



**PEMANFAATAN SILIKA GEL BERBASIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)
BATUBARA PLTU PAITON-PROBOLINGGO SEBAGAI
ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

SKRIPSI

Oleh

Nida Andriana

NIM 111810301011

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2016



**PEMANFAATAN SILIKA GEL BERBASIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)
BATUBARA PLTU PAITON-PROBOLINGGO SEBAGAI
ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Nida Andriana

NIM 111810301011

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Sumini dan Ayahanda Drs. Saeroji tercinta;
2. Adik-adikku tersayang Cicik Tri Andrianingsih, Kenis Andriani dan Hadi Mustofa;
3. Guru-guruku di TK RA Perwanida, Mi Muhammadiyah 1 Gambiran, MTs Muhammadiyah 1 Gambiran, SMA Negeri 1 Bangorejo dan bapak/ibu dosen kimia;
4. Almamater Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakan dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”.

(terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 6-8).*)

Ilmu pengetahuan itu pahit pada awalnya, tetapi manis melebihi madu pada akhirnya.**)

-
- *) Departemen Agama RI. 2008. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV Penerbit Diponegoro.
- ***) Rais, H.S. dan Almahendra, R. 2013. *99 Cahaya di Langit Eropa: Perjalanan Menapak Jejak Islam di Eropa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nida Andriana

NIM : 111810301011

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemanfaatan Silika Gel Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara PLTU Paiton-Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Mei 2016

Yang menyatakan,

Nida Andriana

NIM 111810301011

SKRIPSI

**PEMANFAATAN SILIKA GEL BERBASIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)
BATUBARA PLTU PAITON-PROBOLINGGO SEBAGAI
ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

Oleh

Nida Andriana
NIM 111810301011

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Zulfikar, Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Pemanfaatan Silika Gel Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara PLTU Paiton-Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru" telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : **KAMIS 02 JUN 2016**

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,



Drs. Zulfikar, Ph.D

NIP. 196310121987021001

Dosen Penguji I,



Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si

NIP. 198008302006042002

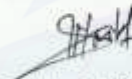
Sekretaris,



Yudi Aris Sujitoyo, S.Si., M.Si

NIP. 198809242014041001

Dosen Penguji II,



Novita Andarini, S.Si., M.Si

NIP. 197211122000032001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Jember,



Drs. Sujito, Ph.D

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Pemanfaatan Silika Gel Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara PLTU Paiton-Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru; Nida Andriana, 111810301011; 2016: 66 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Zat warna metilen biru merupakan zat pemberi warna biru yang bersifat kationik, memiliki daya adsorpsi yang sangat kuat, serta banyak digunakan dalam industri tekstil. Zat warna metilen biru yang tidak tepat penggunaannya dapat menyebabkan polutan dalam perairan dan sulit diuraikan oleh bakteri biasa karena kadar zat warna yang tinggi dapat mempengaruhi kehidupan di dalam air. Salah satu cara yang dikembangkan untuk menurunkan kadar warna adalah metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode yang tepat digunakan karena relatif lebih murah, efisiensi tinggi, dan ramah lingkungan.

Silika gel telah dikenal sebagai adsorben dalam dunia kimia, karena struktur polimer amorf (tidak teratur), gabungan dari agregat-agregat Si-OH yang membentuk polimer terarah Si-O-Si menjadikan senyawa adsorben ini memiliki kestabilan yang cukup baik. Upaya untuk mendapatkan adsorben yang relatif murah dapat dilakukan dengan cara pemanfaatan limbah abu terbang (*fly ash*) dari batubara, di mana silika (SiO_2) yang terkandung dalam *fly ash* sebesar 30,25%-36,83%. Pembuatan silika gel dari abu terbang batubara menggunakan metode sol-gel, karena memiliki beberapa keunggulan dan salah satunya adalah menghasilkan produk dengan kemurnian dan homogenitas yang tinggi.

Sampel *fly ash* (abu terbang) batubara dari PLTU Paiton-Probolinggo dipreparasi terlebih dahulu dengan air panas dan dilakukan proses *leaching* menggunakan H_2SO_4 . Tahap selanjutnya, dilakukan ekstraksi silika dari *fly ash* menggunakan NaOH dan HCl, kemudian *diaging*, disaring, dinetralkan, dioven, digerus, diayak dan dikalsinasi. Silika gel yang diperoleh dikarakterisasi dengan

FTIR menunjukkan adanya gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) berturut-turut pada bilangan gelombang $3435,34 \text{ cm}^{-1}$ dan $462,93 \text{ cm}^{-1}$, karakterisasi dengan XRD menunjukkan strukturnya berupa amorf dengan *peak* yang melebar pada sudut $2\theta = 5^\circ-15^\circ$ dan sudut $2\theta = 20^\circ-30^\circ$, serta karakterisasi dengan adsorpsi-desorpsi gas nitrogen menunjukkan luas permukaannya $20,870 \text{ m}^2/\text{g}$, jari-jari porinya $15,282 \text{ \AA}$, dan volume pori-porinya $0,077 \text{ cc/g}$. Produk silika gel dan material awal yaitu *fly ash* dilakukan uji adsorpsi terhadap metilen biru dengan variasi konsentrasi (25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 350 ppm dan 500 ppm) serta variasi waktu kontak adsorpsi (5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 90 menit).

Silika gel yang dihasilkan memiliki kemampuan adsorpsi mengikuti model Langmuir dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar $22,472 \text{ mg/g}$, kemampuan adsorpsi silika gel 27,64% lebih baik dibandingkan *fly ash* yang kapasitas adsorpsinya $17,606 \text{ mg/g}$. Kinetika adsorpsi silika gel mengikuti kinetika pseudo orde 2 dengan nilai kecepatan adsorpsinya $0,00486 \text{ g/mg.min}$, kecepatan adsorpsi silika gel 0,464 kali lebih cepat dibandingkan *fly ash* yang kecepatan adsorpsinya $0,00332 \text{ g/mg.min}$.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT., atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Silika Gel Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara PLTU Paiton-Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Drs. Zulfikar, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Novita Andarini, S.Si. M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
6. Bapak/Ibu dosen-dosen FMIPA terutama dosen-dosen Jurusan Kimia Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pengetahuan;
7. Ibunda Sumini, Ayahanda Drs. Saeroji dan adik-adikku tersayang serta keluarga besar tercinta, terima kasih atas segala doa, semangat dan dukungannya baik moral maupun material;

8. Teman satu tim bimbingan sekaligus sahabatku Eka Yustiana, Faizatur Rofi'ah dan Siti Aisah terima kasih atas doa, dorongan, semangat dan perhatian yang diberikan selama ini;
9. Teman-teman angkatan 2011 (SOLVENT) dan CB (Ainun, Rose, Eka, Faiz, Aisah, Novi, Karina, Ika), terima kasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian, dan kenangan yang telah diberikan;
10. Sahabat seperjuangan di laboratorium Kimia Organik Nanang Sugiarto, Nehemia Fernandes K., Marga R., Yuliana, Qorry Dinnia F., Aulia Novita R., Ika Puji L., Karina Aprillia dan teman-teman di Laboratorium Kimia barat yang membuat suasana laboratorium menjadi berwarna;
11. Seluruh teknisi laboratorium di Jurusan Kimia Mas Syamsul Arifin, Mas Darma, Mbak Lisa, Mas Dulkhohim, Mas Maryono, Mbak Sari dan Admin Jurusan Kimia, Mas Edi terima kasih atas bantuannya selama penelitian;
12. Teman-teman kos Kalimantan IV no. 82 A dan no. 72, terima kasih atas segala bentuk dukungan dan kasih sayang yang telah diberikan selama ini;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga akan terbuka terhadap segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Skripsi ini telah penulis susun dengan kerja keras secara optimal, namun tidak menutup kemungkinan adanya kesalahan dan kekurangan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	
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 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) Batubara	7
2.1.1 Sifat Fisika dan Kimia Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	8
2.2 Silikon Dioksida (SiO_2)	10
2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia Silika	11
2.3 Silika Gel	12
2.4 Metode <i>Sol-Gel</i>	13
2.5 Adsorpsi	15

2.5.1	Isotermal Adsorpsi	17
2.5.2	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	19
2.5.3	Adsorben	20
2.5.4	Adsorbat	21
2.5.5	Model Kinetika Adsorpsi	21
2.6	Metilen Biru	23
2.7	Spektrofotometri UV-Vis	25
2.8	Spektrofotometri Inframerah (FTIR)	26
2.9	Difraksi Sinar-X	27
2.10	Adsorpsi-Desorpsi Gas Nitrogen (N₂)	29
BAB 3. METODE PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2	Alat dan Bahan	31
3.2.1	Alat	31
3.2.2	Bahan	32
3.3	Diagram Alir Penelitian	32
3.4	Prosedur Penelitian	33
3.4.1	Pembuatan Berbagai Larutan	33
3.4.2	Preparasi Sampel	34
3.4.3	Pembuatan Silika Gel	34
3.4.4	Perhitungan Rendemen Silika Gel	35
3.4.5	Perhitungan Massa Jenis Na ₂ SiO ₃	35
3.4.6	Karakterisasi Silika Gel	36
3.4.7	Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru.....	37
3.5	Analisis Data	39
3.5.1	Efisiensi Adsorpsi	39
3.5.2	Penentuan Model Adsorpsi Metilen Biru	40
3.5.3	Model Kinetika Adsorpsi Metilen Biru	40

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Silika Gel dari <i>Fly Ash</i> Batubara.....	42
4.1.1 Analisis FTIR.....	44
4.1.2 Analisis XRD.....	46
4.1.3 Analisis Adsorpsi-Desorpsi Gas Nitrogen (N ₂).....	48
4.2 Uji Adsorpsi Silika Gel dan Abu Terbang terhadap Zat Warna Metilen Biru	49
4.2.1 Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru	49
4.2.2 Kurva Kalibrasi Metilen Biru	51
4.2.3 Adsorpsi Metilen Biru pada Variasi Konsentrasi	52
4.2.4 Adsorpsi Metilen Biru pada Variasi Waktu Kontak	55

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Kimia Abu Terbang dari PLTU Paiton-Probolinggo	9
2.2 Sifat Fisika Silika	11
2.3 Nama dan Struktur Kimia Kromofor	24
3.1 Pengukuran Panjang Gelombang Metilen Biru	36
3.2 Variasi Konsentrasi Metilen Biru	37
3.3 Variasi Waktu Kontak Adsorpsi	38
4.1 Massa Jenis Larutan Na_2SiO_3	43
4.2 Perbandingan Hasil Analisis FTIR Silika Gel dengan Jurnal Penelitian dan <i>Fly Ash</i> Batubara PLTU Paiton	45
4.3 Parameter Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Metilen Biru	55
4.4 Parameter Pseudo Orde 1 dan 2 pada Adsorpsi Metilen Biru	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur silika gel	12
2.2 Fenomena adsorpsi dan desorpsi	16
2.3 Klasifikasi isoterm adsorpsi-desorpsi menurut IUPAC	18
2.4 Struktur metilen biru	24
2.5 Kurva hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi dari larutan metilen biru 2 ppm	26
2.6 Spektra infra merah (a) silika gel abu limbah industri batu-bata (SGL4), (b) silika gel abu sekam padi suhu 700°C (SG700), dan silika gel pembanding (SG60)	27
2.7 Ilustrasi hukum Bragg	28
2.8 Difraktogram sinar X (a) silika gel abu sekam padi suhu 700°C (SG700), (b) silika gel abu limbah industri batu-bata (SGL4), dan silika gel pembanding (SG60)	29
2.9 Tipe isotermal adsorpsi-desorpsi gas nitrogen pada silika xerogel yang dihasilkan dari abu ampas tebu pada pH 7 dan waktu <i>aging</i> 18 jam	30
3.1 Diagram alir penelitian	31
4.1 Larutan Na ₂ SiO ₃	43
4.2 (a) silika gel setelah <i>diaging</i> selama 18 jam, dan (b) silika gel setelah <i>dioven</i>	44
4.3 Spektra infra merah (a) silika gel dari <i>fly ash</i> batubara PLTU Paiton, dan (b) <i>fly ash</i> batubara PLTU Paiton	45
4.4 Difraktogram sinar X (a) silika gel dari <i>fly ash</i> batubara PLTU Paiton, dan (b) <i>fly ash</i> batubara PLTU Paiton	47
4.5 Tipe isotermal adsorpsi-desorpsi gas nitrogen pada silika gel yang diekstraksi dari <i>fly ash</i> batubara PLTU Paiton	48

4.6	Kurva hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi dari larutan metilen biru 2 ppm	49
4.7	Kurva kalibrasi larutan metilen biru	51
4.8	Kurva konsentrasi metilen biru terhadap %T	51
4.9	Hubungan c dan %T	52
4.10	Kurva kapasitas adsorpsi zat warna pada adsorben	53
4.11	Model adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada adsorben silika gel dari <i>fly ash</i>	54
4.12	Model adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada adsorben <i>fly ash</i> batubara	54
4.13	Kurva hubungan antara pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi zat warna metilen biru	56
4.14	Model kinetika adsorpsi pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 pada adsorben silika gel dari <i>fly ash</i> batubara	57
4.15	Model kinetika adsorpsi pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 pada adsorben <i>fly ash</i> batubara	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan	67
Lampiran 2. Gambar Proses Adsorpsi Metilen Biru pada Adsorben Silika Gel dan Abu Terbang	94
Lampiran 3. Hasil Analisis FTIR Silika Gel Hasil Metode <i>Sol-Gel</i> dan <i>Fly Ash</i> Batubara PLTU Paiton	97
Lampiran 4. Hasil Analisis XRD Silika Gel Hasil Metode <i>Sol-Gel</i> dan <i>Fly Ash</i> Batubara PLTU Paiton	99
Lampiran 5. Hasil Analisis Adsorpsi-Desorpsi dengan Gas Nitrogen pada Silika Gel Hasil Metode <i>Sol-Gel</i>	100

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil yang saat ini berkembang dengan pesat di Indonesia menyebabkan beberapa permasalahan lingkungan. Industri tekstil dalam menggunakan pewarna organik menghasilkan salah satu sumber kontaminan yang berbahaya, dalam proses pewarnaannya sekitar 50% zat warna yang digunakan tidak terserap dalam kain dan menjadi polutan saat dibuang dalam sistem perairan (Mohan dan Gandhimathi, 2009). Limbah zat warna tersebut menyebabkan dampak serius yaitu menghambat cahaya matahari yang membantu proses biologis lingkungan perairan dan menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan (Krim, *et al.*, 2006). Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*. Sebagian besar industri tekstil menggunakan bahan pewarna yang beraneka ragam, biasanya tidak terdiri dari satu jenis zat warna (Wijaya, *et al.*, 2006).

Zat warna sintetik yang banyak digunakan dalam industri tekstil salah satunya adalah metilen biru. Zat warna metilen biru merupakan zat pemberi warna biru yang bersifat kationik dan memiliki daya adsorpsi yang sangat kuat (Sistesya dan Sutanto, 2013). Metilen biru banyak digunakan untuk pewarna kapas, kertas, dan rambut (Alzaydien, 2009). Metilen biru juga merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan kain ceruti, kain rayon, kain mori, dan kain katun. Metilen biru merupakan salah satu zat warna *thiazine* yang sering digunakan karena harganya ekonomis dan mudah diperoleh. Zat warna metilen biru yang tidak tepat dalam penggunaannya dapat menimbulkan beberapa efek seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit, serta sulit diuraikan oleh bakteri biasa ataupun dalam kondisi panas karena

kadar zat warna yang tinggi dapat mempengaruhi kehidupan di dalam air (Hamdaoui dan Chiha, 2006).

Penanganan limbah tekstil saat ini menjadi sangat rumit dan memerlukan beberapa langkah sampai limbah tersebut aman dibuang ke lingkungan perairan (Wijaya, *et al.*, 2006). Berbagai metode telah banyak dilakukan untuk menangani permasalahan ini khususnya bagi limbah zat warna. Metode tersebut antara lain adalah koagulasi, elektrodekolorisasi, dan ozonasi. Metode-metode tersebut membutuhkan biaya yang relatif tinggi dalam pengoperasiannya (Widhianti, 2010). Penelitian dekolorisasi larutan *remazol brilliant blue* menggunakan ozon hasil elektrolisis. Ozon tersebut dapat digunakan untuk pengolahan zat warna *remazol brilliant blue* dengan penurunan intensitas warna sampai 85,37% (Indrawati, *et al.*, 2008). Oksidasi menggunakan ozon selain biaya tinggi juga tidak efektif untuk mereduksi (Kula, *et al.*, 2001). Suherman dan Sumawijaya (2013) melaporkan bahwa zat warna dan zat organik dalam air gambut yang mampu didegradasi dengan metode koagulasi-flokulasi dalam suasana basa pada pH 11 sebesar 99,20%, namun metode koagulasi harus melalui beberapa proses tahapan dan membutuhkan biaya yang mahal (Kula, *et al.*, 2001). Metode elektrodekolorisasi juga dapat digunakan untuk menghilangkan zat warna pada limbah cair. Metode ini kurang efektif karena larutan hasil elektrolisis harus diberi perlakuan dengan zeolit agar tidak mencemari lingkungan (Dewi, *et al.*, 2013). Berdasarkan kajian di atas, maka dibutuhkan metode alternatif lain dalam penanganan limbah di lingkungan.

Adsorpsi merupakan metode yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair (Kartika, *et al.*, 2009). Menurut Metcalf' & Eddy (2003), salah satu cara yang dikembangkan untuk menurunkan kadar warna dan juga efektif untuk menurunkan kandungan logam dalam air adalah metode adsorpsi. Adsorpsi juga dapat menghilangkan bau serta menurunkan kadar zat warna dari larutan dengan sempurna tanpa mengubahnya menjadi senyawa yang lebih berbahaya. Adsorpsi merupakan metode yang tepat digunakan karena relatif lebih murah, efisiensi tinggi, dan ramah

lingkungan (Chen, *et al.*, 2015). Keberhasilan metode adsorpsi tergantung pada jenis adsorben yang digunakan.

Pemilihan jenis adsorben harus memperhatikan faktor-faktor berikut: pori-pori luas, hidrofob, stabil dalam temperatur tinggi, tidak memiliki aktivitas katalitik dan mudah diregenerasi (Wahab, *et al.*, 2005). Adsorben yang digunakan dalam adsorpsi juga harus memiliki selektivitas dan kapasitas adsorpsi yang tinggi serta dapat digunakan berulang-ulang. Yully, *et al.*, (2015) melaporkan bahwa bioarang dari limbah daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) memiliki kapasitas adsorpsi metilen biru sebanyak 6,0024 mg/g pada waktu karbonisasi 60 menit, namun karbon aktif memiliki selektifitas yang rendah, dan memiliki masalah regenerasi (tidak bisa dihasilkan kembali) setelah digunakan untuk mengadsorpsi zat warna (Alver dan Metin, 2012). Itnawita, *et al.*, (2012) melaporkan bahwa zeolit yang berasal dari *fly ash* (abu terbang) mampu meremediasi logam pada limbah elektroplating berupa Cu sebesar 88,76% dan Cr sebesar 99,87%, namun kapasitas adsorpsi zeolit menurun ketika berada pada lingkungan yang mengandung air (Royani, *et al.*, 2012).

Silika gel merupakan salah satu bahan anorganik yang memiliki kelebihan sifat, yaitu kestabilan mekanik, luas permukaan dan volume pori besar, serta memiliki titik didih dan titik leleh yang tinggi (Nuryono dan Narsito, 2005). Silika gel telah dikenal sebagai adsorben dalam dunia kimia, karena struktur polimer amorf (tidak teratur), gabungan dari agregat-agregat Si-OH yang membentuk polimer terarah Si-O-Si menjadikan senyawa adsorben ini memiliki kestabilan yang cukup baik. Pemanasan tidak mengubah struktur silika gel, bahkan ketika silika gel telah dijenuhkan, pemanasan sering dilakukan untuk mengeluarkan atau memutus ikatan H₂O dari permukaan silika gel. Luas permukaan silika gel biasanya akan bertambah dengan kenaikan ukuran pori-pori silika gel. Adanya gugus aktif dan sifat-sifat fisika silika gel tersebut maka silika gel secara umum sering digunakan sebagai adsorben, desikan, dan pengisi pada kromatografi (fasa diam) (Hadi, *et al.*, 2013). Berdasarkan kajian tersebut diharapkan silika gel dapat menjadi material yang mampu mengadsorpsi zat warna dengan baik.

Upaya untuk mendapatkan adsorben yang relatif murah dapat dilakukan dengan cara pemanfaatan limbah, salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan adalah abu terbang (*fly ash*) dari batubara. Abu terbang merupakan materi sisa yang ada setelah semua materi yang dapat bakar (*flameable*) pada batubara telah habis terbakar. Komponen utama dari *fly ash* batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO_2) 30,25% – 36,83%, alumina (Al_2O_3) 14,52% – 23,78%, dan besi oksida (Fe_2O_3) 13,46% – 19,94%, sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang (PJB Paiton, 2002). Tingginya kandungan silika dalam *fly ash* tersebut menjadikan abu terbang batubara dapat digunakan untuk pembuatan silika gel yang berfungsi sebagai adsorben zat warna metilen biru (Brinker dan Scherer, 1990; Proctor, *et al.*, 1995).

Pembuatan silika gel dari abu terbang batubara pada penelitian ini menggunakan metode sol-gel. Metode ini paling banyak dilakukan karena beberapa keunggulannya, antara lain: biayanya relatif lebih murah, proses berlangsung pada temperatur rendah, prosesnya relatif lebih mudah, bisa diaplikasikan dalam segala kondisi (*versatile*), menghasilkan produk dengan kemurnian dan homogenitas yang tinggi jika parameternya divariasikan. Kontrol dapat dilakukan terhadap ukuran dan distribusi pori dengan mengubah rasio molar air/prekursor, tipe katalis atau prekursor, suhu gelasi, pengeringan dan proses stabilisasi (Iler, 1978).

Berdasarkan kajian di atas, banyak manfaat yang dapat diambil dari unsur silika serta besarnya kandungan silika dalam *fly ash* batubara menyebabkan *fly ash* batubara berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan silika gel. Silika gel berpotensi sebagai adsorben karena memiliki gugus aktif silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si) yang dapat mengikat zat warna kationik metilen biru (Sulastri dan Kristianingrum, 2010). Adanya kandungan silika dalam abu terbang yang dapat dijadikan sebagai adsorben, maka pada penelitian ini akan dilakukan sintesis silika gel berdasarkan metode dari Kalapathy, *et al.*, (2000), Pijarn, *et al.*, (2010), Pratomo, *et al.*, (2013) dan Hadi, *et al.*, (2013) serta dilakukan perbandingan uji kapasitas adsorpsi dari silika gel dan abu terbang batubara sebagai adsorben zat warna metilen

biru dengan variasi waktu kontak adsorpsi dan variasi konsentrasi adsorbat yang mengacu pada metode dari Yully, *et al.*, (2015).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut rumusan masalah yang diambil adalah:

1. Bagaimana karakteristik silika gel yang dihasilkan dengan menggunakan metode sol-gel?
2. Bagaimana kapasitas adsorpsi silika gel dan abu terbang batubara PLTU Paiton-Probolinggo terhadap zat warna metilen biru?
3. Bagaimana pengaruh variasi waktu kontak adsorpsi terhadap kinetika adsorpsi silika gel dan abu terbang batubara PLTU Paiton-Probolinggo terhadap zat warna metilen biru?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik silika gel yang dihasilkan dengan menggunakan metode sol-gel.
2. Mengetahui kapasitas adsorpsi silika gel dan abu terbang batubara PLTU Paiton-Probolinggo terhadap zat warna metilen biru.
3. Mengetahui pengaruh variasi waktu kontak adsorpsi terhadap kinetika adsorpsi silika gel dan abu terbang batubara PLTU Paiton-Probolinggo terhadap zat warna metilen biru.

1.4 Batasan Masalah

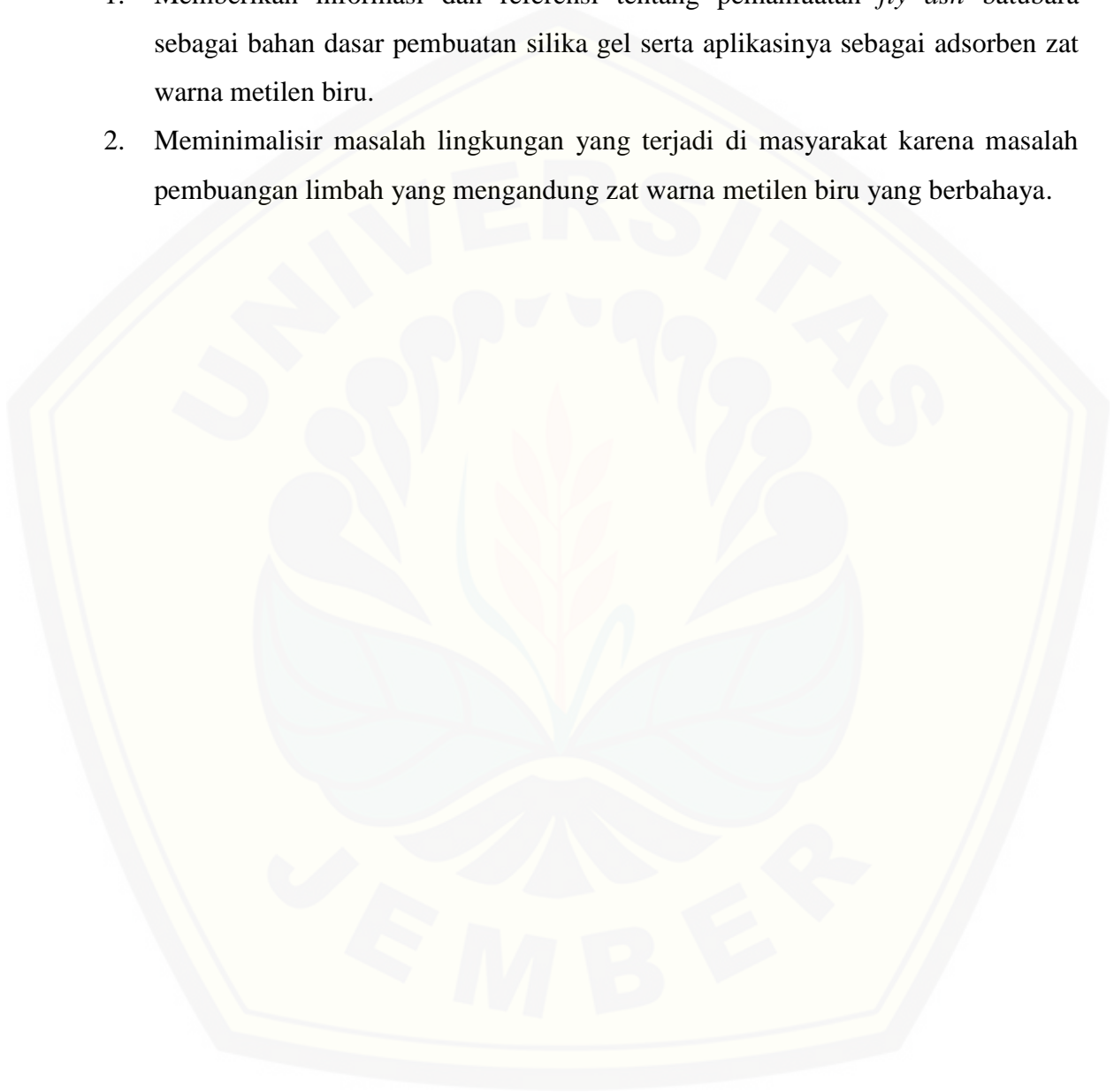
Mengingat luasnya permasalahan, maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian ini tidak menggunakan selektivitas metilen biru.
2. Uji kapasitas adsorpsi silika gel dan abu terbang batubara dilakukan pada pH sistem (larutan metilen biru).

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai:

1. Memberikan informasi dan referensi tentang pemanfaatan *fly ash* batubara sebagai bahan dasar pembuatan silika gel serta aplikasinya sebagai adsorben zat warna metilen biru.
2. Meminimalisir masalah lingkungan yang terjadi di masyarakat karena masalah pembuangan limbah yang mengandung zat warna metilen biru yang berbahaya.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran dan ditangkap dengan menggunakan elektrostatis presipitator. Abu terbang merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. Abu terbang terdiri dari bahan anorganik yang terdapat di dalam batubara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis, karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikel-partikel abu terbang umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel abu terbang yang terkumpul pada presipitator elektrostatis biasanya berukuran seperti debu (0,074 – 0,005 mm) (EPRI, 2009).

Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon. Karakteristik *fly ash* :

- a. Dari segi gradasinya, jumlah prosentase yang lolos dari saringan No. 200 (0,074 mm) berkisar antara 60% sampai 90%.
- b. Warna dari *fly ash* dapat bervariasi dari abu-abu sampai hitam tergantung dari jumlah kandungan karbonnya, semakin terang semakin rendah kandungan karbonnya.
- c. *Fly ash* bersifat tahan air (*hydrophobic*) (Page, *et al.*, 1979).

Abu terbang batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. *Recovery* magnetit, *cenosphere*, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (*polisher*)
6. *Filler* aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*)
9. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

(EPRI, 2009).

ASTM C 618 dan *Canadian Standard Association* (CSA) A 23,5 memberikan 2 jenis abu terbang yaitu tipe F dan tipe C. Secara umum perbedaan kedua tipe ini adalah pada sumbernya, yaitu batubara. Perbedaan yang nyata secara khusus yakni pada komposisi kimia yang terkandung dalam abu terbang. Abu terbang tipe F memiliki komposisi kimia yaitu: $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 70%, dan untuk kadar CaO rata-rata kurang dari 8%. Abu terbang tipe C untuk komposisi yang sama $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ memiliki kadar antara 50-70% (Page, *et al.*, 1979).

2.1.1 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara serta proses

pembakarannya. Proses pembakaran batubara, titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara yang terdiri dari butiran halus umumnya berbentuk bola padat atau berongga, berwarna abu-abu keputihan, dan sangat halus. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2.100 sampai 3.000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1.000 m²/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub bituminous 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, massa jenis 2,2 – 2,4 g/cm³, dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola (Nugroho dan Antoni, 2007).

Sifat kimia dari *fly ash* batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada jenis bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous (Page, *et al.*, 1979). Komposisi kimia abu terbang dari PLTU Paiton dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Komposisi kimia abu terbang dari PLTU Paiton-Probolinggo

Komposisi Kimia	Abu Batubara dari PLTU Paiton	Sifat
SiO ₂	30,25 – 36,83 %	Asam
Al ₂ O ₃	14,52 – 23,78 %	Amfoter
Fe ₂ O ₃	13,46 – 19,94 %	Basa
CaO	11,40 – 16,57 %	Basa
MgO	5,360 – 8,110 %	Basa
Mn ₃ O ₄	0,140 – 0,480 %	Basa
Na ₂ O	0,250 – 0,740 %	Basa
K ₂ O	0,630 – 1,320 %	Basa
TiO ₂	0,830 – 1,050 %	Amfoter
SO ₃	3,010 – 7,280 %	Asam
P ₂ O ₃	0,630 – 3,750 %	Asam

Sumber: PJB Paiton (2002).

2.2 Silikon Dioksida (SiO₂)

Silikon dioksida atau silika adalah salah satu senyawaan kimia yang paling umum. Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Silikon selalu terikat secara tetrahedral pada empat atom oksigen, namun ikatan-ikatannya mempunyai sifat yang cukup ionik. Atom-atom silikon dalam bentuk kristobalit mempunyai posisi yang sama dengan atom-atom karbon dalam intan dan atom-atom oksigen berada di tengah dari setiap pasangan. Bentuk kuarsa terdapat heliks sehingga terbentuk kristal enansiomorf. Proses pemutusan terjadi secara lambat karena dibutuhkan pemutusan dan pembentukan kembali ikatan-ikatan serta energi pengaktifannya tinggi. Silika relatif tidak reaktif terhadap Cl₂, H₂, asam-asam dan sebagian besar logam pada suhu 25 °C atau pada suhu yang lebih tinggi. Tetapi, dapat diserang oleh F₂, larutan HF, hidroksida alkali dan leburan-leburan karbonat (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Bentuk-bentuk silika merupakan beberapa struktur kristal yang penting bukan saja karena silika merupakan zat yang melimpah dan berguna, tetapi karena strukturnya (SiO₄) adalah unit yang mendasar dalam kebanyakan mineral. Kristal silika memiliki dua ciri utama yaitu:

1. Setiap atom silikon berada pada pusat suatu tetrahedron yang terdiri dari empat atom oksigen.
2. Setiap atom oksigen berada di tengah antara dua atom silikon (Keenan, *et al.*, 1992).

2.2.1 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Silika

a) Sifat Fisika

Tabel 2.2 Sifat Fisika Silika

Nama IUPAC	Silikon dioksida
Nama lain	Kuarsa, Silika, Silikat Oksida, Silikon(IV) Oksida
Rumus molekul	SiO ₂
Massa molar	60,08 g/mol
Penampilan	Kristal transparan
Kepadatan	2,648 g/cm ³
Titik lebur	1.600 – 1.725 °C
Titik didih	2.230 °C

Sumber: Cotton dan Wilkinson (1989).

b) Sifat Kimia

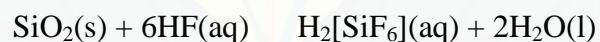
Mineral silika mempunyai berbagai sifat kimia antara lain sebagai berikut:

a. Reaksi Asam

Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidrofluorida dan asam fosfat.



Dan asam berlebih reaksinya adalah:



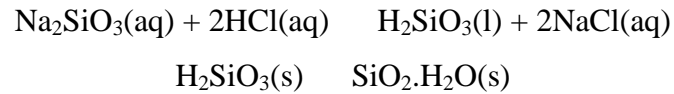
(Vogel, 1985: 376).

b. Reaksi Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat, seperti dengan hidroksida alkali, reaksinya:



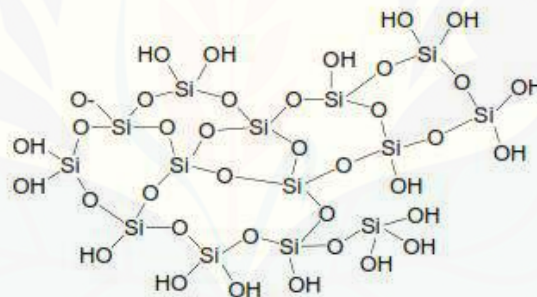
Secara komersial, silika dibuat dengan mencampur larutan natrium silikat dengan asam mineral. Reaksi ini menghasilkan dispersi pekat yang akhirnya memisahkan partikel dari silika terhidrat, yang dikenal sebagai silika hidrosol atau asam silikat. Proses selanjutnya dilakukan pengeringan pada suhu 110 °C agar terbentuk silika gel dengan reaksi sebagai berikut:



(Vogel, 1985: 374).

2.3 Silika Gel

Silika gel merupakan silika amorf yang terdiri atas globula – globula SiO_4 tetrahedral yang tersusun secara tidak teratur dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar. Rumus kimia silika gel secara umum adalah $\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$. Struktur satuan mineral silika pada dasarnya mengandung kation Si^{4+} yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion O^{2-} . Namun demikian, susunan tetrahedral SiO_4 pada silika gel tidak beraturan seperti struktur berikut:



Gambar 2.1 Struktur silika gel (Oscik, 1982)

Sifat silika gel ditentukan oleh orientasi dari ujung tempat gugus hidroksil berkombinasi. Oleh karena ketidakteraturan susunan permukaan SiO_4 tetrahedral, maka jumlah distribusinya per unit area bukan menjadi ukuran kemampuan adsorpsi silika gel, meskipun gugus silanol dan siloksan terdapat pada permukaan silika gel. Kemampuan adsorpsi ternyata tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan gugus siloksan yang ada pada permukaan silika gel, tetapi tergantung pada distribusi gugus OH per unit area adsorben (Oscik, 1982).

Silika gel dimanfaatkan sebagai adsorben karena mudahnya produksi dan juga beberapa kelebihan yang lain, yaitu: sangat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan

termal dan mekanik yang tinggi serta relatif tidak mengembang dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan padatan resin polimer organik. Kualitas yang berkaitan dengan pemanfaatannya ditentukan oleh berbagai faktor, yaitu struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, ketahanan dan polaritasnya. Walaupun mempunyai berbagai kelebihan, ternyata silika gel juga mempunyai beberapa kelemahan yaitu pada silika gel jenis situs aktif hanya berupa gugus silanol (-SiOH) dan siloksan (Si-O-Si). Gugus silanol ini mempunyai sifat keasaman yang rendah, disamping mempunyai oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah. Namun demikian adanya gugus silanol (-SiOH) dan siloksan (Si-O-Si) ini juga menguntungkan, karena memungkinkan terjadinya modifikasi. Pada modifikasi ini mungkin tidak terjadi perubahan jenis gugus fungsi pada situs aktif, walaupun perbandingan jumlahnya berbeda dengan sebelumnya. Kemungkinan lain adalah modifikasi dengan merubah gugus fungsi pada situs aktifnya, dilakukan dengan menambahkan pereaksi dan memberi suatu perlakuan fisis (Oscik, 1982).

2.4 Metode Sol-Gel

Metoda yang biasa digunakan untuk menghasilkan silika (SiO₂) adalah metoda *sol-gel*. Proses *sol-gel* dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, di mana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (*sol*) membentuk fasa cair kontinyu (*gel*) (Bregna, 1994). Ukuran partikel silika yang seragam telah dilaporkan dengan melakukan kontrol terhadap reaksi hidrolisis dari TEOS di dalam pelarutnya, yang diikuti dengan reaksi kondensasi (polimerisasi) (Beganskiene, *et al.*, 2004).

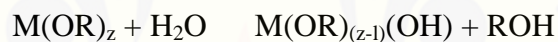
Metoda *sol-gel* merupakan metode yang paling banyak dilakukan. Hal ini disebabkan karena beberapa keunggulannya, antara lain: proses berlangsung pada temperatur rendah, prosesnya relatif lebih mudah, bisa diaplikasikan dalam segala kondisi (*versatile*), menghasilkan produk dengan kemurnian dan homogenitas yang tinggi jika parameternya divariasi. Kontrol dapat dilakukan terhadap ukuran dan distribusi pori dengan mengubah rasio molar air/prekursor, tipe katalis atau prekursor,

suhu gelasi, pengeringan dan proses stabilisasi. Selain itu, yang paling mengesankan dari proses *sol-gel* adalah biayanya relatif murah dan produk berupa silika *xerogel* yang dihasilkan tidak beracun (Iler, 1978).

Menurut Iler (1978), proses *sol-gel* terbagi ke dalam 4 tahap, yaitu hidrolisis, kondensasi, *aging*, dan pengeringan.

a. Hidrolisis

Pada tahap pertama logam prekursor dilarutkan dalam alkohol dan terhidrolisis dengan penambahan air pada kondisi asam, netral, atau basa menghasilkan sol koloid. Hidrolisis menggantikan ligan (-OR) dengan gugus hidroksil (-OH) dengan reaksi sebagai berikut:

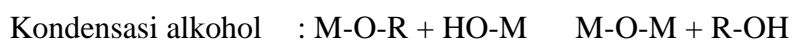


Faktor yang berpengaruh terhadap proses hidrolisis adalah rasio air/prekursor dan jenis katalis hidrolisis yang digunakan. Peningkatan rasio pelarut/prekursor akan meningkatkan reaksi hidrolisis. Reaksi berlangsung cepat sehingga waktu gelasi lebih cepat. Katalis yang digunakan pada proses hidrolisis adalah jenis katalis asam atau katalis basa, namun proses hidrolisis juga dapat berlangsung tanpa menggunakan katalis. Adanya katalis maka proses hidrolisis akan berlangsung lebih cepat dan konversi menjadi lebih tinggi. Reaksi akan selesai saat semua gugus (O-CH₂CH₃) digantikan dengan gugus (-OH). Reaksi hidrolisis menghasilkan sol yang terdiri dari Si(OH)₄ dan CH₃CH₂OH. Reaksi hidrolisis tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:

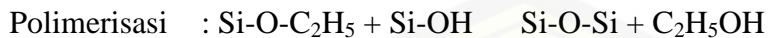
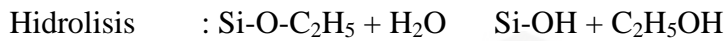


b. Kondensasi

Pada tahapan ini terjadi proses transisi dari sol menjadi gel. Reaksi kondensasi melibatkan ligan hidroksil untuk menghasilkan polimer dengan ikatan M-O-M. Pada berbagai kasus, reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa air atau alkohol dengan persamaan reaksi secara umum adalah:



Dari reaksi umum di atas, reaksi yang terjadi jika menggunakan prekursor TEOS sebagai berikut:



c. Aging

Pada proses *aging* ini, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat dan menyusut di dalam larutan.

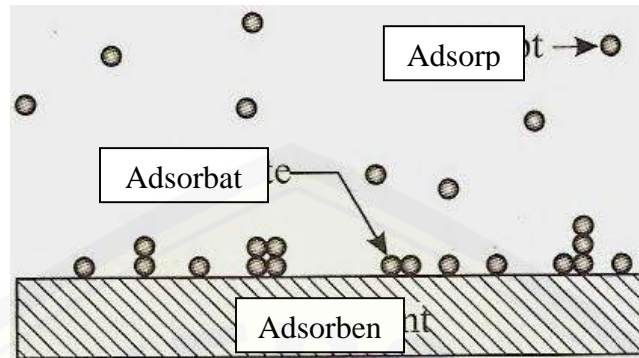
d. Pengeringan (Drying)

Tahap terakhir ialah proses penguapan larutan dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur sol-gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi. Pengeringan berguna untuk melepaskan *template* yang digunakan saat proses sol-gel.

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul fluida (gas atau cair) yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Adsorpsi terjadi jika gaya tarik-menarik antara zat terlarut (adsorbat) dengan permukaan penyerap (adsorben) dapat mengatasi gaya tarik-menarik antara pelarut dengan permukaan penyerap (Oscik, 1982). *Adsorptive* merupakan fluida yang akan berinteraksi dengan adsorbat (Sukardjo, 1985).

Ketika permukaan padatan bereaksi dengan molekul gas atau cair, konsentrasi dari gas atau cairan tersebut di permukaan lebih tinggi daripada fase gas atau cair yang disebut dengan adsorpsi (Bansal dan Goyal, 2005). Molekul tersebut akan terlepas dan berubah fase kembali menjadi gas yang disebut fenomena desorpsi (Keller dan Reiner, 2005). Adsorpsi terjadi ketika proses pengeluaran kalor dari lingkungan (eksoterm) dan sebaliknya, desorpsi terjadi ketika proses pengambilan kalor dari lingkungan (endoterm). Entalpi adsorpsi berkisar antara 10 – 20 kJ/mol, dan terjadi di bawah titik didih adsorbat (Bansal dan Goyal, 2005).



Gambar 2.2 Fenomena adsorpsi dan desorpsi (Ginting, 2008)

Adsorpsi fisik merupakan suatu peristiwa *reversibel*. Jika dalam keadaan setimbang kondisinya bisa diubah misalnya tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan, maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas, umumnya panas adsorpsi fisik relatif rendah berkisar (5-10) kkal/g.mol dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah titik didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisik bersifat *reversibel* dan berlangsung sangat cepat (Sukardjo, 1985).

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga pada proses tersebut akan membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150 °C – 200 °C selama 2-3 jam (Sukardjo, 1985). Jenis adsorpsi yang umum dikenal adalah adsorpsi kimia (kemisorpsi) dan adsorpsi fisika (fisorpsi), berikut penjelasan dari kedua jenis adsorpsi tersebut:

a. Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya gaya-gaya kimia dan diikuti oleh reaksi kimia. Pada adsorpsi kimia, hanya satu lapisan gaya yang terjadi. Besarnya energi adsorpsi kimia ± 100 kJ/mol. Adsorpsi jenis ini menyebabkan terbentuknya ikatan secara kimia sehingga diikuti dengan reaksi kimia, maka adsorpsi jenis ini akan menghasilkan produksi reaksi berupa senyawa yang baru. Ikatan kimia yang terjadi

pada kemisorpsi sangat kuat mengikat molekul gas atau cairan dengan permukaan padatan sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversibel*), dengan demikian dapat diartikan bahwa pelepasan kembali molekul yang terikat di adsorben pada kemisorpsi sangat kecil (Alberty, 1997).

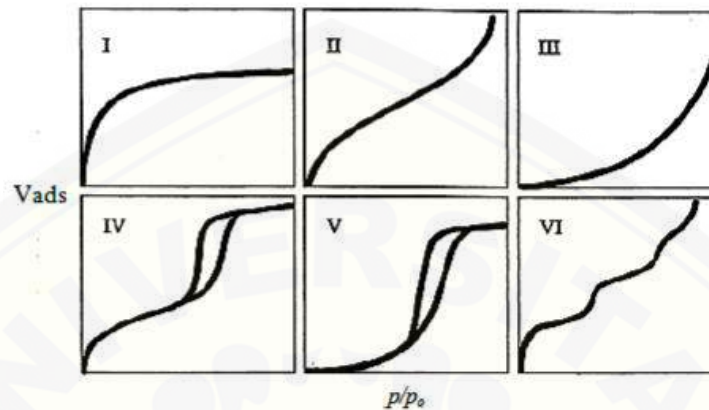
b. Adsorpsi Fisika (Fisorpsi)

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya gaya-gaya fisika. Pada adsorpsi fisika, terjadi beberapa lapisan gas. Besarnya energi adsorpsi fisika ± 10 kJ/mol. Molekul-molekul yang diadsorpsi secara fisika tidak terikat kuat pada permukaan, dan biasanya terjadi proses balik yang cepat (*reversibel*), sehingga mudah untuk diganti dengan molekul yang lain. Adsorpsi fisika didasarkan pada gaya Van Der Waals serta dapat terjadi pada permukaan yang polar dan non polar. Adsorpsi juga mungkin terjadi dengan mekanisme pertukaran ion. Permukaan padatan dapat mengadsorpsi ion-ion dari larutan dengan mekanisme pertukaran ion, oleh karena itu, ion pada gugus senyawa permukaan padatan adsorbennya dapat bertukar tempat dengan ion-ion adsorbat. Mekanisme pertukaran ini merupakan penggabungan dari mekanisme kemisorpsi dan fisorpsi. Adsorpsi jenis ini akan mengikat ion-ion yang diadsorpsi dengan ikatan secara kimia. Tetapi ikatan ini mudah dilepaskan kembali untuk dapat terjadinya pertukaran ion (Atkins, 1990).

2.5.1 Isotermal Adsorpsi

Isotermal adsorpsi merupakan metode yang sering digunakan untuk mewakili keadaan setimbang dari sebuah sistem adsorpsi untuk memberikan informasi mengenai adsorbat, adsorben dan proses adsorpsi. Selain itu dapat membantu penentuan luas permukaan adsorben, volume pori-pori dan distribusi ukuran pori (Bansal dan Goyal, 2005). Hubungan antara jumlah yang teradsorpsi dengan tekanan kesetimbangan (atau tekanan relatif) pada suhu tertentu didefinisikan sebagai isoterm adsorpsi-desorpsi. Isoterm secara umum diilustrasikan dalam bentuk kurva dari V_{ads} (Volume gas yang teradsorpsi) terhadap P atau P/P_0 (P = tekanan kesetimbangan,

P_0 = tekanan penguapan). Menurut IUPAC bentuk isoterm bisa diklasifikasikan dalam enam tipe isoterm yaitu:



Gambar 2.3 Klasifikasi isoterm adsorpsi desorpsi menurut IUPAC (Adamson, 1997; Rouquerol, *et al.*, 1999)

Skema klasifikasi isoterm adsorpsi desorpsi menurut IUPAC ini didasarkan pada klasifikasi Brunauer. Brunauer mengklasifikasikan ada lima tipe isoterm, yaitu tipe I, II, III, IV dan V. Tipe I merupakan tipe Langmuir, tipe ini khas untuk padatan mikropori dan adsorpsinya monolayer. Tipe II dan tipe III berturut-turut menggambarkan interaksi adsorpsi antara adsorbat-adsorben secara kuat dan lemah. Tipe II untuk material yang tidak berpori dan umumnya bersifat fisisorpsi. Sedangkan tipe III adalah untuk material berpori dengan gaya kohesi yang lebih besar antara molekul adsorbat daripada kekuatan adhesi antara molekul-molekul adsorbat dan adsorben. Isoterm tipe IV dan tipe V karakteristik untuk adsorben mesopori yang berturut-turut merupakan adsorpsi monolayer dan multilayer yang disertai dengan adanya kondensasi kapiler. Adanya pori pada permukaan padatan akan memberikan efek pembatasan jumlah lapisan pada adsorbat dan terjadi fenomena kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler ini menyebabkan terjadinya histerisis. Tipe VI merupakan padatan tak berpori yang mempunyai permukaan seragam. Tipe ini tidak termasuk dalam klasifikasi Brunauer (Adamson, 1997; Rouquerol, *et al.*, 1999).

2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Menurut Bahl, *et al.*, (1997), daya adsorpsi dipengaruhi lima faktor, yaitu :

1. Jenis adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

2. Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorp meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. Temperatur absolut (T), temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat.

Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa eksotermis. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.

4. Tekanan (P), tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikkan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

5. Interaksi potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

2.5.3 Adsorben

Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas di dalamnya (Oscik, 1982). Menurut Suzuki (1990) adsorben memiliki dua tipe yaitu polar dan non-polar. Adsorben polar disebut juga dengan *hydrophilic*, adsorben yang mengikat molekul polar seperti air. Jenis adsorben ini adalah silika gel, *porous* alumina, dan zeolit. Adsorben non-polar lebih dapat mengikat oli atau gas dibandingkan air, disebut dengan *hydrophobic*, contohnya karbon aktif dan adsorben polimer. Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi adalah:

- a. Luas permukaan besar sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi
- b. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorpsi
- c. Memiliki daya tahan yang baik
- d. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama peristiwa adsorpsi dan desorpsi.

(Suzuki, 1990).

Dari segi sifat material adsorben, diharapkan memiliki sifat kinetik yang baik karena mempengaruhi laju adsorpsi dan sifat mekanikal yang mempengaruhi ketahanan adsorben dalam melakukan proses adsorpsi dan desorpsi. Salah satu contoh adsorben adalah silika gel. Energi yang dibutuhkan untuk pengikatan adsorbat pada silika gel relatif kecil dibanding dengan energi yang dibutuhkan untuk mengikat adsorbat pada karbon aktif atau zeolit sehingga temperatur untuk desorpsinya rendah. Laju desorpsi silika gel terhadap kenaikan temperatur sangat tinggi. Silika gel dibuat dari silika murni dan secara kimia diikat dengan air. Jika silika gel diberi panas yang berlebih sampai kehilangan kadar air maka daya adsorpsinya akan hilang sehingga umumnya silika gel digunakan pada temperatur di bawah 200 °C. Silika gel memiliki kapasitas menyerap air yang besar terutama pada saat tekanan uap air tinggi (Suzuki, 1990).

2.5.4 Adsorbat

Adsorbat adalah substansi yang terkonsentrasi di permukaan adsorben. Menurut Oscik (1982), salah satu jenis adsorbat yaitu air. Air merupakan adsorbat yang ideal karena memiliki kalor laten spesifik terbesar, mudah didapat, murah, dan tidak beracun. Air dapat dijadikan pasangan zeolit, dan silika gel. Tekanan penguapan air yang rendah merupakan keterbatasan air sebagai adsorbat, sehingga menyebabkan :

- Temperatur penguapan rendah (100 °C), sehingga penggunaan air terbatas hanya untuk *air-conditioning* dan *chilling*.
- Tekanan sistem selalu di bawah tekanan normal (1 atm), sistem harus memiliki instalasi yang tidak bocor agar udara tidak masuk.
- Rendahnya tekanan penguapan air menyebabkan rendahnya tekanan proses adsorpsi dibatasi oleh transfer massa.

2.5.5 Model Kinetika Adsorpsi

Analisis model kinetika adsorpsi dilakukan dengan beberapa model untuk sistem *liquid-solid*, beberapa di antaranya adalah model kinetika orde 1, orde 2, *pseudo*-orde 1 (model Lagergren) dan model kinetika *pseudo*-orde 2 (model Ho dan McKay). Model kinetika orde 1 menunjukkan reaksi hanya bergantung pada konsentrasi salah satu reaktan, berikut persamaan kinetika orde 1 yaitu:

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C]$$

di mana C adalah konsentrasi, sedangkan bentuk persamaan liniernya:

$$\ln C_e = -k_1 t + \ln C_o$$

di mana C_e merupakan konsentrasi saat kesetimbangan, k_1 adalah kinetika orde 1 dan C_o adalah konsentrasi awal. Plot $\ln C_o/C_e$ terhadap t merupakan bentuk dari kurva linier kinetika orde 1 (Kurniawati, *et al.*, 2013).

Model kinetika orde 2 menunjukkan reaksi bergantung pada kuadrat konsentrasi salah satu reaktan atau konsentrasi dua reaktan yang terlibat, berikut persamaan kinetika orde 2 yaitu:

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C]^2$$

bentuk persamaan liniernya:

$$\frac{1}{C_e} = k_2 t + \frac{1}{C_0}$$

di mana k_2 adalah kinetika orde 2, plot $1/C_e$ terhadap t merupakan bentuk dari kurva linier kinetika orde 2 (Kurniawati, *et al.*, 2013).

Model *pseudo*-orde 1 (model Lagergren) adalah model kinetika mekanistik pertama untuk sistem *liquid-solid* yang berbasis pada kapasitas padatan (*solid*). Model kinetika tersebut merupakan salah satu persamaan kinetika yang telah diaplikasikan secara luas untuk mendeskripsikan adsorpsi zat terlarut dari larutan. Bentuk umum persamaan kinetika *pseudo*-orde 1 yaitu:

$$\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t)$$

di mana q_e adalah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g), q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g), k adalah konstanta kinetika. Integrasi persamaan untuk kondisi batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = 0$ hingga $q_t = q_t$ memberikan hasil:

$$\ln\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = kt$$

dalam bentuk linier:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - kt$$

plot $\log(q_e - q_t)$ terhadap t atau plot $\ln(q_e - q_t)$ terhadap t merupakan kurva linier dengan slope = k dan intersep = $\ln q_e$ (Munawar, 2012).

Model *pseudo*-orde 2 (model Ho dan McKay) adalah model kinetika yang dikembangkan berdasarkan reaksi kompleksasi permukaan antara adsorben dengan adsorbat. Persamaan laju reaksi *pseudo*-orde 2 yaitu:

$$\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t)^2$$

di mana k adalah konstanta kinetika adsorpsi (g/mg.menit). Integrasi persamaan tersebut untuk kondisi batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = 0$ hingga $q_t = q_t$ memberikan hasil:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + kt$$

atau:

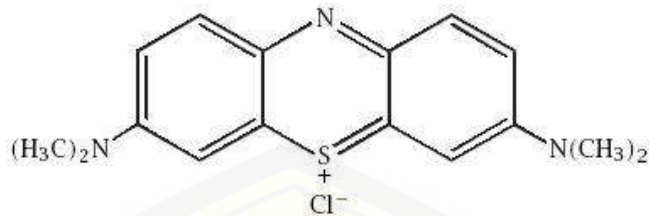
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e}t$$

Plot t/q_t terhadap t , merupakan kurva linier dengan slope = $1/q_e$ dan intersep = $1/kq_e^2$ (Munawar, 2012).

2.6 Metilen Biru

Metilen biru, juga dikenal sebagai kapas biru, helvetia biru, asam biru 93, atau CI 42780, yang merupakan senyawa kimia aromatis heterosiklik yang beracun dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl$ dan merupakan zat warna kationik dengan adsorpsi yang sangat kuat. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap pada suhu kamar, memiliki berat molekul 319,86 g/mol, titik lebur 105 °C, dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L. Larutan metilen biru dapat memberikan warna biru apabila dilarutkan dalam air atau alkohol serta berada pada lingkungan dengan tingkat oksidasi yang tinggi. Metilen biru merupakan pewarna *thiazine* yang sering digunakan sebagai pewarna sutra, wol, tekstil, kertas, peralatan kantor, kosmetik, dan fungisida pada akuarium. Di beberapa tempat penggunaan bahan ini sudah semakin tidak populer karena diketahui mempunyai pengaruh buruk terhadap filtrasi biologi dan kemampuan warnanya untuk melekat pada kulit, pakaian, dekorasi akuarium, lem akuarium, dan peralatan lainnya (Palupi, 2006).

Reaksi substitusi aromatik elektrofilik, misalnya fenol dan amina aromatik bereaksi dengan elektrofilik arildiazonium dan akan menghasilkan senyawa azo, senyawa azo memiliki gugus azo $-N=N-$. Semua senyawa azo berwarna, seperti metilen jingga dan metilen biru. Metilen biru merupakan fotosensitizer yang digunakan untuk membuat oksigen singlet apabila terkena oksigen dan cahaya. Hal ini digunakan untuk membuat peroksida organik oleh reaksi Diels-Alder (Palupi, 2006). Berikut merupakan struktur metilen biru:



Gambar 2.4 Struktur metilen biru (Tanasale, *et al.*, 2012)

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Kromofor zat warna reaktif biasanya merupakan sistem azo dan antrakuinon dengan berat molekul relatif kecil. Daya serap terhadap serat tidak besar, sehingga zat warna yang tidak bereaksi dengan serat mudah dihilangkan. Gugus-gugus penghubung dapat mempengaruhi daya serap dan ketahanan zat warna terhadap asam atau basa. Gugus-gugus reaktif merupakan bagian-bagian dari zat warna yang mudah lepas, dengan lepasnya gugus reaktif ini, zat warna menjadi mudah bereaksi dengan serat kain. Pada umumnya agar reaksi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan penambahan alkali atau asam sehingga mencapai pH tertentu. Pada Tabel 2.3 dapat dilihat beberapa nama gugus kromofor dan struktur kimianya yang memberi daya ikat terhadap serat yang diwarnainya (Manurung, *et al.*, 2004).

Tabel 2.3 Nama dan Struktur Kimia Kromofor

Nama Gugus	Struktur Kimia
Nitroso	NO atau (-N-OH)
Nitro	NO ₂ atau (NN-OOH)
Grup azo	-N=N-
Grup etilen	-C=C-
Grup karbonil	-CO-
Grup karbon-nitrogen	-C=NH ; CH=N-
Grup karbon sulfur	-C=S ; -C-S-S-C-

Sumber: Manurung, *et al.* (2004)

2.7 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometer sinar tampak dan Ultraviolet (UV-Vis) merupakan suatu alat yang melibatkan spektra energi dan spektrofotometri. Prinsip dasar spektrofotometri UV-Vis adalah terjadinya transisi elektronik yang disebabkan penyerapan sinar UV-Vis yang mampu mengeksitasi elektron dari orbital yang kosong. Umumnya, transisi yang paling mungkin adalah transisi pada tingkat tertinggi (HOMO) ke orbital molekul yang kosong pada tingkat terendah (LUMO). Pada sebagian besar molekul, orbital molekul terisi pada tingkat energi terendah adalah orbital s, sedangkan orbital p berada pada tingkat energi yang lebih tinggi. Orbital non ikatan (n) yang mengandung elektron–elektron yang belum berpasangan berada pada tingkat energi yang lebih tinggi lagi, sedangkan orbital–orbital anti ikatan yang kosong yaitu s* dan p* menempati tingkat energi yang tertinggi (Sastrohamidjojo, 2007).

Intensitas penyerapan dijelaskan dengan hukum Lambert-Beer. Hukum Lambert menyatakan bahwa proporsi berkas cahaya datang yang diserap oleh suatu bahan/medium tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Hukum Lambert ini tentunya hanya berlaku jika di dalam bahan/medium tersebut tidak ada reaksi kimia ataupun proses fisis yang dapat dipicu atau diimbis oleh berkas cahaya datang tersebut. Berikut persamaan Lambert-Beer:

$$A = \epsilon b c$$

Keterangan:

A = absorbansi

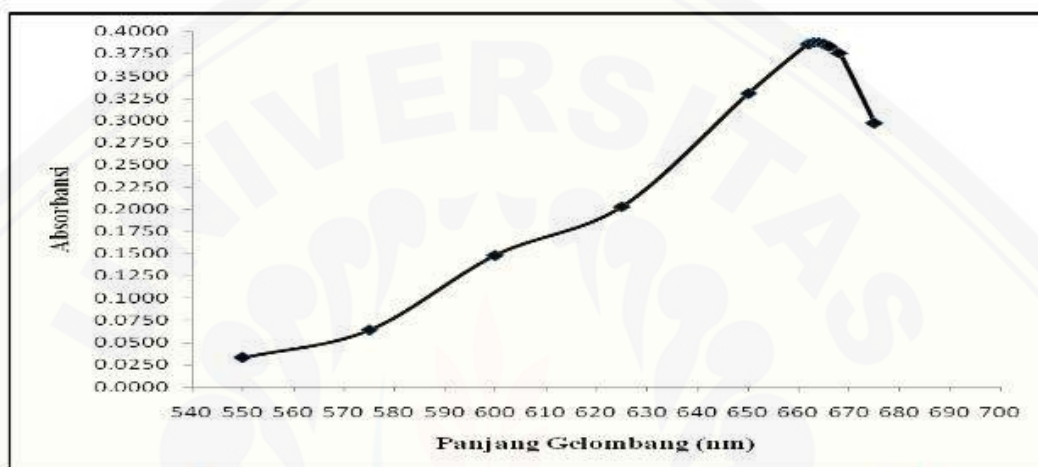
= absorptivitas molar (L/mol.cm)

c = konsentrasi molar (mol/L)

b = panjang/ketebalan dari bahan/medium yang dilintasi oleh cahaya (cm)

Menggunakan metode kurva kalibrasi, yaitu dengan membuat grafik absorbansi versus konsentrasi dapat diperoleh suatu kurva linier. Melalui pengukuran absorbansi suatu sampel dan menginterpolasikannya ke kurva kalibrasi, maka konsentrasi sampel dapat ditentukan (Sastrohamidjojo, 2007).

Menurut Widihati, *et al.*, (2011), panjang gelombang maksimum larutan metilen biru ditentukan dengan mengukur nilai absorbansi dari larutan metilen biru 2 ppm pada panjang gelombang 550-675 nm. Panjang gelombang maksimum diperoleh dari kurva hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi. Kurva tersebut ditunjukkan pada gambar berikut:



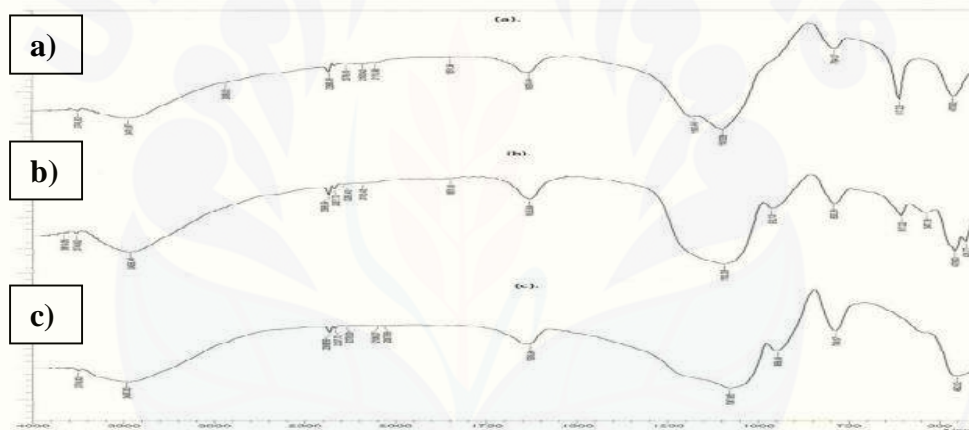
Gambar 2.5 Kurva hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi dari larutan metilen biru 2 ppm (Widihati, *et al.*, 2011)

Kurva di atas menunjukkan bahwa panjang gelombang maksimum dari larutan metilen biru 2 ppm adalah 664 nm dengan absorbansi sebesar 0,388.

2.8 Spektrofotometri Inframerah (FTIR)

Spektrofotometri inframerah merupakan metode yang digunakan untuk mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Prinsip dasar spektrofotometri inframerah yaitu interaksi antara vibrasi atom-atom yang berikatan/gugus fungsi dalam molekul dengan mengadsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik inframerah. Absorpsi terhadap radiasi inframerah dapat menyebabkan eksitasi energi vibrasi molekul ke tingkat energi vibrasi yang lebih tinggi, untuk dapat mengabsorpsi molekul harus mempunyai perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi (Khopkar, 2008).

Menurut penelitian dari Hadi, *et al.*, (2013), pada silika gel SGL4 dan SG700 pita serapan yang muncul antara bilangan gelombang $3471,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $3456,44 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya vibrasi ulur dari gugus fungsi -OH dari silanol (Si-OH). Pelebaran pita terjadi karena gugus fungsi- OH dan air yang terserap pada permukaan silika melalui ikatan hidrogen. Pita serapan pada 3700 cm^{-1} akibat adanya gugus fungsi -OH terisolasi, yang mana tidak terbentuk ikatan hidrogen dengan silanol-silanol lainnya. Pita serapan pada $1635,64 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi bending -OH dari molekul air yang terikat. Pita serapan disekitar 1100 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur asimetris Si-O dari siloksan (Si-O-Si) (Sastrohamidjojo, 1992). Berikut hasil karakterisasi silika gel dengan FTIR:



Gambar 2.6 Spektra infra merah (a) silika gel abu limbah industri batu-bata (SGL4), (b) silika gel abu sekam padi suhu $700 \text{ }^\circ\text{C}$ (SG700), dan silika gel pembanding (SG60) (Hadi, *et al.*, 2013)

2.9 Difraksi Sinar-X

Difraksi sinar-X adalah teknik analitik untuk menentukan kristal suatu padatan, seperti keramik, logam, material elektronik, organik, dan polimer. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Keterangan: d = jarak antar bidang atom dalam kristal

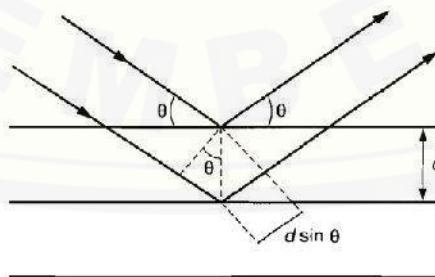
λ = panjang gelombang sinar X

θ = sudut difraksi

n = tingkat difraksi

Di mana λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ merupakan sudut antara sinar yang terjadi dengan penampang lapisan sehingga lebih dikenal sebagai sudut Bragg, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan ($n = 1, 2, \dots$). Ketika panjang garis edar kristal ($2d \sin \theta$) merupakan multi panjang gelombang, interferensi yang menguatkan terjadi dan intensitas difraksi dapat ditentukan. Intensitas difraksi berhubungan dengan puncak yang akan menentukan tipe dan pengaturan atom-atom pada setiap lapisan (Tan, 1991).

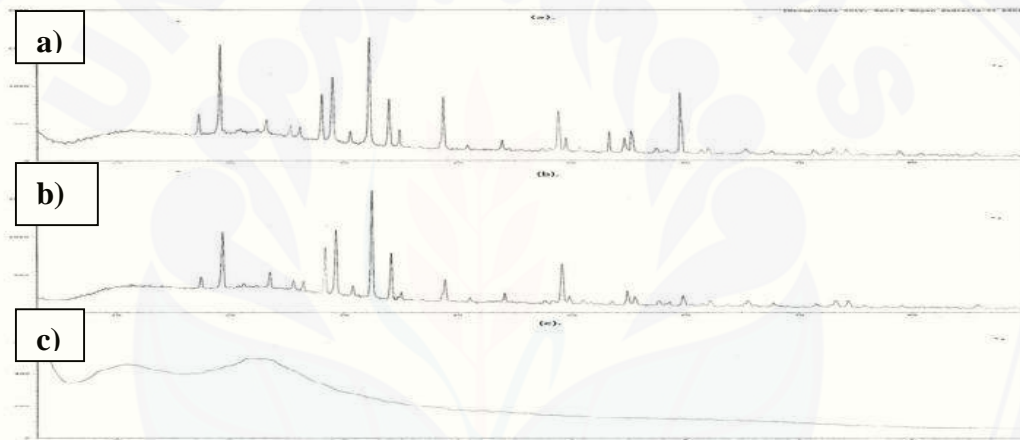
Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Tan, 1991). Ilustrasi Hukum Bragg dapat dilihat pada gambar 2.7 :



Gambar 2.7 Ilustrasi hukum Bragg (Asmuni, 2000)

Puncak yang melebar menunjukkan kristalinitas rendah (amorf), sedangkan puncak yang meruncing menunjukkan kristalinitas yang lebih baik. Difraksi sinar-X sangat penting pada identifikasi senyawa kristalin. Kekuatan dari cahaya yang terdifraksi tergantung pada kuantitas material kristalin yang sesuai di dalam sampel sehingga sangat mungkin mendapatkan analisa kuantitatif dari sejumlah relatif konstituen dari campuran senyawa padatan (Tan, 1991).

Menurut penelitian dari Hadi, *et al.*, (2013), SGL4 dan SG700 menunjukkan pola difraksi dengan puncak yang melebar. SGL4 dan SG700 mempunyai intensitas maksimum pada 2θ antara $15-35^\circ$. Berikut gambar difraktogram sinar X-nya:

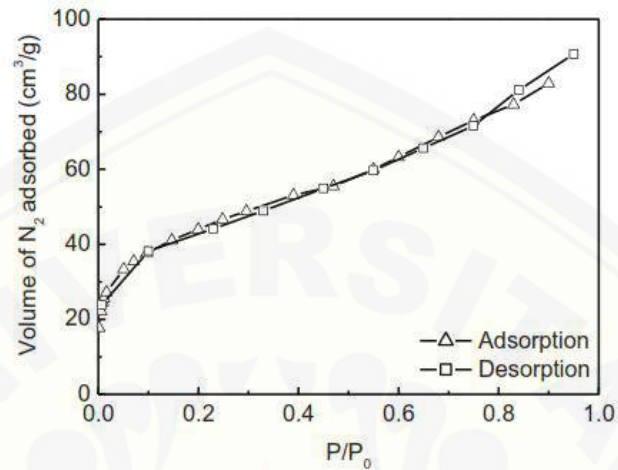


Gambar 2.8 Difraktogram sinar X (a) silika gel abu sekam padi suhu 700°C (SG700), (b) silika gel abu limbah industri batu-bata (SGL4), dan silika gel pembanding (SG60) (Hadi, *et al.*, 2013)

2.10 Adsorpsi-Desorpsi Gas Nitrogen (N_2)

Adsorpsi-desorpsi gas nitrogen merupakan uji kuantitatif untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume pori-pori dan diameter pori-pori. Menurut penelitian dari Affandi, *et al.*, (2009), tipe isothermal adsorpsi-desorpsi gas nitrogen pada silika xerogel yang dihasilkan pada pH 7 dan waktu *aging* 18 jam menunjukkan kurva isothermal adsorpsinya sama dengan tipe II yang merupakan jenis padatan tidak berpori atau padatan mesopori. Berdasarkan gambar kurva di bawah, meningkatnya

kecepatan awal jumlah gas yang diserap sebanding dengan meningkatnya tekanan gas yang diikuti kenaikannya secara lambat.



Gambar 2.9 Tipe isotermal adsorpsi-desorpsi gas nitrogen pada silika xerogel yang dihasilkan dari abu ampas tebu pada pH 7 dan waktu *aging* 18 jam (Affandi, *et al.*, 2009)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2015 sampai Januari 2016 di Laboratorium Kimia Organik, Kimia Dasar, Kimia Instrumentasi, dan Biokimia di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Karakterisasi FTIR dan XRD dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Karakterisasi adsorpsi-desorpsi gas N₂ dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Negeri Yogyakarta.

3.2 Alat dan Bahan

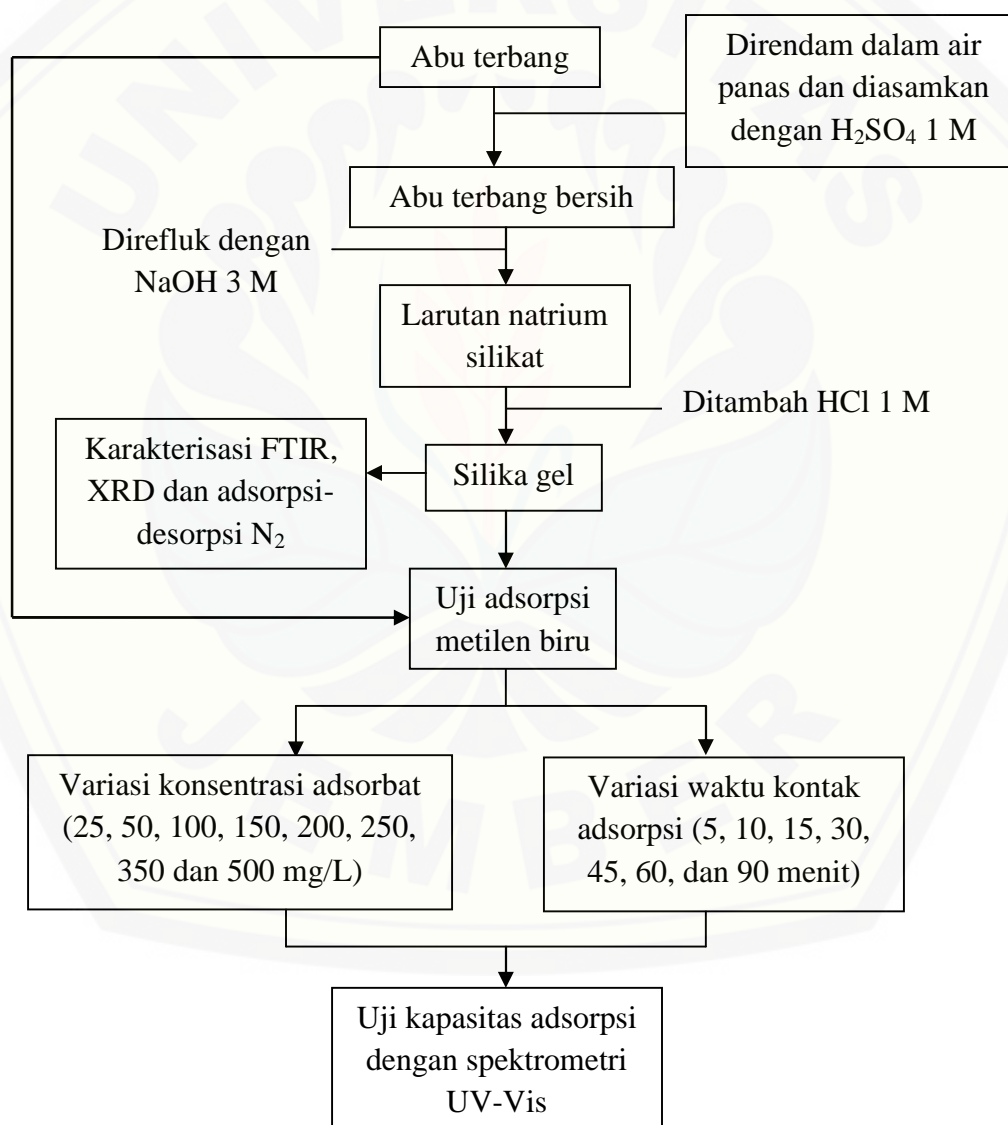
3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia 100 mL, 200 mL, 1000 mL; gelas ukur 25 mL, 100 mL; labu ukur 10 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL; pipet mohr 1 mL, 5 mL, pipet volume 10 mL; erlenmeyer 100 mL; *hot plate stirrer* HP-3000, pipet tetes, corong gelas, oven *MMM Medcenter*, penyaring buchner, kondensor, *furnace*, labu alas bulat leher tiga, termometer, penutup kaca, penutup gabus, cawan aluminium, selang, pompa air, statif, pengaduk magnet, neraca analitik *Ohaus*, kertas pH universal, gelas arloji, mortar, alu, cawan nikel, piknometer, *ball* pipet, desikator, spatula, pengaduk gelas, ayakan ukuran 200 mesh, set alat spektrometri UV-Vis (*UV-Vis Spectrophotometers 756 CRT*, Spektronik 20), alat penggongcang (*shaker*), XRD (*X-Ray Diffraction Phillips Expert, PW 1710* menggunakan radiasi Cu-K α), spektrometer FTIR (*Shimadzu IR, Prestige 21*), dan set alat adsorpsi-desorpsi gas N₂ (*Quantachrome Instrument Analysis*).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Paiton-Probolinggo, aquades, NaOH (Merck, 99%), HCl (Merck, 37%), H₂SO₄ (Merck, 96%), *methylene blue* (Merck, 82%), kertas saring *whatman* no. 41, kertas saring biasa yang halus.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Berbagai Larutan

a. Pembuatan Larutan NaOH 3 M

Pembuatan larutan NaOH 3 M dilakukan dengan cara melarutkan 120 gram NaOH dengan akuades ke dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas.

b. Pembuatan Larutan HCl 1 M

Pembuatan larutan HCl 1 M dilakukan dengan cara mengencerkan 83 mL larutan HCl 37% dengan akuades ke dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas.

c. Pembuatan Larutan H₂SO₄ 1 M

Pembuatan larutan H₂SO₄ 1 M dilakukan dengan cara mengencerkan 55,5 mL larutan H₂SO₄ 96% dengan akuades ke dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas.

d. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru

Larutan induk zat warna metilen biru 1000 mg/L disiapkan dengan cara melarutkan 1 gram zat warna metilen biru dengan akuades ke dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas.

e. Pembuatan Larutan Baku Metilen Biru

Pembuatan larutan baku metilen biru 500 mg/L dibuat dengan cara mengambil 500 mL larutan induk metilen biru, dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Pembuatan larutan metilen biru 25, 50, 100, 150, 200, 250, dan 350 mg/L dibuat dengan cara mengambil 5; 10; 20; 30, 40, 50, dan 70 mL dari larutan baku metilen biru 500 mg/L, dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas.

3.4.2 Preparasi Sampel

Preparasi sampel diadopsi dari metode yang dikembangkan oleh Retnosari (2013) dengan cara, sebanyak 50 gram sampel (*fly ash*) yang diambil dari PLTU Paiton-Probolinggo direndam dalam air panas sebanyak 400 mL selama 2 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* yang bertujuan untuk mengekstrak bahan organik larut air sehingga tidak menjadi pengotor dalam proses ekstraksi silika. Campuran abu terbang dengan air panas didekantasi, diambil filtratnya dan dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 60 °C selama 24 jam, kemudian dihaluskan dengan alu dan mortar. Selanjutnya proses pencucian sampel dengan larutan asam diadopsi dari penelitian Astuti dan Mahatmanti (2010) dengan cara, abu terbang yang sudah dihaluskan, ditimbang 10 g, dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL lalu diasamkan dengan 1 M H₂SO₄ sebanyak 50 mL selama 1 jam sambil diaduk menggunakan stirer magnetik untuk menghilangkan sisa pengotor logam oksida yang tidak bisa dihilangkan dengan air panas.

Campuran abu terbang dengan larutan 1 M H₂SO₄ disaring menggunakan corong buchner dan kertas saring *whatman* no. 41, sebelumnya kertas saring *whatman* no. 41 dioven selama 15 menit, ditimbang dan dicatat massanya, kemudian endapan abu terbang dibilas berkali-kali dengan akuades panas sampai filtrat bersifat netral. Filtrat yang bersifat netral dapat diketahui dari perubahan warna kertas pH universal ketika dicelupkan ke dalam filtrat, setelah endapan abu terbang netral kemudian dioven pada suhu 60 °C selama 24 jam. Endapan yang sudah kering ditimbang dan dihaluskan dengan alu dan mortar.

3.4.3 Pembuatan Silika Gel

Pembuatan silika gel diadopsi dari berbagai metode yang dikembangkan oleh Kalapathy, *et al.*, (2000), Pijarn, *et al.*, (2010), Pratomo, *et al.*, (2013), dan Hadi, *et al.*, (2013) dengan cara, sampel (*fly ash*) yang telah dipreparasi sebanyak 5 gram, dicampur dengan 3 M NaOH 60 mL dan direfluk selama 1 jam pada suhu 90 °C sambil diaduk menggunakan stirer magnetik. Selanjutnya campuran disaring

menggunakan corong buchner dan kertas saring *whatman* no. 41, sebelumnya kertas saring *whatman* no. 41 dioven selama 15 menit, ditimbang dan dicatat massanya. Endapan yang diperoleh kemudian dibilas dengan 50 mL akuades panas, filtrat (larutan Na_2SiO_3) yang diperoleh didinginkan dalam suhu kamar dan dicatat volumenya. Larutan Na_2SiO_3 disaring terlebih dahulu, kemudian ditambahkan HCl 1 M tetes demi tetes sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* sehingga terbentuk gel dan diteruskan sampai pH 7, kemudian didiamkan selama 18 jam dan ditutup dengan aluminium foil. Gel yang terbentuk disaring dengan corong buchner dan kertas saring *whatman* no. 41, sebelumnya kertas saring *whatman* no. 41 dioven selama 15 menit, ditimbang dan dicatat massanya. Gel yang diperoleh, dicuci dengan akuades sampai netral dan dikeringkan pada suhu 80 °C selama 12 jam. Silika gel dan kertas saring ditimbang dan dicatat massanya, kemudian digerus menggunakan alu dan mortar serta diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk silika gel dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 4 jam dalam *furnace*, selanjutnya ditimbang dan disimpan dalam desikator.

3.4.4 Perhitungan Rendemen Silika Gel

Rendemen dihitung dengan cara membandingkan massa silika gel dengan massa bahan baku (abu terbang). Rendemen dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Rendemen} = \frac{a}{b} \times 100\%$$

Di mana: a = massa silika hasil ekstraksi (g)

b = massa silika dalam *fly ash* (g)

3.4.5 Perhitungan Massa Jenis Larutan Na_2SiO_3

Perhitungan massa jenis Na_2SiO_3 dilakukan dengan cara, piknometer kosong ditimbang terlebih dahulu dan dicatat massanya, dimasukkan larutan Na_2SiO_3 ke

dalam piknometer sampai tanda batas, ditimbang dan dicatat massanya. Perhitungan massa jenis larutan Na_2SiO_3 dirumuskan sebagai berikut:

$$(\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{(m_{\text{pikno}+\text{Na}_2\text{SiO}_3} - m_{\text{pikno kosong}}) \text{ g}}{v (\text{cm}^3)}$$

3.4.6 Karakterisasi Silika Gel

a. Analisa Kualitatif dengan FTIR

Sampel (silika gel dan abu terbang) yang sudah halus ditimbang 0,001 gram, kemudian ditimbang sampel padat (bebas air) 0,001 gram. Ditambahkan KBr dan sampel dengan perbandingan massa 1:9 gram ke dalam *mortar* dan diaduk hingga keduanya rata. Cetakan *pellet* disiapkan kemudian mencuci bagian sampel, *base* dan *tablet frame* dengan kloroform. Sampel KBr yang telah dicampur, dimasukkan ke dalam set cetakan *pellet*, diletakkan cetakan pada pompa hidrolis dan diberi tekanan sebesar 8 *gauge*. *Pellet* KBr yang telah terbentuk dilepaskan dan ditempatkan pada *tablet holder*. Sampel dianalisa dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya pada bilangan gelombang $400 \text{ cm}^{-1} - 4.000 \text{ cm}^{-1}$ (Kurniyasari, 2012).

b. Analisa Kualitatif dengan XRD

Sampel ditimbang sebanyak 0,5-1 gram, dimasukkan dalam *sample holder*, dibaca difraktogram dengan *X-Ray* difraktometer. Sampel dianalisa pada panjang gelombang 1,5406 dengan sudut 2θ ($5^\circ-90^\circ$) (Kurniyasari, 2012).

c. Analisa Kuantitatif dengan Adsorpsi-Desorpsi N_2

1) Preparasi Sampel

1.1 *Dry sorbent*

Silika gel ditimbang 0,1 gram kemudian dipanaskan sekitar 200°C selama 2 jam untuk menghilangkan air yang terkandung di dalam sampel. Silika gel yang telah dipanaskan segera ditimbang kembali (Ali, 2012).

1.2 Proses *Degassing*

Proses *degassing* diadopsi dari metode yang dilakukan oleh Dawoud dan Aristov (2003) kemudian dikembangkan oleh Ali (2012) dengan cara, sampel *didegassing* menggunakan *heater* pada temperatur sekitar 150 °C selama 1 jam kemudian divakumkan selama 1,5-2 jam.

2) Proses Adsorpsi-Desorpsi N₂

Sampel diuji kapasitas adsorpsi-desorpsi dengan gas nitrogen (N₂).

3.4.7 Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Zat Warna Metilen Biru

a. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna Metilen Biru

Penentuan panjang gelombang maksimum zat warna metilen biru diadopsi dari metode yang dikembangkan oleh Widihati, *et al.*, (2011) dengan cara, panjang gelombang maksimum diukur menggunakan larutan dengan konsentrasi 2 mg/L pada panjang gelombang 400-700 nm dengan spektrofotometer UV-Vis. Data hasil pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis dirancang sesuai dengan Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Pengukuran Panjang Gelombang Metilen Biru

Panjang gelombang ()	Absorbansi
-----------------------	------------

b. Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru

Kurva kalibrasi larutan metilen biru dibuat dari konsentrasi 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, 5 ppm dan 6 ppm dengan cara mengambil 0,1 mL, 0,2 mL, 0,3 mL, 0,4 mL, 0,5 mL, dan 0,6 mL dari larutan baku metilen biru 100 mg/L, dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Masing-masing konsentrasi diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum metilen biru dengan spektrofotometer UV-Vis, dicatat nilai

absorbansinya, kemudian dibuat kurva kalibrasi absorbansi vs konsentrasi untuk mendapatkan persamaan regresi linier.

$$y = mx + a$$

di mana:

y = absorben

m = slope atau kemiringan dari kurva kalibrasi

x = konsentrasi

a = intersep atau perpotongan terhadap sumbu y

(Rozi, 2014).

c. Variasi Konsentrasi Adsorbat

Variasi konsentrasi adsorbat pada silika gel dan abu terbang diadopsi dari metode yang dikembangkan oleh Yully, *et al.*, (2015) dengan cara, larutan sampel dibuat dengan variasi konsentrasi larutan 25, 50, 100, 150, 200, 250, 350, dan 500 mg/L. Masing-masing larutan metilen biru diambil 25 mL, dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL, ditambahkan 0,1 gram adsorben pada erlenmeyer dan ditutup dengan aluminium foil. Selanjutnya diaduk menggunakan *shaker* dan kecepatan 120 rpm selama 60 menit (1 jam), setelah pengocokan selesai larutan disaring, diencerkan sebanyak 40 kali untuk masing-masing variasi konsentrasi dan filtrat diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Masing-masing konsentrasi adsorbat dibuat 3 buah sampel sehingga ada tiga kali pengulangan (triplo). Data hasil pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis disusun dalam bentuk Tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2 Variasi Konsentrasi Metilen Biru

Konsentrasi adsorbat (mg/L)	Pengulangan	Absorbansi
-----------------------------	-------------	------------

d. Variasi Waktu Kontak Adsorpsi

Metode variasi waktu kontak adsorpsi pada silika gel dan abu terbang diadopsi dari metode yang dikembangkan oleh Yully, *et al.*, (2015) dengan cara, sebanyak 0,1 gram adsorben dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 25 mL larutan sampel, ditutup dengan aluminium foil, dikocok menggunakan *shaker* dan kecepatan 120 rpm dengan variasi waktu kontak 5, 10, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit. Masing-masing variasi waktu kontak adsorpsi dibuat 3 buah sampel sehingga ada tiga kali pengulangan (triplo), setelah pengocokan selesai larutan disaring, diencerkan sebanyak 40 kali untuk masing-masing variasi waktu kontak dan filtrat diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Data hasil pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis disusun dalam bentuk Tabel 3.3 di bawah ini:

Tabel 3.3 Variasi Waktu Kontak Adsorpsi

Waktu kontak adsorpsi (menit)	Pengulangan	Absorbansi

3.5 Analisis Data

3.5.1 Efisiensi Adsorpsi

Perbedaan konsentrasi larutan metilen biru antara sebelum dan sesudah penyerapan silika gel menggunakan persamaan berikut:

$$q = \frac{(C_0 - C_f) \times V}{m}$$

$$\text{Efisiensi Adsorpsi Zat Warna (\%)} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100\%$$

di mana:

q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal larutan metilen biru (mg/L)

C_f = konsentrasi akhir larutan metilen biru setelah adsorpsi (mg/L)

V = volume larutan metilen biru (L)

m = massa silika gel (g)

(Alver dan Metin, 2012).

3.5.2 Penentuan Model Adsorpsi pada Proses Adsorpsi Metilen Biru

Isotermal adsorpsi digunakan untuk menentukan model adsorpsi dari proses adsorpsi yang terjadi. Model adsorpsi yang umumnya digunakan yaitu model Langmuir dan Freundlich. Kedua model ini masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda. Bentuk linier dari model adsorpsi Langmuir yaitu:

$$\frac{C_e}{a} = \frac{1}{K_L a_m} + \frac{1}{a_m} C_e$$

di mana:

C_e = konsentrasi saat kesetimbangan

a = jumlah yang diadsorp pada 1 g adsorben saat kesetimbangan

K_L = konstanta Langmuir

a_m = kapasitas adsorpsi saat terjadi kejenuhan

Bentuk linier dari model adsorpsi Freundlich yaitu:

$$\log a = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

di mana:

K_F = konstanta Freundlich

n = parameter dari persamaan Freundlich

(Zelentsov, *et al.*, 2012).

3.5.3 Model Kinetika Adsorpsi pada Proses Adsorpsi Metilen Biru

Model kinetika adsorpsi dijelaskan dalam dua jenis orde yaitu pseudo orde 1 dan pseudo orde 2. Bentuk linier pseudo orde 1 yaitu:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

di mana:

q_e = jumlah yang diadsorpsi saat kesetimbangan (mg/g)

q_t = jumlah yang diadsorpsi pada waktu t (mg/g)

k_1 = konstanta laju pseudo orde 1 (min^{-1})

t = waktu kontak (menit)

Bentuk linier pseudo orde 2 yaitu:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

di mana:

k_2 = konstanta laju pseudo orde 2 (g/mg.min)

(Chen, *et al.*, 2015).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Silika gel berhasil dibuat dengan metode *sol-gel* yang berasal dari bahan baku *fly ash* ditunjukkan dengan hasil FTIR adanya gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) berturut-turut pada bilangan gelombang $3435,34 \text{ cm}^{-1}$ dan $462,93 \text{ cm}^{-1}$ pada panjang gelombang daerah infra merah $400 \text{ cm}^{-1} - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Hasil XRD menunjukkan struktur silika gel berupa amorf dengan *peak* yang melebar pada sudut $2\theta = 5^{\circ}-15^{\circ}$ dan sudut $2\theta = 20^{\circ}-30^{\circ}$. Data kemampuan adsorpsi ditunjukkan dari karakterisasi adsorpsi-desorpsi gas nitrogen dengan diperoleh nilai luas permukaan $20,870 \text{ m}^2/\text{g}$, jari-jari pori $15,282$, dan volume pori-pori $0,077 \text{ cc/g}$.
2. Silika gel yang dihasilkan memiliki kemampuan adsorpsi mengikuti model Langmuir dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar $22,472 \text{ mg/g}$, kemampuan adsorpsi silika gel $27,64\%$ lebih baik dibandingkan *fly ash* yang kapasitas adsorpsinya $17,606 \text{ mg/g}$.
3. Kinetika adsorpsi silika gel mengikuti kinetika pseudo orde 2 dengan nilai kecepatan adsorpsinya $0,00486 \text{ g/mg.min}$, kecepatan adsorpsi silika gel $0,464$ kali lebih cepat dibandingkan *fly ash* yang kecepatan adsorpsinya $0,00332 \text{ g/mg.min}$.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan variasi yang lain seperti variasi massa adsorben dan variasi pH.
2. Adsorben silika gel perlu dilakukan modifikasi gugus fungsi atau modifikasi ukuran pori dan luas permukaan agar kapasitas adsorpsinya meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W., & Gast, A.P. 1997. *Physical Chemistry of Surfaces: Six Edition*. New York: John Willey & Son Inc.
- Affandi, Setyawan, Winardi, Purwanto, & Balgis. 2009. A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*. Vol 20: 468-472.
- Alberty, R.A. 1997. *Physical Chemistry*. New York: John Willey and Sons Inc.
- Ali, M.H. 2012. “Adsorpsi dan Desorpsi Gas Metana pada Bejana Bertekanan (Vessel) dengan Kenaikan Tekanan secara Bertahap”. Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jakarta: FT UI.
- Alver, E., & Metin, A.U. 2012. Anionic Dye Removal from Aqueous Solutions Using Modified Zeolite: Adsorption Kinetics and Isotherm Studies. *Chemical Engineering Journal*. (200-202): 59-67.
- Alzaydien, A.S. 2009. Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto a Low-Cost Natural Jordanian Tripoli. *American Journal of Environmental Sciences*. Vol 5 (3): 197-208.
- Anonim. 1999. Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999, tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Sekretariat Bapedal, Jakarta.
- Ariska, D. 2012. “Pemanfaatan Residu Bahan Bakar Batubara (Bottom Ash) sebagai Adsorben Zat Warna Reaktif dan Logam Berat (Cu dan Ni) dari Limbah Cair Tekstil dengan Reaktor Sistem Kontinyu”. Tesis. Semarang: FT Universitas Diponegoro.
- Asmuni. 2000. “Karakterisasi Pasir Kuasa (SiO₂) dengan Metode XRD”. Laporan Penelitian. Medan: FMIPA USU.
- Astuti, W., dan Mahatmanti, F.W. 2010. “Aktivasi Abu Layang Batubara dan Aplikasinya sebagai Adsorben Timbal dalam Pengolahan Limbah Elektroplating”. Laporan Tugas Akhir. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Atkins, P.W. 1990. *Physical Chemistry*. London: Oxford University Press.
- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Propinsi Jawa Barat. 2008. "Rencana Pengelolaan dan Penataan Das Cikapundung". Laporan Akhir. Bandung: BPLHD.
- Bahl, B.S., Tuli, G.D., & Bahl, A. 1997. *Essential of Physical Chemistry*. New Delhi: S. Chand and Company Ltd.
- Bansal, R.C., & Goyal, M. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. New York: Taylor and Francis Group.
- Beganskiene, Sirutkaitis, Kuartinaitiene, Juskenas, & Kareiva. 2004. FT-IR, TEM and NMR Investigations of Strober Silica Nanoparticles. *Material Science (Medziagotyra)*. Vol 10 (4): 287-290.
- Bregna, H. 1994. *The Colloid Chemistry of Silica*. Washington DC: American Chemical Society.
- Brinker, C.J., & Scherer, G.W. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. New York: Academic Press Inc.
- Brunauer, S., Emmet, P.H., & Teller, E. 1938. Adsorption of Gases In Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*. (60): 309-319.
- Chen, He, Lv, Xu, Yang, Liu, & Wei. 2015. Selective Adsorption of Cationic Dyes by UiO-66-NH₂. *Applied Surface Science*. (327): 77-85.
- Cotton dan Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Alih Bahasa oleh Sahati Sunarto. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Dawoud, B., & Aristov, Y. 2003. Experimental Study on The Kinetics of Water Vapor Sorption on Selective Water Sorbent, Silica Gel and Alumina under Typical Operating Conditions of Sorption Heat Pumps. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol 46 (2): 273-281.
- Dewi, P.S.L., Widodo, D.S., & Haris, A. 2013. Elektrokolorisasi Limbah Cair Zat Warna Batik dengan Elektroda PbO₂/Pb. *Journal of Power Sources*. 105-109.
- Electric Power Research Institute (EPRI). 2009. *Coal Ash: Characteristic, Management and Environmental Issues*. Technical Result. California: Electric Power Research Institute Inc.

- Ginting, F.D. 2008. "Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorber dengan Menggunakan Metanol 1000 mL sebagai Refrigeran". Skripsi. Jakarta: FT UI.
- Hadi, I., Arsa, M., & Sudiarta, I.W. 2013. Sintesis Silika Gel dari Abu Sekam Padi dan Abu Limbah Pembakaran Batu-Bata dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Kimia*. Vol 7 (1): 31-38.
- Hamdaoui, O., & Chiha, M. 2006. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran. *Acta Chimica*. (54): 407-418.
- Iler, R.K. 1978. *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Indrawati, Gunawan, & Widodo, D.S.. 2008. "Dekolorisasi Larutan Remazol Brilliant Blue Menggunakan Ozon Hasil Elektrolisis". Makalah Penelitian. Semarang: UNDIP.
- Itnawita, Hanifah, Merlinda, & Sanjaya. 2012. Pemurnian Zeolit dari Abu Layang (*Fly Ash*) dengan HCl dan Uji Absorptivitas untuk Remediasi Logam Cu dan Cr dari Limbah Cair Elektroplating. *Journal of Indonesian Chemistry Acta*. Vol 3 (1): 15-17.
- Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vol 73: 257-262.
- Kartika, S., Pujirahayu, A., & Widodo, H. 2009. "Modifikasi Limbah Fly Ash sebagai Adsorben Zat Warna Tekstil Congo Red yang Ramah Lingkungan dalam Upaya Mengatasi Pencemaran Industri Batik". Tidak Dipublikasikan. Proposal Lolos PKMP Dikti. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Keenan, C.W., Kleinfelter, D.C., & Wood, J.H. 1992. *Ilmu Kimia untuk Universitas Edisi Keenam Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Keller, J.U., & Reiner, S. 2005. *Gas Adsorption Equilibria: Experimental Methods and Adsorptive Isotherms*. Boston: Springer Science and Business Media Inc.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2006. *Pengelolaan Bahan dan Limbah Berbahaya dan Beracun*. www.lingkunganhidup.com.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Khopkar, S. M. 2008. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.

- Krim, L., Sahmoune, N., & Goma, B. 2006. Kinetics of Chromium Sorption on Biomass Fungi from Aqueous Solution. *American Journal of Environmental Sciences*. Vol 2 (1): 31-36.
- Kula, Erdogan, Olgun, Kalfa, & Sevinc. 2001. Effects of Colemanite Waste, Coal Bottom Ash and Fly Ash on The Properties of Cement. *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol 31 (3): 491-494.
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., & Purbaningias, T.E. 2013. Kinetic Study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *Jurnal EKSAKTA*. Vol 13 (1-2): 11-21.
- Kurniyasari. 2012. "Sintesis dan Karakterisasi Membran Komposit Alumina Silika Berpori dan Aplikasinya untuk Pemisahan Gas Metanol-Etanol". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jakarta: FMIPA UI.
- Laksono, E.W. 2009. "Kajian terhadap Aplikasi Kitosan sebagai Adsorben Ion Logam dalam Limbah Cair". Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Le, V.H., Thuc, C.N.H., & Thuc, H.H. 2013. Synthesis of Silica Nanoparticles from Vietnamese Rice Husk by Sol-Gel Method. *Nanoscale Research Letters a Springer Open Journal*. Vol 8 (1): 58.
- Lubis, S. 2009. Preparasi Katalis Cu/Silika Gel dari Kristobalit Alam Sabang serta Uji Aktivitasnya pada Reaksi Dehidrogenasi Etanol. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol 7 (1): 29-35.
- Manurung, R., Hasibuan, R., & Irvan. 2004. "Perombakan Zat Warna Azo Reaktif secara Anaerob – Aerob". Laporan Penelitian. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Waste Water Engineering*. New York: Mc Graw Hill International.
- Mohan, S., & Gandhimathi, R. 2009. Removal of Heavy Metal Ions from Municipal Solid Waste Leachate Using Coal Fly Ash as An Adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 169 (1): 351-359.
- Munawar. 2012. "Kinetika Sorpsi Ion Zink (II) pada Partikel Gambut". Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM: Sains, Teknologi dan Kesehatan. Medan: Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Nugroho, P., & Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: CV Andi Offset.

- Nur'aini, Anis. 2012. "Sintesis Silika Gel dari Abu Dasar Batubara dan Uji Adsorpsi terhadap Rhodamin B". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
- Nuryono & Narsito. 2005. Pengaruh Konsentrasi Asam terhadap Karakter Silika Gel Hasil Sintesis dari Natrium Silikat. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol 5 (1): 23-30.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Page, A.L., Elsewi, A.A., & Straughan, I.R. 1979. *Physical and Chemical Properties of Fly Ash from Coal Fired Power Plants with Reference to Environmental Impacts*. New York: Springer-Verlag Inc.
- Palupi, E. 2006. "Degradasi *Methylene Blue* dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂". Skripsi. Bogor: FMIPA IPB.
- Pijarn, Jaroenworuluck, Sunsaneeyametha, & Stevens. 2010. Synthesis and Characterization of Nanosized-Silica Gels Formed under Controlled Conditions. *Powder Technology*. (203): 462-468.
- Pratiwi, L., Ulfin, I., & W., Nurul. 2010. "Adsorpsi Metilen Biru dengan Abu Dasar PT. Ipmomi Probolinggo Jawa Timur dengan Metode Kolom". Tidak Dipublikasikan. Prosiding Skripsi Semester Genap 2009/2010. Surabaya: Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh November.
- Pratomo, I., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. 2013. Pengaruh Teknik Ekstraksi dan Konsentrasi HCl dalam Ekstraksi Silika dari Sekam Padi untuk Sintesis Silika Xerogel. *Kimia Student Journal*. Vol 2 (1): 358-364.
- Proctor, A., Clark, P.K., & Parker, C.A. 1995. Rice Hull Ash Adsorbent Performance Under Commercial Soy Oil Bleaching Conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. (72): 459-462.
- PT Pembangunan Jawa Bali Paiton. 2002. *Material Safety Data Sheet*. Probolinggo: PT Pembangunan Jawa Bali Unit Pembangunan Paiton.
- Rafiee, E., Shahebrahimi, S., Feyzi, M., & Shaterzadeh, M. 2012. Optimization of Synthesis and Characterization of Nanosilica Produced from Rice Husk (A Common Waste Material). *International Nano Letters A Springer Open Journal*. Vol 2 (1): 29.

- Retnosari, A. 2013. "Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika (SiO_2) Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Riapanitra, A., Setyaningtyas, T., & Riyani, K. 2006. Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi. *Jurnal Molekul*. Vol 1 (1): 41-44..
- Rouquerol, F., Rouquerol, J., & Sing, K. 1999. *Adsorption by Powders and Porous Solids Principles, Methodology and Applications*. London: Academic Press.
- Royani, Harmansyah, Rahman, Setyawan, & Yuwana. 2012. Pembuatan Silika Gel dari Abu Bagasse yang Dicangkok Gugus Amine secara In-Situ sebagai Adsorben Gas Karbon Dioksida (CO_2). *Jurnal Teknik Pomits*. Vol 1 (1): 1-4.
- Rozi, F. 2014. "Pemanfaatan Arang Aktif untuk Mendegradasi Raksa dalam Limbah Cair Hasil Proses Amalgamasi Emas". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jember: FMIPA Universitas Jember.
- Sastrohamidjojo, H. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Cetakan Pertama. Yogyakarta: Liberty.
- Sastrohamidjojo, H. 2007. *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.
- Sistesya, D., & Sutanto, H. 2013. Sifat Optis Lapisan ZnO: Ag yang Dideposisi di atas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD) dan Aplikasinya pada Degradasi Zat Warna Methylene Blue. *Youngster Physics Journal*. Vol 1 (4): 71-80.
- Siswoyo & Asnawati. 2007. *Analisis Spektrometri*. Jember: Kimia FMIPA Universitas Jember.
- Sriyanti, Taslimah, Nuryono, & Narsito. 2005. Pengaruh Keasaman Medium dan Imobilisasi Gugus Organik pada Karakter Silika Gel dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol 8 (3).
- Suherman, D., & Sumawijaya, N. 2013. Menghilangkan Warna dan Zat Organik Air Gambut dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Suasana Basa. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. Vol 23 (2): 125-137.
- Sugiarto, N. 2015. "Isolasi Silikon (Si) dari Fly Ash Batubara dengan Metode Metalotermis Menggunakan Reduktor Aluminium". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jember: FMIPA Universitas Jember.

- Sukardjo. 1985. *Kimia Fisika*. Yogyakarta: Bina Aksara.
- Sulastri, S., & Kristianingrum, S. 2010. *Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Suzuki, M. 1990. *Adsorption Engineering*. Tokyo: Kodansha Ltd.
- Tanasale, M.F.J.D.P., Killay, A., & Laratmase, M.S. 2012. Kitosan dari Limbah Kulit Kepiting Rajungan (*Portunus sanguinolentus* L.) sebagai Adsorben Zat Warna Biru Metilena. *Jurnal Natur Indonesia*. Vol 14 (2): 165-171.
- Tan, K.H. 1991. *Dasar-Dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Vogel, A.I. 1985. *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Wahab, Nemr, Sikaily, & Khaled. 2005. Use of Rice Husk for Adsorption of Direct Dyes from Aqueous Solution: A Case Study of Direct F. Scarlet. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. Vol 31 (1): 1-11.
- Widhianti, W. 2010. "Pembuatan Arang Aktif dari Biji Kapuk sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Surabaya: Fakultas Saintek Universitas Airlangga.
- Widihati, I.A.G., Diantariani, N.P., & Nikmah, Y.F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al_2O_3 . *Jurnal Kimia*. Vol 5 (1): 31-42.
- Wijaya, S., Eko, Fatimah, & K., Diyan. 2006. Utilisasi TiO_2 – Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *TEKNOIN*. Vol 11 (3): 199-209.
- Yully, A., Muhdarina, & Nurhayati. 2015. Bioarang Limbah Daun Ketapang (*Terminalia catappa* L.) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru dalam Larutan Berair. *JOM FMIPA*. Vol 2 (1): 246-252.
- Zelentsov, V., Datsko, T., & Dvornikova, E. 2012. Adsorption Models for Treatment of Experimental Data on Removal Fluorine from Water by Oxihydroxides of Aluminum. *ROMAI Journal*. Vol 8 (1): 209-215.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan

A. Pembuatan Larutan

A.1 Pembuatan Larutan NaOH 3 M

$$M = \frac{n \text{ (mol)}}{V \text{ (L)}}$$

$$M = \frac{(\text{massa}/M_r)}{V}$$

$$3M = \frac{\left(\frac{\text{massa}}{40 \text{ g/mol}}\right)}{1 \text{ L}}$$

$$\text{massa} = 3 \text{ mol/L} \times 1\text{L} \times 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{massa} = 120 \text{ gram}$$

A.2 Pembuatan Larutan HCl 1 M

$$M = \frac{\% \times \times 1000\text{g/kg}}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$M = \frac{37\% \times 1,19\text{kg/L} \times 1000\text{g/kg}}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$M = 12,06 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,06 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 82,92 \text{ mL} = 83 \text{ mL}$$

A.3 Pembuatan Larutan H₂SO₄ 1 M

$$M = \frac{\% \times \times 1000 \text{g/kg}}{98 \text{ g/mol}}$$

$$M = \frac{96\% \times 1,84 \text{kg/L} \times 1000 \text{g/kg}}{98 \text{ g/mol}}$$

$$M = 18,02 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$18,02 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 55,55 \text{ mL}$$

A.4 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 ppm

$$\text{ppm} = \frac{\text{g (massa)}}{1000 \text{ mL}}$$

$$1000 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mL}} = \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

A.5 Pembuatan Larutan Baku Metilen Biru 500 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 500 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 500 \text{ mL}$$

A.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi dari Larutan 100 ppm

(1) Konsentrasi 1 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 1 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ mL}$$

(2) Konsentrasi 2 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 2 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,2 \text{ mL}$$

(3) Konsentrasi 3 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 3 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,3 \text{ mL}$$

(4) Konsentrasi 4 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 4 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,4 \text{ mL}$$

(5) Konsentrasi 5 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

(6) Konsentrasi 6 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 6 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,6 \text{ mL}$$

A.7 Pembuatan Larutan Sampel dengan Variasi Konsentrasi

(1) Konsentrasi 25 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 25 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

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

(2) Konsentrasi 50 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

(3) Konsentrasi 100 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

(4) Konsentrasi 150 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 150 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 30 \text{ mL}$$

(5) Konsentrasi 200 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 200 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 40 \text{ mL}$$

(6) Konsentrasi 250 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 250 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 50 \text{ mL}$$

(7) Konsentrasi 350 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = 350 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 70 \text{ mL}$$

A.8 Pembuatan Larutan Sampel yang diencerkan setelah Proses Adsorpsi untuk Pengukuran Absorbansi

(1) Konsentrasi 25 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{25}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(2) Konsentrasi 50 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$50 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{50}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(3) Konsentrasi 100 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{100}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(4) Konsentrasi 150 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$150 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{150}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(5) Konsentrasi 200 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$200 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{200}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(6) Konsentrasi 250 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$250 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{250}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(7) Konsentrasi 350 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$350 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{350}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

(8) Konsentrasi 500 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ ppm} \times V_1 = \frac{500}{40} \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

B. Ekstraksi Silika Gel dari *Fly Ash* Batubara

B.1 Perhitungan Rendemen Silika Gel dari Abu Terbang

No	Massa <i>Fly Ash</i> (gram)	Massa Silika Gel (gram)	Rendemen (%)
1	10,036	0,229	6,196 – 7,543
2	10,025	0,215	5,823 – 7,089
3	10,037	0,201	5,437 – 6,621
4	10,023	0,223	6,042 – 7,355
5	10,022	0,203	5,500 – 6,695
6	10,032	0,207	5,602 – 6,820
7	10,032	0,219	5,927 – 7,216
8	10,029	0,295	7,986 – 9,723
9	10,012	0,240	6,509 – 7,923
10	10,031	0,279	7,553 – 9,196
Rata-rata massa silika gel		0,231	5,437 – 9,723

Kandungan silika dalam *fly ash* sebanyak 30,25 – 36,83% (PJB Paiton, 2002), sehingga menurut teori:

$$\text{Massa SiO}_2 = \text{Massa Fly Ash} \times \frac{30,25}{100} = 10,036 \text{ g} \times \frac{30,25}{100} = 3,036 \text{ g}$$

$$\text{Massa SiO}_2 = \text{Massa Fly Ash} \times \frac{36,83}{100} = 10,036 \text{ g} \times \frac{36,83}{100} = 3,696 \text{ g}$$

Jadi, rendemen silika gel hasil ekstraksi yaitu:

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{massa silika hasil ekstraksi}}{\text{massa silika dalam fly ash}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen} = \frac{0,229}{3,036} \times 100\% = 7,543 \%$$

$$\text{Rendemen} = \frac{0,229}{3,696} \times 100\% = 6,196 \%$$

B.2 Volume Larutan Na₂SiO₃ Hasil Ekstraksi dari *Fly Ash*

Massa <i>fly ash</i> (gram)	Volume Na ₂ SiO ₃ (mL)
10,036	100
10,025	100
10,037	100
10,023	95
10,022	95
10,032	95
10,032	95
10,029	95

B.3 Perhitungan Massa Jenis Larutan Na₂SiO₃

No	Massa piknometer kosong (gram)	Volume larutan Na ₂ SiO ₃ (mL)	Massa piknometer + larutan Na ₂ SiO ₃ (gram)	Massa larutan Na ₂ SiO ₃ (gram)	Massa jenis larutan Na ₂ SiO ₃ (g/mL)
1.	27,729	10	38,569	10,840	1,084
2.	27,825	10	38,566	10,741	1,074
3.	27,842	10	38,564	10,723	1,072
Rata – rata massa jenis Na ₂ SiO ₃					1,077

$$(\text{g/mL}) = \frac{\text{massa (gram)}}{\text{volume (mL)}}$$

$$\rho_1 = \frac{m}{v} = \frac{10,840 \text{ gram}}{10 \text{ mL}} = 1,084 \text{ g/mL}$$

$$\rho_3 = \frac{m}{v} = \frac{10,723 \text{ gram}}{10 \text{ mL}} = 1,072 \text{ g/mL}$$

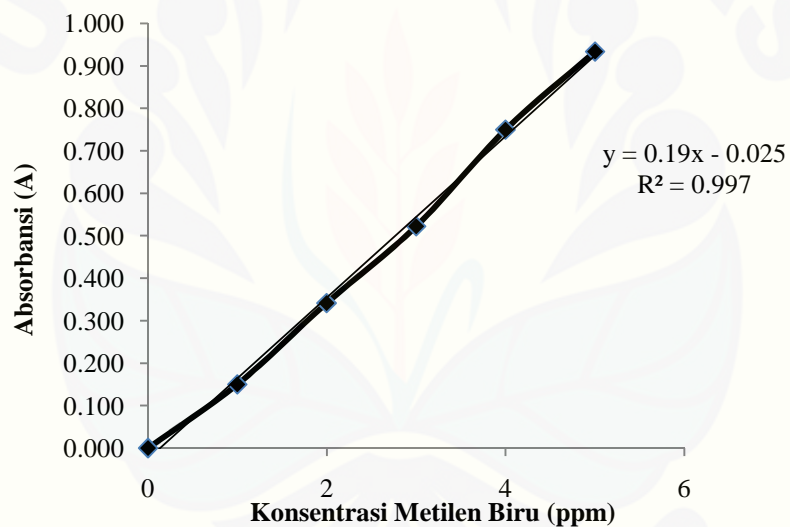
$$\rho_2 = \frac{m}{v} = \frac{10,741 \text{ gram}}{10 \text{ mL}} = 1,074 \text{ g/mL}$$

$$\bar{\rho} = \frac{(1,084 + 1,074 + 1,072) \text{ g/mL}}{3} = 1,077 \text{ g/mL}$$

C. Kurva Kalibrasi Larutan Metilen Biru dengan Konsentrasi 0-6 ppm

C.1 Kurva Kalibrasi Metilen Biru

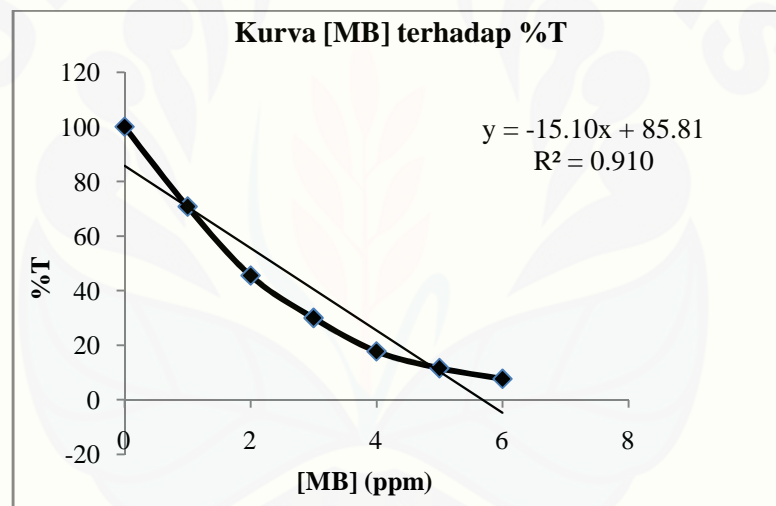
Konsentrasi Metilen Biru	Absorbansi
0 ppm	0,000
1 ppm	0,150
2 ppm	0,341
3 ppm	0,522
4 ppm	0,750
5 ppm	0,934



Berdasarkan gambar kurva di atas, dihasilkan persamaan garis lurus $y = 0,19x - 0,0254$.

C.2 Kurva Konsentrasi Metilen Biru terhadap Transmitan

Konsentrasi Metilen Biru (ppm)	%T
0	100
1	70,795
2	45,561
3	30,040
4	17,783
5	11,648
6	7,741



➤ Konsentrasi 0 ppm – 6 ppm

$$T (\text{transmitan}) = 10^{-A}$$

$$T = 10^{-0,150}$$

$$T = 0,708$$

$$\%T = 0,708 \times 100\% = 70,8\%$$

D. Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru Awal dan Konsentrasi Asli dari Larutan Metilen Biru

Konsentrasi Metilen Biru (ppm)	Absorbansi	[MB]awal (mg/L)	Pengenceran	[MB]asli (mg/L)
25	0,085	0,579	40	23,165
50	0,227	1,328	40	53,122
100	0,451	2,509	40	100,380
150	0,772	4,203	40	168,101
200	1,136	6,122	40	244,895
250	1,398	7,507	40	300,274
350	1,815	9,706	40	388,249
500	2,578	13,727	40	549,090

Menggunakan persamaan garis lurus $y = 0,19x - 0,0254$, di mana $y =$ absorbansi, $x =$ [MB]awal (mg/L).

➤ Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$y \text{ (absorbansi)} = 0,19x - 0,0254$$

$$0,085 = 0,19x - 0,0254$$

$$0,085 + 0,0254 = 0,19x$$

$$0,579 = x$$

$$0,579 \text{ mg/L} = [\text{MB}]_{\text{awal}}$$

$$[\text{MB}]_{\text{asli}} = [\text{MB}]_{\text{awal}} \times \text{fp}$$

$$[\text{MB}]_{\text{asli}} = 0,579 \text{ mg/L} \times 40$$

$$[\text{MB}]_{\text{asli}} = 23,165 \text{ mg/L}$$

E. Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru yang Terserap Setelah Proses Adsorpsi oleh Silika Gel dan Abu Terbang dengan Variasi Konsentrasi

A. Silika Gel

Variasi Konsentrasi	Pengenceran	Absorbansi	[MB]sisa (mg/L)	Total [MB]sisa (mg/L)
25 ppm	40	0,027	0,275	11,003
	40	0,015	0,207	8,294
	40	0,011	0,190	7,599
50 ppm	40	0,044	0,364	14,566
	40	0,038	0,333	13,323
	40	0,045	0,370	14,809
100 ppm	40	0,216	1,268	50,724
	40	0,212	1,250	49,996
	40	0,216	1,269	50,762
150 ppm	40	0,358	2,022	80,862
	40	0,374	2,105	84,195
	40	0,372	2,091	83,658
200 ppm	40	0,627	3,439	137,545
	40	0,648	3,549	141,976
	40	0,636	3,487	139,496
250 ppm	40	0,685	3,745	198,247
	40	0,684	3,739	197,851
	40	0,686	3,751	197,610
350 ppm	40	0,755	4,114	294,897
	40	0,754	4,108	294,656
	40	0,754	4,110	293,183

	40	0,852	4,624	457,274
500 ppm	40	0,853	4,630	456,775
	40	0,850	4,613	456,432

Konsentrasi Awal	[MB]eq (mg/L)	Rata-rata	[MB]ads (mg/L)	Rata-rata	[MB]ads (mg/g)	Rata-rata
	11,874		13,126		3,281	
25,00	8,951	9,676	16,049	15,324	4,012	3,831
	8,201		16,799		4,200	
	13,709		36,291		9,073	
50,00	12,539	13,396	37,461	36,604	9,365	9,151
	13,938		36,062		9,015	
	50,532		49,468		12,367	
100,00	49,807	50,303	50,193	49,697	12,548	12,424
	50,570		49,430		12,358	
	72,155		77,845		19,461	
150,00	75,129	73,978	74,871	76,022	18,718	19,006
	74,649		75,351		18,838	
	112,330		87,670		21,918	
200,00	115,948	114,067	84,052	85,064	21,013	21,483
	113,923		86,077		21,519	
	165,055		84,945		21,236	
250,00	164,725	164,768	85,275	85,275	21,319	21,308
	164,525		85,475		21,369	
	265,845		84,155		21,039	
350,00	265,628	265,258	84,372	84,742	21,093	21,186
	264,300		85,700		21,425	

	416,393		83,607		20,902	
500,00	415,938	415,986	84,062	83,835	21,016	21,004
	415,626		84,374		21,093	

Menggunakan persamaan garis lurus $y = 0,19x - 0,0254$, di mana $y =$ absorbansi, $x =$ [MB]sisa (mg/L).

➤ Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$y \text{ (absorbansi)} = 0,19x - 0,0254$$

$$0,027 + 0,0254 = 0,19x$$

$$0,275 = x$$

$$0,275 \text{ mg/L} = [\text{MB}]_{\text{sisa}}$$

$$\text{Total } [\text{MB}]_{\text{sisa}} = [\text{MB}]_{\text{sisa}} \times \text{fp}$$

$$\text{Total } [\text{MB}]_{\text{sisa}} = 0,275 \text{ mg/L} \times 40$$

$$\text{Total } [\text{MB}]_{\text{sisa}} = 11,003 \text{ mg/L}$$

(a) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$(1) [\text{MB}]_{\text{eq}} = \text{Total } [\text{MB}]_{\text{sisa}} \times \left(\frac{[\text{MB}]_{\text{awal}}}{[\text{MB}]_{\text{asli}}} \right)$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = 11,003 \text{ mg/L} \times \left(\frac{25,00 \text{ mg/L}}{23,165 \text{ mg/L}} \right)$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = 11,874 \text{ mg/L}$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = \frac{20,186 + 8,9514 + 8,201}{3} \text{ (mg/L)} = 9,676 \text{ mg/L}$$

(2) $[\text{MB}]_{\text{ads}} = [\text{MB}]_{\text{awal}} - [\text{MB}]_{\text{eq}}$

$$[\text{MB}]_{\text{ads}} = 25,00 \text{ mg/L} - 11,874 \text{ mg/L}$$

$$[\text{MB}]_{\text{ads}} = 13,126 \text{ mg/L}$$

$$[\text{MB}]_{\text{ads}} = \frac{13,126 + 16,049 + 16,799}{3} \text{ (mg/L)} = 15,324 \text{ mg/L}$$

$$(3)[\text{MB}]_{\text{ads}} (\text{mg/g}) = [\text{MB}]_{\text{ads}} (\text{mg/L}) \times \left(\frac{\text{volume MB}/1000 \text{ L/mL}}{\text{massa adsorben}} \right)$$

$$[\text{MB}]_{\text{ads}} (\text{mg/g}) = 13,126 \text{ mg/L} \times \left(\frac{25 \text{ mL}/1000 \text{ L/mL}}{0,1 \text{ gram}} \right)$$

$$[\text{MB}]_{\text{ads}} (\text{mg/g}) = 3,281 \text{ mg/g}$$

$$[\text{MB}]_{\text{ads}} (\text{mg/g}) = \frac{3,281 + 4,012 + 4,200}{3} (\text{mg/g}) = 3,831 \text{ mg/g}$$

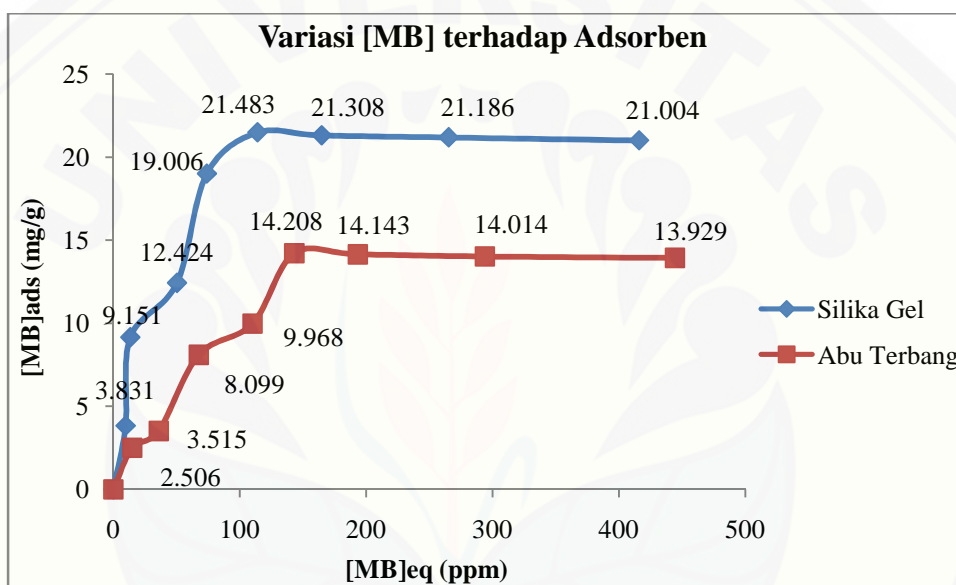
B. Abu Terbang

Variasi Konsentrasi	Pengenceran	Absorbansi	[MB]sisa (mg/L)	Total [MB]sisa (mg/L)
25 ppm	40	0,038	0,330	13,214
	40	0,041	0,348	13,903
	40	0,044	0,363	14,517
50 ppm	40	0,158	0,962	38,496
	40	0,156	0,956	38,246
	40	0,154	0,945	37,805
100 ppm	40	0,290	1,660	66,390
	40	0,300	1,712	68,495
	40	0,301	1,717	68,695
150 ppm	40	0,560	3,084	123,344
	40	0,562	3,096	123,859
	40	0,558	3,076	123,050
200 ppm	40	0,809	4,398	175,906
	40	0,807	4,387	175,465
	40	0,803	4,363	174,539
250 ppm	40	0,856	4,644	232,813
	40	0,855	4,642	232,288
	40	0,854	4,636	231,872

350 ppm	40	0,896	4,855	326,062
	40	0,895	4,853	325,958
	40	0,894	4,847	326,176
500 ppm	40	0,939	5,082	495,048
	40	0,937	5,074	473,875
	40	0,938	5,079	494,786

Konsentrasi	[MB]eq	Rata-	[MB]ads	Rata-	[MB]ads	Rata-
Awal	(mg/L)	rata	(mg/L)	rata	(mg/g)	rata
25,00	14,261	14,978	10,739	10,022	2,685	2,506
	15,004		9,996		2,499	
	15,668		9,332		2,333	
50,00	36,233	35,938	13,767	14,062	3,442	3,515
	35,998		14,002		3,500	
	35,583		14,417		3,604	
100,00	66,139	67,603	33,861	32,397	8,465	8,099
	68,236		31,764		7,941	
	68,435		31,565		7,891	
150,00	110,062	110,128	39,938	39,872	9,984	9,968
	110,522		39,478		9,869	
	109,800		40,200		10,050	
200,00	143,658	143,166	56,342	56,834	14,085	14,208
	143,298		56,702		14,175	
	142,542		57,458		14,365	
250,00	193,834	193,427	56,166	56,573	14,041	14,143
	193,396		56,604		14,151	
	193,050		56,950		14,237	

	293,940		56,060		14,015	
350,00	293,847	293,943	56,153	56,057	14,038	14,014
	294,042		55,958		13,989	
	450,789		49,211		12,303	
500,00	431,510	444,283	68,490	55,717	17,123	13,929
	450,551		49,449		12,362	

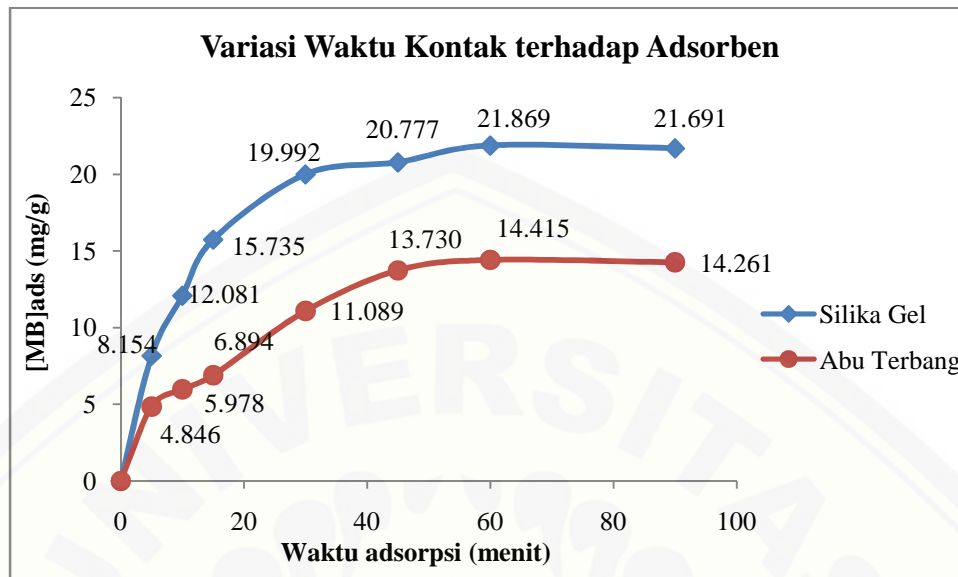


F. Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru yang Terserap Setelah Proses Adsorpsi oleh Silika Gel dan Abu Terbang dengan Variasi Waktu Kontak Adsorpsi.

A. Silika Gel

Variasi Waktu	Pengenceran	Absorbansi	[MB]sisa (mg/L)	[MB]sisa Total (mg/L)
5 menit	40	0,944	5,112	204,482
	40	0,949	5,136	205,434
	40	0,947	5,124	204,955
10 menit	40	0,858	4,658	186,324
	40	0,851	4,622	184,869
	40	0,857	4,649	185,972
15 menit	40	0,773	4,210	168,403
	40	0,770	4,192	167,670
	40	0,769	4,185	167,402
30 menit	40	0,681	3,725	148,982
	40	0,651	3,567	142,675
	40	0,683	3,732	149,263
45 menit	40	0,668	3,652	146,100
	40	0,644	3,530	141,190
	40	0,649	3,553	142,110
60 menit	40	0,656	3,538	143,508
	40	0,658	3,601	144,029
	40	0,657	3,595	143,808
90 menit	40	0,630	3,454	138,166
	40	0,635	3,482	139,261
	40	0,632	3,463	138,533

Konsentrasi Awal	[MB]eq (mg/L)	Rata- rata	[MB]ads (mg/L)	Rata- rata	[MB]ads (mg/g)	Rata- rata
	166,996		33,004		8,251	
200,00	167,774	167,384	32,226	32,616	8,057	8,154
	167,382		32,618		8,155	
	152,167		47,833		11,958	
200,00	150,979	151,675	49,021	48,325	12,255	12,081
	151,879		48,121		12,030	
	137,531		62,469		15,617	
200,00	136,933	137,059	63,067	62,941	15,767	15,735
	136,713		63,287		15,822	
	121,670		78,330		19,582	
200,00	116,520	120,030	83,480	79,970	20,870	19,992
	121,900		78,100		19,525	
	119,317		80,683		20,171	
200,00	115,307	116,894	84,693	83,106	21,173	20,777
	116,058		83,942		20,985	
	119,499		87,501		22,375	
200,00	117,626	112,523	82,374	87,477	20,594	21,869
	117,445		82,555		20,639	
	112,837		87,163		21,791	
200,00	113,732	113,235	86,268	86,765	21,567	21,691
	113,137		86,863		21,716	



G. Efisiensi Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

A. Silika Gel

➤ Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = \left(\frac{25,000 - 9,676}{25,000} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = 61,298\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{61,298\% + 73,209\% + 49,697\% + 50,681\% + 42,967\% + 34,093\% + 16,803\% + 24,212\%}{8}$$

$$\text{Rata-rata} = 44,120\%$$

B. Abu Terbang

➤ Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = \left(\frac{25,000 - 14,978}{25,000} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = 14,702\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{40,089\% + 28,124\% + 32,397\% + 26,581\% + 28,417\% + 22,629\% + 11,143\% + 16,016\%}{8}$$

$$\text{Rata-rata} = 25,675\%$$

Adsorben		
Efisiensi Adsorpsi (%)	Silika Gel	Abu Terbang
	44,120%	25,675%

H. Perhitungan Model Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

A. Silika Gel

(1) Model Langmuir

(a) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = \left(\frac{[\text{MB}]_{\text{eq}} (\text{mg/L})}{M_r \text{ MB}} \right) \times \text{massa adsorben}$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = \left(\frac{9,676 \text{ mg/L}}{319,85 \text{ g/mol}} \right) \times 0,1 \text{ gram}$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = 3,025 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

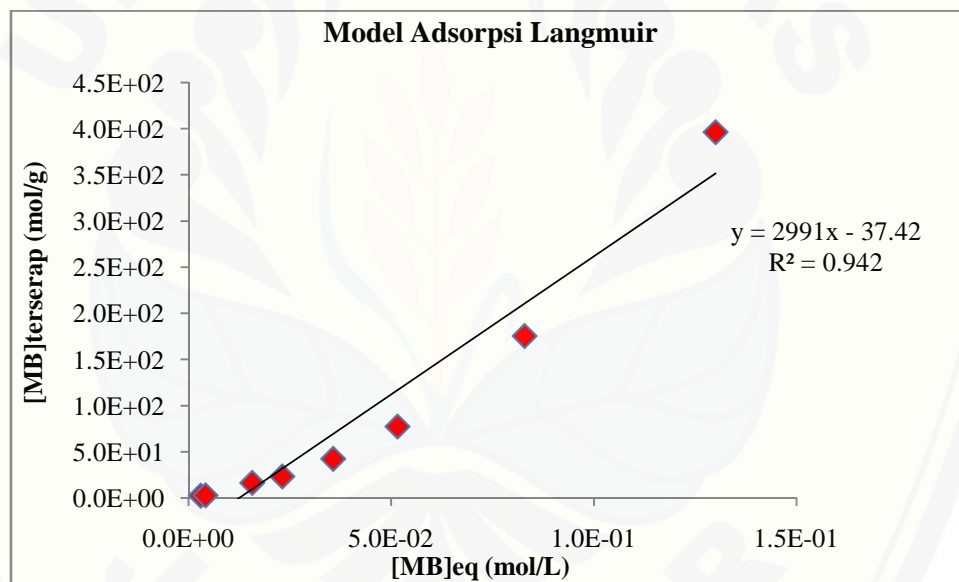
(b) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$[\text{MB}]_{\text{terserap}} = \left(\frac{[\text{MB}] (\text{mol/L})}{\text{Volume MB}} \right) \times [\text{MB}]_{\text{awal}} (\text{mg/L})$$

$$[\text{MB}]_{\text{terserap}} = \left(\frac{2,526 \text{ mol/L}}{0,025 \text{ L}} \right) \times 0,025 \text{ g/mL}$$

$$[\text{MB}]_{\text{terserap}} = 2,526 \text{ mol/g}$$

[MB]eq (mol/L)	MB terserap (mol/g)
$3,025 \times 10^{-3}$	2,526
$4,188 \times 10^{-3}$	2,928
$1,573 \times 10^{-2}$	16,195
$2,313 \times 10^{-2}$	23,355
$3,566 \times 10^{-2}$	42,477
$5,151 \times 10^{-2}$	77,327
$8,293 \times 10^{-2}$	175,29
$1,301 \times 10^{-1}$	396,11



(2) Model Freundlich

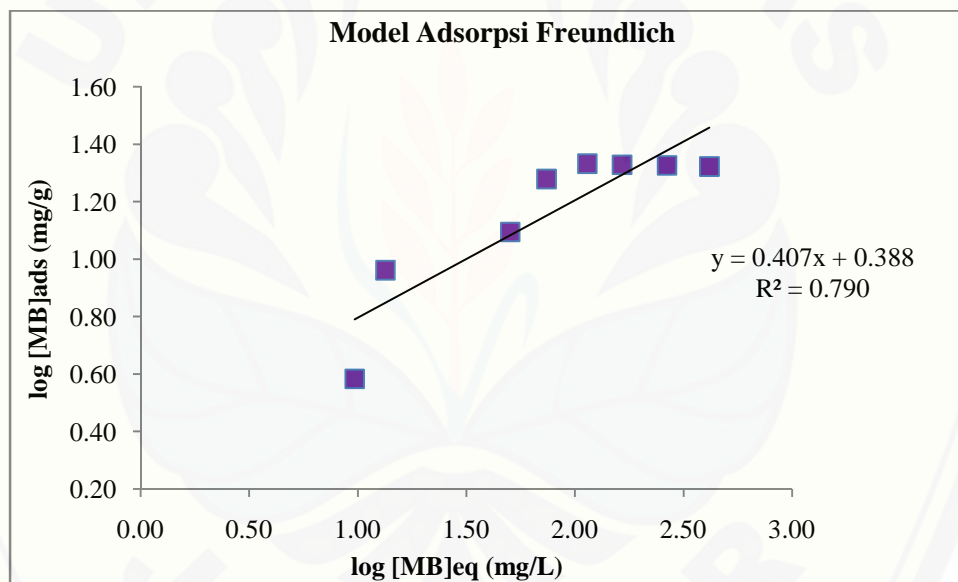
(a) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$\log([\text{MB}]_{\text{eq}}) = \log(9,676 \text{ mg/L}) = 0,986 \text{ mg/L}$$

(b) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$\log([\text{MB}]_{\text{ads}}) = \log(3,831 \text{ mg/g}) = 0,583 \text{ mg/g}$$

$\log [\text{MB}]_{\text{eq}} \text{ (mg/L)}$	$\log [\text{MB}]_{\text{ads}} \text{ (mg/g)}$
0,986	0,583
1,127	0,961
1,702	1,094
1,869	1,279
2,057	1,332
2,217	1,329
2,424	1,326
2,619	1,322



B. Abu Terbang

(1) Model Langmuir

(a) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = \left(\frac{[\text{MB}]_{\text{eq}} \text{ (mg/L)}}{M_r \text{ MB}} \right) \times \text{massa adsorben}$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = \left(\frac{14,978 \text{ mg/L}}{319,85 \text{ g/mol}} \right) \times 0,1 \text{ gram}$$

$$[\text{MB}]_{\text{eq}} = 4,683 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

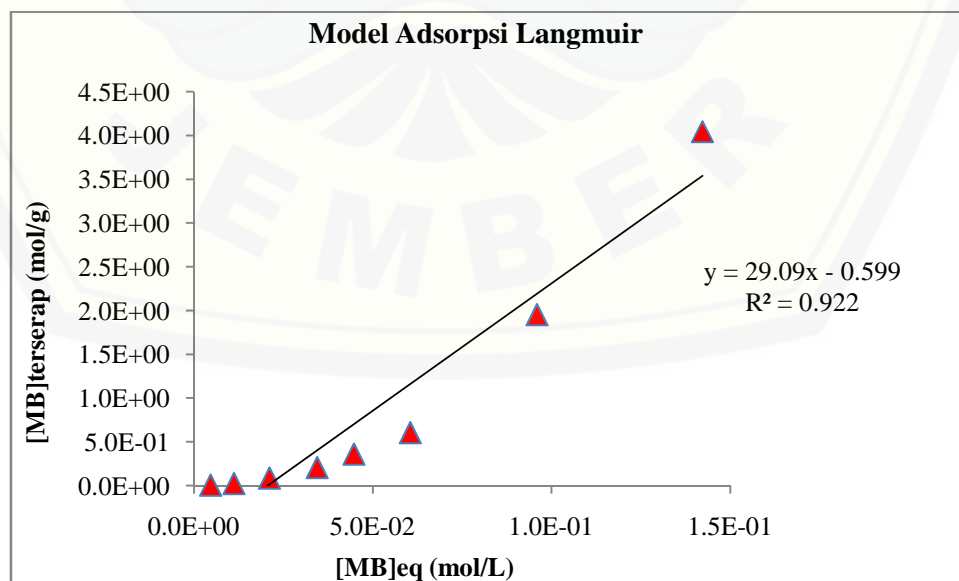
(b) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$[\text{MB}]_{\text{terserap}} = \left(\frac{[\text{MB}]_{\text{eq}} (\text{mol/L})}{\text{Volume MB}} \right) \times [\text{MB}]_{\text{awal}} (\text{mg/L})$$

$$[\text{MB}]_{\text{terserap}} = \left(\frac{4,683 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{0,025 \text{ L}} \right) \times 0,025 \text{ mg/L}$$

$$[\text{MB}]_{\text{terserap}} = 4,683 \times 10^{-3} \text{ mol/g}$$

$[\text{MB}]_{\text{eq}} (\text{mol/L})$	$[\text{MB}]_{\text{terserap}} (\text{mol/g})$
$4,683 \times 10^{-3}$	$4,683 \times 10^{-3}$
$1,124 \times 10^{-2}$	$2,247 \times 10^{-2}$
$2,114 \times 10^{-2}$	$8,454 \times 10^{-2}$
$3,443 \times 10^{-2}$	$2,066 \times 10^{-1}$
$4,476 \times 10^{-2}$	$3,581 \times 10^{-1}$
$6,047 \times 10^{-2}$	$6,047 \times 10^{-1}$
$9,590 \times 10^{-2}$	1,951
$1,422 \times 10^{-1}$	4,043



(2) Model Freundlich

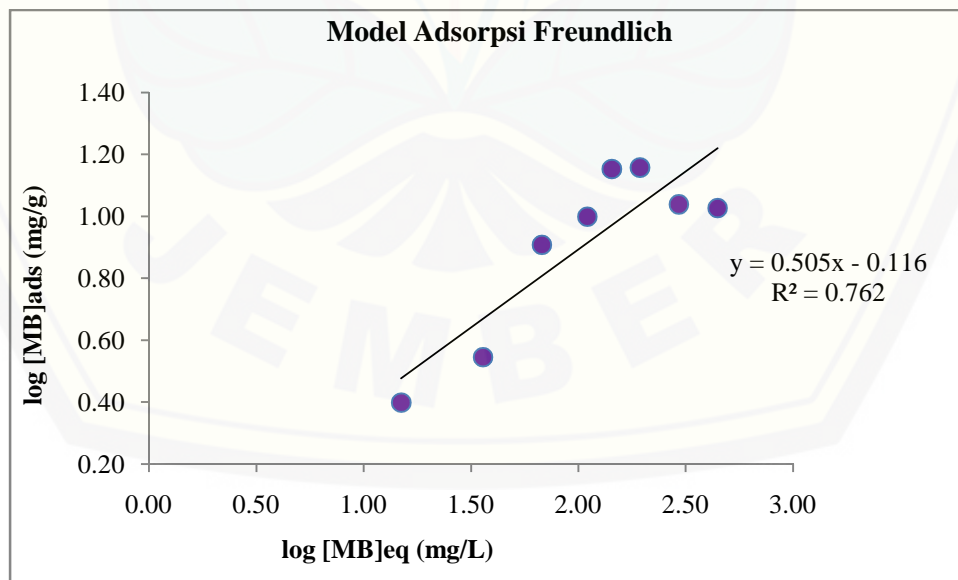
(a) Konsentrasi 25 ppm – 500 ppm

$$\log([\text{MB}]_{\text{eq}}) = \log(14,978 \text{ mg/L}) = 1,175 \text{ mg/L}$$

(b) Konsentrasi 25 ppm

$$\log([\text{MB}]_{\text{ads}}) = \log(2,506 \text{ mg/g}) = 0,422 \text{ mg/g}$$

$\log [\text{MB}]_{\text{eq}} \text{ (mg/L)}$	$\log [\text{MB}]_{\text{ads}} \text{ (mg/g)}$
1,175	0,399
1,556	0,546
1,830	0,908
2,042	0,999
2,156	1,153
2,287	1,158
2,468	1,039
2,648	1,027



$$\text{Peningkatan kapasitas adsorpsi} = \frac{(q_e \text{ silika gel} - q_e \text{ abu terbang}) \text{ mg/g}}{q_e \text{ abu terbang (mg/g)}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan kapasitas adsorpsi} = \frac{(22,472 - 17,606) \text{ mg/g}}{17,606 \text{ mg/g}} \times 100\% = 27,64\%$$

I. Perhitungan Model Kinetika Adsorpsi

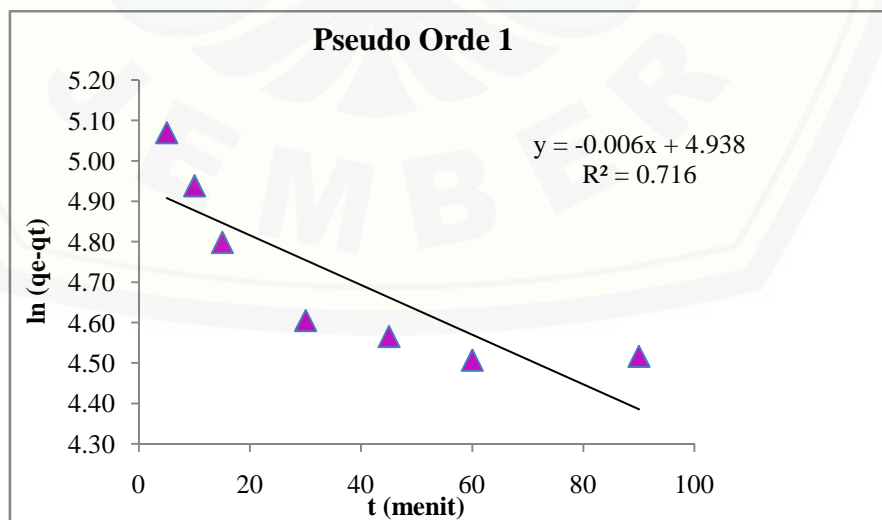
A. Silika Gel

(1) Pseudo Orde 1

➤ Waktu 5 menit – 90 menit

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(167,384 \text{ mg/L} - 8,154 \text{ mg/g}) = 5,070 \text{ g/L}$$

t (menit)	$\ln(q_e - q_t)$
5	5,070
10	4,939
15	4,798
30	4,606
45	4,566
60	4,507
90	4,517



$$\ln q_e = C \quad q_e = e^C = e^{4,9387} = 139,589 \text{ mg/g}$$

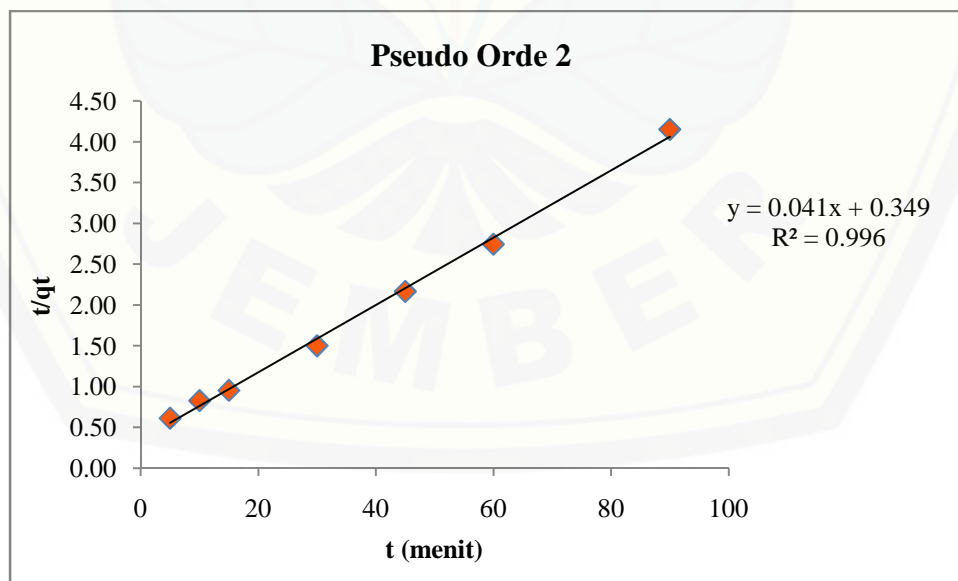
$$m = k_1 \quad k_1 = 0,0061 \text{ min}^{-1}$$

(2) Pseudo Orde 2

➤ Waktu 5 menit – 90 menit

$$t/q_t = 5 \text{ menit} / 8,154 \text{ mg/g} = 0,613$$

t (menit)	t/q _t
5	0,613
10	0,828
15	0,953
30	1,501
45	2,166
60	2,744
90	4,149



$$q_e = 1/\text{slope} = 1/0,0412 = 24,272 \text{ mg/g}$$

$$k_2 = \frac{1}{((q_e \times q_e) \times C)} = \frac{1}{((24,272 \text{ mg/g} \times 24,272 \text{ mg/g}) \times 0,3494)} = 0,00486 \text{ g/mg.min}$$

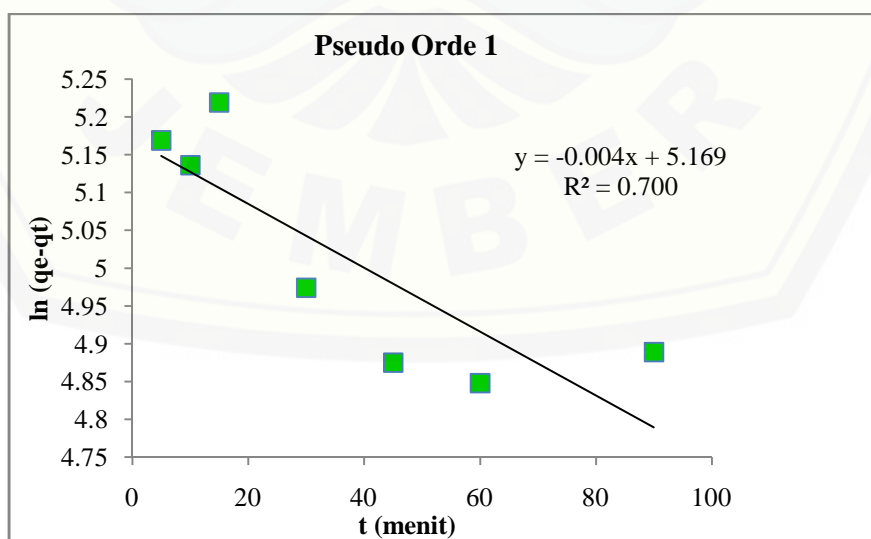
B. Abu Terbang

(1) Pseudo Orde 1

➤ Waktu 5 menit – 90 menit

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(180,618 \text{ mg/L} - 4,846 \text{ mg/g}) = 5,169 \text{ g/L}$$

t (menit)	ln(qe-qt)
5	5,169
10	5,136
15	5,219
30	4,974
45	4,875
60	4,848
90	4,889



$$\ln q_e = C \quad q_e = e^C = e^{5,1697} = 175,862 \text{ mg/g}$$

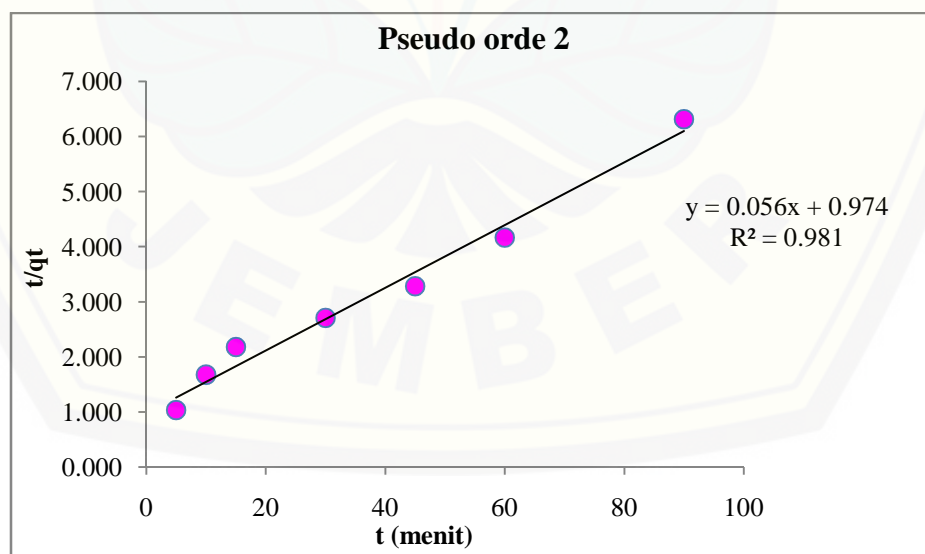
$$m = k_1 \quad k_1 = 0,0042 \text{ min}^{-1}$$

(2) Pseudo Orde 2

➤ Waktu 5 menit – 90 menit

$$t/q_t = 5 \text{ menit} / 4,846 \text{ mg/g} = 1,032$$

t (menit)	t/q _t
5	1,032
10	1,673
15	2,176
30	2,705
45	3,278
60	4,162
90	6,311



$$q_e = 1/\text{slope} = 1/0,0569 = 17,575 \text{ mg/g}$$

$$k_2 = \frac{1}{((q_e \times q_e) \times C)} = \frac{1}{((17,575 \text{ mg/g} \times 17,575 \text{ mg/g}) \times 0,9746)} = 0,00332 \text{ g/mg.min}$$

$$\text{Peningkatan kecepatan adsorpsi} = \frac{(k_2 \text{ silika gel} - k_2 \text{ abu terbang}) \text{ g/mg.min}}{k_2 \text{ abu terbang (g/mg.min)}}$$

$$\text{Peningkatan kecepatan adsorpsi} = \frac{0,00486 \text{ g/mg.min} - 0,00332 \text{ g/mg.min}}{0,00332 \text{ g/mg.min}} = 0,464$$

Lampiran 2. Gambar Proses Adsorpsi Metilen Biru pada Adsorben Silika Gel dan Abu Terbang

A. (a) Larutan standart metilen biru (1 ppm – 6 ppm), dan (b) Adsorpsi metilen biru dengan variasi konsentrasi (25 ppm – 200 ppm) pada adsorben silika gel



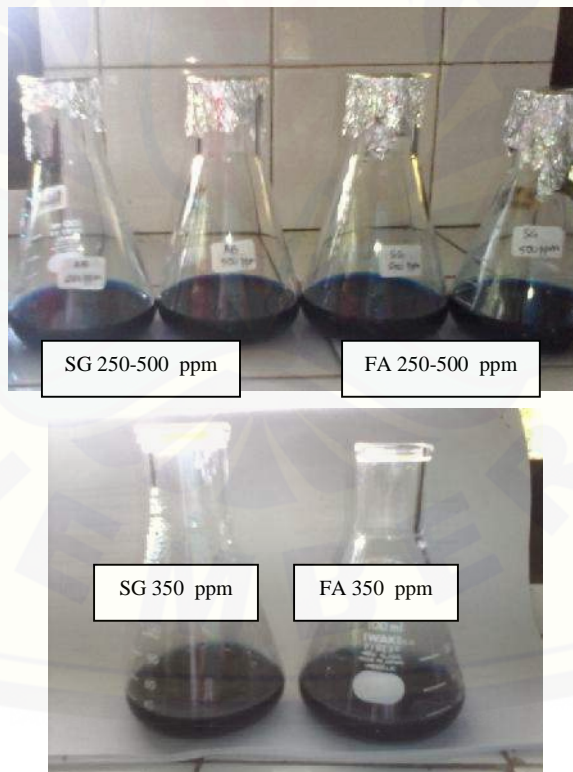
(a)

(b)

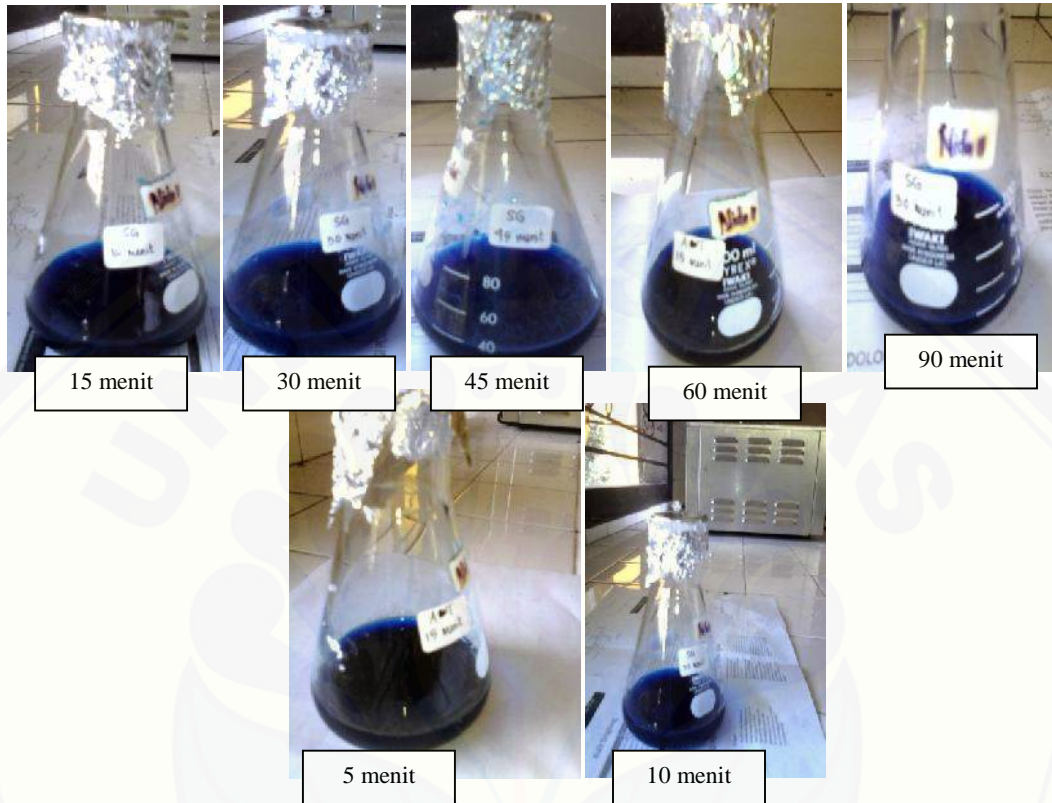
B. Adsorpsi metilen biru dengan variasi konsentrasi (25 ppm – 200 ppm) pada adsorben *fly ash* batubara PLTU Paiton



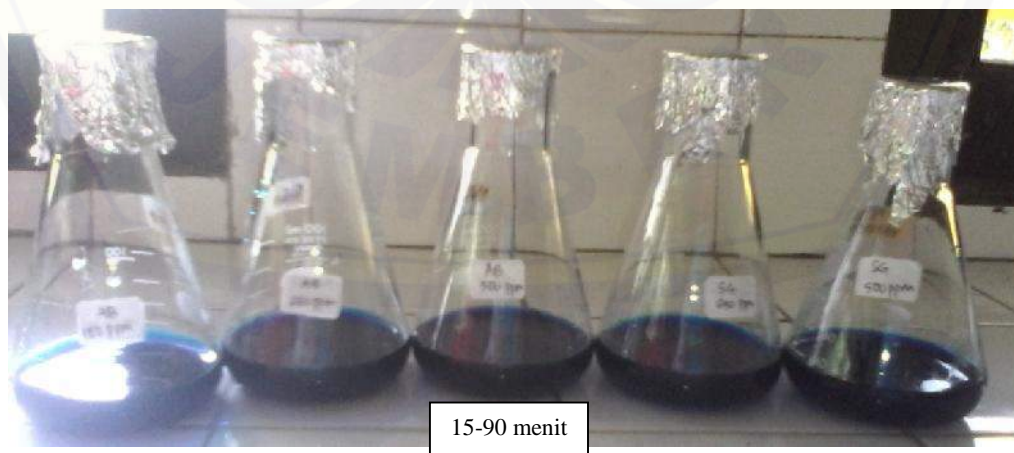
C. Adsorpsi metilen biru dengan variasi konsentrasi (250 ppm – 500 ppm) pada adsorben silika gel dan *fly ash* batubara PLTU Paiton



D. Adsorpsi metilen biru dengan variasi waktu kontak (5 menit – 90 menit) pada adsorben silika gel

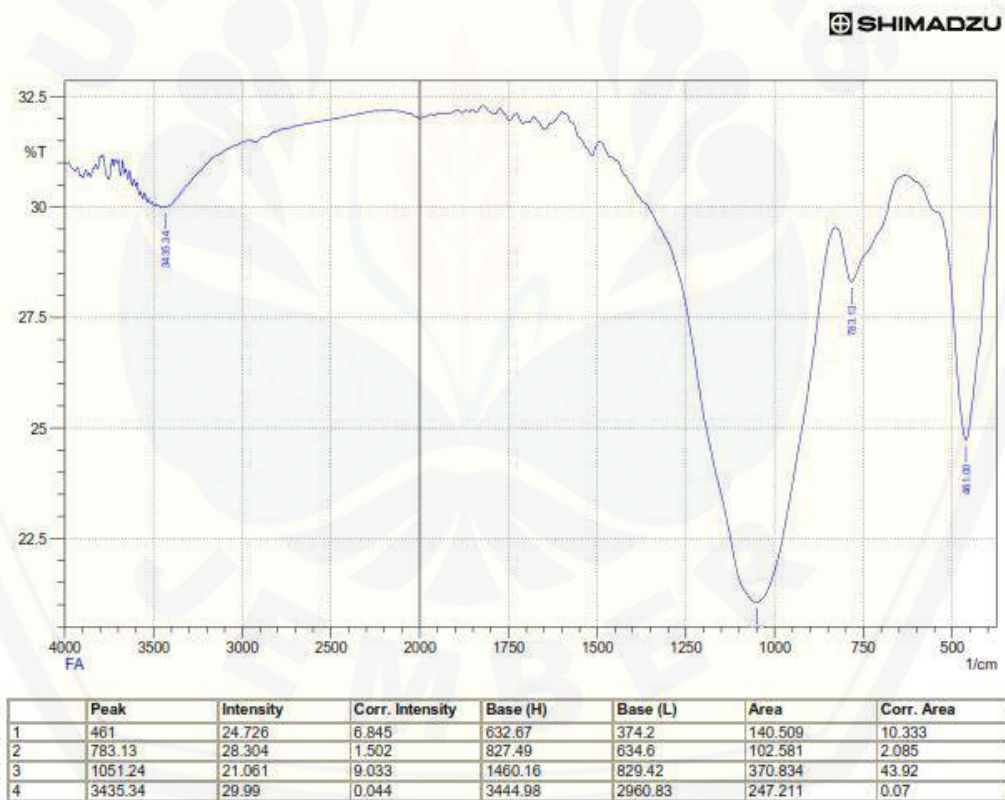


E. Adsorpsi metilen biru dengan variasi waktu kontak (5 menit – 90 menit) pada adsorben *fly ash* batubara PLTU Paiton





Lampiran 3. Hasil Analisis FTIR Silika Gel Hasil Metode *Sol-Gel* dan *Fly Ash* Batubara PLTU Paiton

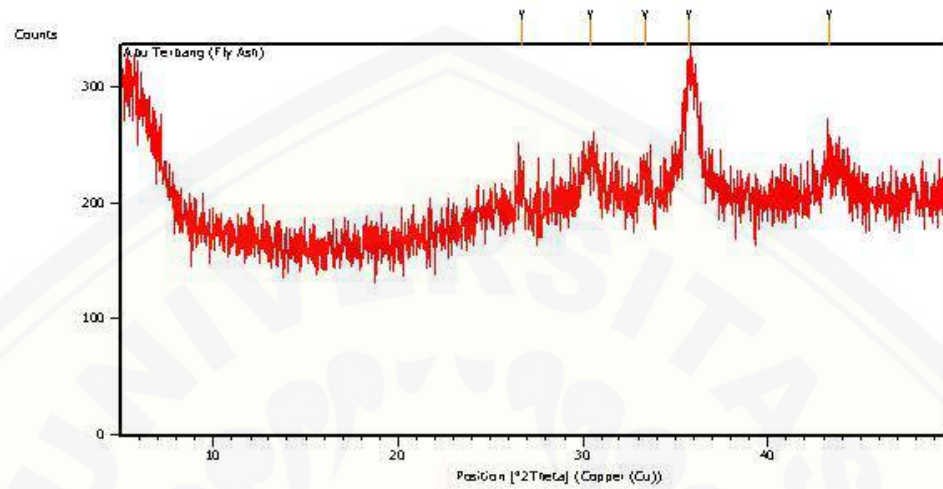


Hasil FTIR *Fly Ash*

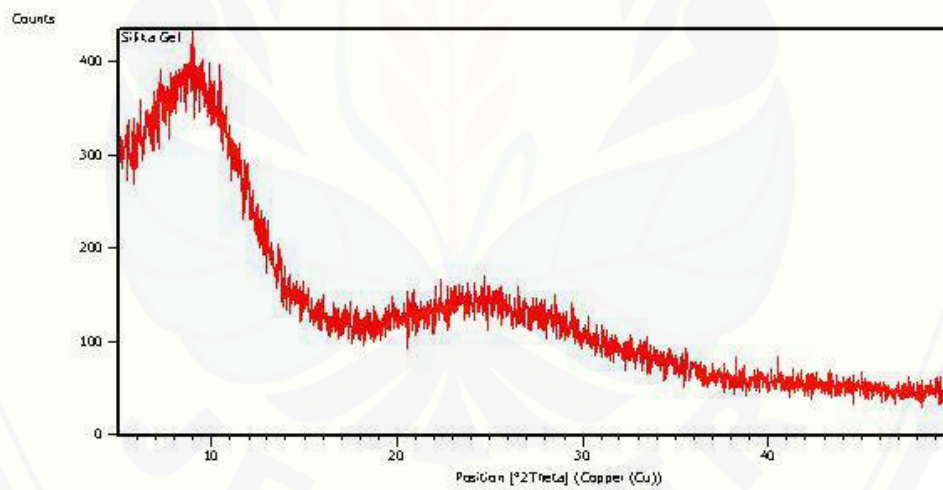


Hasil FTIR Silika Gel

Lampiran 4. Hasil Analisis XRD Silika Gel Hasil Metode *Sol-Gel* dan *Fly Ash* Batubara PLTU Paiton

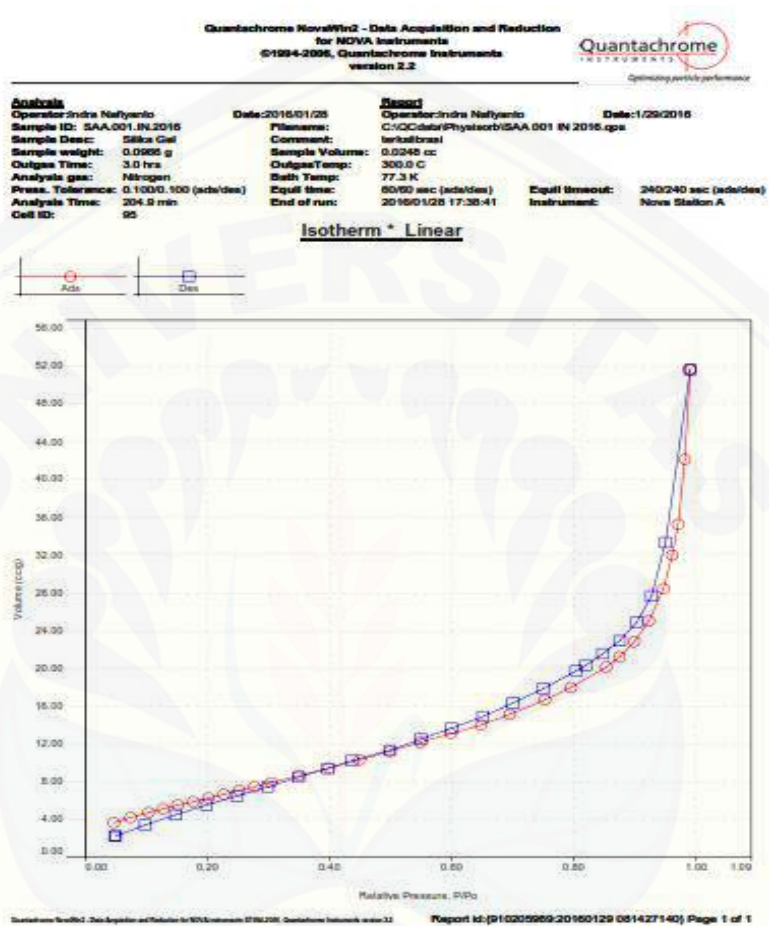


Hasil XRD *Fly Ash*



Hasil XRD Silika Gel

Lampiran 5. Hasil Analisis Adsorpsi-Desorpsi dengan Gas Nitrogen pada Silika Gel Hasil Metode *Sol-Gel*



Quantachrome NovaWin2 - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
C1994-2006, Quantachrome Instruments
version 2.2



Analysis	Report
Operator: Indra Nafiyanto	Operator: Indra Nafiyanto
Sample ID: SAA.001.IN.2016	Date: 2016/01/28
Sample Desc: Silika Gel	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SAA 001 IN 2016.qps
Sample weight: 0.0966 g	Comment: terkalibrasi
Outgas Time: 3.0 hrs	Sample Volume: 0.0248 cc
Analysis gas: Nitrogen	Outgas Temp: 300.0 C
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Bath Temp: 77.3 K
Analysis Time: 204.9 min	Equil time: 60/60 sec (ads/des)
Cell ID: 95	End of run: 2016/01/28 17:38:41
	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
	Instrument: Nova Station A

BJH Pore Size Distribution Adsorption

Data Reduction Parameters Data

t-Method	Calc. method: de Boer
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off
Adsorbate	Nitrogen
	Molec. Wt.: 28.013 g
	Contact Angle: 0.0 degrees
	Temperature: 77.350 K
	Cross Section: 16.200 Å²
	Surf. Tension: 8.850 erg/cm²
	Liquid Density: 0.808 g/cc

BJH Pore Size Distribution Adsorption Data

Radius	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(r)	dS(r)	dV(logr)	dS(logr)
[Å]	[cc/g]	[m²/g]	[cc/Å/g]	[m²/Å/g]	[cc/g]	[cc/g]
15.2815	1.7429e-03	2.2810e+00	1.0640e-03	1.3925e+00	3.7402e-02	4.8951e+01
17.0406	3.5729e-03	4.4289e+00	9.7344e-04	1.1425e+00	3.8157e-02	4.4783e+01
19.0697	5.4198e-03	6.3659e+00	8.4785e-04	8.8921e-01	3.7188e-02	3.9002e+01
21.4665	7.6203e-03	8.4161e+00	8.4143e-04	7.8395e-01	4.1539e-02	3.8701e+01
24.3888	9.4673e-03	9.9307e+00	5.7191e-04	4.6900e-01	3.2070e-02	2.6299e+01
27.9678	1.1133e-02	1.1122e+01	4.2407e-04	3.0326e-01	2.7265e-02	1.9497e+01
32.3582	1.3453e-02	1.2556e+01	4.7801e-04	2.9545e-01	3.5548e-02	2.1972e+01
38.8573	1.6466e-02	1.4106e+01	3.6988e-04	1.9038e-01	3.2972e-02	1.6971e+01
47.4223	1.8958e-02	1.5158e+01	2.7745e-04	1.1701e-01	3.0205e-02	1.2739e+01
61.7033	2.2856e-02	1.6421e+01	1.9908e-04	6.4528e-02	2.8046e-02	9.0905e+00
77.5672	2.4916e-02	1.6952e+01	1.6956e-04	4.3719e-02	3.0222e-02	7.7925e+00
92.8544	2.7828e-02	1.7579e+01	1.5805e-04	3.4044e-02	3.3682e-02	7.2547e+00
117.3386	3.1835e-02	1.8262e+01	1.3118e-04	2.2360e-02	3.5243e-02	6.0070e+00
161.3795	3.7813e-02	1.9003e+01	1.0389e-04	1.2875e-02	3.8192e-02	4.7332e+00
222.9034	4.4055e-02	1.9563e+01	9.5280e-05	8.5495e-03	4.8552e-02	4.3563e+00
294.4322	4.9620e-02	1.9941e+01	7.1767e-05	4.8750e-03	4.8373e-02	3.2858e+00
435.9568	6.1098e-02	2.0468e+01	5.5852e-05	2.5623e-03	5.5012e-02	2.5237e+00
766.1571	7.6508e-02	2.0870e+01	3.3876e-05	8.8432e-04	5.7964e-02	1.5131e+00

BJH adsorption summary

Surface Area = 20.870 m²/g
Pore Volume = 0.077 cc/g
Pore Radius Dv(r) = 15.282 Å

Quantachrome NovaWin2 - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2006, Quantachrome Instruments
version 2.2



Analysis		Report	
Operator: Indra Nafiyanto	Date: 2016/01/28	Operator: Indra Nafiyanto	Date: 1/29/2016
Sample ID: SAA.001.IN.2016	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SAA.001.IN.2016.qps	Comment: terkabrasi	
Sample Desc: Silika Gel	Sample Volume: 0.0248 cc	Outgas Temp: 300.0 C	
Sample weight: 0.0966 g	Bath Temp: 77.3 K	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Outgas Time: 3.0 hrs	End of run: 2016/01/28 17:38:41	Instrument: Nova Station A	
Analysis gas: Nitrogen			
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)			
Analysis Time: 204.9 min			
Cell ID: 95			

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K	Liquid Density:	0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²		

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume@STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume@STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
4.74160e-02	3.6646	1.0868e+01	2.02277e-01	6.2889	3.2261e+01
7.49840e-02	4.2421	1.5289e+01	2.27187e-01	6.6759	3.5233e+01
1.04099e-01	4.7552	1.9551e+01	2.51912e-01	7.0705	3.8106e+01
1.28030e-01	5.1443	2.2837e+01	2.77028e-01	7.4674	4.1057e+01
1.52408e-01	5.5242	2.6044e+01	3.05001e-01	7.9233	4.4316e+01
1.77254e-01	5.9029	2.9202e+01			

BET summary

Slope = 128.132
 Intercept = 5.929e+00
 Correlation coefficient, r = 0.998632
 C constant = 22.612
 Surface Area = 25.977 m²/g