), dimana pada pengeringan tekanan *ambient*, atom H dari gugus Si-OH digantikan oleh gugus Si-R yang tidak mudah terhidrolisis sehingga mencegah adsorpsi air dan menghasilkan silika aerogel hidrofobik (Hasdiana, 2018).

2.3 Metode Sol-gel

Aerogel pertama kali diperkenalkan oleh Samuel Stephens Kistler pada tahun 1931 dengan menggunakan metode sol-gel yang dilanjutkan dengan pengeringan *superkritis* (Nizar et al., 2016). Banyak peneliti sekarang mensintesis silika aerogel menggunakan metode sol-gel dengan agen siliasi TEOS dan heksana dengan bahan dasar (prekursor) pasir silika dimana kandungan silika di dalam pasir silika sebesar 50-70% menghasilkan silika aerogel memiliki kemampuan absorbs yang baik dengan sudut kontak $143,95^\circ$ dan kapasitas absorbansi 13,98 g/g (Yonando et al., 2018).

Sintesis aerogel silika menggunakan metode sol-gel merupakan suatu proses sintesis yang cukup sederhana dan dilakukan pada temperatur rendah. Dengan metode sol-gel didapatkan hasil sintesis aerogel silika yang memiliki kemurnian yang tinggi dibandingkan dengan metode metode lainnya. Tahapan-tahapan utama dalam sintesis aerogel silika akan dijelaskan sebagai berikut (Budiharti & Supardi, 2015):

1. Hidrolisis

Pada tahap pertama logam prekursor (alkoksida) dilarutkan dalam alkohol dan terhidrolisis dengan penambahan air pada kondisi asam, basa, atau netral sehingga menghasilkan sol koloid.

2. Kondensasi

Pada tahap kondensasi, gugus hidroksil dari produk intermediat, $[(OH)_xSi(OR)_{4-x}]$, akan bereaksi dengan gugus etoksi dari molekul TEOS lainnya pada kondensasi alkohol, atau dengan gugus hidroksil dari produk intermediat lainnya pada kondensasi air, yang menghasilkan pembentukan jembatan Si-O-Si.

3. Pematangan (*Aging*)

Setelah reaksi hidrolisis dan kondensasi, langkah selanjutnya adalah pematangan gel yang terbentuk, yang sering disebut sebagai proses ageing. Pada tahap ini, terjadi reaksi yang menghasilkan jaringan gel yang lebih kaku dan kuat, yang menyusut dalam larutan. Proses ageing berakhir ketika silika (sol) telah sepenuhnya membentuk jaringan gel yang lebih kuat dan kaku.

4. Pengeringan (*Dryer*)

Pada tahap ini, gel harus dibebaskan dari cairan dalam pori dengan menghindari runtuhnya struktur gel.

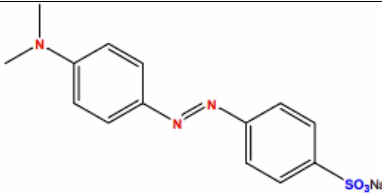
2.4 Metilen Jingga

Industri tekstil merupakan penyumbang limbah zat warna terbesar di perairan. Limbah tersebut berasal dari proses pewarnaan yaitu berupa zat warna yang larut dalam air. Salah satu zat warna reaktif azo yang sering digunakan pada industri tekstil yaitu metilen jingga. Kelebihan dari zat warna ini antara lain, kemampuannya untuk terikat kuat pada kain, memberikan warna yang baik, dan tidak mudah luntur (Cis-trans et al., 2021). Akan tetapi, senyawa-senyawa ini juga

menimbulkan potensi bahaya yang signifikan bagi kesehatan manusia, antara lain efek *karsinogenik* (dapat memicu kanker), efek *mutagenik* (dapat menyebabkan mutasi genetik), serta disfungsi organ vital seperti ginjal, hati, dan otak. Bagi alam sekitar juga dapat mengakibatkan pencemaran di perairan, di mana zat warna menghalangi penetrasi cahaya, mengurangi laju fotosintesis, dan mendorong terbentuknya zona tanpa oksigen yang akhirnya membahayakan kehidupan akuatik. Oleh karena itu, pemurnian air limbah yang terkontaminasi pewarna merupakan tantangan besar dalam teknologi pemurnian modern. (Wang et al., 2021).

Pewarna metilen jingga termasuk dalam kelompok pewarna azo dan tergolong sebagai pewarna azo asam. Pewarna ini memiliki aplikasi yang luas di berbagai industri, seperti makanan, farmasi, kertas, percetakan, laboratorium, dan tekstil (Arini, 2022). Metilen jingga merupakan Kontaminan khas dalam air limbah berwarna dan memiliki kemampuan terurai secara hayati yang buruk (Nawardah Hanie & Zulmiardi, 2023). Sifat dan karakteristik pewarna metilen jingga ditunjukkan pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Sifat dan Karakteristik Metilen Jingga (Santos et al., 2019).

Property	Characteristic
Nama IUPAC	Sodium 4- {[4-(dimethylamino) phenyl] diazenyl} benzene-1-sulfonate
Nama Umum	Metilen Jingga
Nomor CAS	547-58-0
Nomor Index Warna	13.025
Massa Molar ($M/g\ mol^{-1}$)	327.3
Panjang Gelombang Maksimum (nm)	464
Tetapan disosiasi asam (pKa)	3.45
Rumus Kimia	$C_{14}H_{14}N_3SO_3Na$
Struktur Kimia	

Pembahasan tentang masalah limbah zat pewarna yang mencemari lingkungan telah dijelaskan dalam Al-Quran, tepatnya surah Rum (30:41)

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia, agar Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”

Ibnu Jarir At Tabari dalam tafsirnya menjelaskan bahwa kerusakan lingkungan itu akibat dari perbuatan dosa manusia itu sendiri. Kemudian dijelaskan bahwa lafadz “*al barri*” merupakan tanah yang kosong. Sedangkan lafadz “*al-bahri*” merupakan daerah perarian (Mufidah, 2023). Berdasarkan ayat tersebut, penelitian terkait aerogel silika sebagai adsorbat metilen jingga hadir sebagai salah satu solusi terhadap fenomena kerusakan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini mengintegrasikan sains dan nilai keislaman dalam upaya nyata mewujudkan kelestarian lingkungan sebagai bagian dari ibadah dan amanah penjagaan bumi.

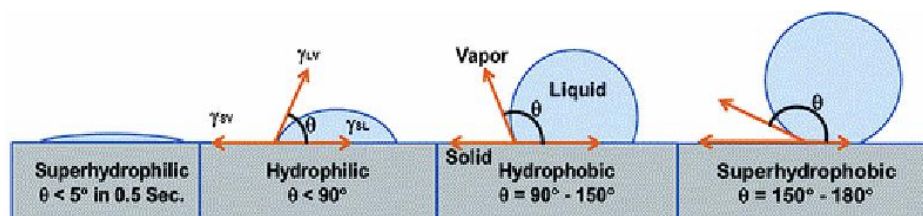
2.5 Karakterisasi

2.5.1 Uji Sudut Kontak

Aerogel silika akan menunjukkan sifat hidrofobik ditandai dengan sudut kontak air $>90^\circ$ dan hidrofilik yang ditandai dengan sudut kontak air $<90^\circ$ (Zulfikar & Tjahjanto, Rachmat Triadi, 2014). Aerogel silika hidrofilik dapat larut dalam air, sementara aerogel silika hidrofobik menunjukkan perilaku tolak-menolak terhadap air (Akhter et al., 2023).

Hidrofobisitas suatu permukaan dapat dikarakterisasi melalui pengukuran sudut kontak air (*water contact angle*), yaitu sudut yang terbentuk antara tetesan air dengan permukaan material pada garis kontak. Nilai sudut ini menentukan sifat suatu material; jika melebihi 90° , permukaan bersifat hidrofobik, dan jika kurang

dari 90° , dikategorikan sebagai hidrofilik (Putri et al., 2020). Pengukuran sudut kontak merupakan metode yang terus berkembang untuk menganalisis karakteristik permukaan material (Prihatini et al., 2024).



Gambar 2. 1 Kehidrofibisitas suatu material (Eskani et al., 2019).

2.5.2 Spektroskopi Forier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transformed Infrared (FTIR) adalah alat atau instrumen yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa, serta menganalisis campuran sampel tanpa merusak sampel tersebut. Spektrofotometri FT-IR merupakan metode spektroskopi yang digunakan untuk mendeteksi struktur molekul suatu senyawa. Dalam pengukuran menggunakan instrumen FT-IR, hasil yang diperoleh berupa spektrum yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Wulan Sari et al., 2018). Teknik spektrometri IR dapat diterapkan dalam dua varian, yaitu transmisi dan reflektansi. Transmisi digunakan untuk menguji efek penyerapan radiasi IR pada volume sampel, dan metode ini memungkinkan pengujian sampel dalam bentuk padat, cair, maupun gas dengan prosedur yang tepat. Daerah inframerah dalam spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14.000 cm^{-1} hingga 10^{-1} (Subamia et al., 2023).

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. Infrared yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa infrared diserap

oleh sampel dan yang lainnya di transmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infrared lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak (Wulan Sari et al., 2018).

2.5.3 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber REM (radiasi elektromagnetik) ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm). Alat ini digunakan untuk mengukur energi secara relative jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif (Penyusun, 2007).

Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat untuk mengkarakterisasi suatu adsorben dalam mengadsorpsi zat warna dapat diketahui dari kapasitas adsorpsinya. Alat ini dapat digunakan untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas, atau uap (Suhartati, 2017). Uji ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas absorpsi dan efisiensi penyerapan aerogel silika terhadap metilen jingga.

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\% \text{ Efisiensi Penyerapan} = \frac{(C_0 - C_t) \times 100\%}{C_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan Q Kapasitas adsorpsi (mg/g), C_0 Konsentrasi awal (mg/L) C_t Konsentrasi akhir (mg/L), V Volume larutan (L), M Massa sampel (g) (Cis-trans et al., 2021).

Sedangkan konsentrasi akhir (C_t) metilen jingga dapat diketahui melalui persamaan regresi menggunakan kurva standar. Kurva standar didapat melalui

pengukuran larutan standar metilen jingga dan diperoleh persamaan garis linier kurva standar (Cis-trans et al., 2021).

2.5.4 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Braun-Emmett-Teller (BET) adalah suatu teknik untuk menentukan diameter pori, volume pori, dan luas permukaan spesifik suatu material. Karakterisasi BET bekerja berdasarkan prinsip adsorpsi-desorpsi gas adsorbat. Mekanisme adsorpsi gas ini melibatkan penyerapan gas (seperti nitrogen, argon, atau helium) oleh permukaan padatan pada kondisi suhu dan tekanan tertentu. Secara teoritis mengetahui luas permukaan dari satu molekul gas yang teradsorpsi, maka luas permukaan total padatan dapat dihitung. Luas permukaan mengacu pada jumlah pori per satuan luas sampel, sedangkan luas permukaan spesifik adalah luas permukaan per satuan gram material (Arini, 2022).

Metode yang digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan volume mikropori ialah t-plot (Lippens-de Boer Method). Cara kerja metode ini dengan membandingkan volume adsorpsi dari sampel dengan volume adsorpsi teoritis yang seharusnya terbentuk pada permukaan dengan ketebalan tertentu (Maria , 2016). Persamaan berikut digunakan untuk mencari ketebalan lapisan t biasanya dihitung menggunakan model Harkins–Jura (Galarneau et al., 2014):

$$T = \sqrt{\frac{13,99}{0,034 - \log_{10}(P/P_0)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk mencari nilai luas permukaan eksternal menggunakan persamaan (Galarneau et al., 2014):

$$S_{ext} = a \times 15,47 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana Konstanta 15.47 adalah faktor konversi universal berdasarkan volume molar nitrogen pada STP, luas penampang molekul N₂, konversi satuan Å ke cm, dan a adalah *slope*.

Luas permukaan mikropori dapat dihitung dari volume mikropori menggunakan faktor konversi IUPAC berikut (Galarneau et al., 2014):

$$S_{mikro} = 4,355 \times V_{mikro} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana faktor 4.355 diperoleh dari perbandingan volume molar gas nitrogen dan luas permukaan satu lapisan monomolekul dan V_{mikro} adalah volume mikropori (cm³/g).

Setelah kedua komponen tersebut didapat maka nilai luas permukaan total dapat diketahui menggunakan persamaan berikut (Galarneau et al., 2014):

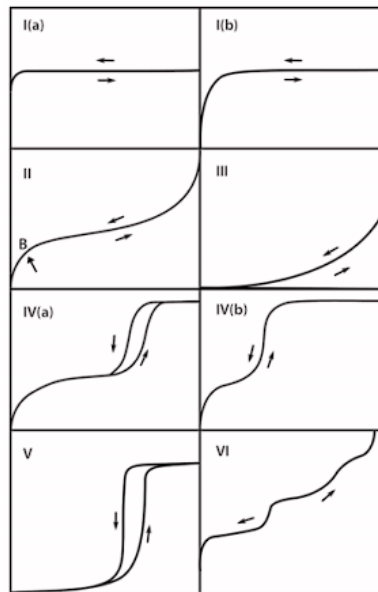
$$S_{total} = S_{ext} + S_{mikro} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana: S_{ext} : Luas permukaan eksternal (m²/g)

S_{mikro} : Luas permukaan mikro (m²/g)

S_{total} : Luas permukaan total (m²/g)

Pada umumnya, untuk menilai penyerapan gas pada suatu bahan penyerap menggunakan percobaan pada suhu tetap dimana jumlah gas yang terserap dicatat sesuai dengan perubahan dan tekanan keseimbangan. Hubungan antara jumlah gas yang terserap dan tekanan kesetimbangan gas pada suhu tetap ini disebut isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi menggambarkan interaksi umum dan khusus antara gas dan bahan penyerap, yang dipengaruhi oleh struktur permukaan bahan penyerap. Dari isoterm ini, kita dapat mengelompokkan karakteristik pori dan kekuatan interaksi antara penyerap dan gas yang terserap (Andini et al., 2022).



Gambar 2. 2 Grafik Klasifikasi Isoterm IUPAC (Prihatini et al., 2024).

IUPAC telah mengeluarkan klasifikasi isoterm adsorpsi fisika (Gambar 2.2) yang berguna untuk karakterisasi isoterm pada bahan penyerap dalam kondisi subkritis. Isoterm Tipe I menunjukkan penyerapan yang cepat mencapai titik jenuh (plateau) pada tekanan relatif rendah, yang merupakan ciri khas material berpori mikro di mana seluruh volume pori terisi penuh melalui mekanisme pengisian ruang sempit. Isoterm Tipe II khas untuk material tidak berpori atau makropori, dengan peningkatan bertahap menuju jenuh tanpa batasan kapasitas yang tajam, Isoterm Tipe IV menampilkan histeresis (kurva naik dan turun tidak berhimpit akibat kondensasi kapilair pada material mesopori seperti silika gel, sedangkan Isoterm Tipe III dan V menunjukkan interaksi adsorben-adsorbat yang lemah dengan peningkatan adsorpsi yang lambat di awal namun melonjak tajam mendekati tekanan uap jenuh (Prihatini et al., 2024).

Tabel 2. 3 Klasifikasi Ukuran pori

Makropori	$> 50 \text{ nm}$
Mesopori	$2\text{-}50 \text{ nm}$
Mikropori	$< 50 \text{ nm}$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen untuk mengetahui pengaruh pH terhadap absorbansi metilen jingga yang disintesis menggunakan metode sol-gel. Karakterisasi menggunakan sudut kontak, FTIR, Uji Spektrofotometri UV-Vis, , dan Brunauer-Emmet-Teller (BET).

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Agustus 2024. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca digital
2. *Beaker glass*
3. Spatula
4. Mortar dan alu
5. Ayakan 100 mesh
6. Oven
7. Cawan petri
8. Kertas saring whattman
9. Magnetic stirrer

10. Hot plate
11. pH meter digital
12. Gelas ukur
13. Pipet tetes
14. Pelat kaca
15. Alumunium foil
16. Magnet
17. *Planetary ball mill*

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pasir pantai Tuban
2. NaOH 7M
3. Aquades
4. Hcl 2M
5. TEOS
6. Heksana
7. Metanol
8. Metilen Jingga

3.3.3 Alat Karakterisasi

Alat karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Uji Sudut Kontak
2. FTIR (*Spektroskopi forier transform infrared*)
3. Uji Spektrofotometer UV-Vis

4. Uji Brunauer-Emmet-Teller

3.4 Variabel Penelitian

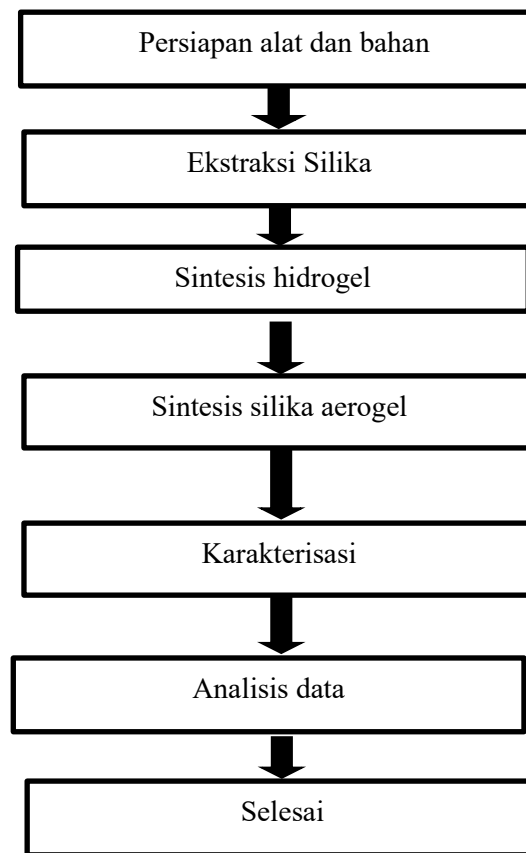
Variabel penelitian dalam pembuatan silika aerogel ini meliputi variasi perbandingan pH asam, netral dan basa yaitu pH 3, 5, 7, 9, 11.

Tabel 3. 1 Variasi aerogel silka

No	Sampel	TEOS:Hidrogel
1	pH 3	1:1
2	pH 5	1:1
3	pH 7	1:1
4	pH 9	1:1
5	pH 11	1:1

3.5 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir pada penelitian ini adalah :

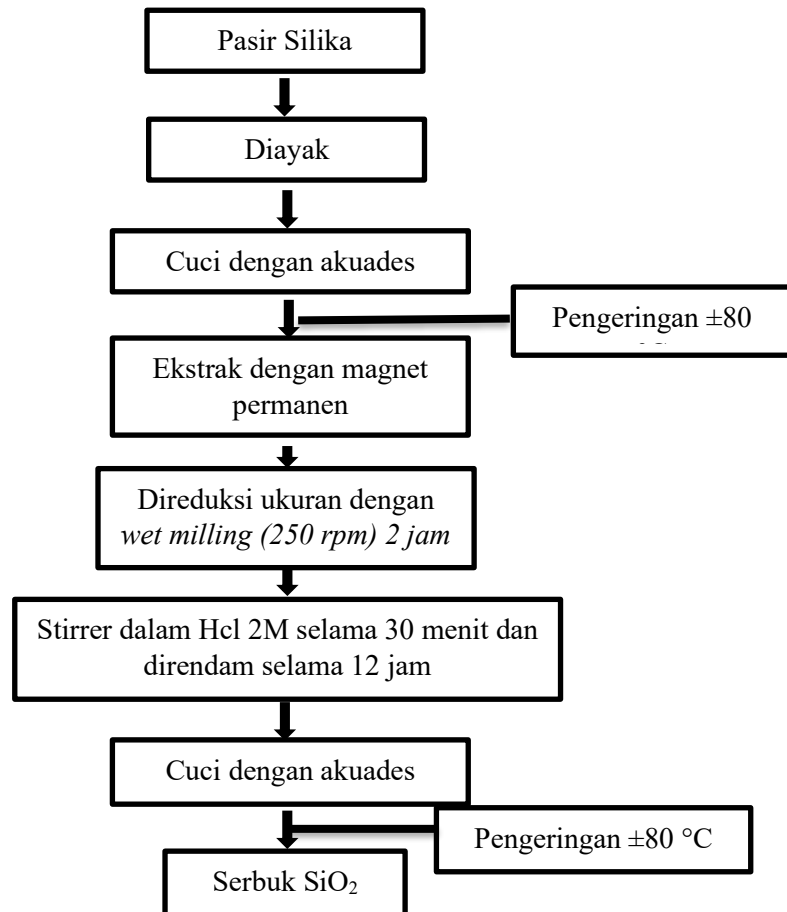


Gambar 3. 1 Diagram alir Penelitian

3.5.1 Diagram Alir Sintesis Silika Aerogel

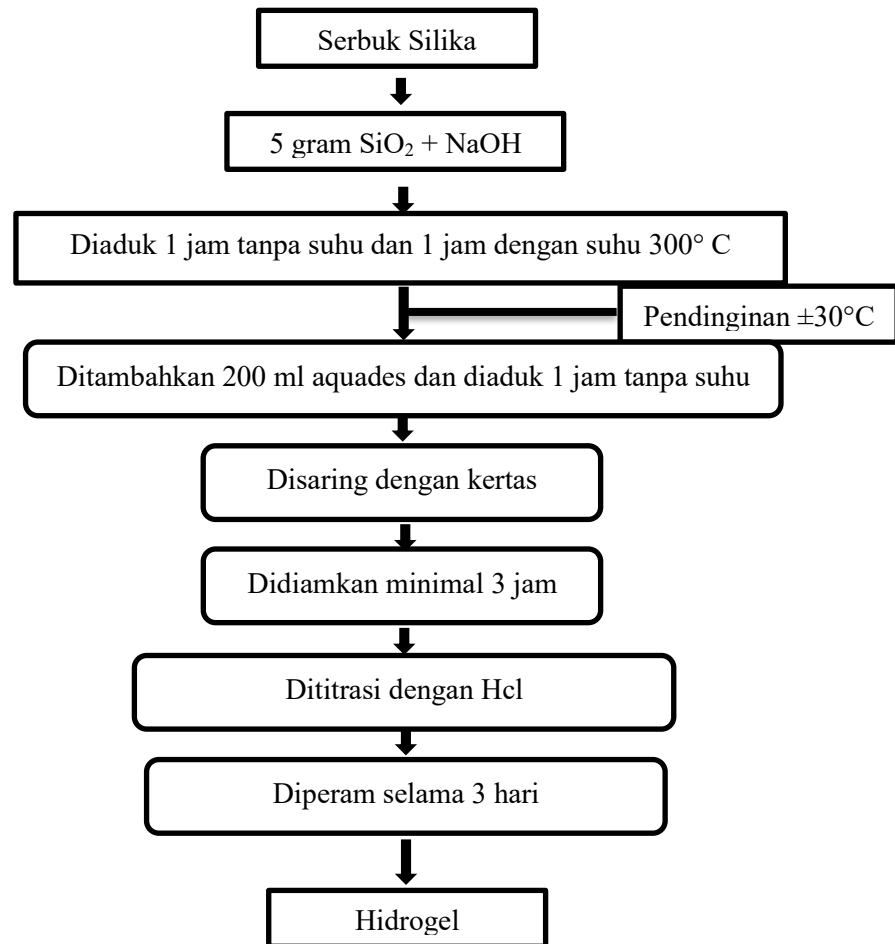
Berikut diagram alir sintesis silika aerogel pada penelitian ini adalah :

- **Ekstraksi silika**



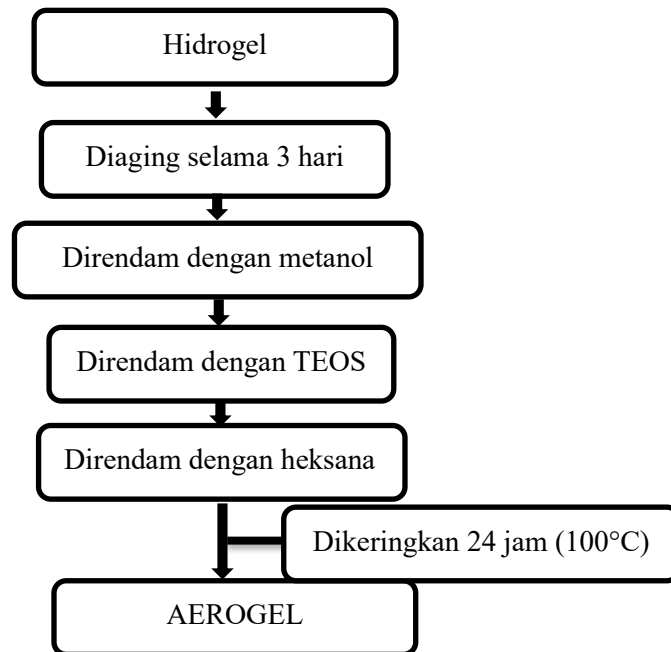
Gambar 3. 2 Diagram alir Ekstraksi Silika

- **Pembuatan Hidrogel**



Gambar 3. 3 Diagram alir Pembuatan Hidrogel

- **Pembuatan Silika Aerogel**



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan Silika Aerogel

3.6 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.6.1 Sintesis Aerogel Silika

1. Disiapkan pasir silika.
2. Dicuci menggunakan aquades sebanyak 30 kali.
3. Dikeringkan dengan suhu 100°C selama 1 jam.
4. Ekstraksi magnet untuk menghilangkan kandungan besi.
5. Dilakukan wet milling dengan kecepatan 250 rpm selama 2 jam.
6. Dikeringkan dengan temperatur 100°C selama 1 jam dan diayak dengan menggunakan ayakan 100 mesh.
7. Serbuk pasir silika 10 gr kemudian diaduk dengan stirrer selama 30 menit dilanjutkan dengan perendaman dengan Hcl 2M selama 12 jam.
8. Endapan serbuk pasir silika disaring dengan menggunakan kertas saring, dicuci sampai pH netral.
9. Endapan yang terbentuk selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C selama 30 menit untuk menghilangkan kadar airnya.
10. Koloid silika disintesis dengan melarutkan 21 gram serbuk NaOH dalam aquadest sampai volume 75 mL dan diaduk dengan menggunakan pengaduk kaca hingga larutan berwarna jernih.
11. Sebanyak 5 gram serbuk silika dimasukkan ke dalam larutan NaOH dan diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 7 mod pada temperature ruang.
12. Dinaikkan temperatur hingga 300°C selama 1 jam sampai terbentuk kerak dan didinginkan dengan suhu ruang.

13. Ditambahkan 200 mL aquadest dan kembali diaduk dengan magnetic stirrer selama 1 jam tanpa suhu dengan kecepatan 7 mod.
14. Larutan Na_2SiO_3 disaring dengan menggunakan kertas saring dan didiamkan minimal 3 jam.
15. Larutan Na_2SiO_3 dititrasi dengan Hcl 2 molar menggunakan buret sampai dengan pH yang diinginkan.
16. Larutan hasil titrasi didiamkan selama 24 jam sampai terbentuk gel.
17. Setelah itu diperam selama 3 hari.
18. Aerogel dioven dalam suhu 60°C selama 5 jam
19. Hidrogel diubah menjadi alkogel dengan mengganti pelarutnya menjadi metanol selama 24 jam pada suhu 50°C .
20. Alkogel direndam menggunakan TEOS untuk merubah permukaan gel menjadi hidrofobik.
21. Kemudian hasil perendaman dengan TEOS direndam lagi dengan heksana untuk melarutkan sisa-sisa TEOS yang masih ada.
22. Aerogel yang masih basah dikeringkan pada suhu 80°C selama 7 jam, 120°C selama 2 jam.

3.7 Rencana Analisis Data

3.7.1 Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak dilakukan untuk mengetahui kehidrofobitas aerogel silika. Pengujian ini dilakukan dengan meneteskan satu tetes air diatas aerogel silika kemudian diambil gambarnya dan diukur sudut kontaknya menggunakan *software AutoCAD* (Zulfikar & Tjahjanto, Rachmat Triadi, 2014) atau GOM player (Prihatini et al., 2024).

Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan Uji Sudut Kontak

No	pH	Sudut Kontak

3.7.2 Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pengujian FTIR dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari sampel Aerogel silika. Didapatkan data FTIR berupa grafik gugus fungsi sampel yang dianalisis menggunakan software origin. Kemudian puncak gugus fungsi yang terbentuk pada grafik dianalisis menggunakan referensi literatur.

Tabel 3. 3 Rancangan Uji FTIR

Vibrasi Teoritis	Jenis Vibrasi	Wavelength		
		pH	pH	pH

3.7.3 Spektrofotometer UV-Vis

Pengujian spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengetahui kapasitas absorpsi, konsentrasi ppm dan % efisiensi penyerapan.. Uji absorbansi dilakukan pada sampel dengan variasi pH 3, 5, dan 7 pada rentang waktu 0 sampai 120 menit dengan kelipatan 30. Larutan metilen jingga digunakan sebagai adsorbat dengan konsentrasi 25 ppm sebanyak 25 ml pada panjang gelombang maksimum 463 nm. Kemudian data yang diperoleh dihitung sesuai dengan persamaan di bab 2.

Tabel 3. 4 Rancangan Percobaan Uji UV-Vis

pH	Waktu (menit)	Kapasitas Absorpsi (mg/g)	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi penyerapan (%)

3.7.4 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Uji BET dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui luas permukaan material. Uji ini dilakukan dengan gas N_2 pada tekanan relatif yang secara fisik teradsorpsi pada permukaan sampel. Jumlah gas yang menempel pada permukaan dalam pori-pori dapat digunakan untuk menghitung luas permukaan.

Tabel 3. 5 Rancangan Percobaan Uji BET

pH	Luas Permukaan (m^2/g)	Volume Mikropori (cc/g)

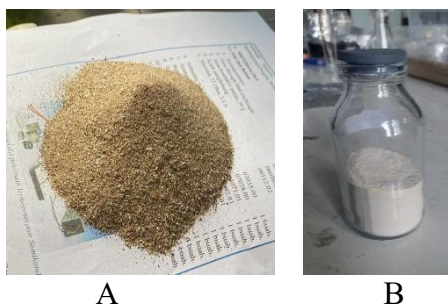
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Pembuatan Sampel

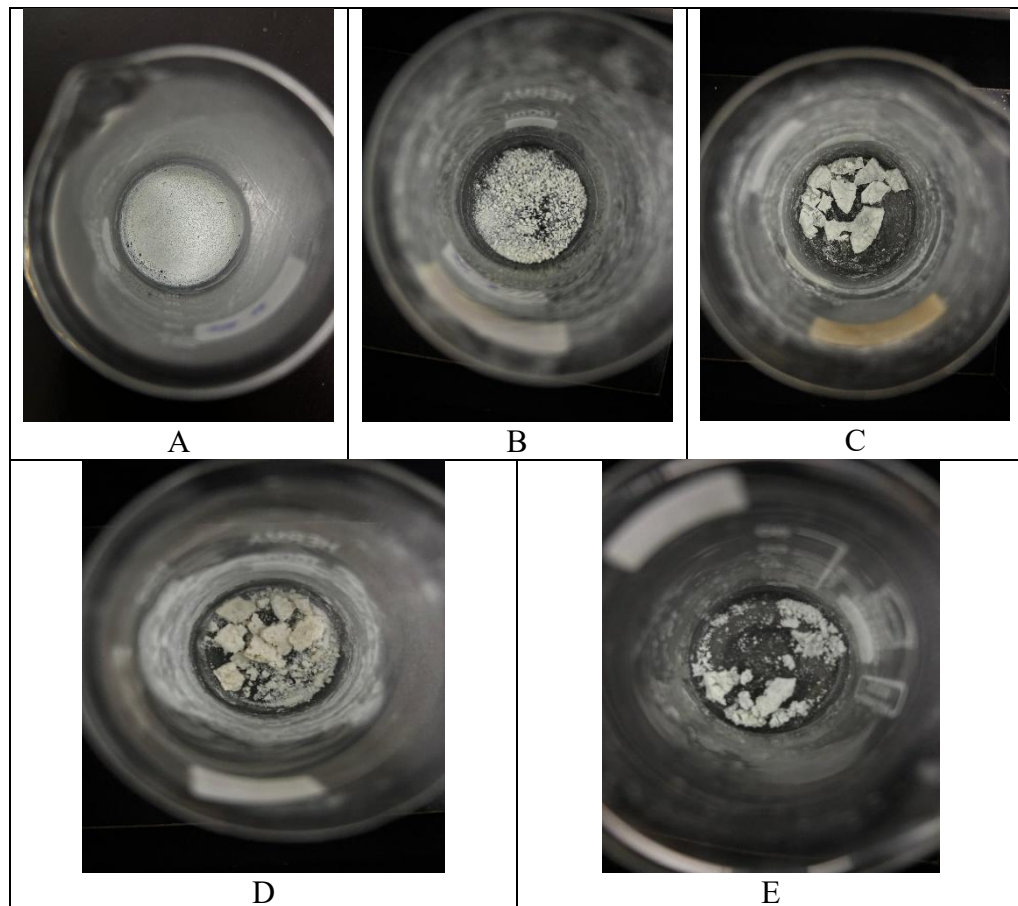
Aerogel dibuat menggunakan metode sol-gel dengan pengeringan suhu rendah. Pada penelitian ini digunakan bahan baku berupa silika yang berasal dari pasir alam Tuban, Jawa Timur. Pasir silika ini ekstraksi dengan beberapa proses yaitu dicuci, diekstraksi dengan magnet, direduksi ukuran dengan *wet milling*, dikeringkan dalam oven, dicampur dengan Hcl 2M, dicuci dengan akuades, dikeringkan pada temperatur 80°C, ditumbuk dengan mortar sehingga dihasilkan silika amorf seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Gambar A (Pasir Silika) dan B (Serbuk Silika)

Kemudian pembuatan hidrogel dari bahan dasar serbuk silika yang telah dibuat. Serbuk silika sebanyak 5 g dicampur dengan 75 ml NaOH 7M, diaduk dengan magnetic stirrer selama 1 jam dan 1 jam lagi dengan suhu 300°C, didiamkan sampai suhu ruang, ditambahkan 200 ml akuades, diaduk selama 1 jam, disaring untuk menghilangkan beberapa pengotor, didiamkan selama 1 jam, dititrasi dengan Hcl supaya pH turun. Pada proses titrasi inilah variasi pH dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya didiamkan selama 3 hari supaya gel dapat terbentuk dan saling terikat kuat.

Setelah hidrogel disiapkan, kemudian dilakukan pertukaran pelarut pada ruang tertutup untuk menghindari pelarut yang mudah menguap. Proses pertukaran pelarut dilakukan dalam rentang waktu 24 jam. Pertama digunakan metanol untuk merubah hidrogel menjadi alkogel. Perendaman dengan metanol dilakukan untuk menurunkan tegangan permukaan sehingga zat cair bisa masuk. Kedua digunakan TEOS pada alkogel supaya aerogel bersifat hidrofobik. Terakhir digunakan heksana supaya sisa-sisa perendaman dengan TEOS bisa terlarut. Kemudian gel dikeringkan secara bertahap untuk menghilangkan pelarut dalam pori-porinya. Pengeringan dilakukan selama 24 jam pada suhu 50°C, dan 12 jam pada suhu 100°C.



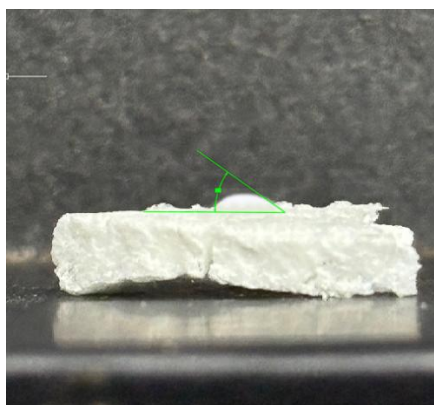
Gambar 4. 2 Hasil Sintesis Aerogel Silika A (pH 11), B (pH 9), C (pH 7), D (pH 5), E (pH 3)

Gambar 4.3 diatas terlihat bahwa aerogel yang didapat pada pH 7, 5 dan 3 memiliki bentuk padatan bila dibandingkan dengan aerogel pada pH basa 9 dan 11.

Hal ini dikarenakan tingkat *solubility* pada pH basa sangat tinggi sehingga gel mudah larut serta mempengaruhi bentuk dari aerogel (Fakhry & Twej, 2019). Oleh karena itu aerogel dengan pH 9 dan 11 tidak dilanjutkan untuk dikarakterisasi.

4.1.2 Pengukuran Sudut Kontak

Uji sudut kontak dilakukan dengan cara meneteskan air menggunakan *syringe* pada permukaan sampel kemudian diambil gambar menggunakan kamera. Setelah itu diukur sudutnya menggunakan *software autocad* (Zulfikar & Tjahjanto, Rachmat Triadi, 2014). Uji ini bertujuan untuk mengetahui sampel bersifat tolak menolak dengan air (hidrofobik) atau tarik-menarik dengan air (hidrofilik). Sampel ini berupa aerogel silika dengan bahan dasar silika murni yang telah diekstrak dari bahan alam.



Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran Sudut kontak Menggunakan *Software Autocad*

Analisa sudut kontak dilakukan menggunakan kamera Iphone series 15. Gambar tersebut menunjukkan sudut kontak antar air dan permukaan sampel aerogel silika. Sudut yang terbentuk dibawah 90° mengindikasikan aerogel bersifat hidrofilik. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sudut Kontak

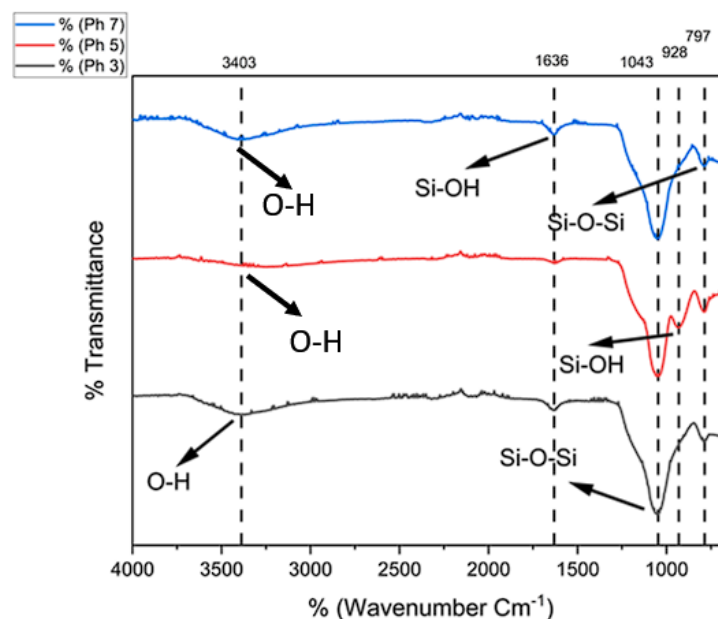
No	pH	Sudut Kontak-Pengulangan ke-			Rata-Rata
		1	2	3	
1	3	68°	56°	41°	55°
2	5	47°	36°	35°	39.4°

3	7	44°	35°	44°	41°
---	---	-----	-----	-----	-----

Berdasarkan data hasil pengukuran sudut kontak, dapat diketahui bahwa aerogel silika yang disintesis pada berbagai variasi pH secara keseluruhan bersifat hidrofilik, ditunjukkan oleh nilai sudut kontak yang secara konsisten berada di bawah 90°. Dimana semakin kecil sudutnya maka semakin hidrofilik (Yonando et al., 2018). Namun, terdapat variasi yang menarik yang dipengaruhi oleh pH. Sampel pada pH 7 dan pH 5 menunjukkan sifat hidrofilik yang sangat kuat dengan sudut kontak rata-rata masing-masing sebesar 41° dan 39.4°. Nilai yang lebih rendah pada pH 5 menunjukkan sifat yang paling hidrofilik di antara ketiganya.

4.1.3 Karakterisasi FTIR

Analisa spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan di Laboratorium Halal Center Fisika UIN Malang. Uji ini bertujuan untuk menginvestigasi jenis ikatan kimia yang terdapat dalam aerogel berbahan dasar pasir silika. Uji FTIR dilakukan pada sampel pH 3, 5, dan 7 dengan massa masing-masing sampel 0.1 g.



Gambar 4. 4 Hasil Karakterisasi FTIR pH 3 (hitam), 5 (merah), 7 (biru)

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik puncak pada data hasil FTIR. Pada gambar dapat diketahui puncak-puncak yang muncul sebagian besar sama. Akan tetapi terdapat satu puncak yang muncul pada pH 5 disekitar ~ 960 . Data hasil semua sampel dapat diketahui pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Perbandingan *Wavenumber* (Cm^{-1}) spektra FTIR Aerogel pada variasi pH 3, 5, dan 7 Spektra IR

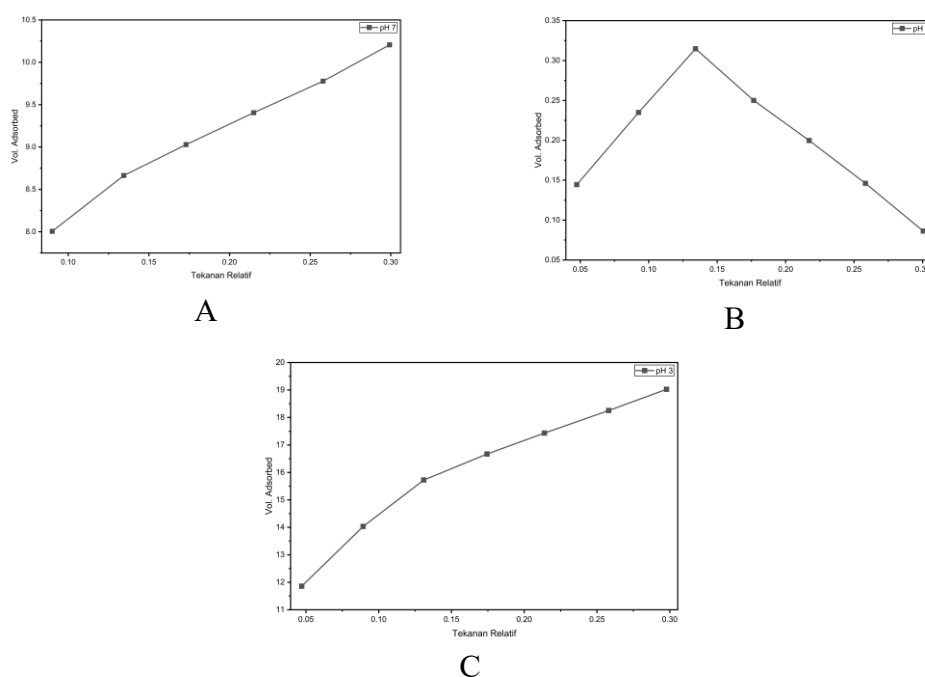
Vibrasi Teoritis	Jenis Vibrasi	<i>Wavenumber</i>		
		pH 3	pH 5	pH 7
$\sim 804/-\text{Si-O-Si}$	Ulur simetris	790,2	790,2	790,2
$\sim 960/\text{Si-OH}$	Ulur Si-OH		931,8	
$\sim 1098/\text{Si-O-Si}$	Ulur asimetris	1051	1051,1	1051,1
~ 3440 dan $1630/-\text{OH}$	Absorbsi -OH	1636,3 3369	1625,1 3246,7	1636,3 3384,4

Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, aerogel silika yang disintesis menunjukkan puncak-puncak karakteristik yang mengonfirmasi keberadaan struktur silika (SiO_2) serta gugus-gugus fungsional kunci. Puncak tajam pada bilangan gelombang $\sim 1051 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 790 \text{ cm}^{-1}$ masing-masing berasal dari vibrasi ulur asimetris dan simetris dari ikatan Si-O-Si, yang merupakan pokok struktur kerangka aerogel silika (Zulfikar et al., 2014). Selain itu, Pada puncak pada $\sim 931 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan vibrasi ulur gugus Si-OH (silanol), yang menjadi situs aktif utama pada permukaan aerogel (Akhter et al., 2023). Puncak di daerah $\sim 3246\text{--}3384 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan material ini bersifat hidrofilik, yang berkaitan dengan vibrasi ulur gugus -OH yang terikat oleh ikatan hidrogen, serta puncak pada $\sim 1625\text{--}1636 \text{ cm}^{-1}$ yang sesuai dengan vibrasi tekuk molekul air yang teradsorpsi (Fakhry et al., 2019).

4.1.4 Karakterisasi BET

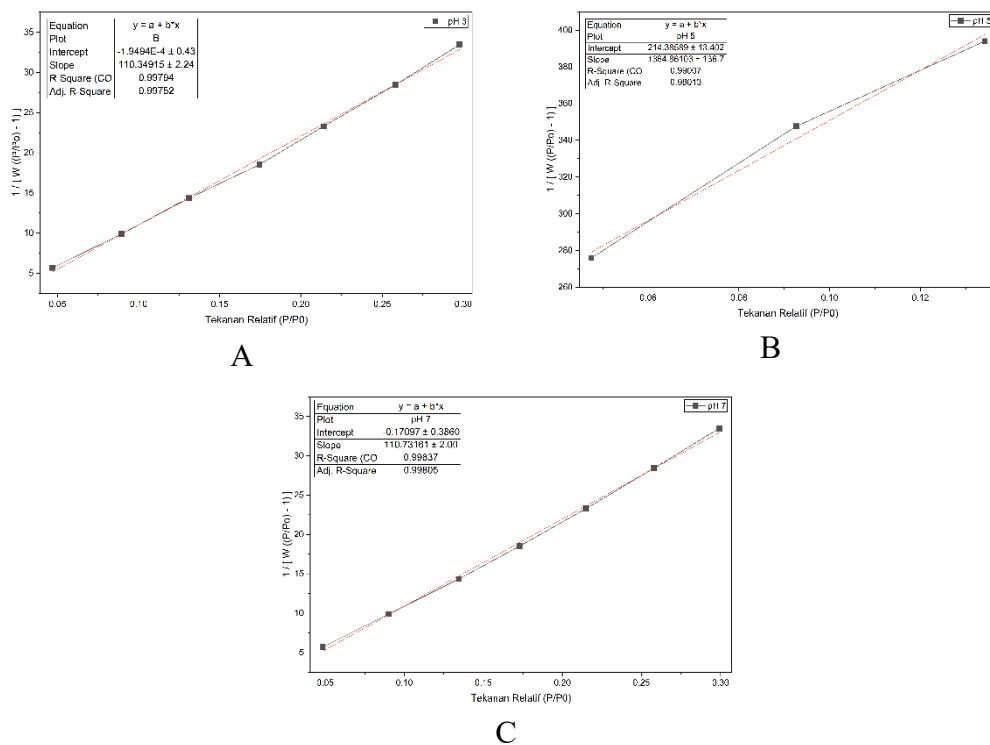
Analisa BET dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui luas permukaan dan volume mikropori. Sampel aerogel silika berbentuk serbuk. Kemudian sampel

didegassing dengan cara memanaskan kedalam tabung degas alat BET dan dipanaskan pada suhu 150°C selama 6 jam dan pada tekanan relatif (P/P_0) 0.05. Setelah proses degassing sampel dibiarkan dingin dalam kondisi aliran gas inert. Uji BET dilakukan pada sampel dengan variasi pH 3, 5, dan 7 terhadap N_2 cair.



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Tekanan Relatif dengan Volume Adsorbed A (pH 3), B (pH 5), dan C (pH 7)

Berdasarkan grafik hubungan antara tekanan relatif terhadap volume adsorpsi, terlihat sampel yang disintesis pada pH 3 dan pH 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan, maka volume adsorpsi semakin bertambah juga. Sementara itu, sampel pada pH 5 justru menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Terlihat bahwa volume adsorpsi meningkat pada P/P_0 rendah, kemudian mencapai puncak sekitar $P/P_0 \sim 0,13$, dan setelah itu justru menurun ketika P/P_0 meningkat hingga 0,30. Pola fluktuatif yang teramati mengindikasikan ketidakstabilan pada permukaan adsorben atau penurunan jumlah situs aktif. Akibatnya, penambahan jumlah adsorpsi tidak mengalami peningkatan yang konsisten meskipun tekanan ditingkatkan.



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Tekanan Relatif Terhadap $1/[W((P/P_0)-1)]$ A (pH 3), B (pH 5), dan C (pH 7)

Berdasarkan grafik plot BET yang memvisualisasikan hubungan antara $\frac{P/P_0}{W(1-P/P_0)}$ dan tekanan relatif (P/P_0), dapat dianalisis karakteristik tekstural dan luas permukaan material hasil sintesis tersebut. Kurva yang terbentuk menunjukkan tren linear pada rentang tekanan relatif 0.05–0.30, yang mengindikasikan bahwa adsorpsi nitrogen pada permukaan material masih mengikuti model BET dengan baik.

Dari data pengujian pada sampel pH 3 diketahui beberapa data sebagai berikut:

$$\text{Luas permukaan mikropori (S}_{\text{mikro}}) : 9.63 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{g}$$

$$\text{Luas permukaan eksternal (S}_{\text{ext}}) : 60.194 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$S_{\text{total}} = S_{\text{ext}} + S_{\text{mikro}}$$

$$S_{\text{total}} = 4.196 + 60.194$$

$$S_{total} = 64.391 \text{ m}^2/\text{g}$$

Tabel 4. 3 Hasil Karakterisasi BET Luas Permukaan Spesifik dan Volume Mikropori Aerogel Silika Pada Variasi pH.

pH	Luas Permukaan spesifik (m ² /g)	Volume Mikropori (cc/g)
3	64.391	0.00661075
5	6.004	0.00178353
7	34.902	0.00434011

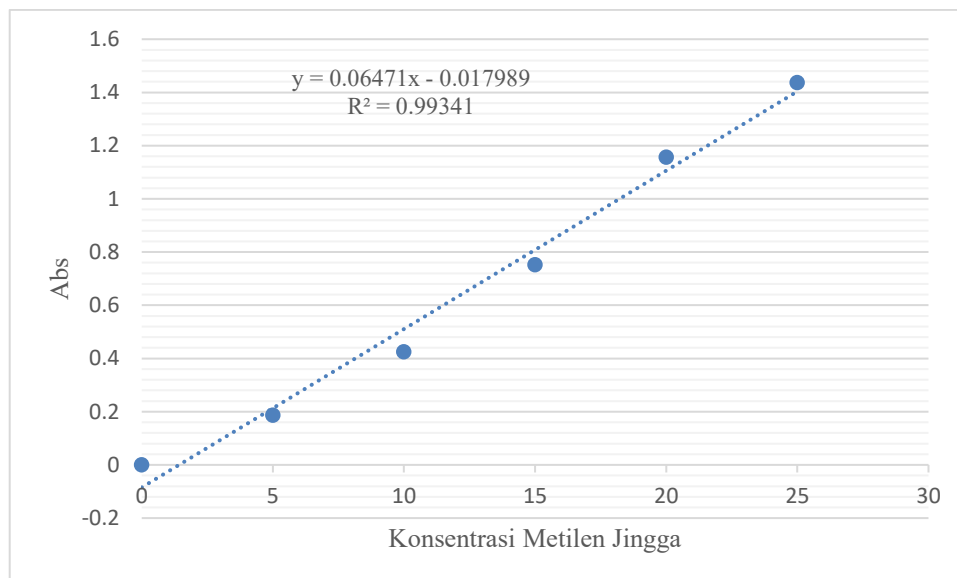
Berdasarkan hasil karakterisasi BET (Brunauer-Emmett-Teller), terlihat bahwa variasi pH selama sintesis aerogel silika memberikan pengaruh yang signifikan terhadap luas permukaan. Sampel yang disintesis pada pH 3 menunjukkan luas permukaan tertinggi, yaitu 64.391 m²/g. Sementara itu, sampel pada pH 5 justru mengalami penurunan drastis, dengan luas permukaan hanya 6.004 m²/g. Di sisi lain, sampel pH 7 menunjukkan nilai antara pH 3 dan 5 dengan luas permukaan 34.902 m²/g.

4.1.5 Analisa Spektrofotometer Uv-Vis

Analisa Analisa spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Optik Fisika UIN Malang dan Laboratorium Kimia Uin Malang. Uji ini dimulai dengan mencari kurva standar dan menentukan panjang gelombang maksimum. Uji ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas absorpsi dan % efisiensi penyerapan.

1. Kurva Standar

Kurva standar disusun guna menetapkan korelasi kuantitatif antara konsentrasi metilen jingga dengan serapan yang diukur. Larutan baku dengan rentang konsentrasi 0, 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/L dianalisis spektrofotometrik, kemudian nilai absorbansi (sumbu Y) diplot terhadap konsentrasi (sumbu X) untuk menghasilkan persamaan garis regresi linear.

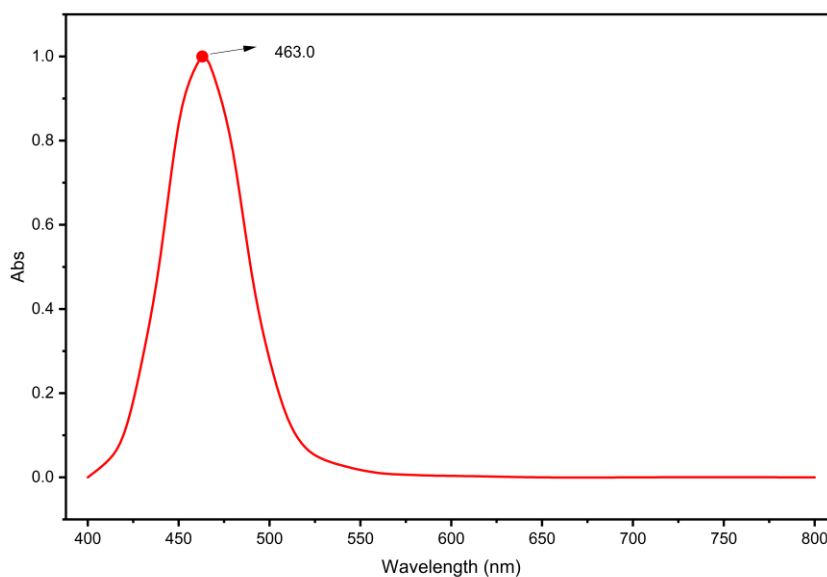


Gambar 4. 7 Grafik Kurva Standar Konsentrasi Metilen Jingga Terhadap Absorpsi

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian kurva standar oleh metilen jingga. Dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi maka nilai absorbansi semakin tinggi juga. Dari grafik tersebut juga diketahui persamaan regresi linier yaitu $0.06471x - 0.017989$ dengan R^2 sebesar 0.999341. Nilai R^2 mendekati 1 menandakan bahwa metode pengukuran memiliki akurasi yang baik (Jubu et al., 2022). Persamaan regresi inilah yang digunakan untuk mengukur konsentrasi.

2. Panjang Gelombang Maksimum

Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan untuk mengamati letak serapan maksimum. Panjang gelombang maksimum ditentukan melalui identifikasi puncak absorbansi tertinggi, yang dalam penelitian ini diperoleh pada 463.0 nm. Spektrum serapan metilen jingga teramati pada rentang cahaya tampak antara 400 hingga 600 nm Berdasarkan karakterisasi tersebut, pengukuran kuantitatif terhadap seluruh sampel dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang tetap 463 nm.



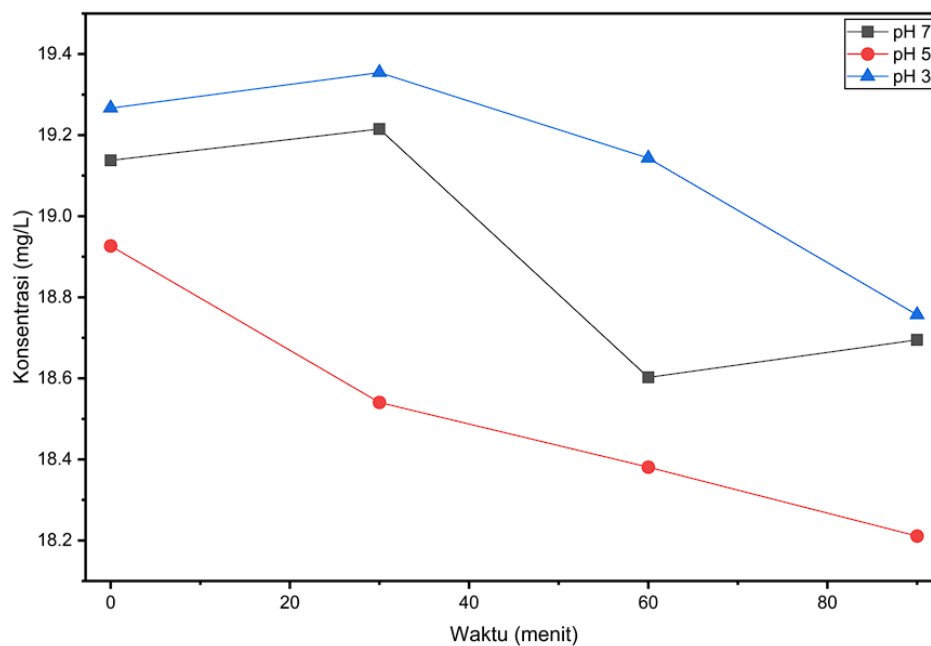
Gambar 4. 8 Grafik Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum

Karakterisasi Uv-Vis dilakukan secara mandiri dengan 3 kali pengulangan dari aerogel silika sebesar 0.1 g terhadap metilen jingga dengan konsentrasi 25 ppm. Hasil dari uji ini berupa nilai absorbansi yang kemudian dihitung nilai konsentrasi. Berdasarkan nilai konsentrasi tersebut nilai kapasitas adsorpsi dan efisiensi dapat ditentukan menggunakan persamaan yang ada pada bab 2.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Uv-Vis pH 7

pH	Waktu (menit)	Konsentrasi (mg/L)	Kapasitas Absorpsi (mg/g)	Efisiensi penyerapan (%)
3	0	19.27	5.89	22.93
	30	19.35	5.89	22.58
	60	19.14	5.90	23.43
	90	18.76	5.91	24.97
5	0	18.93	5.90	24.29
	30	18.54	5.91	25.84
	60	18.38	5.91	26.48
	90	18.21	5.92	27.16
7	0	19.14	5.90	23.45
	30	19.22	5.90	23.14
	60	18.60	5.91	25.59
	90	18.70	5.91	25.22

Tabel diatas menunjukkan data hasil pengujian Uv-Vis dari sampel aerogel silika. Nilai penurunan konsentrasi tertinggi ada pada pH 5 pada waktu 90 menit. Kemudian nilai kapasitas absorpsi tertinggi terjadi pada sampel pH 5 waktu 90 menit. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada pH 5 pada waktu penyerapan 90 menit.



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Waktu (menit) dengan Konsentrasi Akhir Metilen jingga (mg/L)

Gambar 4.9 menunjukkan grafik hubungan waktu terhadap konsentrasi akhir dari metilen jingga. Nilai konsentrasi didapat dari perhitungan menggunakan persamaan regresi yang didapat dari kurva standar. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin lama maka konsentrasi dari metilen jingga semakin berkurang. pH 5 memiliki konsentrasi lebih baik dibandingkan dengan pH 3 dan 7. Kecenderungan menurun menunjukka bahwa untuk konsentrasi lebih efektif menggunakan pH 5. Berdasarkan grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu, dapat diidentifikasi tren penurunan konsentrasi senyawa dari nilai awal sekitar 19.2 mg/L menjadi 18.2 mg/L setelah periode 120 menit.

Dari pengujian yang dilakukan, diketahui beberapa data sebagai berikut:

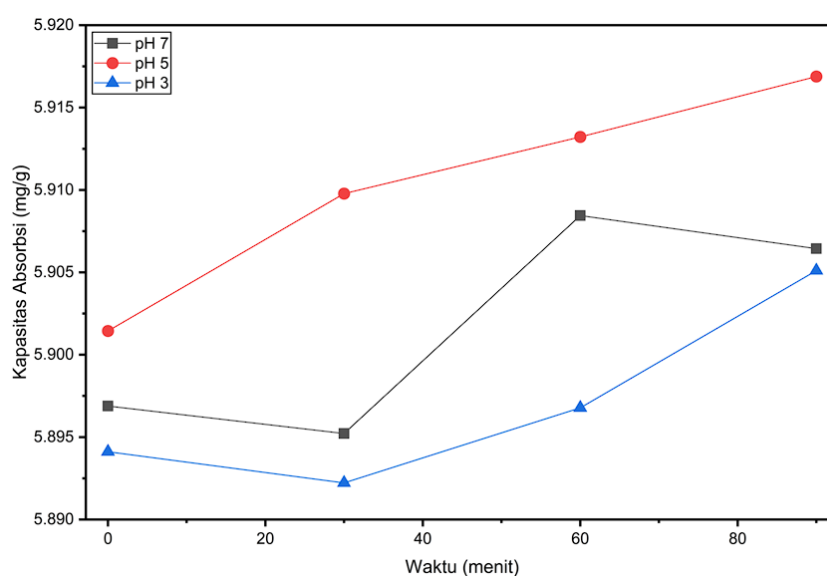
Persamaan regresi : $Abs = 0.06471x - 0.017989$

Absorpsi : 1.011

Dari data tersebut maka dapat dihitung nilai konsentrasi menggunakan persamaan regresi diatas

$$x = (1.011 + 0.017989) \div 0.06471$$

$$x = 18.38 \text{ mg/L}$$



Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Waktu (menit) dengan Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

Gambar 4.10 menunjukkan grafik hubungan waktu terhadap kapasitas adsorpsi. Nilai tersebut didapat dari perhitungan menggunakan rumus di bab 2 serta nilai konsentrasi. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin lama maka kapasitas adsorpsi semakin bertambah. Pada pH 3, hasil adsorpsi menunjukkan kecenderungan kapasitas yang paling rendah di antara ketiganya. Sementara itu, pada pH 5, kapasitas adsorpsi menunjukkan peningkatan signifikan dibanding pH 3, dengan laju adsorpsi awal yang lebih cepat dan nilai akhir yang lebih tinggi setelah 120 menit. Kinerja adsorpsi secara konsisten ditunjukkan pada pH 7, di

mana kapasitas adsorpsi mencapai nilai tertinggi dengan laju adsorpsi paling cepat pada fase awal dan jenuh pada kapasitas maksimal tertinggi.

Dari pengujian yang dilakukan, diketahui beberapa data sebagai berikut:

C_0 : 25 mg/L

C_t : 18.38 mg/L

m : 0.1 g

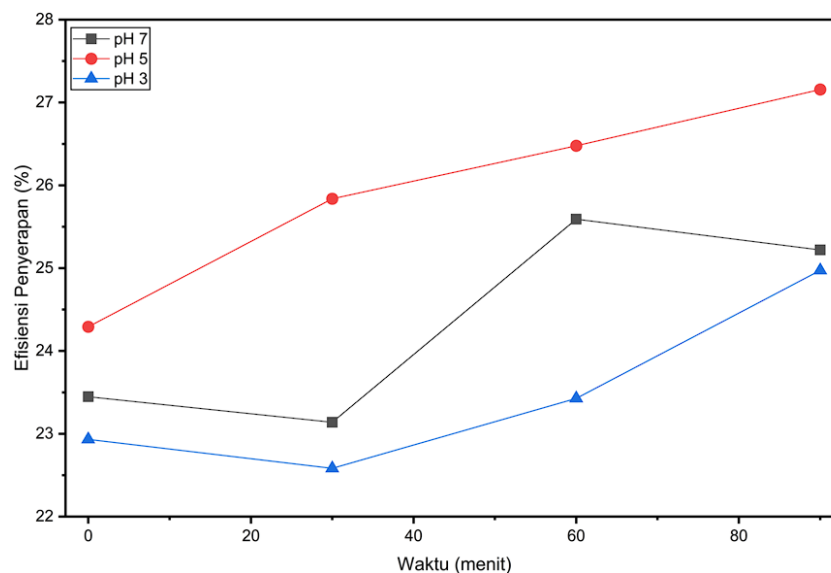
V : 0.025 L

Dari data tersebut maka dapat dihitung nilai konsentrasi menggunakan rumus pada bab 2.

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.38) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.91 \text{ mg/g}$$



Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Waktu (menit) dengan Efisiensi Penyerapan (%)

Gambar 4.11 menunjukkan grafik hubungan waktu terhadap efisiensi penyerapan metilen jingga. Nilai tersebut didapat dari perhitungan menggunakan

rumus efisiensi di bab 2 serta nilai konsentrasi. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin lama maka efisiensi semakin bertambah.

Berdasarkan grafik hubungan antara efisiensi adsorpsi dan waktu pada tiga kondisi pH berbeda. Pada pH 3, efisiensi adsorpsi menempati posisi terendah, hanya mencapai sekitar 23–24% setelah 120 menit. Pada pH 5, efisiensi adsorpsi meningkat menjadi sekitar 25–26%. Sementara itu, pH 5 menunjukkan kinerja terbaik dengan efisiensi mencapai 27%.

Dari pengujian yang dilakukan, diketahui beberapa data sebagai berikut:

C_0 : 25 mg/L

C_t : 18.38 mg/L

Dari data tersebut maka dapat dihitung nilai konsentrasi menggunakan rumus pada bab 2.

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

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 18.38) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 26.48 \%$$

4.2 Pembahasan

Penelitian ini menggunakan aerogel silika yang disintesis menggunakan metode sol-gel dengan pengeringan suhu rendah. Kemudian sampel dikarakterisasi menggunakan uji sudut kontak untuk mengetahui hidrofobisitas suatu material. Secara keseluruhan sampel menunjukkan sudut kontak dibawah 90° dimana dapat diartikan sampel bersifat hidrofilik. Material hidrofilik mempunyai sifat suka air dan tolak-menolak dengan minyak (Putri et al., 2020). Hal tersebut dikarenakan permukaan material bersifat polar sehingga air dapat masuk dalam pori-pori

material. Selain itu, proses perendaman dengan metanol menurunkan tegangan di permukaan sampel, sehingga zat cair mudah untuk masuk (Yonando et al., 2018).

Proses perendaman alkogel oleh TEOS dilakukan untuk memodifikasi permukaan seperti yang dilakukan oleh (Yonando et al., 2018) untuk merendam aerogel silika dengan bahan dasar pasir laut. Akan tetapi pada penelitian ini TEOS tidak dapat memodifikasi permukaan sehingga aerogel bersifat hidrofilik. Dalam referensi lain juga diterangkan bahwa TEOS hanya dapat digunakan untuk *perkusor* bukan untuk *modifier* (Nizar et al., 2016).

Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi serta senyawa pada sampel aerogel silika. Aerogel silika yang disintesis menunjukkan puncak-puncak karakteristik yang mengonfirmasi keberadaan struktur silika (SiO_2) serta gugus-gugus fungsional kunci. Puncak tajam pada bilangan gelombang $\sim 1051 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 790 \text{ cm}^{-1}$ masing-masing berasal dari vibrasi ulur asimetris dan simetris dari ikatan Si-O-Si, yang merupakan pokok struktur kerangka aerogel silika. Kehadiran puncak ini menandakan bahwa struktur silika telah terbentuk dengan baik pada semua variasi pH (Akhter et al., 2023).

Data FTIR menunjukkan puncak $\sim 931 \text{ cm}^{-1}$ pada pH 5 mengindikasikan vibrasi ulur gugus Si-OH (silanol), yang menjadi situs aktif utama pada permukaan aerogel. Gugus silanol terbentuk akibat adanya ikatan Si-O yang berasosiasi dengan atom hidrogen, biasanya muncul dari proses kondensasi selama sintesis sol-gel atau dari adsorpsi molekul air pada permukaan pori. Keberadaan puncak ini sangat penting karena menunjukkan bahwa permukaan aerogel memiliki gugus hidroksil aktif, yang berperan dalam sifat kimia dan fisik material, termasuk

kemampuan adsorpsi, interaksi dengan molekul polar, serta potensi fungsionalisasi lebih lanjut (Launer & Arkles, 2013).

Puncak lebar pada daerah sekitar $3246\text{--}3384\text{ cm}^{-1}$ dalam spektrum FTIR aerogel silika menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus --OH yang berasosiasi dengan ikatan hidrogen. Hal ini menandakan bahwa material memiliki sifat hidrofilik, karena gugus hidroksil mampu menarik dan berinteraksi dengan molekul air. Selain itu, keberadaan puncak pada $\sim 1625\text{--}1636\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan vibrasi tekuk (bending vibration) molekul H_2O yang teradsorpsi pada permukaan pori aerogel. Kombinasi kedua pita ini memberikan bukti kuat bahwa aerogel silika masih mengandung gugus hidroksil aktif dan molekul air terikat, yang berperan penting dalam menentukan sifat permukaan, kapasitas adsorpsi, serta potensi fungsionalisasi material (Zulfikar et al., 2014).

Pada pH 5 kondisi lemah asam, proses *aging* aerogel mendorong kondensasi --Si--OH menjadi jembatan siloksan --Si--O--Si-- . Hal ini menurunkan jumlah gugus O--H (sumber utama pita $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$), sehingga intensitasnya melemah. Selain itu, efek yang sering terlihat adalah penguatan puncak kerangka Si--O--Si di sekitar $\sim 1060\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ dan munculnya Si--OH yang lebih lemah pada puncak $\sim 960\text{ cm}^{-1}$. (Sarawade et al., 2011).

Hasil analisis BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) menunjukkan bahwa pengaruh pH aerogel silika memberikan pengaruh terhadap luas permukaan. Luas permukaan total pH 3 sebesar $60.028\text{ m}^2/\text{g}$ kemudian turun pada sampel pH 5 menjadi $2.205\text{ m}^2/\text{g}$. Setelah itu naik lagi menjadi $31.499\text{ m}^2/\text{g}$. Mekanisme seperti ini terjadi karena rekondensasi silanol dan aglomerasi partikel pada kondisi mendekati titik isoelektrik, yang menyebabkan keruntuhan mikropori dan

restrukturisasi jaringan nanopori selama pengkondisian larutan. Dengan demikian, terdapat kondisi optimal pH yang menjaga keseimbangan stabilitas struktur aerogel silika. Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Fakhry & Twej, 2019) bahwa luas permukaan yang terbentuk melalui proses sol-gel sangat dipengaruhi oleh lingkungan pH.

Karakterisasi Uv-vis digunakan untuk mencari persamaan regresi, panjang gelombang maksimum, dan nilai absorpsi. Persamaan regresi dan nilai absorpsi digunakan untuk menghitung konsentrasi. Dari nilai konsentrasi maka didapatkan juga nilai kapasitas absorpsi dan % efisiensi. Sedangkan panjang gelombang maksimum digunakan untuk mengukur nilai absorpsi pada alat. Hasil karakterisasi bahwa semakin lama maka konsentrasi dari metilen jingga semakin berkurang. Nilai pH 5 memiliki konsentrasi lebih baik dibandingkan dengan pH 3 dan 7. Kecenderungan menurun menunjukkan bahwa untuk konsentrasi lebih efektif menggunakan pH 5. Berdasarkan grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu, dapat diidentifikasi tren penurunan konsentrasi senyawa dari nilai awal sekitar 19,2 mg/L menjadi 18,2 mg/L setelah periode 120 menit.

Nilai kapasitas absorpsi tersebut didapat dari perhitungan menggunakan rumus di bab 2 serta nilai konsentrasi. Pada pH 3, hasil adsorpsi menunjukkan kecenderungan kapasitas yang paling rendah di antara ketiganya, dengan kurva yang relatif landai dan peningkatan kapasitas yang minimal seiring waktu, yang merefleksikan pengaruh protonasi berlebih pada permukaan adsorben maupun spesies adsorbat sehingga mengurangi densitas muatan negatif dan menurunkan daya tarik elektrostatik. Pada pH 5, kapasitas adsorpsi menunjukkan kecenderungan naik, dengan laju adsorpsi awal yang lebih cepat dan nilai akhir yang lebih tinggi

setelah 120 menit. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi muatan permukaan yang mendekati netral sehingga memungkinkan interaksi elektrostatik lebih optimal serta minimnya kompetisi ion H^+ . Nilai pada pH 7 menunjukkan dimana terjadi kapasitas absorpsi setiap 60 menit. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi netral permukaan adsorben umumnya telah terdeprotonasi secara maksimal sehingga menghasilkan muatan negatif yang meningkatkan daya adsorpsi. Dari sini dapat dilihat bahwa semakin lama maka nilai kapasitas absorpsi semakin bertambah (Ariyanto et al., 2021).

Efisiensi penyerapan didapat melalui perhitungan dengan rumus di bab 2. Pada pH 3, efisiensi adsorpsi menempati posisi terendah, hanya mencapai sekitar 23–24% setelah 120 menit. Hal ini disebabkan oleh kondisi asam yang menyebabkan permukaan adsorben bermuatan positif akibat protonasi gugus aktif, sehingga menimbulkan tolakan terhadap adsorbat yang umumnya bermuatan positif pula. Pada pH 5, efisiensi adsorpsi meningkat menjadi sekitar 25–26% karena permukaan adsorben mulai kehilangan muatan positifnya melalui deprotonasi sebagian, yang memungkinkan interaksi elektrostatik yang lebih baik dan mengurangi kompetisi dari ion H^+ . Sementara itu, pH 7 menunjukkan kinerja terbaik dengan efisiensi mencapai 27–28%, di mana permukaan adsorben telah sepenuhnya terdeprotonasi dan bermuatan negatif, sehingga daya tarik elektrostatik dengan adsorbat bermuatan positif menjadi maksimal. Dari semua variasi pengujian menunjukkan bahwa semakin lama waktu yang digunakan maka nilai efisiensi penyerapan semakin naik (Nawardah Hanie & Zulmiardi, 2023).

Data FTIR menunjukkan bahwa hanya sampel pH 5 yang menunjukkan puncak vibrasi ulur Si-OH yang jelas pada $\sim 931.8\text{ cm}^{-1}$, sementara sampel pH 3

dan 7 tidak. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh mekanisme pembentukan partikel dan tingkat kondensasi yang unik pada pH mendekati titik isoelektrik silika. Pada pH ini, laju reaksi kondensasi mungkin lebih lambat atau tidak sempurna, sehingga meninggalkan lebih banyak gugus silanol (Si-OH) yang tidak terkondensasi pada permukaan partikel. Meskipun jumlah gugus silanol ini tinggi, luas permukaan totalnya rendah ($6.004 \text{ m}^2/\text{g}$). Hal ini dapat disebabkan oleh struktur partikel yang terbentuk pada pH 5, di mana kondensasi yang tidak sempurna menghasilkan partikel primer yang lebih besar dan cenderung mengagregasi secara padat, membentuk struktur dengan pori-pori antar partikel yang besar namun dengan area permukaan internal (mikropori) yang sangat minim, seperti tercermin dari volume mikropori yang sangat kecil (0.0018 cc/g). Kondensasi yang tidak terkendali menyebabkan densifikasi sehingga luas permukaan menurun (Nizar et al., 2016). Kombinasi antara keberadaan banyak gugus silanol aktif (situs adsorpsi) dan struktur pori yang lebih besar inilah yang menjelaskan kinerja adsorpsi tinggi pada pH 5. Porositas yang lebih besar memfasilitasi difusi molekul metilen jingga yang berukuran relatif besar menuju situs aktif (Si-OH) di dalam struktur, sehingga meskipun luas permukaannya rendah, jumlah situs aktif yang dapat diakses oleh adsorbat justru lebih banyak dan efektif. Aerogel dengan pori besar meningkatkan kapasitas penyerapan kapiler dan distribusi air dalam material (Yang et al., 2024). Sebaliknya, aerogel pH 3 dan 7 yang memiliki luas permukaan tinggi didominasi oleh mikropori, yang mungkin sulit/tidak dapat diakses oleh molekul metilen jingga, sehingga situs aktif di dalamnya tidak berkontribusi pada adsorpsi.

Aerogel silika sebagai adsorbat metilen jingga merupakan salah potensi besar dalam menangani masalah ini. Selain karena luas permukaan yang tinggi, aerogel memiliki sifat porositas yang tinggi sehingga sangat bagus untuk aplikasi tersebut. Konsep tersebut sejalan dengan dalil Al-Quran yaitu dalam Q.S. Al-Insān: 15.

وَيُطَافُ عَلَيْهِمْ بِآنِيَةٍ مِّنْ فِضَّةٍ وَأَكْوَابٍ كَانَتْ قَوَارِيرًا

Artinya: “Diedarkan kepada mereka bejana-bejana dari perak dan gelas-gelas yang sangat bening (kacanya)”

Muhammad Quraish Sihab dalam tafsirnya al misbah menjelaskan bahwa benda-benda tersebut merupakan tanda kemewahan dan keindahan surga. Gelas yang bening serta bejana-bejana perak merupakan bukti bahwa nikmat surga adalah sesuatu yang besar. Dimana aerogel silika dengan struktur nanopori-nya dapat dipandang sebagai modernisasi konsep "*al-āniyah*" (bejana) dalam skala nano yang berfungsi sebagai wadah untuk berbagai aplikasi diatas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Variasi pH berpengaruh terhadap karakteristik aerogel silika, khususnya luas permukaan spesifik, namun tidak terhadap hidrofobisitas. Pada luas permukaan spesifik diketahui semakin asam pH, maka semakin besar luas permukaan. Akan tetapi, terdapat perbedaan pada pH 5 akibat rekondensasi silanol dan aglomerasi partikel di dekat titik isoelektrik. Disisi lain semua variasi pH menunjukkan sifat hidrofilik dengan sudut kontak dibawah 90°.
2. Variasi pH mempengaruhi kinerja adsorpsi, baik konsentrasi akhir, kapasitas adsorpsi, maupun efisiensi penyerapan. Sampel pH 5 menunjukkan penurunan konsentrasi metilen jingga yang paling baik setelah 90 menit (dari 25 menjadi 18.2 mg/L). Namun, secara keseluruhan kapasitas adsorpsi tertinggi dicapai oleh sampel pH 5 (masing-masing 5.92 mg/g) pada waktu 90 menit. Dari sisi efisiensi penyerapan, sampel pH 5 mencapai efisiensi tertinggi (27.16%).

5.2 Saran

Penelitian ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut dengan cara menguji metode sintesis alternatif serta jenis analisis yang berbeda. Dengan demikian, hasil dan karakterisasi adsorpsi zat warna metilen jingga dapat dicapai secara lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aegerter, M. A., Leventis, N., Koebel, M. M., & Pierre, A. C. (n.d.). *Aerogels Handbook*.
- Akhter, F., Jamali, A. R., & Khan, W. (2023). TEOS-Doped vs Non-TEOS Silica Aerogels: a Comparative Study of Synthesis, Characterization, Isotherm Studies and Performance Evaluation for Pb (II) Removal from Synthetic Wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-06051-4>
- Andini, A. M., Azmiyawati, C., & Darmawan, A. (2022). Effect of pH on the Synthesis of Silica Sol-Gel. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 25(11), 394–398.
- Arini, N. R. (2022). *Modifikasi aerogel selulosa dari ampas tebu dengan ctab dan aplikasinya sebagai adsorben zat warna methyl orange*. Hasanudin Makassar.
- Ariyanto, E., Lestari, D. D., & Kharismadewi, D. (2021). ADSORPTION ABILITY AND KINETICS ANALYSES OF ACTIVATED. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 32, 166–178.
- Budiharti, G., & Supardi, Z. A. I. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3), 22–25.
- Cis-trans, J. J., Aktif, A., & Yuniarizky, F. F. (2021). Adsorpsi Zat Warna Remazol Red menggunakan Nanokomposit Silika. *Jc-T(Journal Cis-Trans)*, 5(2), 25–33. <https://doi.org/10.17977/um0260v5i22021p025>
- Eskani, I. N., Haerudin, A., Setiawan, J., Lestari, D. W., & Astuti, W. (2019). BATIK FUNGSIONAL SEBAGAI SALAH SATU STRATEGI PENGEMBANGAN INDUSTRI BATIK DALAM MEMASUKI ERA INDUSTRI 4 . 0 Functional Batik As One Of The Batik Industries Development Strategy In Entering The 4 . 0 Industrial Era. *Prosiding Seminar Nasional Industri Kerajinan Dan Batik 2019*, 1–12.
- Fakhry, B., & Twej, W. A. A. (2019). The influence of various pH values on the aerogel physical properties by sol-gel technique. *Iraqi Journal of Physics*, 17(41), 75–81. <https://doi.org/10.20723/ijp.17.41.75-81>
- Galarneau, A., Rodriguez, J., & Coasne, B. (2014). Validity of the t - plot Method to Assess Microporosity in Hierarchical Micro / Mesoporous Materials. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/la5026679>
- Gurav, J. L., Jung, I., Park, H., Kang, E. S., & Nadargi, D. Y. (2010). Silica Aerogel : Synthesis and Applications. *Journal Of Nanomaterial*, 2010, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2010/409310>
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., & Rengga, W. D. P. (2014). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2). <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i2.3698>
- Hasdiana, U. (2018). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健

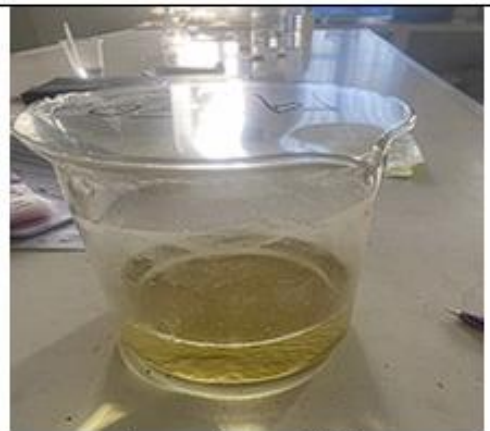
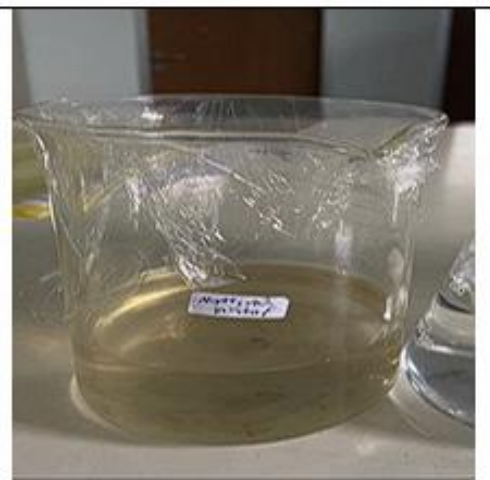
康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Analytical Biochemistry*, 11(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>



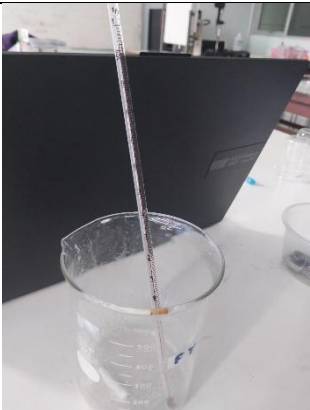

- Hasri, H., Fauziah, F., & Negara, P. J. (2021). Sintesis Nanosilika Pasir Pantai Takalar Menggunakan Metode Hidrotermal. *Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 10(2), 165. <https://doi.org/10.35580/sainsmat102262212021>
- Huang, Y., Li, P., Zhao, R., Zhao, L., Liu, J., Peng, S., Fu, X., Wang, X., Luo, R., Wang, R., & Zhang, Z. (2022). Silica nanoparticles: Biomedical applications and toxicity. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 151(April), 113053. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113053>
- Jahed, F. S., Hamidi, S., Zamani-kalajahi, M., & Siahi-shadbad, M. (2023). Biomedical applications of silica - based aerogels : a comprehensive review. *Macromolecular Research*, March. <https://doi.org/10.1007/s13233-023-00142-9>
- Jubu, P. R., Obaseki, O. S., Nathan-abutu, A., Yam, F. K., Yusof, Y., & Ochang, M. B. (2022). Results in Optics Dispensability of the conventional Tauc ' s plot for accurate bandgap determination from UV – vis optical diffuse reflectance data. *Results in Optics*, 9(July), 0–6.
- Launer, P. J., & Arkles, B. (2013). *INFRARED ANALYSIS OF ORGANOSILICON COMPOUNDS : SPECTRA-STRUCTURE CORRELATIONS*. 175–178.
- Mahardhika, M. K., & Muldarisnur, M. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Silika Aerogel sebagai Adsorben Tumpahan Minyak. *Jurnal Fisika Unand*, 10(3), 296–302. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.296-302.2021>
- Martina, A., Santoso, D., & Novianti, J. (2018). Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat. *JURNAL REKAYASA PROSES*, 12(2), 98–103. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.38948>
- Mohamad, N. F., Abdul Rani, N. H., Jehan Elham, O. S., Anaziah Muhamad, S. H., Muda, S. A., Basear, Y., & Mohammed Faisal, M. K. (2020). Synthesis and Characterization of Silica Aerogel from Rice Husk with Ambient Pressure Drying Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1535(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1535/1/012049>
- Mufidah, A. (2023). *DALAM URGENSI KONSERVASI LINGKUNGAN (ANALISIS PENDEKATAN MA ' NA -CUM-MAGHZA) KIAI HAJI ACHMAD SIDDIQ JEMBER FAKULTAS USHULUDDIN , ADAB DAN HUMANIORA PROGRAM STUDI ILMU AL- QUR ' AN DAN TAFSIR DESEMBER 2023 DALAM URGENSI KONSERVASI LINGKUNGAN Disetujui P.*
- Nawardah Hanie, M., & Zulmiardi, Z. G. (2023). ANALISA DAN KINETIKA ADSORPSI ZAT WARNA METIL ORANGE MENGGUNAKAN

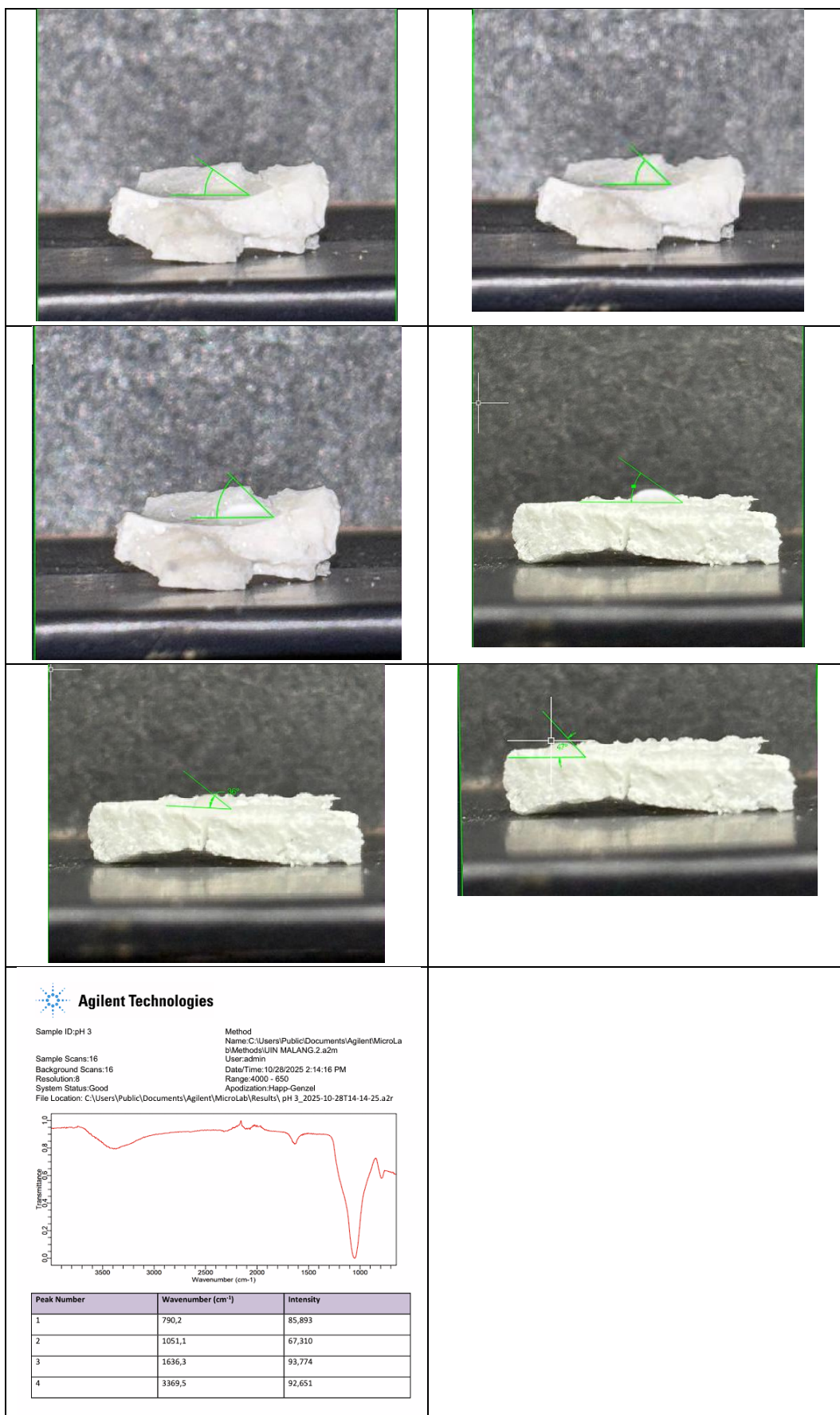
- ADSORBEN CANGKANG KEMIRI Nawardah Hanie, Meriatna*, Zulmiardi, Zainuddin Ginting. *Jurnal Teknologi Unimal*, 2(November), 239–253. <https://doi.org/https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.13529> 239
- Ningrum, Y. P. (2018). Sintesis dan Karakteristik Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Limbah Geothermal sebagai Fluorescent Fingerprint Powder. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Nizar, A., Supardi, Z. A. I., & Si, M. (2016). Sintesis Dan Karakterisasi Silika Aerogel Berbasis Teos (Tetraethylorthosilicate) Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 05, 7–10.
- Penyusun, T. (2007). *SPEKTROSKOPI*. Fakultas Farmasi Universitas Sanata Dharma.
- Prayogi, S. (2022). Silikon Kristal vs Silikon Amorf Perbedaan Struktural dalam Aplikasi Fotovoltaik. *Jurnal Teknik AMATA*, 3(2), 60–65. <https://doi.org/10.55334/jtam.v3i2.303>
- Prihatini, E., Ismail, R., Rahayu, I. S., & Saputri, E. D. (2024). Pengembangan Sistem Alat Ukur Sudut Kontak dengan Metode Optical Contact Angle. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(1), 8–16. <https://doi.org/10.14710/jplp.6.1.8-16>
- Putri, A. W., Dina, D., & Maharani, K. (2020). SINTESIS DAN KARAKTERISASI SiO₂ UNTUK APLIKASI SIFAT HIDROFOBIA PADA KACA SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SiO₂ FOR APPLICATION OF HYDROPHOBIC PROPERTIES IN GLASS. *UNESA Journal of Chemistry*, 9(1), 97–102.
- Rais, I. U. N., Irawan, D. M., Syamsuddin, Y. A., Murtyas, S. D., & Mesin, J. T. (2018). Analisis Mikro Struktur Absorptivitas Silika Gel Pada Kondisi Temperatur dan Relative Humidity (RH) Dinamis. *Jurnal Mer-C*, 1(7), 1–5.
- Rosyadi, M. M. (2020). *HAK-HAK ALAM SEMESTA DALAM Q.S. AL-A'RAF [7]: 56-58 (ANALISIS TERHADAP TAFSIR AL-MISBAH)* (Vol. 58).
- Santos, A. J. dos, Batista, L. M. B., Huitle, C. A. M., Alves, A. P. de M., & Segura, and S. G. (2019). Niobium Oxide Catalysts as Emerging Material for Textile Wastewater Reuse : Photocatalytic. *Catalysts*, 1–15. <https://doi.org/10.3390/catal9121070>
- Sarawade, P. B., Kim, J., Hilonga, A., Viet, D., Jeong, S., & Taik, H. (2011). Synthesis of sodium silicate-based hydrophilic silica aerogel beads with superior properties : Effect of heat-treatment. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 2156–2162. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2011.02.022>
- Setiyo, D., Suyati, L., & Haris, A. (2018). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Decolorization of Artificial Waste Remazol Black B using Electrogenenerated Reactive Species. *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, 21(1), 29–33.
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N., Sri Wahyuni, I. G. A. N., & Pratami Kristiyanti, P. L. (2023). Optimasi Kinerja Alat Fourier Transform Infrared (FTIR) Melau

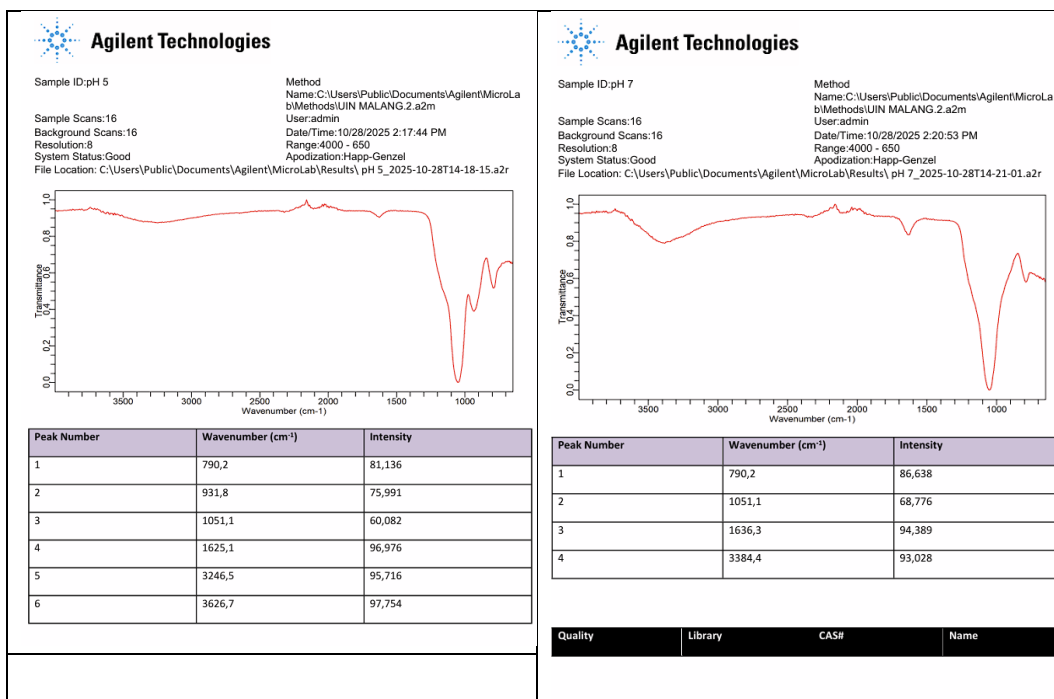
- Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 58–69. <https://doi.org/10.14710/jlp.5.2.58-69>
- Suhartati, T. (2017). *DASAR-DASAR SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS DAN SPEKTROMETRI MASSA UNTUK PENENTUAN STRUKTUR SENYAWA ORGANIK* (T. Suhartati (ed.)). AURA CV. Anugrah Utama Raharja Anggota IKAPI No.003/LPU/2013. http://repository.lppm.unila.ac.id/2700/1/buku-dasar-dasar-spektrofometri__upload.pdf
- Ulfa, M. (2016). KARAKTERISASI SAXRD, ADSORPSI-DESORPSI N₂ DAN TEM PADA KARBON MESOPORI DARI GELATIN TULANG SAPI. *Kimia Riset*, 1(2), 103–110.
- Utami, J. L., Kristanto, B. A., & Karno, D. (2020). Aplikasi silika dan penerapan cekaman kekeringan terkendali dalam upaya peningkatan produksi dan mutu simplisia binahong (*Anredera cordifolia*) (Application of silica and implementation of drought stress control efforts to increase production and quality o. *J. Agro Complex*, 4(1), 69–78. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/joac>
- Wang, T., Sun, Y., Wang, S., Li, X., Yue, Y., & Gao, Q. (2021). Effective Adsorption of Methyl Orange on Organo-Silica Nanoparticles Functionalized by a Multi-Hydroxyl-Containing Gemini Surfactant: A Joint Experimental and Theoretical Study. *ACS OMEGA*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01788>
- Wulan Sari, N., Fajri, M. Y., & Anjas W. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L.). *Ijobb*, 2(1), 30.
- Yang, J., Huang, D., Feng, Z., He, H., & Jin, M. (2024). Effect of aerogel incorporation on water content distribution and capillary water absorption in pore size intervals of cementitious composites. *Journal of Materials Science*, 59(30), 13756–13771. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09879-9>
- Yonando, L. P., Rifaldi, M., & Oktavian, R. (2018). 2.+69-284-2-Pb. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 2(2), 49–54.
- Zulfikar, M. A., & Tjahjanto, Rachmat Triadi, D. (2014). Pengaruh pH dan Konsentrasi TMCS pada Sintesis Aerogel Silika dari Wateg Glass. *KIMIA STUDENT JOURNAL*, 1(1), 78–84.

LAMPIRAN

**Pasir pantai****Ekstraksi silika****Wet milling****Perendaman HCL****Proses pembuatan natrium silikat****Larutan natrium silikat**





BET

pH 3							
Vads (cc/g)	11.8568	14.0327	15.7212	16.6687	17.4324	18.2527	19.0264
P/P0	0.047073	0.08929	0.130936	0.17444	0.213854	0.258067	0.297796
1 / [W ((P/Po) - 1)]	231,7016	509,5047	926,6971	562,6581	545,9795	526,0895	528,5928
t (Å)	3,229793	3,634698	3,940607	4,216606	4,484921	4,751239	5,017936
slope	3.89106						
intersep	0.963618						
Seks (m ² /g)	60.1947						
Stot (m ² /g)	64.39125597						
Smikro (m ² /g)	4.196558						
pH 5							
Vads (cc/g)	0.144458	0.234913	0.31474	0.250003	0.199735	0.146149	0.08622
P/P0	0,053537	0,096507	0,13554	0,175991	0,219883	0,260385	0,3032
1 / [W ((P/Po) - 1)]	12,0607	16,9639	20,088	22,7032	25,7998	28,2762	31,3905
t (Å)	3,273753	3,651147	3,938418	4,212165	4,496928	4,756415	5,033068
slope	0.23594						
intersep	0.540744						
Seks (m ² /g)	3.649992						
Stot (m ² /g)	6.004930295						

Perhitungan Hasil UJ Uv-Vis

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.38) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.91 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 19.27) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.89 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 19.35) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.89 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 19.14) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.90 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.93) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.90 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.54) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.91 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.12) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.92 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.60) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.91 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.70) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.91 \text{ mg/g}$$

$$Q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$$

$$Q = \frac{(25 - 18.28) \times 0.025}{0.1}$$

$$Q = 5.92 \text{ mg/g}$$

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

$$\% \text{ Efisiensi} = 22.93$$

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 19.27) \times 100\%}{25}$$

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

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 18.12) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 19.35) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 27.51 \%$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 22.58 \%$$

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

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

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 18.60) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 19.14) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 25.59 \%$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 23.43 \%$$

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

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

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 18.70) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 18.93) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 25.22 \%$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 24.29 \%$$

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

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

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(25 - 18.28) \times 100\%}{25}$$

$$\% \text{ Efisiensi} = 26.87 \%$$



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

Jalan Tugu Pahlawan Nomor 50, Telepon (0341) 511154, Fax (0341) 512533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM 210604110013
Nama FIKRI ARDIANSYAH RAHMATULLAH
Fakultas SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan FISIKA
Dosen Pembimbing 1 FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si
Dosen Pembimbing 2 Prof. Dr. Drs MOKHAMMAD TIRONO,M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi ANALISIS PENGARUH pH AEROGEL SILIKA TERHADAP ABSORBENSI METILEN JINGGA

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	10 Februari 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Pengajuan Judul serta Bimbingan Terkait	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	25 Februari 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Proposal Skripsi	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	05 Mei 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Revisi Proposal	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	08 September 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Persetujuan Draf Untuk Komprehensif	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	24 September 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Integrasi Bab 1	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	01 Oktober 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Revisi Draf setelah Komprehensif	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	29 Oktober 2025	Prof. Dr. Drs MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Integrasi Bab 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	26 November 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Bab 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	04 Desember 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	15 Desember 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan terkait revisi Analisis data dan pembahasan	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	16 Desember 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan BAB 5	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
12	16 Desember 2025	Prof. Dr. Drs MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Revisi Integrasi BAB 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

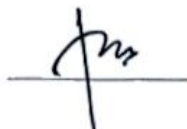
Dosen Pembimbing 2

Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si

Malang, _____
Dosen Pembimbing 1


FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si

Kajur / Kaprodi,





JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 210604110013
Nama : FIKRI ARDIANSYAH RAHMATULLAH
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : ANALISIS PENGARUH pH AEROGEL SILIKA TERHADAP ABSORBENSI METILEN JINGGA

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	10 Februari 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Pengajuan Judul serta Bimbingan Terkait	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	25 Februari 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Proposal Skripsi	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	05 Mei 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Revisi Proposal	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	08 September 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Persetujuan Draf Untuk Komprehensif	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	24 September 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Integrasi Bab 1	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	01 Oktober 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Revisi Draf setelah Komprehensif	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	29 Oktober 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Integrasi Bab 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	26 November 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan Bab 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	04 Desember 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	15 Desember 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan terkait revisi Analisis data dan pembahasa	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	16 Desember 2025	FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si	Bimbingan BAB 5	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
12	16 Desember 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Bimbingan Revisi Integrasi BAB 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si

Malang, _____

Dosen Pembimbing 1

FIKRIYATUL AZIZAH SU'UD,M.Si

Kajur / Kaprodi,
