



**KOMPETISI ADSORPSI METILEN BIRU DAN Pb^{2+} OLEH
SILIKA GEL DARI ABU TERBANG BATUBARA PLTU
PAITON-PROBOLINGGO**

SKRIPSI

Oleh
Vivi Ruthmianingsih
NIM 131810301018

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**KOMPETISI ADSORPSI METILEN BIRU DAN Pb^{2+} OLEH
SILIKA GEL DARI ABU TERBANG BATUBARA PLTU
PAITON-PROBOLINGGO**

SKRIPSI

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

Oleh
Vivi Ruthmianingsih
NIM 131810301018

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Sutri, Bapak Buadi Samsul Hidayat, Mbak Yuny Karlina, Tri Wicaksono, Mbah Ngatelan, serta Mbah Ngatin yang telah memberikan semangat, motivasi, doa, kasih sayang tiada batas, serta dukungan baik secara moral maupun materiil.
2. Guru-guru di TK Al-Hidayah Pasirian, SDN 02 Pasirian, SMPN 1 Pasirian, SMAN Tempeh, dan Dosen-dosen Kimia di Fakultas MIPA Universitas Jember.
3. Almamater tercinta Universitas Jember.
4. Dwi Ricky Cahyanto yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian kuliah dan skripsi ini.
5. Zulfa, Diana, Della, Berta, Efa, Angel, Khotimah, Nidya, Laiq, Inay, dan teman-teman angkatan 2013 “TITANIUM” atas dukungan, motivasi, bantuan, dan pengalaman yang telah diberikan selama perkuliahan.

MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. ALLAH mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui”
(Terjemahan Surat *Al-Baqarah*: 216) *)



*) Departemen Agama RI. 2009. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: PT Sygma Examedia Arkanleema.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vivi Ruthmianingsih

NIM : 131810301018

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Kompetisi Adsorpsi Metilen Biru dan Pb^{2+} oleh Silika Gel dari Abu Terbang Batubara PLTU Paiton-Probolinggo” 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2018

Yang menyatakan,



Vivi Ruthmianingsih

NIM 131810301018

SKRIPSI

**KOMPETISI ADSORPSI METILEN BIRU DAN Pb^{2+} OLEH
SILIKA GEL DARI ABU TERBANG BATUBARA PLTU
PAITON-PROBOLINGGO**



Oleh
Vivi Ruthmianingsih
NIM 131810301018

Pembimbing

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

PENGESAHAN

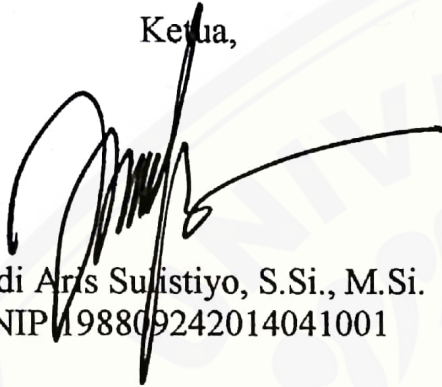
Skripsi berjudul “Kompetisi Adsorpsi Metilen Biru dan Pb^{2+} oleh Silika Gel dari Abu Terbang Batubara PLTU Paiton-Probolinggo” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : **JUM'AT 26 JAN 2018**

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

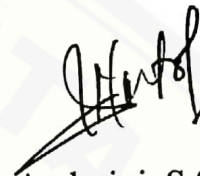
Tim Penguji

Ketua,



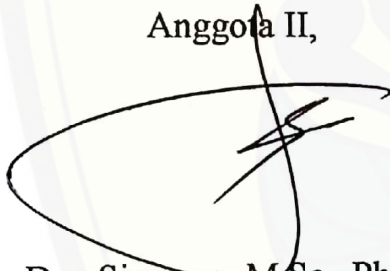
Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si.
NIP 198809242014041001

Anggota I,



Novita Andarini, S.Si., M.Si.
NIP 197211122000032001

Anggota II,



Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.
NIP 196605291993031003

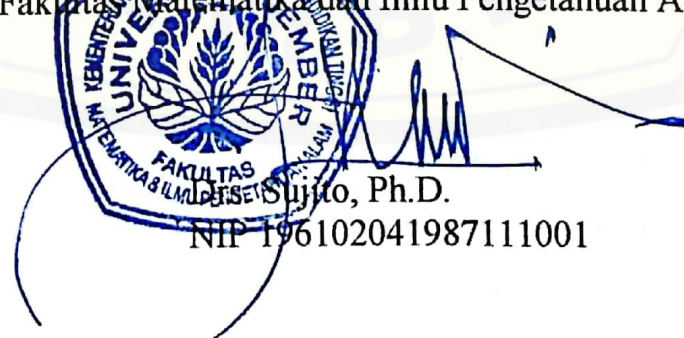
Anggota III,



Tanti Haryati, S.Si., M.Si.
NIP 198010292005012002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,



Sijto, Ph.D.
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Kompetisi Adsorpsi Metilen Biru dan Pb^{2+} oleh Silika Gel dari Abu Terbang Batubara PLTU Paiton-Probolinggo; Vivi Ruthmianingsih, 131810301018; 2018: 47 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Silika gel banyak dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki struktur polimer berbentuk amorf serta memiliki sisi aktif berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Salah satu upaya untuk mendapatkan adsorben yang relatif murah yaitu dengan memanfaatkan limbah abu terbang dari sisa pembakaran batubara, dimana kandungan silika dalam abu terbang batubara sebesar 30,25-36,83%. Silika gel disintesis dari abu terbang batubara PLTU Paiton-Probolinggo menggunakan metode sol-gel.

Abu terbang batubara dilakukan proses *leaching* terlebih dahulu menggunakan larutan H_2SO_4 dan di refluks menggunakan larutan NaOH 3 M sehingga menghasilkan natrium silikat (Na_2SiO_3). Natrium silikat ditambahkan dengan HCl 1 M sehingga menyebabkan terjadinya pertukaran ion menghasilkan suspensi berwarna putih yang melayang dalam larutan (sol silika). Larutan *diaging* sehingga sol yang terbentuk terkondensasi menjadi gel dengan struktur yang lebih rapat. Silika gel selanjutnya dikalsinasi untuk menghilangkan kandungan air dan meningkatkan kristalinitasnya. Silika gel yang diperoleh dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menunjukkan adanya gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) secara berturut-turut pada bilangan gelombang 3448,84 dan 461,00 cm^{-1} .

Silika gel yang dihasilkan digunakan sebagai adsorben pada adsorpsi metilen biru dan Pb dengan variasi pH sistem (2, 3, 4, 6, 8, dan 10) serta waktu kontak adsorpsi (5, 10, 30, 45, 60, 90, dan 120 menit). Pengkondisian pH sistem pada proses adsorpsi dilakukan dengan penambahan HCl dan NaOH. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi silika gel terhadap metilen biru optimum pada pH 10 dan pH 6 untuk Pb^{2+} . Kemampuan adsorpsi silika gel terhadap metilen biru menurun dalam campuran larutan metilen biru-Pb (biner)

dari 84,031 menjadi 59,555 mg/L, sedangkan Pb^{2+} dari 56,878 menjadi 25,000 mg/L. Adsorpsi metilen biru oleh silika gel dalam larutan biner lebih tinggi dibandingkan Pb^{2+} dengan nilai adsorpsi 54,755 mg/L untuk metilen biru dan 25,000 mg/L untuk Pb^{2+} . Kinetika adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dan Pb^{2+} dalam larutan tunggal ataupun biner mengikuti kinetika pseudo orde 2 dengan nilai kecepatan adsorpsi sebesar 0,0442 dan 0,0082 g/mg.min secara berturut-turut.



PRAKATA

Syukur alhamdulillah atas segala rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kompetisi Adsorpsi Metilen Biru dan Pb^{2+} oleh Silika Gel dari Abu Terbang Batubara PLTU Paiton-Probolinggo”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam 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 terimakasih 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. Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si dan Novita Andarini, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D dan Tanti Haryati, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran;
5. Dr. Anak Agung Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
6. Bapak/Ibu dosen-dosen FMIPA khususnya dosen-dosen Jurusan Kimia dan para teknisi laboratorium Kimia Universitas Jember;
7. Serta pihak-pihak yang turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Januari 2018

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	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Abu Terbang Batubara	4
2.2 Abu Terbang sebagai Adsorben	5
2.3 Silika Gel	6
2.4 Adsorpsi	9
2.5 Metilen Biru	12
2.6 Timbal	13
2.7 Spektrofotometri UV-Vis	15
2.8 Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)	16
2.9 Spektrofotometri Inframerah	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Diagram Alir Penelitian	21
3.4 Prosedur Penelitian	22
3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi	22
a. Pembuatan Larutan NaOH 3M	22
b. Pembuatan Larutan HCl 1M	22
c. Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄ 2M	22
d. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru	22

e.	Pembuatan Larutan Sampel Metilen Biru	22
f.	Pembuatan Larutan Induk Pb^{2+} 1000 mg/L	23
g.	Pembuatan Larutan Sampel Pb^{2+} 200 mg/L	23
3.4.2	Preparasi Sampel	23
3.4.3	Pembuatan Silika Gel	23
3.4.4	Karakterisasi Silika Gel dengan FTIR	24
3.4.5	Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Zat Warna Metilen Biru dan Logam Pb^{2+}	24
a.	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna Metilen Biru	24
b.	Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru	25
c.	Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Pb^{2+}	25
d.	Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb^{2+} pada Variasi pH Sistem	26
e.	Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb^{2+} pada Variasi Waktu Kontak Adsorpsi	27
3.5	Analisis Data	28
3.5.1	Model Kinetika Adsorpsi pada Proses Adsorpsi Metilen Biru dan Pb^{2+}	28
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAAN	29
4.1	Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb pada Variasi pH Sistem	29
4.2	Kinetika Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb	34
BAB 5.	PENUTUP	39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Kimia Abu Terbang dari PLTU Paiton-Probolinggo	5
2.2 Adsorben Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) untuk Zat Warna dan Logam	5
2.3 Adsorben Silika untuk Zat Warna dan Logam	8
3.1 Pengukuran Panjang Gelombang Metilen Biru	25
3.2 Variasi pH Sistem	27
3.3 Variasi Waktu Kontak	27
4.1 Perbandingan Hasil Analisis FTIR Silika Gel dengan Jurnal Penelitian	30
4.2 Model Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1 dan Pseudo Orde 2 untuk Metilen Biru dan Pb	37

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Susunan Tetrahedral SiO ₄ pada Silika Gel	6
2.2 Efek Nilai pH terhadap Sifat Muatan pada Permukaan Silika	7
2.3 Struktur Metilen Biru	13
2.4 Spesi Pb(II) dalam Berbagai Variasi pH Larutan	14
2.5 Spektrum Inframerah Silika yang Disintesis dari Sekam Padi.....	18
2.6 Spektrum Inframerah Kiesel Gel 60G	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Grafik Kurva Kalibrasi Metilen Biru	25
3.3 Grafik Kurva Kalibrasi Larutan Pb ²⁺	26
4.1 (a) Larutan Na ₂ SiO ₃ (b) Silika Gel Setelah <i>Diaging</i> Selama 18 jam (c) Silika Gel Setelah Kalsinasi	29
4.2 Spektra Inframerah Silika Gel dari Abu Terbang Batubara	30
4.3 Kurva Hubungan antara Variasi pH Sistem terhadap Kemampuan Adsorpsi (a) Metilen Biru Tunggal (b) Metilen Biru dalam Larutan Biner (c) Pb Tunggal (d) Pb dalam Larutan Biner	32
4.4 Kurva Hubungan antara Variasi Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Metilen Biru dan Pb (a) Metilen Biru Tunggal (b) Metilen Biru dalam Larutan Biner pada pH Sistem 6 (c) Metilen Biru dalam Larutan Biner pada pH Sistem 10 (d) Pb Tunggal (e) Pb dalam Larutan Biner pada pH Sistem 6 (f) Pb dalam Larutan Biner pada pH Sistem 10	35
4.5 Model Kinetika pseudo Orde 1 (a) Metilen Biru Tunggal pada pH Sistem 6 (b) Metilen Biru Tunggal pada pH Sistem 10 (c) Metilen Biru dalam Larutan Biner pada pH Sistem 6 (d) Metilen Biru dalam Larutan Biner pada pH Sistem 10 (e) Pb Tunggal (f) Pb dalam Larutan Biner pada pH Sistem 6 (g) Pb dalam Larutan Biner pada pH Sistem 10	36
4.6 Model Kinetika pseudo Orde 2 (a) Metilen Biru Tunggal pada pH Sistem 6 (b) Metilen Biru Tunggal pada pH Sistem 10 (c) Metilen Biru dalam Larutan Biner pada pH Sistem 6 (d) Metilen Biru dalam Larutan Biner pada pH Sistem 10 (e) Pb Tunggal (f) Pb dalam Larutan Biner pada pH Sistem 6 (g) Pb dalam Larutan Biner pada pH Sistem 10	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 Pembuatan Larutan	48
3.1.1 Pembuatan Larutan NaOH 3 M	48
3.1.2 Pembuatan Larutan HCl 1 M dari HCl 37%	48
3.1.3 Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄ 2 M dari H ₂ SO ₄ 98%	48
3.1.4 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 mg/L	49
3.1.5 Pembuatan Larutan Sampel Metilen Biru 200 mg/L	49
3.1.6 Pembuatan Larutan Induk Pb ²⁺ 1000 mg/L	49
3.1.7 Pembuatan Larutan Sampel Pb ²⁺ 200 mg/L	50
3.1.8 Pembuatan Kurva Kalibrasi metilen Biru dari Larutan 10 mg/L	50
3.1.9 Pembuatan Kurva Kalibrasi Pb ²⁺ dari Larutan 10 mg/L	51
3.1.10 Pembuatan Larutan Sampel yang Diencerkan Setelah Proses Adsorpsi	51
3.2 Scanning Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Kalibrasi	52
3.2.1 Scanning Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks}) Larutan Metilen Biru	52
3.2.2 Kurva Kalibrasi Larutan Metilen Biru	52
3.2.3 Kurva Kalibrasi Larutan Pb ²⁺	53
4.1 Penentuan Konsentrasi Awal dan Konsentrasi Asli dari Larutan Metilen Biru dan Pb dalam Larutan Tunggal	54
4.2 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi pH Sistem dalam Larutan Tunggal	54
4.2.1 Metilen Biru	54
4.2.2 Pb	55
4.3 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi Waktu Kontak dalam Larutan Tunggal	56
4.3.1 Metilen Biru pada pH 6	56
4.3.2 Metilen Biru pada pH 10	57
4.3.3 Pb pada pH 6	58
4.4 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi pH Sistem dalam Larutan Biner	60
4.4.1 Metilen Biru	60
4.4.2 Pb	61
4.5 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi Waktu Kontak dalam Larutan Biner	61
4.5.1 Metilen Biru pada pH 6	61
4.5.2 Metilen Biru pada pH 10	62

4.5.3	Pb pH 6	64
4.5.4	Pb pada pH 10	65
4.6	Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1 dan pseudo Orde 2.....	66
4.6.1	Pseudo Orde 1	66
4.6.2	Pseudo Orde 2	68



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan yang berasal dari limbah industri menjadi permasalahan yang perlu ditangani secara tepat dan ramah lingkungan. Polutan dalam limbah cair dapat dihilangkan melalui beberapa metode, seperti koagulasi, pengendapan, pertukaran ion, dan bioremediasi (Ngah *et al.*, 2005). Metode koagulasi dilakukan dengan penambahan koagulan yang akan menghasilkan lumpur dalam jumlah besar sehingga dapat menimbulkan permasalahan baru (Rizqi dan Purnomo, 2014). Metode pertukaran ion hanya selektif untuk logam tertentu dan memerlukan biaya yang mahal (Aderhold *et al.*, 1996). Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan metode alternatif lain yang efisien, mudah, dan murah untuk menangani masalah polutan di perairan yaitu adsorpsi.

Adsorpsi merupakan metode yang banyak dikembangkan untuk pengolahan limbah cair karena sederhana, relatif lebih murah, memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, dan ramah lingkungan (Chen *et al.*, 2015). Metode adsorpsi efektif untuk menurunkan kadar logam, zat warna, dan unsur-unsur kimia lainnya yang terdapat dalam air. Keberhasilan metode adsorpsi bergantung pada jenis dan kemampuan adsorben untuk mengikat molekul-molekul zat yang akan dipisahkan dari campuran (Nurdila *et al.*, 2015). Salah satu upaya untuk mendapatkan adsorben yang relatif murah yaitu dengan memanfaatkan limbah abu terbang dari sisa pembakaran batubara. Abu terbang batubara dari pembangkit listrik tenaga uap dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki kandungan silika (SiO_2) sebesar 30,25-36,83% (PJB Paiton, 2002).

Tingginya kandungan silika dalam abu terbang batubara, maka banyak yang memanfaatkan abu terbang sebagai adsorben (Papandreou *et al.*, 2011). Namun, kemampuan adsorpsi abu terbang masih tergolong rendah, sehingga perlu dimodifikasi menjadi bentuk material lain agar dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Berdasarkan penelitian Sulistiyo *et al.* (2017), silika gel yang disintesis dari abu terbang batubara menggunakan metode sol-gel memiliki kemampuan adsorpsi terhadap metilen biru 27,64% lebih baik dibandingkan *fly*

ash dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 22,472 mg/g. Silika gel dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki struktur polimer berbentuk amorf serta memiliki sisi aktif berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) (Hadi *et al.*, 2013). Menurut Kushwaha *et al.* (2013), adsorpsi metilen biru oleh silika gel mengalami peningkatan pada range pH 3-11 dengan nilai kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 39,00 mg/g. Hal ini dikarenakan pada pH tinggi, ion negatif yang terdapat pada permukaan adsorben semakin bertambah sehingga interaksi elektrostatik antara adsorben dengan kation metilen biru semakin banyak. Model kinetika yang dipelajari menunjukkan bahwa pseudo orde dua lebih baik dibandingkan dengan pseudo orde satu pada adsorpsi silika gel dengan kecepatan laju sebesar 0,0054 g/mg.min.

Permasalahan yang dihadapi saat ini jenis limbah dalam perairan yang merupakan campuran dari zat warna, logam berat, dan unsur-unsur kimia lainnya. Jafari-zare dan Habibi-yangjeh (2015) telah melakukan kompetisi adsorpsi metilen biru dan rodamin B oleh zeolit alam, hasil yang diperoleh menunjukkan adsorpsi zeolit alam terhadap metilen biru dan rodamin B menurun dalam larutan biner yaitu $6,4 \times 10^{-5}$ dan $7,95 \times 10^{-5}$ mol/g menjadi $1,15 \times 10^{-5}$ dan $1,26 \times 10^{-5}$ mol/g secara berturut-turut. Kemampuan adsorpsi metilen biru oleh zeolit alam dalam larutan biner lebih tinggi daripada rodamin B karena metilen biru menunjukkan afinitas yang lebih tinggi terhadap adsorben.

Berdasarkan analisis permasalahan yang terjadi, dalam penelitian ini akan dilakukan kompetisi adsorpsi metilen biru dan Pb^{2+} oleh silika gel dengan variasi pH sistem untuk mengetahui perilaku adsorben dan adsorbat pada nilai pH yang berbeda. Ion Pb^{2+} memiliki ukuran molekul yang lebih kecil dibandingkan dengan metilen biru, sehingga dimungkinkan ion Pb^{2+} yang berinteraksi dengan permukaan adsorben semakin banyak. Selain itu, masih sedikit penelitian yang melaporkan tentang kompetisi adsorpsi zat warna dan ion logam, maka dalam penelitian ini akan dipelajari perubahan adsorpsi dan kinetika adsorpsi silika gel terhadap zat warna metilen biru jika dipengaruhi oleh adanya kompetitor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dengan adanya Pb^{2+} pada variasi pH sistem?
2. Bagaimana model kinetika adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dengan adanya Pb^{2+} ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui model adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dengan adanya Pb^{2+} pada variasi pH sistem.
2. Mengetahui model kinetika adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dengan adanya Pb^{2+} sebagai kompetitor.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini perlu diberikan batasan masalah agar dalam pelaksanaannya tidak terjadi kesalahpahaman. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Abu terbang batubara yang digunakan berasal dari PT.IPMOMI PLTU Paiton-Probolinggo.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang penggunaan silika gel sebagai adsorben zat warna metilen biru dan Pb^{2+} .
2. Memberikan informasi tentang perilaku adsorpsi zat warna metilen biru oleh adsorben silika gel dengan adanya kompetitor logam Pb^{2+} .

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Terbang Batubara

Abu terbang (*fly ash*) merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara di PLTU. Pembakaran batubara menghasilkan limbah padat yang berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) dengan jumlah persentase (80-90%) dan (10-20%) (Munir, 2008). Abu terbang dari sisa pembakaran batubara dalam bentuk partikel abu yang terbawa keluar oleh gas buang dan ditangkap menggunakan elektrostatik presipitator. Partikel-partikel abu terbang umumnya berbentuk bulat karena selama berada di dalam gas buang, abu terbang akan tersuspensi dan memadat. Partikel abu terbang yang terkumpul pada elektrostatik presipitator berukuran sekitar 0,074-0,005 mm (Thomas, 2007).

Di Indonesia, produksi abu terbang dari pembangkit listrik terus mengalami peningkatan, dimana pada tahun 2006 jumlahnya diperkirakan mencapai 2 juta ton dan meningkat menjadi 3,3 juta ton pada tahun 2009 (Aziz *et al.*, 2006). Karakteristik abu terbang diantaranya adalah memiliki warna dari abu-abu sampai hitam tergantung dari jumlah karbon yang dikandungnya, bersifat tahan terhadap air, dan jumlah partikel yang dapat lolos dari saringan 200 mesh berkisar 60-90%. Sifat fisik dan kimia abu terbang ditentukan dari proses pembakarannya serta komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara. Abu terbang batubara secara fisik berupa butiran halus yang umumnya berbentuk padat atau berongga. Ukuran abu terbang yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga uap paling kecil 11-25 μm dan yang paling kasar berukuran 40-150 μm (Page *et al.*, 1979).

Sifat kimia abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya. Secara kimia, abu terbang batubara merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena telah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain membentuk material baru yang tahan terhadap suhu tinggi (Ardianto, 2016). Komposisi kimia abu terbang yang dihasilkan dari PLTU Paiton-Probolinggo ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia abu terbang dari PLTU Paiton-Probolinggo

Komposisi Kimia	Kandungan (%W)	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 Abu Terbang sebagai Adsorben

Abu terbang yang dihasilkan dari limbah padat industri dapat digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan, material pembuatan batubata, semen, dan lain sebagainya. Ketersediaan abu terbang yang cukup tinggi dapat menimbulkan permasalahan lingkungan, sehingga banyak yang memanfaatkannya sebagai adsorben untuk menangani masalah polutan di perairan yang disebabkan oleh zat warna salah satunya (Rafatullah *et al.*, 2010). Penelitian tentang pemanfaatan abu terbang sebagai adsorben zat warna dan logam dapat dilihat pada Tabel 2.2.

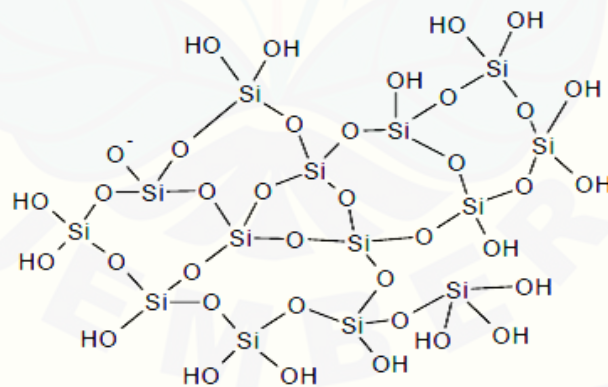
Tabel 2.2 Adsorben abu terbang (*fly ash*) untuk zat warna dan logam

Adsorben	Adsorbat	Kemampuan Adsorpsi	Referensi
Fly ash	Metilen biru	17,606 mg/g	Sulistiyo <i>et al.</i> , 2017
Fly ash batubara	Pb ²⁺	11,7602 mg/g	Suci, 2012
Fly ash (teraktivasi)	Cu ²⁺	9,1659 mg/g	Witono dan Miryanti, 2015
Fly ash	Pb(II)	8,8 mg/g	Papandreou <i>et al.</i> , 2011
Fly ash batubara	Ni ²⁺	5,9 mg/g	Pehlivan dan Cetin, 2008
Fly ash	Metilen biru	4,47 mg/g	Wang <i>et al.</i> , 2005
Fly ash	Indigo carmine	1,48 mg/g	Carvalho <i>et al.</i> , 2011
Fly ash	Metilen biru	0,4348 mg/g	Jain <i>et al.</i> , 2016
Fly ash	Metilen biru	0,228 mg/g	Khan <i>et al.</i> , 2009
Fly ash	Malasit hijau	0,219 mg/g	Khan <i>et al.</i> , 2009
Fly ash	Rhodamin B	0,184 mg/g	Khan <i>et al.</i> , 2009
Fly ash batubara	Pb ²⁺	0,103 mg/g	Afrianita <i>et al.</i> , 2013

Abu terbang banyak dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan dan pori-pori yang besar serta memiliki kandungan silika yang cukup tinggi (Mufrodi *et al.*, 2008). Namun, kemampuan adsorpsi abu terbang pada umumnya masih tergolong rendah. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi abu terbang yaitu dengan modifikasi abu terbang menjadi bentuk material lain. Abu terbang telah banyak dimodifikasi dalam bentuk zeolit (Carvalho *et al.*, 2011; Sutrisno *et al.*, 2014) dan silika gel (Hadi *et al.*, 2013; Suka *et al.*, 2008; Sulistiyo *et al.*, 2017).

2.3 Silika Gel

Silika gel merupakan suatu bentuk amorf dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (Na_2SiO_3). Silika amorf adalah material hasil dari reaksi alkali-silika yang dimulai dengan pecahnya ikatan Si-O-Si yang kemudian hasilnya membentuk fasa amorf dan nanokristal (Boinski *et al.*, 2010). Secara umum, rumus kimia silika gel adalah $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Silika gel terdiri dari globula-globula SiO_4 tetrahedral yang tersusun tidak beraturan dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar (Oscik, 1982).



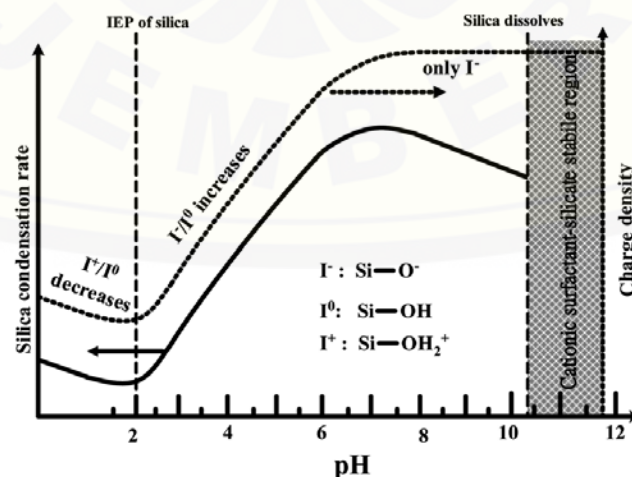
Gambar 2.1 Susunan tetrahedral SiO_4 pada silika gel (Sumber: Oscik, 1982)

Silika gel memiliki dua jenis gugus pada permukaannya, yaitu gugus silanol (S-iOH) dan gugus siloksan (Si-O-Si). Gugus siloksan terdapat dua struktur, yaitu Si-O-Si rantai lurus dan Si-O-Si yang membentuk struktur lingkaran dengan empat gugus siloksan yang lainnya. Gugus siloksan rantai lurus tidak reaktif dengan

pereaksi pada umumnya, tetapi sangat reaktif terhadap senyawa logam alkali, sedangkan gugus siloksan yang membentuk lingkaran memiliki reaktivitas yang tinggi dan dapat melakukan kemisorpsi dengan air, amonia, dan metanol. Gugus silanol terdapat tiga jenis, yaitu gugus silanol tunggal terisolasi, gugus silanol yang berdekatan satu sama lain (*vicinol*), dan dua gugus silanol yang terikat pada satu atom Si (*geminol*) (Margolese *et al.*, 2000).

Ketidakteraturan susunan permukaan tetrahedral SiO_4 pada silika gel menyebabkan distribusi per satuan luas bukan menjadi ukuran kemampuan adsorpsi silika gel, meskipun gugus silanol dan siloksan terdapat pada permukaan silika gel. Kemampuan adsorpsi silika gel tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan siloksan yang terdapat pada permukaan silika gel, tetapi bergantung pada distribusi gugus $-\text{OH}$ per satuan luas adsorben. Sifat silika gel ditentukan oleh posisi ujung tempat gugus hidroksil berkombinasi (Oscik, 1982).

Silika pada pH di bawah titik isoelektrik (2), spesies silika bermuatan positif sedangkan di atas titik isoelektrik, spesies silika menjadi negatif dan kerapatan muatan yang bermuatan negatif meningkat seiring dengan meningkatnya pH. Silikat dengan muatan negatif pada range pH 2-7 cenderung berinteraksi dengan surfaktan bermuatan positif atau polimer netral melalui interaksi elektrostatik dan ikatan hidrogen, sedangkan dalam kondisi basa (pH >7), silikat dengan muatan negatif tinggi hanya bisa berinteraksi dengan surfaktan kationik melalui interaksi elektrostatik yang kuat (Wu *et al.*, 2013).



Gambar 2.2 Efek nilai pH terhadap sifat muatan pada permukaan silika (Sumber: Wu *et al.*, 2013)

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas silika gel antara lain yaitu struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, dan polaritasnya. Struktur mikropori silika gel memiliki luas permukaan yang tinggi ($800 \text{ m}^2/\text{g}$). Silika gel banyak dimanfaatkan sebagai adsorben karena mudah diproduksi dan sifat permukaan (struktur geometri pori dan sifat kimia pada permukaan) dapat dengan mudah untuk dimodifikasi (Fahmiati *et al.*, 2006). Silika gel sebagai adsorben memiliki keunggulan yang lain, yaitu sangat inert, bersifat hidrofilik, memiliki kemampuan pertukaran ion yang baik, dan relatif tidak mengembang dalam pelarut organik dibandingkan dengan padatan resin polimer organik. Disisi lain, silika gel juga memiliki kelemahan yaitu pada permukaannya hanya terdapat sisi aktif yang berupa gugus silanol dan siloksan, tetapi dengan adanya kedua gugus tersebut memungkinkan terjadinya modifikasi pada permukaan silika gel (Oscik, 1982). Penelitian tentang pemanfaatan silika sebagai adsorben zat warna dan logam dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Adsorben silika untuk zat warna dan logam

Adsorben	Adsorbat	Kemampuan Adsorpsi	Referensi
Silika gel	Metilen biru	71,42 mg/g	Kushwaha <i>et al.</i> , 2013
Silika gel	Indigo carmine	25,907 mg/g	Rofi'ah, 2016
Silika gel	Metilen biru	22,472 mg/g	Sulistiyo <i>et al.</i> , 2017
Silika gel	Pb ²⁺	0,3995 mg/g	Nizar, 2016
Silika gel	Pb ²⁺	0,31 mg/g	Fathonah <i>et al.</i> , 2012

Berdasarkan penelitian Affandi *et al.* (2009), silika xerogel yang disintesis dari abu bagasse memiliki kapasitas adsorpsi maksimum 180 mg/g dengan tingkat kemurnian mencapai 99%, luas permukaan sebesar $69\text{-}152 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $0,059\text{-}0,137 \text{ cm}^3/\text{g}$, dan diameter pori $3,2\text{-}3,4 \text{ nm}$ yang mengindikasikan bahwa silika xerogel berupa mesopori. Menurut Scott (1993), silika gel dapat disintesis melalui beberapa tahapan:

- Pembentukan natrium silikat (Na_2SiO_3) dari reaksi SiO_2 dengan NaOH .
- Reaksi pembentukan silika hidrosol dari reaksi Na_2SiO_3 dengan asam.
- Reaksi pembentukan silika hidrogel dengan polimerisasi asam silikat.
- Pemanasan silika hidrogel menghasilkan silika gel.

Metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan silika gel salah satunya adalah metode *sol-gel*. Metode *sol-gel* banyak digunakan untuk sintesis silika gel karena prosesnya sederhana, dapat berlangsung pada suhu rendah, hasil yang diperoleh memiliki tingkat kemurnian dan kehomogenan yang tinggi, biayanya relatif murah, dan menghasilkan produk berupa *xerogel* silika yang tidak beracun. Pada proses *sol-gel*, larutan mengalami perubahan fase dari suspensi koloid (*sol*) membentuk fase cair secara berkelanjutan (*gel*). Partikel yang dihasilkan memiliki diameter berkisar 1-100 nm (Iler, 1978).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan zat tertentu (gas atau cairan) oleh suatu padatan karena adanya gaya tarik antar molekul atau partikel pada permukaan padatan yang tidak seimbang sehingga membentuk lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut (Oscik, 1982). Adanya gaya tarik antar molekul, padatan cenderung menarik molekul-molekul fasa gas atau cair yang bersentuhan dengan permukaan padatan ke dalam permukaannya, akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih tinggi daripada dalam fasa gas atau cair dalam larutan. Secara umum, adsorpsi didefinisikan sebagai akumulasi suatu molekul, ion, atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa yang berbeda. Fasa yang menyerap disebut dengan adsorben, sedangkan fasa yang terserap atau terakumulasi disebut dengan adsorbat. Adsorben yang digunakan sebagian besar adalah bahan-bahan yang memiliki pori karena proses adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori adsorben (Alberty, 1997).

Proses adsorpsi dapat berlangsung jika permukaan padatan dikontakkan dengan molekul-molekul gas atau cairan, sehingga terdapat gaya kohesi termasuk gaya hidrostatis dan ikatan hidrogen yang bekerja diantara seluruh molekul. Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua macam, yaitu adsorpsi fisika (fisisorpsi) dan adsorpsi kimia (kemisorpsi). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat dengan melibatkan gaya antar molekul seperti gaya Van Der Waals, sedangkan adsorpsi kimia adalah proses interaksi antara adsorben dengan

adsorbat dengan melibatkan pembentukan ikatan kimia (Alberty, 1997).

Pada adsorpsi fisika, gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (intermolekuler) lebih kecil daripada gaya tarik menarik antar molekul fluida, sehingga gaya tarik menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah. Adsorbat tidak terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya (*reversible*). Permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya dengan mekanisme pertukaran ion. Mekanisme pertukaran ion yang terjadi merupakan penggabungan dari mekanisme kemisorpsi dan fisisorpsi (Atkins, 1990).

Adsorpsi kimia menyebabkan terbentuknya ikatan secara kimia, sehingga terjadi reaksi kimia dan akan menghasilkan produk berupa senyawa baru. Ikatan kimia dapat berupa ikatan kovalen atau ion. Ikatan kimia yang terjadi antara molekul gas atau cairan dengan permukaan padatan sangat kuat sehingga sulit untuk dilepaskan kembali oleh permukaan padatan (*irreversible*) (Alberty, 1997). Permukaan adsorben yang telah jenuh oleh molekul adsorbat, hanya akan terjadi penggantian satu komponen dengan komponen lain (Adamson dan Gast, 1997).

Proses adsorpsi larutan dapat diperkirakan secara kualitatif berdasarkan polaritas adsorben dan komponen penyusun larutan. Adsorben polar memiliki kecenderungan lebih kuat untuk menyerap adsorbat yang bersifat polar daripada adsorbat yang bersifat nonpolar, sebaliknya adsorben yang bersifat nonpolar memiliki kecenderungan lebih kuat untuk menyerap adsorbat polar daripada adsorbat nonpolar. Adsorben polar adalah adsorben yang mengikat molekul polar (hidrofilik), seperti silika gel, *porous* alumina, dan zeolit. Adsorben nonpolar adalah adsorben yang dapat mengikat minyak atau gas (hidrofobik), contohnya karbon aktif dan adsorben polimer. Karakteristik adsorben yang baik untuk digunakan dalam adsorpsi yaitu mempunyai daya serap yang tinggi, berupa zat padat dengan luas permukaan besar, memiliki volume internal besar yang ditunjukkan dengan porositas, tidak mengalami perubahan volume yang berarti selama adsorpsi atau desorpsi, tidak larut dalam zat yang akan teradsorpsi, tidak bereaksi dengan campuran yang akan dimurnikan, dapat diregenerasi kembali, dan

tidak beracun (Rini dan Lingga, 2010).

Model kinetika dapat digunakan untuk menentukan variabel yang terlibat dalam adsorpsi yang terjadi. Model kinetika adsorpsi dijelaskan dalam dua jenis orde, yaitu orde 1 dan orde 2. Model kinetika orde 1 menunjukkan bahwa reaksi hanya bergantung pada konsentrasi dari salah satu reaktan.

Persamaan kinetika orde 1 adalah sebagai berikut:

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C] \quad (2.1)$$

bentuk persamaan liniernya sebagai berikut:

$$\ln C_e = -k_1 t + \ln C_0 \quad (2.2)$$

dimana:

C_e = konsentrasi saat kesetimbangan

k_1 = kinetika orde 1

C_0 = konsentrasi awal

Plot antara $\ln C_0/C_e$ dengan t merupakan bentuk kurva linier kinetika orde 1 (Kurniawati *et al.*, 2013).

Model kinetika orde 2 menunjukkan bahwa reaksi bergantung pada kuadrat konsentrasi dari salah satu reaktan atau konsentrasi dua reaktan. Persamaan kinetika orde 2 adalah sebagai berikut:

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C]^2 \quad (2.3)$$

bentuk persamaan liniernya sebagai berikut:

$$\frac{1}{C_e} = k_2 t + \frac{1}{C_0} \quad (2.4)$$

dimana k_2 adalah kinetika orde 2. Plot antara $1/C_e$ dengan t merupakan bentuk kurva linier kinetika orde 2 (Kurniawati *et al.*, 2013).

Cara untuk mengetahui mekanisme adsorpsi dan konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia untuk ion-ion logam, digunakan persamaan sistem *pseudo*-orde 1 (model Lagergren) dan mekanisme *pseudo*-orde 2 (model Ho dan McKay). Model *pseudo*-orde 1 digunakan untuk sistem *liquid-solid* yang berdasarkan pada kapasitas padatan. Model kinetika diaplikasikan untuk mendeskripsikan adsorpsi zat terlarut dari larutan. Bentuk umum dari persamaan kinetika *pseudo*-orde 1

adalah sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t) \quad (2.5)$$

dimana q_e adalah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g), q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g), dan k adalah konstanta kinetika adsorpsi (g/mg.menit). Integrasi persamaan untuk batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = 0$ hingga $q_t = q_t$ diperoleh persamaan:

$$\ln \frac{q_e}{q_e - q_t} = kt \quad (2.6)$$

bentuk liniernya adalah:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - kt \quad (2.7)$$

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

Model *pseudo-orde 2* berdasarkan pada reaksi kompleksasi permukaan antara adsorben dengan adsorbat. Persamaan kinetika *pseudo-orde 2* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t)^2 \quad (2.8)$$

Integrasi persamaan untuk batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = q_t$ diperoleh persamaan:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + kt \quad (2.9)$$

atau

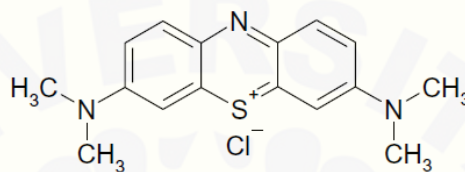
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.10)$$

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

2.5 Metilen Biru

Metilen biru merupakan senyawa kimia aromatik heterosiklik yang bersifat racun. Metilen biru disebut juga dengan kapas biru, asam biru 93, atau CI 42780. Metilen biru memiliki rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl$ yaitu berupa zat warna kationik yang memiliki daya dan afinitas adsorpsi sangat kuat, luas permukaan yang besar, dan multiatomik. Afinitas adsorpsi metilen biru cukup tinggi, tetapi metilen biru juga memiliki ukuran molekul yang cukup besar sehingga ketika

permukaan adsorben dalam larutan biner sudah mulai jenuh, maka adsorbat selanjutnya akan mengisi bagian aktif yang masih kosong yang terhalang oleh adsorbat pertama yang terlebih dahulu teradsorpsi (Sukir, 2008). Senyawa ini berwarna hijau gelap pada suhu kamar dengan berat molekul sebesar 319,86 g/mol dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L. Metilen biru merupakan zat pewarna *thiazine* yang sering digunakan sebagai pewarna kain, tekstil, kertas, dan kosmetik (Palupi, 2006).



Gambar 2.3 Struktur metilen biru (Sumber: Wang *et al.*, 2005)

Warna pada metilen biru dapat muncul karena adanya grup kromofor. Kromofor merupakan konfigurasi radikal yang mengandung elektron terdelokalisasi. Konfigurasi kromofor yang dimiliki oleh metilen biru yaitu senyawa azo ($-N=N-$). Zat warna memiliki bentuk molekul gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai zat pembawa warna. Zat organik tidak jenuh dalam zat warna berupa senyawa aromatik seperti senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya, serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor biasanya merupakan sistem azo dan antrakuinon yang memiliki berat molekul relatif kecil (Manurung *et al.*, 2004).

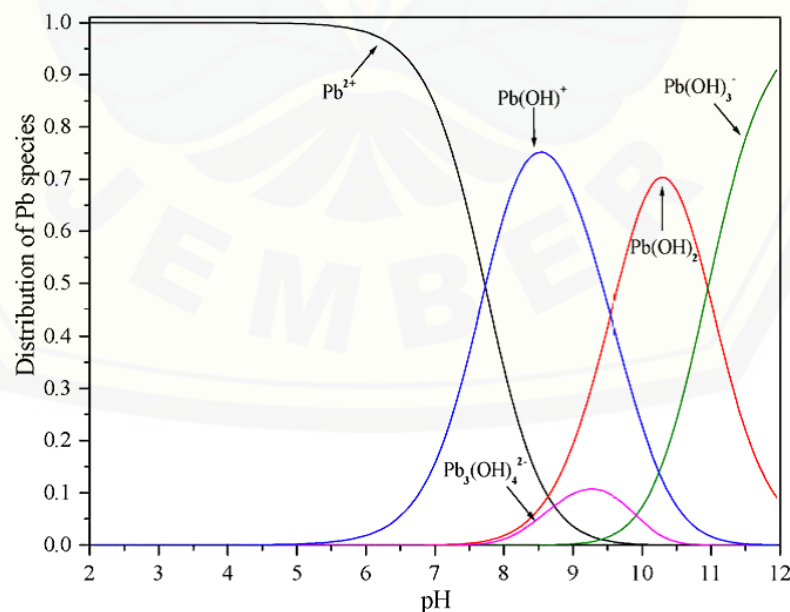
2.6 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu unsur yang termasuk dalam golongan IVA periode 6 pada tabel periodik unsur dengan nomor atom 82. Timbal termasuk jenis metaloid (semi logam) yang bersifat lunak dan semikonduktor, memiliki massa atom 207,19 g/mol, berat jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$, bilangan oksidasi +2 dan +4, ukuran partikel $0,045\text{-}0,33 \text{ }\mu\text{m}$, berwarna kelabu kebiruan dengan titik leleh 327°C dan titik didih 1.620°C . Bentuk oksida dari timbal yang paling umum

adalah timbal(II). Pb(II) termasuk dalam golongan elektrofil menengah (antara keras-lunak). Senyawa organometalik yang penting adalah timbal tetra etil (TEL: *tetra ethyl lead*), timbal tetra metil (TML: *tetra methyl lead*), dan timbal stearat yang merupakan logam tahan terhadap korosi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk *coating* (Palar, 2004).

Timbal tidak ditemukan bebas di alam, tetapi biasanya ditemukan sebagai biji mineral bersama dengan logam lain seperti seng, perak, dan tembaga. Sumber mineral timbal yang utama adalah Galena (PbS) yang mengandung 86,6% Pb dengan proses pemanggangan, Cerussite (PbCO₃), dan Anglesite (PbSO₄). Kandungan timbal dikerak bumi sebesar 14 ppm. Sumber utama polusi timbal pada lingkungan berasal dari proses pertambangan, peleburan logam, pemurnian logam, limbah industri, dan asap kendaraan bermotor (Darmono, 2001).

Timbal terdapat dalam bentuk Pb²⁺, Pb(OH)⁺, Pb(OH)₂⁰, Pb(OH)₃⁻ pada berbagai nilai pH. Bentuk Pb(II) akan berubah pada nilai pH yang berbeda. Pb(II) terutama terdapat dalam bentuk Pb²⁺ pada pH 2-6 dan penghilangan Pb(II) terutama dilakukan dengan metode adsorpsi. Pb(II) pada pH 7-10 terdapat dalam bentuk Pb(OH)⁺ dan Pb(OH)₂⁰. Pada pH 10-12, sebagian besar Pb(II) terdapat dalam bentuk Pb(OH)₂⁰ dan Pb(OH)₃⁻ (Yang *et al.*, 2010).



Gambar 2.4 Spesi Pb(II) dalam berbagai variasi pH larutan (Sumber: Yang *et al.*, 2010)

2.7 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan teknik analisis spektroskopi yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380) nm dan sinar tampak (380-780) nm (Mulja dan Suharman, 1995). Spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada penyerapan sinar ultraviolet dan sinar tampak oleh suatu molekul yang mampu mengeksitasi elektron dalam orbital molekul dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jumlah energi radiasi yang diserap memungkinkan pengukuran jumlah zat yang terserap dalam larutan secara kuantitatif (Khopkar, 1990).

Spektrum UV-Vis terdiri dari pita absorpsi dengan bentuk yang lebar karena terbaginya keadaan dasar dan keadaan eksitasi sebuah molekul dalam subtingkat rotasi dan vibrasi. Panjang gelombang tempat terjadinya eksitasi elektronik yang memberikan nilai absorbansi maksimum disebut dengan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}). Analisis kuantitatif zat tunggal dilakukan dengan pengukuran nilai absorbansi pada panjang gelombang maksimum karena perubahan absorbansi untuk setiap satuan konsentrasi yaitu paling besar pada panjang gelombang maksimum, sehingga akan diperoleh sensitivitas analisis yang maksimal. Selain itu, pita serapan di sekitar panjang gelombang maksimum datar dan kesalahan pengukuran berulang kecil sehingga dapat memenuhi hukum Lambert-Beer. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang optimum, setiap komponen yang digunakan harus berfungsi dengan baik. Komponen-komponen spektrofotometri UV-Vis meliputi:

- a. Sumber sinar yang digunakan berupa lampu deuterium atau hidrogen untuk pengukuran UV dan lampu tungsten untuk daerah *visible*.
- b. Monokromator digunakan untuk menguraikan sinar polikromatis menjadi sinar monokromatis.
- c. Kuvet merupakan tempat atau wadah sampel yang akan dianalisis.
- d. Detektor berfungsi untuk mengubah sinyal radiasi yang diterima menjadi sinyal elektronik

(Mulja dan Suharman, 1995).

Cahaya yang diserap diukur sebagai absorbansi (A), sedangkan cahaya yang

ditransmisikan diukur sebagai transmitansi (T) yang dinyatakan dengan hukum Lambert-Beer. Hukum Lambert-Beer menyatakan bahwa jumlah radiasi cahaya datang yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu medium (larutan) tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Hukum Lambert-Beer menyatakan hubungan linearitas antara absorbansi dengan konsentrasi larutan analit (Khopkar, 1990). Berikut persamaan Lambert-Beer:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

dimana:

A = absorbansi

ϵ = absorptivitas molar (L/mol.cm)

c = konsentrasi molar (mol/L)

b = panjang atau ketebalan medium yang dilintasi oleh cahaya (cm)

Menurut Jain *et al.* (2016), panjang gelombang maksimum larutan metilen biru adalah 664 nm.

2.8 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*). Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Prinsip dasar metode analisis dengan SSA adalah penyerapan energi cahaya oleh atom-atom netral dalam keadaan gas yang berada dalam nyala. Atom-atom menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, bergantung pada sifat unsurnya sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektronik dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi (eksitasi). Energi transisi untuk masing-masing unsur bersifat spesifik (Khopkar, 1990).

Spektrum atom masing-masing unsur terdiri dari garis-garis resonansi. Garis lain yang bukan garis resonansi dapat berupa spektrum yang berasosiasi dengan tingkat energi molekul, biasanya berupa pita-pita serapan yang lebar. Spektrofotometri serapan atom memiliki komponen-komponen sebagai berikut:

a. Sumber radiasi

Sumber radiasi yang digunakan harus memiliki garis spektrum yang sama

dengan garis resonansi dan yang memiliki intensitas radiasi yang cukup kuat.

b. Unit atomisasi

Unit atomisasi digunakan sebagai penghasil atom bebas dari unsur yang dianalisis. Sumber atomisasi yang umum digunakan berupa nyala. Nyala yang sering digunakan adalah udara-propana, udara-asetilen, dan N₂O-asetilen.

c. Monokromator

Monokromator berfungsi untuk memisahkan dan mendispersikan sinar yang ditransmisikan oleh atom dalam bentuk pancaran cahaya dari lampu katoda sehingga diperoleh sinar monokromatis.

d. Detektor

Detektor berfungsi mengubah intensitas sinar yang datang menjadi arus listrik.

e. Recorder

Recorder berfungsi untuk mengolah kuat arus dari detektor menjadi besaran daya serap atom transmisi yang selanjutnya diubah dalam bentuk data yang berupa angka atau kurva yang menunjukkan absorbansi (Khopkar, 1990).

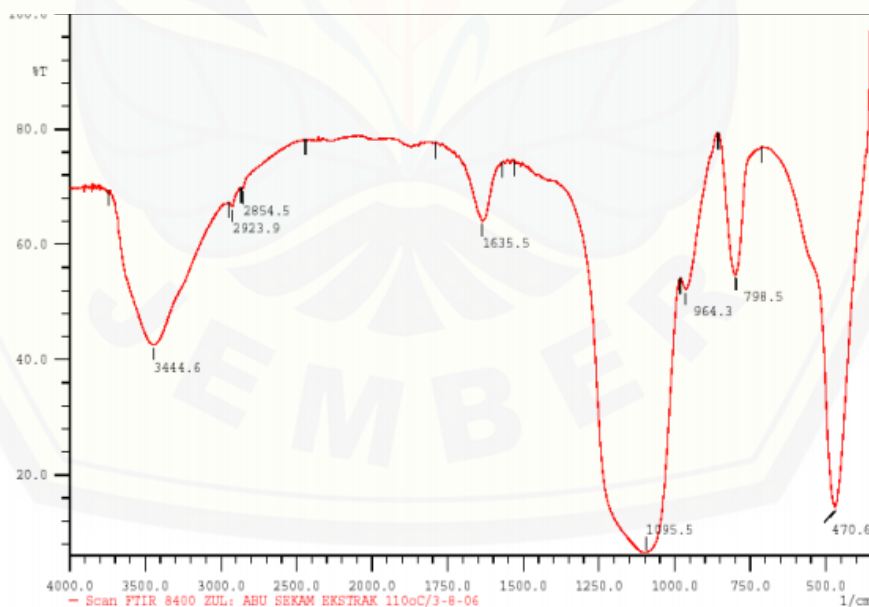
2.9 Spektrofotometri Inframerah

Spektrofotometri inframerah merupakan metode yang digunakan untuk penentuan gugus-gugus fungsi suatu molekul dengan radiasi elektromagnetik. Prinsip dasar spektrofotometri inframerah yaitu didasarkan pada interaksi antara vibrasi gugus fungsi dalam molekul dengan mengabsorpsi radiasi inframerah. Molekul dalam mengabsorpsi radiasi inframerah harus memiliki perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Spektrum serapan IR merupakan suatu perubahan simultan dari energi vibrasi dan energi rotasi dari suatu molekul (Khopkar, 1990).

Pancaran inframerah mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik yang terletak di antara daerah *visible* dan daerah *microwave*. FTIR sebagian besar kegunaannya terbatas di daerah antara 4000 cm⁻¹ dan 666 cm⁻¹ (2,5-15,0 μm). Inframerah juga muncul pada daerah inframerah dekat antara 14.290-4000 cm⁻¹ (0,7-2,5 μm) dan pada daerah inframerah jauh 700-200 cm⁻¹ (14,3-50 μm). Salah

satu kemajuan instrumentasi IR adalah pemrosesan data seperti *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Teknik ini memberikan informasi struktur dan konformasi pada polimer, perubahan induksi tekanan, dan reaksi kimia. Padatan diuji dengan cara merefleksikan sinar inframerah melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan cuplikan. Sensitivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi daripada instrumentasi dispersi standar karena memiliki resolusi yang lebih tinggi (Silverstain dan Bassler, 1967).

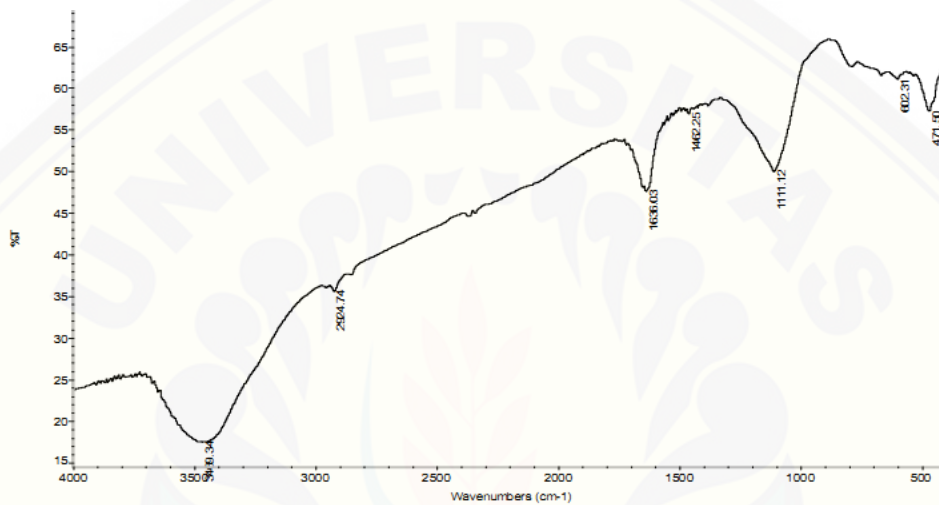
Menurut penelitian dari Suka *et al.* (2008), spektrum inframerah pada silika yang disintesis dari sekam padi muncul pada bilangan gelombang $3444,6 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus -OH (gugus hidroksil). Pita serapan pada bilangan gelombang $1635,5 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi bending pada gugus -OH dari Si-OH . Pita serapan pada $1095,5 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri siloksan (Si-O-Si). Pita serapan pada $470,6 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi bending dari Si-O-Si . Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang $964,3 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur simetri Si-OH . Hasil karakterisasi silika gel dengan FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Spektrum inframerah silika yang disintesis dari sekam padi (Sumber: Suka *et al.*, 2008)

Spektrum inframerah kiesel gel 60G (Merck) sebagai pembanding spektrum silika hasil sintesis. Spektrum inframerah kiesel gel 60G muncul pada bilangan

gelombang $3462,29 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus -OH . Adanya gugus -OH dipertegas dengan pita serapan pada bilangan gelombang $1636,03 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi bending pada gugus -OH dari Si-OH . Pita serapan pada $1111,12 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri siloksan (Si-O-Si). Pita serapan pada $471,50 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi bending dari Si-O-Si . Spektra inframerah silika hasil sintesis mirip dengan kiesel gel 60G. Spektra inframerah kiesel gel 60G dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6 Spektrum inframerah kiesel gel 60G (Sumber: Kristianingrum *et al.*, 2016)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan April sampai dengan Agustus 2017 di Laboratorium Kimia Anorganik, Laboratorium Kimia Analitik, Laboratorium Instrumentasi, dan Laboratorium Kimia Organik di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

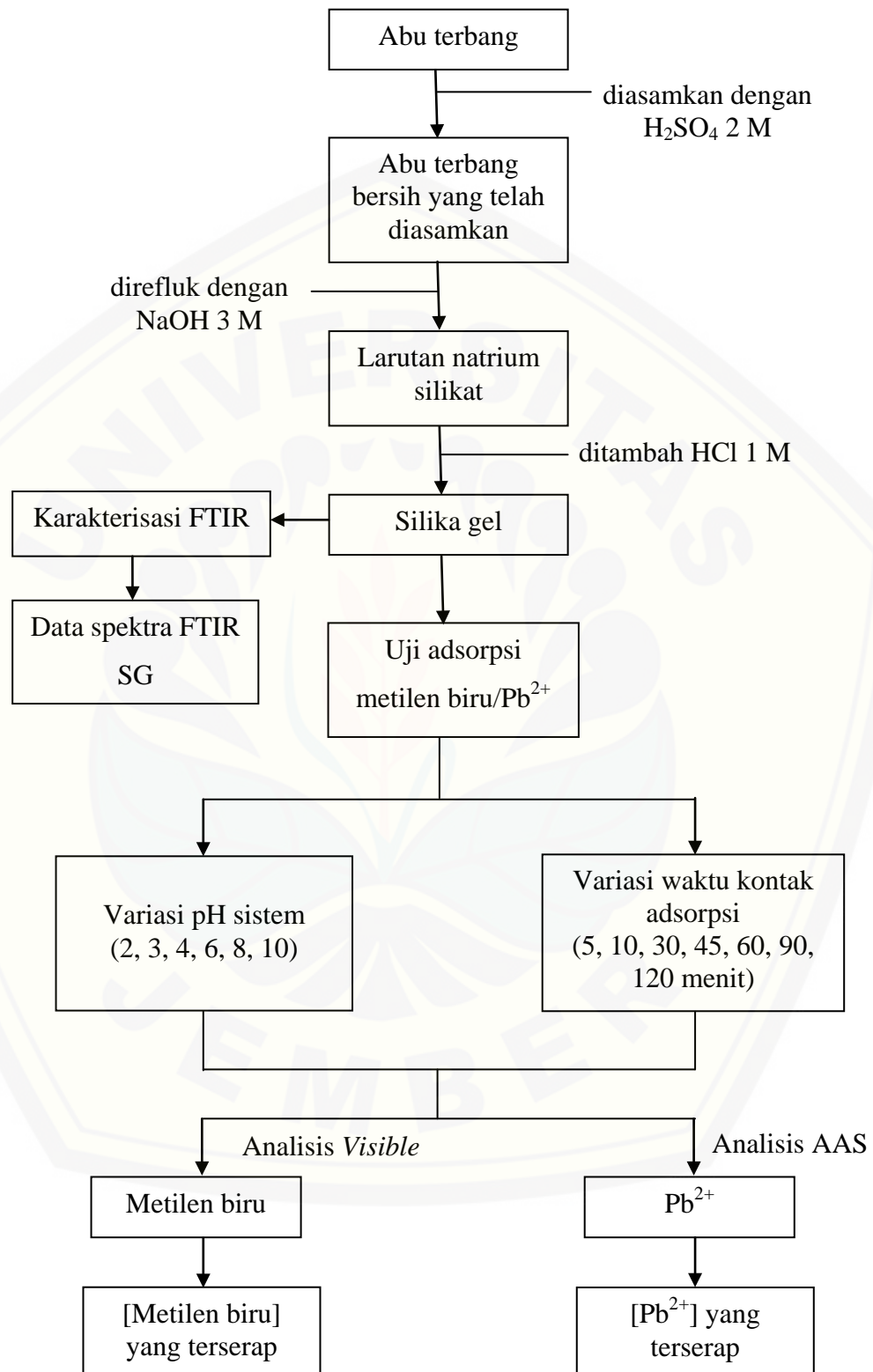
3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia 100 mL, 250 mL, 1000 mL; gelas ukur 25 mL, 50 mL; labu ukur 5 mL, 10 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL; pipet mohr 1 mL, 5 mL; pipet volume 1 mL, 25 mL; erlenmeyer 125 mL; kondensor, labu alas bulat leher tiga, termometer, penutup gabus, penutup kaca, selang, pompa air, statif, pipet tetes, corong gelas, corong *Buchner*, stirer magnetik dan pemanas listrik (Lab.Companion HP-3000), oven (Memmert), neraca analitik (*Ohaus Analytical Plus*), *furnace* (Barnstead Thermolyne 1400), pH meter (Jenway 3505), gelas arloji, mortar, alu, desikator, spatula, cawan porselin, *ball pipet*, ayakan ukuran 200 mesh, set alat spektrometri UV-Vis (UV-Vis *Spectrophotometers* 756 CRT, Spektronik 20), alat penggoncang (*shaker*), dan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*) (Buck Scientific 205).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang batubara dari PT.IPMOMI PLTU Paiton-Probolinggo, akuades, NaOH (Merck, 99%), HCl (Merck, 37%), H₂SO₄ (Merck, 98%), *methylene blue* (Merck, 82%), padatan Pb(NO₃)₂ (Merck 99%, berat molekul 331,2 g/mol), kertas saring *whatman* No.41, kertas saring biasa, dan indikator pH universal.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi

a. Pembuatan Larutan NaOH 3 M

Larutan NaOH 3 M dibuat dengan cara menimbang NaOH sebanyak 60 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL dan dilarutkan dengan sedikit akuades sampai terlarut sempurna. Larutan NaOH kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas. Labu ukur dikocok secara perlahan agar larutan homogen.

b. Pembuatan Larutan HCl 1 M

Larutan HCl 1 M dibuat dengan mengambil HCl 37% (12 M) sebanyak 41,5 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL yang telah berisi sedikit akuades, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas. Labu ukur dikocok secara perlahan agar larutan homogen.

c. Pembuatan Larutan H₂SO₄ 2 M

Larutan H₂SO₄ 2 M dibuat dengan mengambil H₂SO₄ 98% (18 M) sebanyak 54,4 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL yang telah berisi sedikit akuades, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas. Labu ukur dikocok secara perlahan agar larutan homogen.

d. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru

Larutan induk zat warna metilen biru 1000 mg/L dibuat dengan cara menimbang metilen biru sebanyak 1,0 g, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dilarutkan dengan sedikit akuades sampai terlarut sempurna. Larutan metilen biru kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas. Labu ukur dikocok secara perlahan agar larutan homogen.

e. Pembuatan Larutan Sampel Metilen Biru 200 mg/L

Larutan sampel metilen biru 200 mg/L dibuat dengan cara mengambil larutan induk metilen biru sebanyak 100 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Labu ukur dikocok secara perlahan agar larutan homogen.

f. Pembuatan Larutan Induk Pb^{2+} 1000 mg/L

Larutan induk Pb^{2+} 1000 mg/L dibuat dengan cara menimbang 1,6 g serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas.

g. Pembuatan Larutan Sampel Pb^{2+} 200 mg/L

Larutan sampel Pb^{2+} 200 mg/L dibuat dengan mengambil 100 mL larutan induk Pb^{2+} 1000 mg/L kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas.

3.4.2 Preparasi Sampel

Sampel abu terbang batubara yang diambil dari PLTU Paiton-Probolinggo ditimbang sebanyak 40 g dan diasamkan dengan larutan H_2SO_4 2 M sebanyak 200 mL agar zat-zat pengotor dan oksida-oksida logam yang terdapat pada abu terbang terpisah. Campuran sampel abu terbang dengan larutan H_2SO_4 2 M diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, kemudian disaring menggunakan corong *Buchner* dengan kertas saring *whatman* No.41 yang sebelumnya telah di oven selama 15 menit, ditimbang, dan dicatat massanya. Residu abu terbang dibilas dengan akuades berulang kali sampai bersih dan netral (residu sampai memiliki pH 7). Residu yang sudah bersifat netral dapat diketahui menggunakan indikator pH universal. Residu kemudian di oven pada suhu 100°C selama 24 jam (Sulistiyo *et al.*, 2017). Endapan yang sudah kering ditimbang massanya.

3.4.3 Pembuatan Silika Gel

Sampel abu terbang yang telah dipreparasi ditimbang sebanyak 15 g dan dicampurkan dengan NaOH 3 M sebanyak 180 mL dalam labu alas bulat leher tiga, kemudian di refluk selama 1 jam pada suhu 90°C . Selanjutnya campuran disaring menggunakan corong *Buchner* dengan kertas saring *whatman* No.41 yang sebelumnya telah di oven selama 15 menit, ditimbang, dan dicatat massanya. Filtrat yang mengandung silika dari proses penyaringan ditampung dalam gelas kimia. Filtrat ditambahkan HCl 1 M tetes demi tetes hingga pembentukan endapan silika terhenti (sekitar pH 7) yang kemudian didiamkan selama 18 jam

dalam suhu ruang dan ditutup dengan *aluminium foil*. Endapan yang terbentuk disaring menggunakan corong *Buchner* dengan kertas saring *whatman* No.41 dan dibilas menggunakan akuades agar netral. Silika gel yang dihasilkan kemudian dikeringkan pada suhu 100°C selama 8 jam. Silika gel ditimbang, kemudian dihaluskan menggunakan alu dan mortar, selanjutnya diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk silika gel dikalsinasi pada suhu 550°C selama 4 jam dalam *furnace* yang kemudian disimpan dalam desikator (Sulistiyo *et al.*, 2017).

3.4.4 Karakterisasi Silika Gel dengan FTIR

Sampel silika gel dan abu terbang yang sudah dipreparasi ditimbang sebanyak 0,001 g. Sampel ditambahkan KBr dengan perbandingan massa 1:9 g ke dalam *mortar* dan diaduk hingga homogen. Cetakan *pellet* disiapkan kemudian sampel, *base*, dan *tablet frame* dicuci dengan kloroform. Sampel yang telah dicampur dengan KBr dimasukkan ke dalam set cetakan *pellet*, kemudian cetakan diletakkan pada pompa hidrolis dan diberi tekanan sebesar 8 *gauge*. *Pellet* KBr yang telah terbentuk dilepaskan dan ditempatkan pada *tablet holder*. Sampel kemudian dianalisa menggunakan Spektrofotometer FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsinya pada panjang gelombang 400 – 4.000 cm^{-1} (Kurniyasari, 2012).

3.4.5 Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb^{2+}

a. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna Metilen Biru

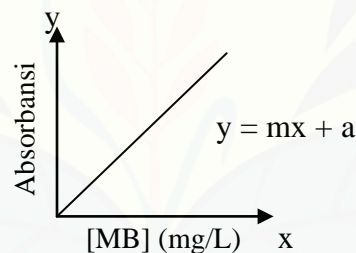
Penentuan panjang gelombang maksimum zat warna metilen biru dilakukan dengan *scanning* menggunakan spektrofotometer *visible*. Panjang gelombang maksimum larutan metilen biru ditentukan dengan mengukur absorbansi larutan standar 2 mg/L yang dikembangkan dari metode Widihati *et al.*, (2011) pada panjang gelombang *visible* 500-700 nm. Blanko yang digunakan yaitu akuades. Data hasil pengukuran menggunakan spektrofotometer *visible* dirancang seperti Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengukuran panjang gelombang Metilen Biru

Panjang gelombang (λ)	Absorbansi

b. Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru

Kurva kalibrasi dibuat dari larutan standar dengan konsentrasi 0,5 mg/L; 1 mg/L; 2 mg/L; 3 mg/L; 4 mg/L; dan 5 mg/L. Larutan dibuat dengan mengambil sebanyak 0,5 mL; 1 mL; 2 mL; 3 mL; 4 mL; dan 5 mL dari larutan 10 mg/L, kemudian diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 10 mL. Masing-masing larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer *visible* pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada saat *scanning*. Data yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi dengan memplotkan konsentrasi terhadap absorbansi untuk mendapatkan persamaan garis linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik kurva kalibrasi metilen biru (Sumber: Rozi, 2014)

dimana:

y = absorbansi

m = slope atau kemiringan dari kurva kalibrasi

x = konsentrasi

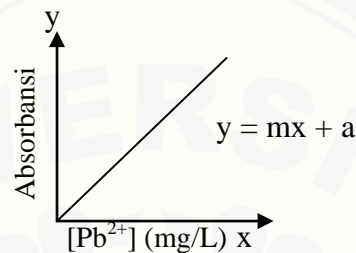
a = intersep atau perpotongan terhadap sumbu y

(Rozi, 2014).

c. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Pb^{2+}

Kurva kalibrasi dibuat dengan konsentrasi 1 mg/L; 2 mg/L; 3 mg/L; 4 mg/L; 5 mg/L; 6 mg/L; 7 mg/L; 8 mg/L; 9 mg/L; dan 10 mg/L. Larutan dibuat dengan

mengambil sebanyak 1 mL; 2 mL; 3 mL; 4 mL; 5 mL; 6 mL; 7 mL; 8 mL; 9 mL; dan 10 mL dari larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 10 mg/L, kemudian diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 10 mL. Masing-masing konsentrasi larutan diukur absorbansinya menggunakan AAS, nilai absorbansi yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi dengan memplotkan konsentrasi terhadap absorbansi untuk mendapatkan persamaan garis linier $y = mx + a$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik kurva kalibrasi larutan Pb^{2+} (Sumber: Rozi, 2014)

d. Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb^{2+} pada Variasi pH Sistem

Larutan metilen biru 200 mg/L, larutan Pb^{2+} 200 mg/L, dan campuran larutan metilen biru- Pb^{2+} dengan perbandingan volume (1:1) masing-masing dimasukkan ke dalam erlenmeyer 125 mL sebanyak 25 mL. Erlenmeyer yang telah berisi larutan ditambahkan adsorben silika gel sebanyak 50 mg dan diukur pH sistem menggunakan pH meter. Sistem di variasi pada pH 2, 3, 4, 6, 8 dan 10. Sistem ditambahkan tetes demi tetes HCl untuk mendapatkan pH asam, sedangkan untuk mendapatkan pH sistem basa ditambahkan NaOH tetes demi tetes sampai pH larutan sesuai yang dikehendaki. Variasi pH sistem bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari adsorben dengan pembentukan muatan negatif dan positif pada permukaan silika gel. Erlenmeyer yang berisi adsorbat dan adsorben ditutup menggunakan *aluminium foil* dan di *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 60 menit. Filtrat diencerkan menjadi 25 kalinya untuk masing-masing variasi pH, kemudian diukur menggunakan spektrofotometer *visible* untuk metilen biru dan AAS untuk Pb^{2+} . Masing-masing variasi pH sistem dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali (*triplo*). Data hasil pengukuran absorbansi dengan spektrofotometer *visible* dan AAS dibuat dalam bentuk Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variasi pH sistem

pH sistem	Pengulangan	Absorbansi	[Adsorbat] _{sis}	[Adsorbat] _{teradsorp}
2				
3				
4				
6				
8				
10				

e. Uji Adsorpsi Silika Gel terhadap Metilen Biru dan Pb^{2+} pada Variasi Waktu Kontak Adsorpsi

Larutan metilen biru 200 mg/L, larutan Pb^{2+} 200 mg/L, dan campuran larutan metilen biru- Pb^{2+} dengan perbandingan volume (1:1) masing-masing dimasukkan ke dalam erlenmeyer 125 mL sebanyak 25 mL. Erlenmeyer yang telah berisi larutan ditambahkan adsorben silika gel sebanyak 50 mg dan ditutup menggunakan *aluminium foil*. pH optimum yang diperoleh dari langkah sebelumnya digunakan untuk proses adsorpsi pada berbagai variasi waktu kontak. Erlenmeyer yang telah berisi adsorbat dan adsorben di *shaker* dengan kecepatan 100 rpm dengan variasi waktu kontak 5, 10, 30, 45, 60, 90, dan 120 menit. Larutan disaring dan filtrat diencerkan menjadi 25 kalinya untuk masing-masing larutan. Filtrat diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer *visible* untuk metilen biru dan AAS untuk Pb^{2+} . Masing-masing perlakuan variasi waktu kontak dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Data hasil pengukuran absorbansi dengan spektrofotometer *visible* dan AAS dibuat dalam bentuk Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variasi waktu kontak

Waktu kontak	Pengulangan	Absorbansi	Kemampuan adsorpsi (menit)
5			
10			
30			
45			
60			
90			
120			

3.5 Analisis Data

3.5.1 Kemampuan Adsorpsi

Kemampuan adsorpsi digunakan untuk mengetahui perbedaan konsentrasi campuran larutan sebelum dan sesudah penyerapan (adsorpsi) oleh adsorben silika gel dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q = \frac{(C_0 - C_f) \times V}{m} \quad (3.1)$$

dimana:

- q = kemampuan adsorpsi (mg/g)
- C₀ = konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C_f = konsentrasi akhir larutan setelah adsorpsi (mg/L)
- V = volume adsorbat (L)
- m = massa adsorben (g)

(Alver dan Metin, 2012).

3.5.2 Model Kinetika Adsorpsi pada Proses Adsorpsi Metilen Biru dan Pb²⁺

Model kinetika adsorpsi dijelaskan dalam dua jenis orde, yaitu pseudo orde 1 dan pseudo prde 2. Persamaan pseudo orde 1 adalah sebagai berikut:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - kt \quad (3.2)$$

sedangkan bentuk linier pseudo orde 2 adalah sebagai berikut:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3.3)$$

dimana:

- q_e = jumlah yang diadsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)
- q_t = jumlah yang diadsorpsi pada waktu t (mg/g)
- k₁ = konstanta laju pseudo orde 1 (min⁻¹)
- k₂ = konstanta laju pseudo orde 2 (g/mg.min)
- t = waktu kontak (menit)

(Munawar, 2012).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dalam larutan tunggal maupun biner MB-Pb optimum pada pH 10, kemampuan adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dan Pb dalam larutan biner sebesar 59,555 dan 25,000 mg/L.
2. Kinetika adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dan Pb mengikuti kinetika pseudo orde 2 untuk larutan tunggal ataupun biner. Kecepatan adsorpsi metilen biru lebih besar dibandingkan dengan Pb dalam larutan biner dengan nilai kecepatan adsorpsi sebesar 0,0657 dan 0,00743g/mg.min.

5.2 Saran

Perlu dipelajari model adsorpsi dan variasi konsentrasi adsorbat untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum, serta model interaksi pada proses adsorpsi silika gel terhadap metilen biru dan Pb.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W. dan Gast, A.P. 1997. *Physical Chemistry of Surface*. Sixth Edition. New York: John Willey & Sons Inc.
- Aderhold, D., Williams, C.J., dan Edyvean, R.G.J. 1996. The Removal of Heavy-Metal Ions by Seaweeds and Their Derivatives. *Bioresource Technology*. 58(1): 1-6.
- Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., dan Balgis, R. 2009. A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*. 20(1): 468-472.
- Afrianita, R., Dewilda, Y., dan Fitri, R. 2013. Efisiensi dan Kapasitas Penyerapan Fly Ash sebagai Adsorben dalam Penyisihan Logam Timbal (Pb) Limbah Cair Industri Percetakan di Kota Padang. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 10(1): 1-10.
- Alberty, R.A. 1997. *Physical Chemistry*. New York: John Willey & Sons Inc.
- Alver, E., dan Metin, A.U. 2012. Anionic Dye Removal from Aqueous Solution Using Modified Zeolit: Adsorption Kinetics and Isotherm Studies. *Chemical Engineering Journal*. 200-202(1): 59-67.
- Ardianto, A. 2016. Pengaruh Aktivasi Kimia (H_2SO_4 dan HCl)–Fisik pada Adsorben Fly Ash Batubara dengan Variasi Massa dan Molaritas Terhadap Prestasi Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. *Skripsi*. Bandar Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- 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. *Kimia Fisika Jilid 2*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.

- Aziz, M., Ardha, I.G.N., dan Tahli, L. 2006. Karakterisasi Abu Terbang PLTU-Suralaya dan Evaluasinya untuk Refraktori Cor. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 14(36): 1-8.
- Boinski, F., Khouchaf, L., dan Tuilier, M.H. 2010. Study of the Mechanisms Involved in Reactive Silica. *Materials Chemistry and Physics*. 122(1): 311-315.
- Carvalho, T.E.M., Fungaro, D.A., Magdalena, C.P., dan Cunico, P. 2011. Adsorption of Indigo Carmine from Aqueous Solution using Coal Fly Ash and Zeolite from Fly Ash. *Journal Radional Nuclear Chemistry*. 289(1): 617-626.
- Chen, Q., He, Q., Lv, M., Xu, Y., Yang, H., liu, X., dan Wei, F. 2015. Selective Adsorption of Cationic Dyes by UiO-66-NH₂. *Applied Surface Science*. 327(1): 77-85.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Ding, G., Wang, B., Chen, L., dan Zhao, S. 2016. Simultaneous Adsorption of Methyl Red and Methylene Blue onto Biochar and an Equilibrium Modeling at High Concentration. *Chemosphere*. 163(1): 283-289.
- Fahmiati, Nuryono, dan Narsito. 2006. Adsorption Thermodynamics of Cd(II), Ni(II), and Mg(II) on 3-Mercapto-1,2,4-triazole Immobilized Silica Gel. *Journal Chemistry*. 6(1): 52-55.
- Fathonah, R., Mahardiani, L., dan Sukardjo, J.S. 2012. Preparasi dan Aplikasi Silika Gel yang Bersumber dari Biomassa untuk Adsorpsi Logam Berat. *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV*. 31 Maret 2012. Universitas Sebelas Maret: 82-88.
- Gong, J., Zhang, Y., Jiang, Y., Zeng, G., Cui, Z., Liu, K., Deng, C., Niu, Q., Deng, J., dan Huan, S. 2015. Continuous Adsorption of Pb(II) and Methylene Blue by Engineered Graphite Oxide Coated Sand in Fixed-Bed Column. *Applied Surface Science*. 330(1): 148-157.

- Hadi, I., Arsa, M., dan Sudiarta, I.W. 2013. Sintesis Silika Gel dari Abu Sekam Padi dan Abu Limbah Pembakaran Batu-Bata dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Kimia*. 7(1): 31-38.
- Hoffman, A.A., Dias, S.LP., Rodrigues, J.R., Pavan, F.A., Benvenuti, E.V., dan Lima, E.C. 2008. Methylene Blue Immobilized on Cellulose Acetate with Titanium Dioxide: An Application as Sensor for Ascorbic Acid. *Journal Brazil Chemical Society*. 19(5): 943-949.
- Iler, R.K 1978. *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Jafari-zare, F. dan Habibi-yangjeh, A. 2010. Competitive Adsorption of Methylene Blue and Rhodamine B on Natural Zeolite: Thermodynamic and Kinetic Studies. *Chin.J.Chem.* 28(1): 349-356.
- Jain, N., Dwivedi, M.K., dan Waskle, A. 2016. Adsorption of Methylene Blue Dye from Industrial Effluents Using Coal Fly Ash. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*. 3(4): 9-16.
- Khan, T.A., Ali, I., Singh, V.V., dan Sharma, S. 2009. Utilization of Fly ash as Low-Cost Adsorbent for The Removal of Methylene Blue, Malachite Green and Rhodamine B Dyes from Textile Wastewater. *Journal of Environmental Protection Science*. 3(1): 11-22.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Kristianingrum, S., Siswani, E.D., dan Suyanta. 2016. Modifikasi Abu Vulkanik Kelud 2014 sebagai Bahan Adsorben Selektif Ion Logam Tembaga(II). *Jurnal Sains Dasar*. 5(1): 11-20.
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., dan Purbaningtias, T.E. 2013. Kinetic Study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *Jurnal Eksakta*. 13(1-2): 11-21.

- Kurniyasari. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Membran Komposit Alumina Silika Berpori dan Aplikasinya untuk Pemisahan Gas Metanol-Etanol. *Skripsi*. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.
- Kushwaha, A.K., Gupta, N., Chattopadhyaya, M.C. 2013. Enhanced Adsorption of Methylene Blue on Modified Silica Gel: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies. *Desalination and Water Treatment*. 52(1): 1-11.
- Manurung, R., Hasibuan, R., dan Irvan. 2004. Perombakan Zat warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob. *Laporan Penelitian*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Margolese, D., Melero, J.A., Christiansen, S.C., Chmelka, B.F., dan Stucky, G.D. 2000. Direct Syntheses of Ordered SBA-15 Mesoporous Silica Containing Sulfonic Acid Groups. *Journal Chemistry*. 12(8): 2448-2459.
- Mufrodi, Z., Widiastuti, N., dan Kardika, R.C. 2008. Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Kimia dan Tekstil*. 22 November 2008. Universitas Ahmad Dahlan: 90-93.
- Mulja, M. dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Surabaya: Universitas Airlangga Press.
- Munawar. 2012. Kinetika Sorpsi Ion Zink(II) pada Partikel Gambut. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM: Sains, Teknologi, dan Kesehatan*. 3(1). Universitas Islam Bandung: 233-240.
- Munir, M. 2008. Pemanfaatan Abu Batubara (*Fly Ash*) untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan. *Tesis*. Semarang: Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Murniati, T., Inayati, dan Budiastuti, S. 2015. Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Elektrolisis sebagai Upaya Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta. *EKOSAINS*. 8(1): 77-83.

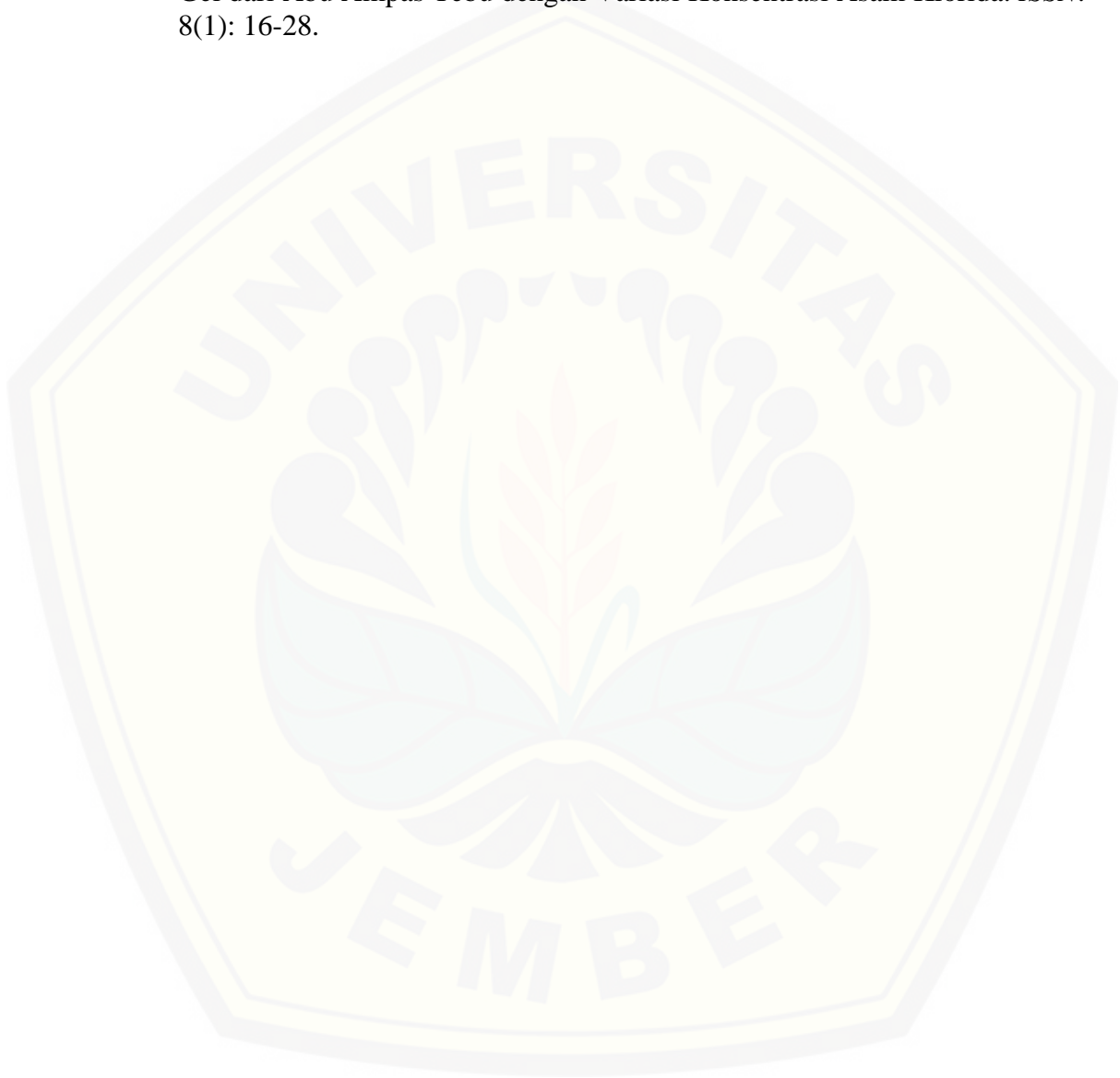
- Ngah, W.S.W., Ghani, S.A., dan Kamari, A. 2005. Adsorption Behaviour of Fe(II) and Fe(III) Ions in Aqueous Solution on Chitosan and Cross-Linked Chitosan Beads. *Bioresource Technology*. 96(1): 443-450.
- Niu, Y., Qu, R., Sun, C., Wang, C., Chen, H., Ji, C., Zhang, Y., Shao, X., dan Bu, F. 2013. Adsorption of Pb(II) from Aqueous Solution by Silica-Gel Supported Hyperbranched Polyamidoamine Dendrimers. *Journal of Hazardous Materials*. 244-245(1): 276-286.
- Nizar, M. 2016. Sintesis SiO₂ Berbahan Dasar Abu Vulkanik Sebagai Adsorben Ion Pb[II]. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*. 5(1): 28-32.
- Nurdila, F.A., Asri, N.S., dan Suharyadi, E. 2015. Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄). *Jurnal Fisika Indonesia*. XIX(55): 23-27.
- Nuryono dan Narsito. 2005. Pengaruh Konsentrasi Asam terhadap Karakter Silika Gel Hasil Sintesis dari Natrium Silikat. *Indonesian Journal of Chemistry*. 5(1): 23-30.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Amerika Serikat: Ellis Horwood.
- Page, A.L., Elsewi, A.A., dan 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.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Palupi, E. 2006. Degradasi *Methylene Blue* dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂. *Skripsi*. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Papandreou, A.D., Stournaras, C.J., Panias, D., dan Paspaliaris, I. 2011. Adsorption of Pb(II), Zn(II), and Cr(III) on Coal Fly Ash Porous Pellets. *Minerals Engineering*. 24(1): 1495-1501.

- Pehlivan, E. dan Cetin, S. 2008. Application of Fly Ash and Activated Carbon in The Removal of Cu^{2+} and Ni^{2+} Ions from Aqueous Solutions. *Energy Sources*. 30(1): 1153-1165.
- PT Pembangkitan Jawa Bali Paiton. 2002. *Material Safety Data Sheet*. Probolinggo: PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Paiton.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., dan Ahmad, A. 2010. Adsorption of Methylene Blue on Low-Cost Adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*. 177(1): 70-80.
- Rini, D.K. dan Lingga, F.A. 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Rizqi, H.D. dan Purnomo, A.S. 2014. Biodegradasi Pewarna Metilen Biru Oleh *Daedalea dickinsii*. *Jurnal Seni dan Sains*. 2(1): 1-6.
- Rofi'ah, F. 2016. Adsorpsi Zat Warna *Indigo Carmine* Menggunakan Silika Gel Berbasis Fly Ash Batubara Terimpregnasi Aluminium. *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Rozi, F. 2014. Pemanfaatan Arang Aktif untuk Mendegradasi Raksa dalam Limbah Cair Hasil Proses Amalgamasi Emas. *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Silverstain, R.M., dan Bassler, G.C. 1967. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Second Edition. New York: John Willey & Sons Inc.
- Suci, F.C. 2012. Pemanfaatan Abu Layang Batubara (*Fly Ash*) Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Pb^{2+} . *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
- Suka, I.G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Trisnawati, E. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *MIPA*. 37(1): 47-52.

- Sukir. 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Sekam Padi. *Tesis*. Bandung: Program Studi Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Sulistiyo, Y.A., Andriana, N., Piluharto, B., dan Zulfikar. 2017. Silica Gels from Coal Fly Ash as Methylene Blue Adsorbent: Isotherm and Kinetic Studies. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 12(2): 263-272.
- Sutrisno, B., Hidayat, A., dan Mufrodi, Z. 2014. Modifikasi Limbah Abu Layang menjadi Adsorben untuk Mengurangi Limbah Zat Warna pada Industri Tekstil. *Chemica*. 1(2): 57-66.
- Svehla, G. 1979. *Vogel's Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. Fifth Edition. Revised. New York: Longman Inc.
- Thomas, M. 2007. Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete. *PCA Report IS548*. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 24.
- Wang, S., Boyjoo, Y., dan Choueib, A.A. 2005. Comparative Study of Dye Removal using Fly Ash Treated by Different Methods. *Chemosphere*. 60(1): 1401-1407.
- Widihati, I.A.G., Diantariani, N.P., dan Nikmah, Y.P. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al_2O_3 . *Jurnal Kimia*. 5(1): 31-42.
- Witono, J.R.B. dan Miryanti, Y.I.P.A. 2015. *Pengembangan Adsorben Activated Fly Ash untuk Reduksi Ion Cu^{2+} dan Cr^{6+} dalam Limbah Cair Industri Tekstil*. Parahyangan: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan.
- Wu, S., Mou, C., dan Lin, H. 2013. Synthesis of Mesoporous Silica Nanoparticles. *Journal Chemical Society*. 42(9): 3862-3875.
- Yadla, S.V., Sridevi, V., dan Lakshmi, M.V.V.C. 2012. Adsorption Performance of Fly Ash for The Removal of Lead. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 1(7): 1-7.

Yang, S., Zhao, D., Zhang, H., Lu, S., Chen, L., dan Yu, X. 2010. Impact of Environmental Conditions on The Sorption Behavior of Pb(II) in Na-bentonite Suspensions. *Journal of Hazardous Materials*. 183(1): 632-640.

Yusuf, M., Suhendar, D., dan Hadisantoso, E.P. 2014. Studi Karakteristik Silika Gel dari Abu Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *ISSN*. 8(1): 16-28.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan

3.1 Pembuatan Larutan

3.1.1 Pembuatan Larutan NaOH 3 M

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

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

$$3M = \frac{(\frac{\text{massa}}{40 \text{ g/mol}})}{0,5 \text{ L}}$$

$$\text{massa} = 3 \text{ mol/L} \times 0,5 \text{ L} \times 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{massa} = 60 \text{ g}$$

3.1.2 Pembuatan Larutan HCl 1 M

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

$$37\% \text{ (w/w)} = 37 \text{ g}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1}{V}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1}{\frac{m}{\rho}}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{\rho}{m}$$

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$M = \frac{37 \text{ g}}{36,5 \text{ g/mol}} \times \frac{1,19 \text{ g/mL}}{100 \text{ g}}$$

$$12,06 \text{ M} \cdot V_1 = 1 \text{ M} \cdot 500 \text{ mL}$$

$$M = \frac{44,03 \text{ mol}}{3650 \text{ mL}}$$

$$V_1 = \frac{500 \text{ M} \cdot \text{mL}}{12,06 \text{ M}}$$

$$M = 12,06 \text{ mol/L}$$

$$V_1 = 41,5 \text{ mL}$$

3.1.3 Pembuatan Larutan H₂SO₄ 2 M

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

$$98\% \text{ (w/w)} = 98 \text{ g}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1}{V}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1}{\frac{m}{\rho}}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{\rho}{m}$$

$$M = \frac{98 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} \times \frac{1,84 \text{ g/mL}}{100 \text{ g}}$$

$$M = \frac{180,32 \text{ mol}}{9800 \text{ mL}}$$

$$M = 18,4 \text{ mol/L}$$

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$18,4 \text{ M} \cdot V_1 = 2 \text{ M} \cdot 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1000 \text{ M.mL}}{18,4 \text{ M}}$$

$$V_1 = 54,4 \text{ mL}$$

3.1.4 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 mg/L

$$\begin{aligned} 1000 \text{ mg/L} &= \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \\ &= \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mL}} \end{aligned}$$

3.1.5 Pembuatan Larutan Sampel Metilen Biru 200 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 200 \text{ mg/L} \cdot 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100000 \text{ mg/L.mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

3.1.6 Pembuatan Larutan Induk Pb^{2+} 1000 mg/L

$$\frac{1000 \text{ mg}}{\text{L}} = \frac{\text{massa}}{V (\text{L})}$$

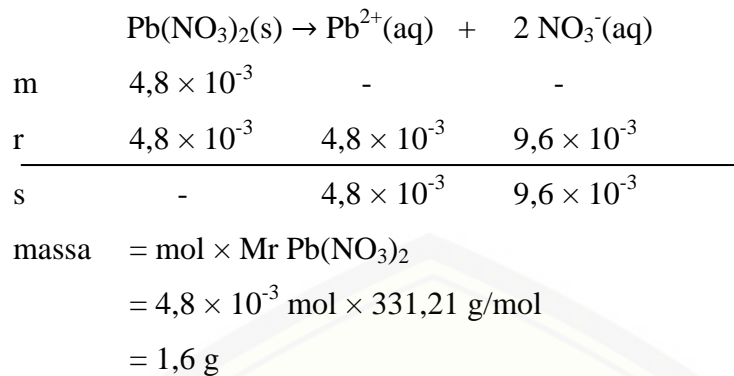
$$\frac{1 \text{ g}}{\text{L}} = \frac{\text{massa}}{1 \text{ L}}$$

$$\text{massa} = \frac{1 \text{ g} \cdot \text{L}}{\text{L}}$$

$$\text{massa} = 1 \text{ g}$$

$$\text{mol Pb}^{2+} = \frac{1 \text{ g}}{207,19 \text{ g/mol}}$$

$$= 4,8 \times 10^{-3}$$



3.1.7 Pembuatan Larutan Sampel Pb^{2+} 200 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 200 \text{ mg/L} \cdot 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100000 \text{ mg/L} \cdot \text{mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

3.1.8 Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru dari Larutan 10 mg/L

a. Konsentrasi 0,5 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 0,5 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}$$

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

b. Konsentrasi 1 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 1 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}$$

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

c. Konsentrasi 2 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 2 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}$$

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

d. Konsentrasi 3 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 3 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}$$

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

e. Konsentrasi 4 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 4 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}$$

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

f. Konsentrasi 5 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 5 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}$$

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

3.1.9 Pembuatan Kurva Kalibrasi Pb^{2+} dari Larutan 10 mg/L

a. Konsentrasi 1 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 1 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

b. Konsentrasi 2 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 2 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

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

c. Konsentrasi 3 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 3 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 7,5 \text{ mL}$$

d. Konsentrasi 4 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 4 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

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

e. Konsentrasi 5 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 5 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 12,5 \text{ mL}$$

f. Konsentrasi 6 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 6 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

g. Konsentrasi 7 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 7 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 17,5 \text{ mL}$$

h. Konsentrasi 8 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 8 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

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

i. Konsentrasi 9 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 9 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 22,5 \text{ mL}$$

j. Konsentrasi 10 mg/L

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 10 \text{ mg/L} \cdot 25 \text{ mL}$$

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

3.1.10 Pembuatan Larutan Sampel yang Diencerkan Setelah Proses Adsorpsi

a. Konsentrasi 100 mg/L dengan Pengenceran 25 kali

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \cdot V_1 = \frac{100}{25} \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

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

b. Konsentrasi 100 mg/L dengan Pengenceran 50 kali

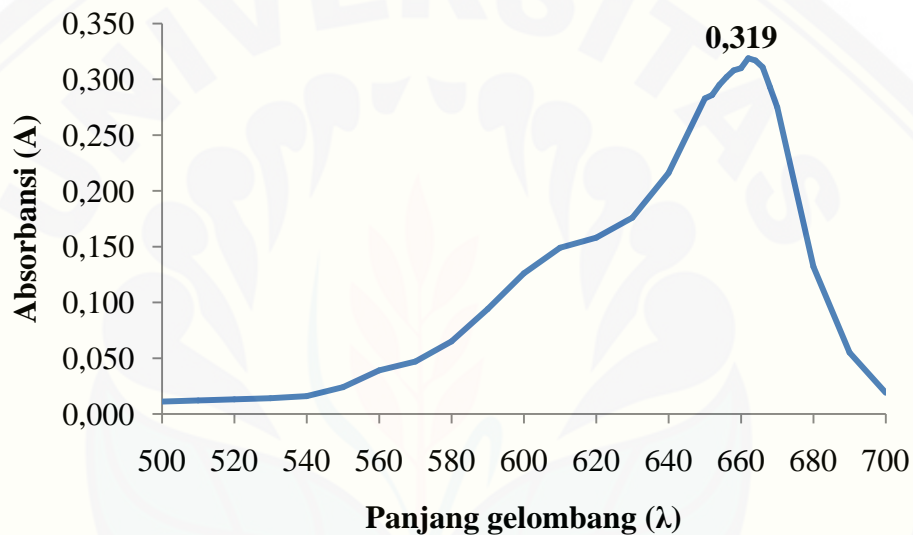
$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \cdot V_1 = \frac{100}{50} \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

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

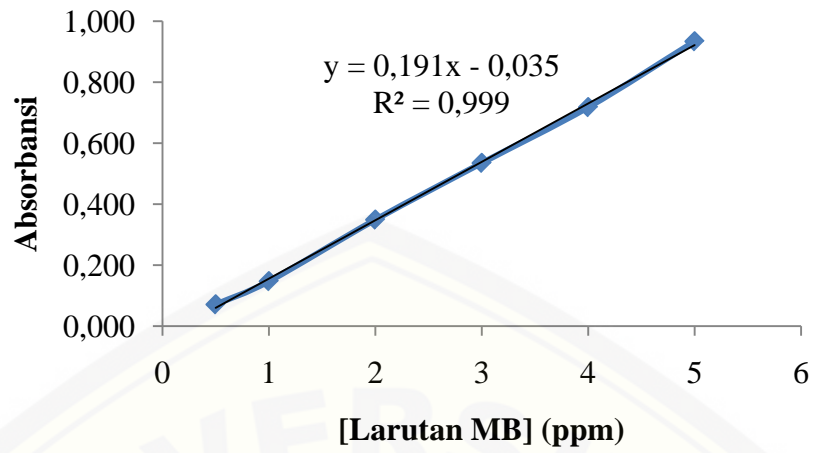
3.2 Scanning Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Kalibrasi

3.2.1 Scanning Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks}) Larutan Metilen Biru



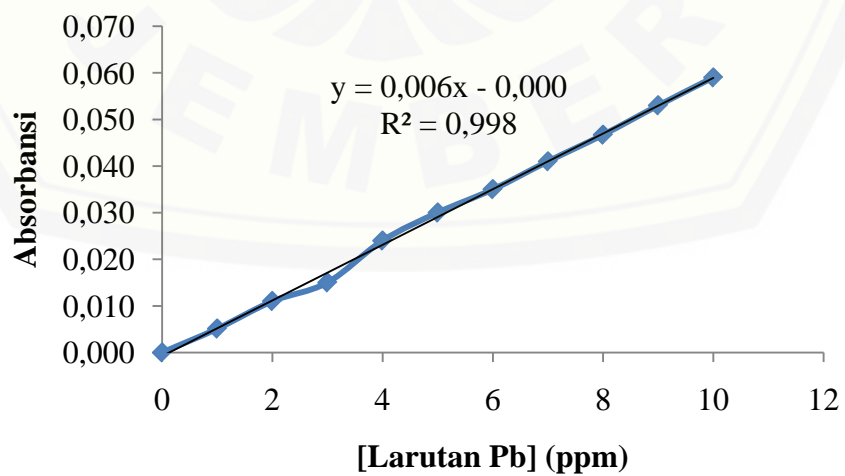
3.2.2 Kurva Kalibrasi Larutan Metilen Biru

Konsentrasi Metilen Biru (mg/L)	Absorbansi
0,5	0,071
1	0,147
2	0,349
3	0,535
4	0,718
5	0,934



3.2.3 Kurva Kalibrasi Larutan Pb²⁺

Konsentrasi Pb ²⁺ (mg/L)	Absorbansi
0	0,000
1	0,005
2	0,011
3	0,015
4	0,024
5	0,030
6	0,035
7	0,041
8	0,047
9	0,053
10	0,059



4.1 Penentuan Konsentrasi Awal dan Konsentrasi Asli dari Larutan Metilen Biru dan Pb dalam Larutan Tunggal

Adsorbat	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi	[IC] awal (mg/L)	Pengenceran	[IC] asli (mg/L)
Metilen biru	100	0,719	3,948	25	98,691
Pb	100	0,024	3,825	25	95,635

Menggunakan persamaan garis lurus $y = 0,191x - 0,035$ untuk metilen biru dan $y = 0,006x - 0,0008$ untuk Pb, dimana y adalah absorbansi, x adalah [adsorbat] awal.

➤ Perhitungan untuk metilen biru dan Pb^{2+}

$$y = 0,191x - 0,035$$

$$0,719 = 0,191x - 0,035$$

$$0,719 + 0,035 = 0,191x$$

$$3,948 = x$$

$$3,948 \text{ mg/L} = [IC]_{\text{awal}}$$

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

$$[IC]_{\text{asli}} = 3,948 \text{ mg/L} \times 25$$

$$[IC]_{\text{asli}} = 98,691 \text{ mg/L}$$

4.2 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi pH Sistem dalam Larutan Tunggal

4.2.1 Metilen Biru

pH	C_0 (mg/L)	Fp	Abs	C_{sisia} (mg/L)	C_f (mg/L)	Rerata	C_{ads} (mg/L)	Rerata
2	98,691	25	0,396	2,257	56,414	56,370	42,277	42,321
		25	0,395	2,251	56,283		42,408	
		25	0,396	2,257	56,414		42,277	
3	98,691	25	0,242	1,450	36,257	36,213	62,434	62,478
		25	0,242	1,450	36,257		62,434	
		25	0,241	1,445	36,126		62,565	
4	98,691	25	0,144	0,937	23,429	23,473	75,262	75,218
		25	0,145	0,942	23,560		75,131	
		25	0,144	0,937	23,429		75,262	
6	98,691	25	0,117	0,796	19,895	19,895	78,796	78,796
		25	0,118	0,801	20,026		78,665	
		25	0,116	0,791	19,764		78,927	

8	98,691	25	0,097	0,691	17,277		81,414	
		25	0,097	0,691	17,277	17,321	81,414	81,370
		25	0,098	0,696	17,408		81,283	
10	98,691	25	0,077	0,586	14,660		84,031	
		25	0,078	0,592	14,791	14,660	83,900	84,031
		25	0,076	0,581	14,529		84,162	

Menggunakan persamaan garis lurus $y = 0,191x - 0,035$, dimana y adalah absorbansi, x adalah $[MB]_{\text{sisia}}$ (mg/L)

➤ pH 2, 3, 4, 6, 8, 10

$$y = 0,191x - 0,035$$

$$0,396 = 0,191x - 0,035$$

$$0,396 + 0,035 = 0,191x$$

$$2,257 = x$$

$$2,257 \text{ mg/L} = C_{\text{sisia}}$$

$$C_f = C_{\text{sisia}} \times fp$$

$$C_f = 2,257 \text{ mg/L} \times 25$$

$$C_f = 56,414 \text{ mg/L}$$

$$C_f = \frac{56,414 + 56,283 + 56,414}{3} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = 56,370 \text{ mg/L}$$

$$C_{\text{ads}} = C_0 - C_f$$

$$C_{\text{ads}} = 98,691 \text{ mg/L} - 56,414 \text{ mg/L}$$

$$C_{\text{ads}} = 42,277 \text{ mg/L}$$

$$C_{\text{ads}} = \frac{42,277 + 42,408 + 42,277}{3} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = 42,321 \text{ mg/L}$$

4.2.2 Pb

pH	C_0 (mg/L)	Fp	Abs	C_{sisia} (mg/L)	C_f (mg/L)	Rerata	C_{ads} (mg/L)	Rerata
2	95,635	25	0,016	2,556	63,889		31,746	
		25	0,016	2,556	63,889	65,212	31,746	30,423
		25	0,017	2,714	67,857		27,778	
3	95,635	25	0,015	2,397	59,921		35,714	
		25	0,014	2,238	55,952	57,275	39,683	38,360
		25	0,014	2,238	55,952		39,683	

4	95,635	25	0,013	2,079	51,984	50,661	43,651	44,974
		25	0,013	2,079	51,984		43,651	
		25	0,012	1,921	48,016		47,619	
6	95,635	25	0,009	1,444	36,111	38,757	59,524	56,878
		25	0,010	1,603	40,079		55,556	
		25	0,010	1,603	40,079		55,556	
8	95,635	25	0,012	1,921	48,016	48,016	47,619	47,619
		25	0,011	1,762	44,048		51,587	
		25	0,013	2,079	51,984		43,651	
10	95,635	25	0,013	2,079	51,984	51,984	43,651	43,651
		25	0,013	2,079	51,984		43,651	
		25	0,013	2,079	51,984		43,651	

4.3 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi Waktu Kontak dalam Larutan Tunggal

4.3.1 Metilen Biru pada pH 6

Waktu (menit)	C ₀ (mg/L)	Fp	Abs	C _{sis} a (mg/L)	C _f (mg/L)	Rerata	C _{ads} (mg/L)	Rerata	q _t (mg/g)	Rerata
5	98,691	25	0,181	1,131	28,272	28,360	70,419	70,331	35,209	35,166
		25	0,182	1,136	28,403		70,288			
		25	0,182	1,136	28,403		70,288			
10	98,691	25	0,155	0,995	24,869	24,782	73,822	73,909	36,911	36,955
		25	0,154	0,990	24,738		73,953			
		25	0,154	0,990	24,738		73,953			
30	98,691	25	0,142	0,927	23,168	23,298	75,523	75,393	37,762	37,696
		25	0,143	0,932	23,298		75,393			
		25	0,144	0,937	23,429		75,262			
45	98,691	25	0,125	0,838	20,942	20,855	77,749	77,836	38,874	38,918
		25	0,124	0,832	20,812		77,879			
		25	0,124	0,832	20,812		77,879			
60	98,691	25	0,118	0,801	20,026	19,983	78,665	78,708	39,332	39,354
		25	0,117	0,796	19,895		78,796			
		25	0,118	0,801	20,026		78,665			
90	98,691	25	0,120	0,812	20,288	20,244	78,403	78,447	39,202	39,223
		25	0,120	0,812	20,288		78,403			
		25	0,119	0,806	20,157		78,534			
120	98,691	25	0,121	0,817	20,419	20,419	78,272	78,272	39,136	39,136
		25	0,121	0,817	20,419		78,272			
		25	0,121	0,817	20,419		78,272			

Waktu (menit)	q_e (t=90) (mg/L)	C_{ads} (mg/L)	q_t (mg/g)	C_{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	78,447	70,331	35,166	2,231
10	78,447	73,909	36,955	2,123
30	78,447	75,393	37,696	2,081
45	78,447	77,836	38,918	2,016
60	78,447	78,708	39,354	1,993
90	78,447	78,447	39,223	2,000
120	78,447	78,272	39,136	2,004

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

$$q_5 = \frac{98,691 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 28,360 \text{mg/L} \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ g}}$$

$$q_5 = 35,166 \text{ mg/g}$$

$$C_{ads} = \frac{q_e}{q_t}$$

$$C_{ads} = \frac{78,447 \text{ mg/L}}{35,166 \text{ mg/g}}$$

$$C_{ads} = 2,231 \text{ g/L}$$

Waktu (menit)	q_t		q_e (mg/L)	q_e/q_t (mg/g)	$\ln(q_e/q_t)$	t/q_t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	35,166	2,231	78,447	35,166	3,560	0,142
10	36,955	2,123	78,447	36,955	3,610	0,271
30	37,696	2,081	78,447	37,696	3,630	0,796
45	38,918	2,016	78,447	38,918	3,661	1,156
60	39,354	1,993	78,447	39,354	3,673	1,525
90	39,223	2,000	78,447	39,223	3,669	2,295
120	39,136	2,004	78,447	39,136	3,667	3,066

4.3.2 Metilen Biru pada pH 10

Waktu (menit)	C_0 (mg/L)	Fp	Abs	C_{sisa} (mg/L)	C_f (mg/L)	Rerata	C_{ads} (mg/L)	Rerata	q_t (mg/g)	Rerata
5	98,691	25	0,117	0,796	19,895		78,796		39,398	
		25	0,116	0,791	19,764	19,895	78,927	78,796	39,463	39,398
		25	0,118	0,801	20,026		78,665		39,332	
10	98,691	25	0,105	0,733	18,325		80,366		40,183	
		25	0,104	0,728	18,194	18,237	80,497	80,454	40,249	40,227
		25	0,104	0,728	18,194		80,497		40,249	
30	98,691	25	0,100	0,707	17,670		81,021		40,510	
		25	0,098	0,696	17,408	17,539	81,283	81,152	40,641	40,576
		25	0,099	0,702	17,539		81,152		40,576	

		25	0,085	0,628	15,707		82,984	41,492		
45	98,691	25	0,084	0,623	15,576	15,620	83,115	83,071	41,558	41,536
		25	0,084	0,623	15,576		83,115		41,558	
		25	0,078	0,592	14,791		83,900		41,950	
60	98,691	25	0,077	0,586	14,660	14,747	84,031	83,944	42,016	41,972
		25	0,078	0,592	14,791		83,900		41,950	
		25	0,080	0,602	15,052		83,639		41,819	
90	98,691	25	0,080	0,602	15,052	15,009	83,639	83,682	41,819	41,841
		25	0,079	0,597	14,921		83,770		41,885	
		25	0,081	0,607	15,183		83,508		41,754	
120	98,691	25	0,080	0,602	15,052	15,140	83,639	83,551	41,819	41,776
		25	0,081	0,607	15,183		83,508		41,754	

Waktu (menit)	q_e (t=90) (mg/L)	C_{ads} (mg/L)	q_t (mg/g)	C_{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	83,682	78,796	39,398	2,124
10	83,682	80,454	40,227	2,080
30	83,682	81,152	40,576	2,062
45	83,682	83,071	41,536	2,015
60	83,682	83,944	41,972	1,994
90	83,682	83,682	41,841	2,000
120	83,682	83,551	41,776	2,003

Waktu (menit)	q_t		q_e (mg/L)	q_e/q_t (mg/g)	$\ln(q_e/q_t)$	t/q_t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	39,398	2,124	83,682	39,398	3,674	0,127
10	40,227	2,080	83,682	40,227	3,695	0,249
30	40,576	2,062	83,682	40,576	3,703	0,739
45	41,536	2,015	83,682	41,536	3,727	1,083
60	41,972	1,994	83,682	41,972	3,737	1,430
90	41,841	2,000	83,682	41,841	3,734	2,151
120	41,776	2,003	83,682	41,776	3,732	2,872

4.3.3 Pb pada pH 6

Waktu (menit)	C_0 (mg/L)	Fp	Abs	C_{sisa} (mg/L)	C_f (mg/L)	Rerata	C_{ads} (mg/L)	Rerata	q_t (mg/g)	Rerata
		25	0,013	2,079	51,984		47,619		23,809	
		25	0,013	2,079	51,984		47,619		23,809	
5	99,603	25	0,013	2,079	51,984	51,984	47,619	47,619	23,809	23,809
		25	0,013	2,079	51,984		47,619		23,809	
		25	0,013	2,079	51,984		47,619		23,809	

		25	0,012	1,921	48,016		51,587	25,794	
		25	0,012	1,921	48,016		51,587	25,794	
10	99,603	25	0,012	1,921	48,016	48,016	51,587	51,587	25,794
		25	0,013	2,079	51,984		47,619	23,809	
		25	0,013	2,079	51,984		47,619	23,809	
		25	0,011	1,762	44,048		55,555	27,778	
		25	0,011	1,762	44,048		55,555	27,778	
30	99,603	25	0,010	1,603	40,079	42,460	59,524	57,143	29,762
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	28,571
		25	0,011	1,762	44,048		55,555	27,778	
		25	0,011	1,762	44,048		55,555	27,778	
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
45	99,603	25	0,010	1,603	40,079	40,873	59,524	58,730	29,762
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	29,365
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,009	1,444	36,111		63,492	31,746	
		25	0,009	1,444	36,111		63,492	31,746	
60	99,603	25	0,011	1,762	44,048	41,402	55,555	58,201	27,778
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	29,100
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,009	1,444	36,111		63,492	31,746	
90	99,603	25	0,010	1,603	40,079	40,079	59,524	59,524	29,762
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	29,762
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	
		25	0,012	1,921	48,016		51,587	25,794	
		25	0,011	1,762	44,048		55,555	27,778	
120	99,603	25	0,010	1,603	40,079	41,402	59,524	58,201	29,762
		25	0,011	1,762	44,048		55,555	27,778	29,100
		25	0,010	1,603	40,079		59,524	29,762	

Waktu (menit)	q_e (t=90) (mg/L)	C_{ads} (mg/L)	q_t (mg/g)	C_{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	59,524	47,619	23,809	2,500
10	59,524	51,587	25,794	2,308
30	59,524	57,143	28,571	2,083
45	59,524	58,730	29,365	2,027
60	59,524	58,201	29,100	2,045

90	59,524	59,524	29,762	2,000
120	59,524	58,201	29,100	2,045

Waktu (menit)	q_t		q_e (mg/L)	q_e/q_t (mg/g)	$\ln(q_e/q_t)$	t/q_t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	23,809	2,500	59,524	23,809	3,170	0,210
10	25,794	2,308	59,524	25,794	3,250	0,388
30	28,571	2,083	59,524	28,571	3,352	1,050
45	29,365	2,027	59,524	29,365	3,380	1,532
60	29,100	2,045	59,524	29,100	3,371	2,062
90	29,762	2,000	59,524	29,762	3,393	3,024
120	29,100	2,045	59,524	29,100	3,371	4,124

4.4 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi pH Sistem dalam Larutan Biner

4.4.1 Metilen Biru

pH	C_0 (mg/L)	Fp	Abs	C_{sisia} (mg/L)	C_f (mg/L)	Rerata	C_{ads} (mg/L)	Rerata
2	101,832	25	0,463	2,607	65,183	65,227	36,649	36,605
		25	0,463	2,607	65,183		36,649	
		25	0,464	2,613	65,314		36,518	
3	101,832	25	0,387	2,209	55,236	55,236	46,596	46,596
		25	0,387	2,209	55,236		46,596	
		25	0,387	2,209	55,236		46,596	
4	101,832	25	0,356	2,047	51,178	51,134	50,654	50,698
		25	0,355	2,042	51,047		50,785	
		25	0,356	2,047	51,178		50,654	
6	101,832	25	0,324	1,880	46,990	47,077	54,842	54,755
		25	0,325	1,885	47,120		54,712	
		25	0,325	1,885	47,120		54,712	
8	101,832	25	0,302	1,764	44,110	44,023	57,722	57,809
		25	0,301	1,759	43,979		57,853	
		25	0,301	1,759	43,979		57,853	
10	101,832	25	0,288	1,691	42,277	42,277	59,555	59,555
		25	0,288	1,691	42,277		59,555	
		25	0,288	1,691	42,277		59,555	

4.4.2 Pb

pH	C ₀ (mg/L)	Fp	Abs	C _{sis} (mg/L)	C _f (mg/L)	Rerata	C _{ads} (mg/L)	Rerata
2	108,333	50	0,013	2,167	108,333	105,556	0,000	2,777
		50	0,012	2,000	100,000		8,333	
		50	0,013	2,167	108,333		0,000	
3	108,333	50	0,012	2,000	100,000	100,000	8,333	8,333
		50	0,012	2,000	100,000		8,333	
		50	0,012	2,000	100,000		8,333	
4	108,333	50	0,011	1,833	91,667	91,667	16,666	16,666
		50	0,011	1,833	91,667		16,666	
		50	0,011	1,833	91,667		16,666	
6	108,333	50	0,010	1,667	83,333	83,333	25,000	25,000
		50	0,010	1,667	83,333		25,000	
		50	0,010	1,667	83,333		25,000	
8	108,333	50	0,010	1,667	83,333	88,889	25,000	19,444
		50	0,011	1,833	91,667		16,666	
		50	0,011	1,833	91,667		16,666	
10	108,333	50	0,011	1,833	91,667	91,667	16,666	16,666
		50	0,011	1,833	91,667		16,666	
		50	0,011	1,833	91,667		16,666	

4.5 Penentuan Konsentrasi Larutan Metilen Biru dan Pb yang Terserap oleh Silika Gel pada Variasi Waktu Kontak dalam Larutan Biner

4.5.1 Metilen Biru pada pH 6

Waktu (menit)	C ₀ (mg/L)	Fp	Abs	C _{sis} (mg/L)	C _f (mg/L)	Rerata	C _{ads} (mg/L)	Rerata	q _t (mg/g)	Rerata
5	101,832	25	0,414	2,351	58,770	58,813	43,062	43,019	21,531	21,509
		25	0,415	2,356	58,901		42,931		21,466	
		25	0,414	2,351	58,770		43,062		21,531	
10	101,832	25	0,378	2,162	54,058	54,101	47,774	47,731	23,887	23,865
		25	0,379	2,168	54,188		47,644		23,822	
		25	0,378	2,162	54,058		47,774		23,887	
30	101,832	25	0,361	2,073	51,832	51,745	50,000	50,087	25,000	25,043
		25	0,360	2,068	51,702		50,130		25,065	
		25	0,360	2,068	51,702		50,130		25,065	
45	101,832	25	0,331	1,916	47,906	47,949	53,926	53,883	26,963	26,941
		25	0,331	1,916	47,906		53,926		26,963	
		25	0,332	1,921	48,037		53,795		26,898	

		25	0,325	1,885	47,120		54,712		27,356	
60	101,832	25	0,326	1,890	47,251	47,208	54,581	54,624	27,290	27,312
		25	0,326	1,890	47,251		54,581		27,290	
		25	0,332	1,921	48,037		53,795		26,898	
90	101,832	25	0,332	1,921	48,037	47,993	53,795	53,839	26,898	26,919
		25	0,331	1,916	47,906		53,926		26,963	
		25	0,336	1,942	48,560		53,272		26,636	
120	101,832	25	0,335	1,937	48,429	48,473	53,403	53,359	26,701	26,680
		25	0,335	1,937	48,429		53,403		26,701	

Waktu (menit)	q_e (t=90) (mg/L)	C_{ads} (mg/L)	q_t (mg/g)	C_{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	53,839	43,019	21,509	2,503
10	53,839	47,731	23,865	2,256
30	53,839	50,087	25,043	2,150
45	53,839	53,883	26,941	1,998
60	53,839	54,624	27,312	1,971
90	53,839	53,839	26,919	2,000
120	53,839	53,359	26,680	2,018

Waktu (menit)	q_t		q_e (mg/L)	q_e/q_t (mg/g)	$\ln(q_e/q_t)$	t/q_t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	0,000
5	21,509	2,503	53,839	21,509	3,068	0,232
10	23,865	2,256	53,839	23,865	3,172	0,419
30	25,043	2,150	53,839	25,043	3,221	1,198
45	26,941	1,998	53,839	26,941	3,294	1,670
60	27,312	1,971	53,839	27,312	3,307	2,197
90	26,919	2,000	53,839	26,919	3,293	3,343
120	26,680	2,018	53,839	26,680	3,284	4,498

4.5.2 Metilen Biru pada pH 10

Waktu (menit)	C_0 (mg/L)	Fp	Abs	C_{sisa} (mg/L)	C_f (mg/L)	Rerata	C_{ads} (mg/L)	Rerata	q_t (mg/g)	Rerata
		25	0,357	2,052	51,309		50,523		25,262	
5	101,832	25	0,356	2,047	51,178	51,265	50,654	50,567	25,327	25,283
		25	0,357	2,052	51,309		50,523		25,262	
		25	0,329	1,906	47,644		54,188		27,094	
10	101,832	25	0,329	1,906	47,644	47,600	54,188	54,232	27,094	27,116
		25	0,328	1,901	47,513		54,319		27,159	

		25	0,306	1,785	44,634		57,198		28,599
30	101,832	25	0,307	1,791	44,764	44,721	57,068	57,111	28,534
		25	0,307	1,791	44,764		57,068		28,534
		25	0,293	1,717	42,932		58,900		29,450
45	101,832	25	0,292	1,712	42,801	42,845	59,031	58,987	29,515
		25	0,292	1,712	42,801		59,031		29,515
		25	0,290	1,702	42,539		59,293		29,646
60	101,832	25	0,289	1,696	42,408	42,452	59,424	59,380	29,712
		25	0,289	1,696	42,408		59,424		29,712
		25	0,291	1,707	42,670		59,162		29,581
90	101,832	25	0,292	1,712	42,801	42,757	59,031	59,075	29,515
		25	0,292	1,712	42,801		59,031		29,515
		25	0,294	1,723	43,063		58,769		29,385
120	101,832	25	0,294	1,723	43,063	43,106	58,769	58,726	29,385
		25	0,295	1,728	43,194		58,638		29,319

Waktu (menit)	q_e (t=90) (mg/L)	C_{ads} (mg/L)	q_t (mg/g)	C_{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	59,075	50,567	25,283	2,337
10	59,075	54,232	27,116	2,179
30	59,075	57,111	28,556	2,069
45	59,075	58,987	29,494	2,003
60	59,075	59,380	29,690	1,990
90	59,075	59,075	29,537	2,000
120	59,075	58,726	29,363	2,012

Waktu (menit)	q_t		q_e (mg/L)	q_e/q_t (mg/g)	$\ln(q_e/q_t)$	t/q_t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	25,283	2,337	59,075	25,283	3,230	0,198
10	27,116	2,179	59,075	27,116	3,300	0,369
30	28,556	2,069	59,075	28,556	3,352	1,051
45	29,494	2,003	59,075	29,494	3,384	1,526
60	29,690	1,990	59,075	29,690	3,391	2,021
90	29,537	2,000	59,075	29,537	3,386	3,047
120	29,363	2,012	59,075	29,363	3,380	4,087

4.5.3 Pb pada pH 6

Waktu (menit)	C ₀ (mg/L)	Fp	Abs	C _{sisia} (mg/L)	C _f (mg/L)	Rerata	C _{ads} (mg/L)	Rerata	q _t (mg/g)	Rerata
5	108,333	50	0,011	1,833	91,667	97,222	16,666	11,111	8,333	5,555
		50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
		50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
10	108,333	50	0,012	2,000	100,000	94,444	8,333	13,889	4,167	6,944
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
30	108,333	50	0,010	1,667	83,333	88,889	25,000	19,444	12,500	9,722
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
45	108,333	50	0,010	1,667	83,333	86,111	25,000	22,222	12,500	11,111
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	
60	108,333	50	0,010	1,667	83,333	83,333	25,000	25,000	12,500	12,500
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	
90	108,333	50	0,010	1,667	83,333	83,333	25,000	25,000	12,500	12,500
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	
120	108,333	50	0,010	1,667	83,333	83,333	25,000	25,000	12,500	12,500
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	
		50	0,010	1,667	83,333		25,000		12,500	

Waktu (menit)	q _e (t=90) (mg/L)	C _{ads} (mg/L)	q _t (mg/g)	C _{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	25,000	11,111	5,555	4,500
10	25,000	13,889	6,944	3,600
30	25,000	19,444	9,722	2,571
45	25,000	22,222	11,111	2,250
60	25,000	25,000	12,500	2,000
90	25,000	25,000	12,500	2,000
120	25,000	25,000	12,500	2,000

Waktu (menit)	q _t		q _e (mg/L)	q _e /q _t (mg/g)	ln(q _e /q _t)	t/q _t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	5,555	4,500	25,000	5,555	1,715	0,900

10	6,944	3,600	25,000	6,944	1,938	1,440
30	9,722	2,571	25,000	9,722	2,274	3,086
45	11,111	2,250	25,000	11,111	2,408	4,050
60	12,500	2,000	25,000	12,500	2,526	4,800
90	12,500	2,000	25,000	12,500	2,526	7,200
120	12,500	2,000	25,000	12,500	2,526	9,600

4.5.4 Pb pada pH 10

Waktu (menit)	C ₀ (mg/L)	Fp	Abs	C _{sisia} (mg/L)	C _f (mg/L)	Rerata	C _{ads} (mg/L)	Rerata	q _t (mg/g)	Rerata
5	108,333	50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
		50	0,013	2,167	108,333	102,778	0,000	5,555	0,000	2,778
		50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
10	108,333	50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
		50	0,012	2,000	100,000	100,000	8,333	8,333	4,167	4,167
		50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
30	108,333	50	0,012	2,000	100,000		8,333		4,167	
		50	0,012	2,000	100,000	97,222	8,333	11,111	4,167	5,555
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
45	108,333	50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,012	2,000	100,000	94,444	8,333	13,889	4,167	6,944
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
60	108,333	50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,011	1,833	91,667	91,667	16,666	16,666	8,333	8,333
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
90	108,333	50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,011	1,833	91,667	91,667	16,666	16,666	8,333	8,333
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
120	108,333	50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	
		50	0,011	1,833	91,667	91,667	16,666	16,666	8,333	8,333
		50	0,011	1,833	91,667		16,666		8,333	

Waktu (menit)	q _e (t=90) (mg/L)	C _{ads} (mg/L)	q _t (mg/g)	C _{ads} (g/L)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
5	16,666	5,555	2,778	6,000
10	16,666	8,333	4,167	4,000
30	16,666	11,111	5,555	3,000
45	16,666	13,889	6,944	2,400

60	16,666	16,666	8,333	2,000
90	16,666	16,666	8,333	2,000
120	16,666	16,666	8,333	2,000

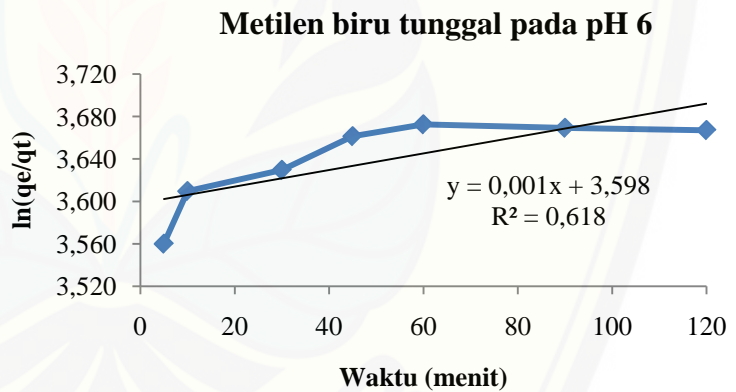
Waktu (menit)	q_t		q_e (mg/L)	q_e/q_t (mg/g)	$\ln(q_e/q_t)$	t/q_t
	mg/g	g/L				
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	2,778	6,000	16,666	2,778	1,022	1,800
10	4,167	4,000	16,666	4,167	1,427	2,400
30	5,555	3,000	16,666	5,555	1,715	5,400
45	6,944	2,400	16,666	6,944	1,938	6,480
60	8,333	2,000	16,666	8,333	2,120	7,200
90	8,333	2,000	16,666	8,333	2,120	10,800
120	8,333	2,000	16,666	8,333	2,120	14,400

4.6 Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1 dan Pseudo Orde 2

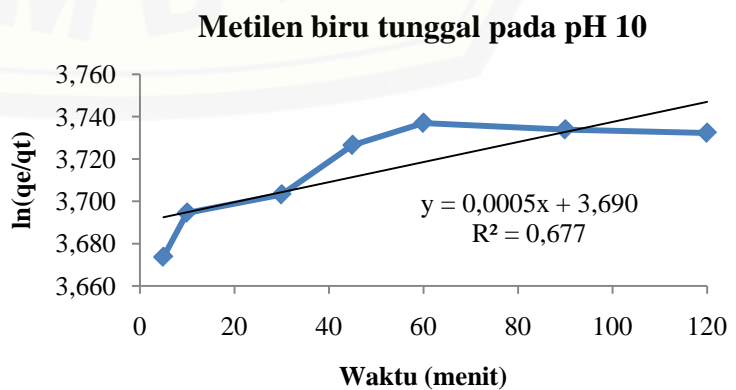
4.6.1 Pseudo Orde 1

a. Metilen Biru

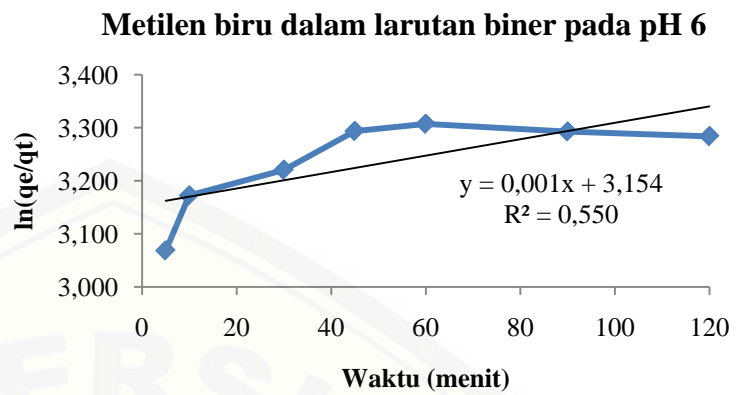
t (menit)	$\ln(q_e/q_t)$
0	0,000
5	3,560
10	3,610
30	3,630
45	3,661
60	3,673
90	3,669
120	3,667



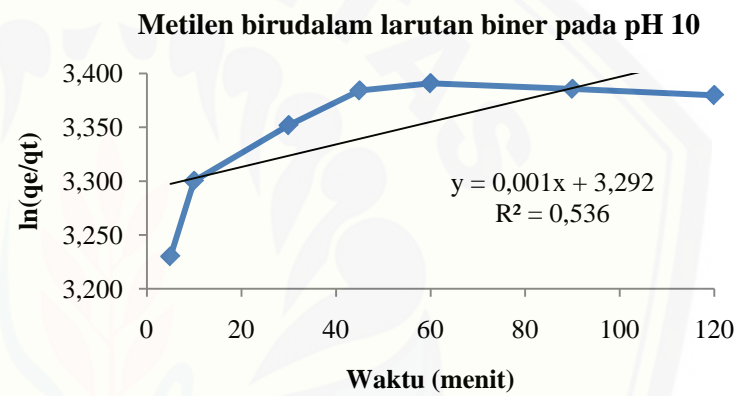
t (menit)	$\ln(q_e/q_t)$
0	0,000
5	3,674
10	3,695
30	3,703
45	3,727
60	3,737
90	3,734
120	3,732



t (menit)	ln(qe/qt)
0	0,000
5	3,068
10	3,172
30	3,221
45	3,294
60	3,307
90	3,293
120	3,284

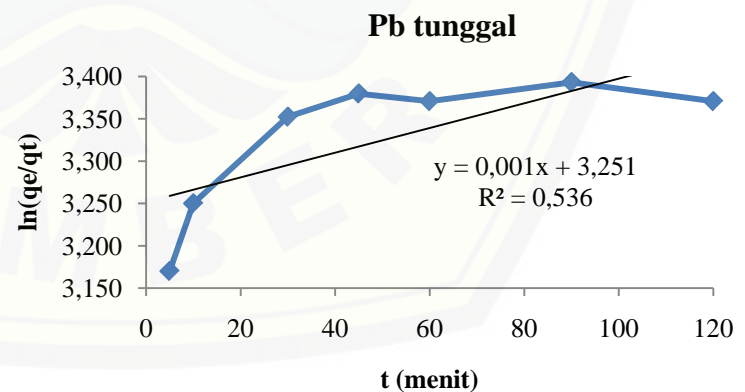


t (menit)	ln(qe/qt)
0	0,000
5	3,230
10	3,300
30	3,352
45	3,384
60	3,391
90	3,386
120	3,380

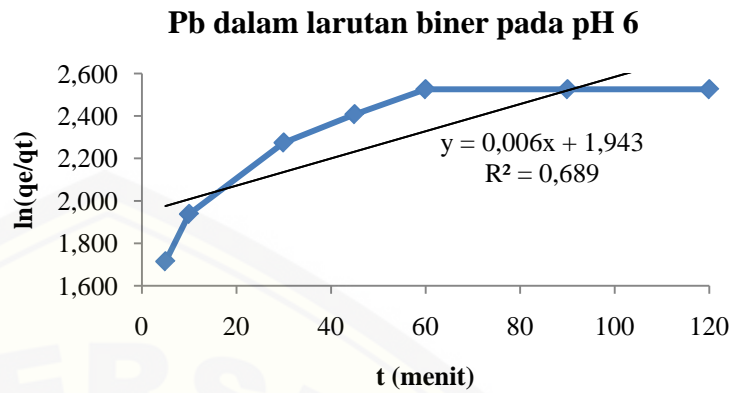


b. Pb²⁺

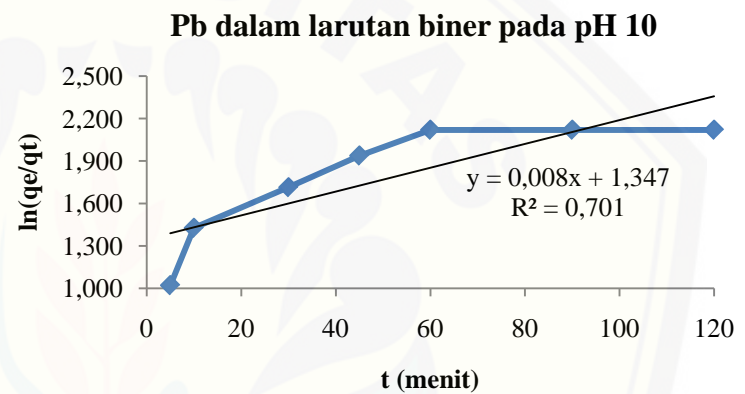
t (menit)	ln(qe/qt)
0	0,000
5	3,170
10	3,250
30	3,352
45	3,380
60	3,371
90	3,393
120	3,371



t (menit)	ln(qe/qt)
0	0,000
5	1,715
10	1,938
30	2,274
45	2,408
60	2,526
90	2,526
120	2,526



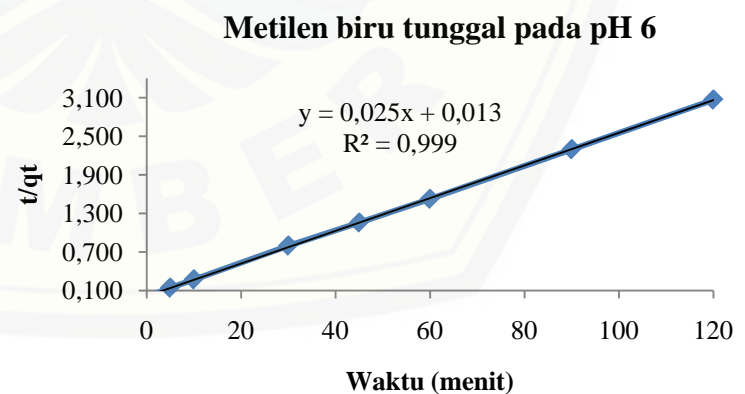
t (menit)	ln(qe/qt)
0	0,000
5	1,022
10	1,427
30	1,715
45	1,938
60	2,120
90	2,120
120	2,120



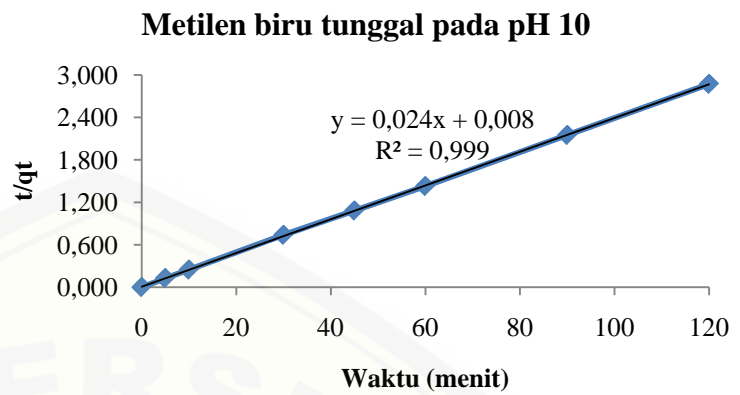
4.6.2 Pseudo Orde 2

a. Metilen Biru

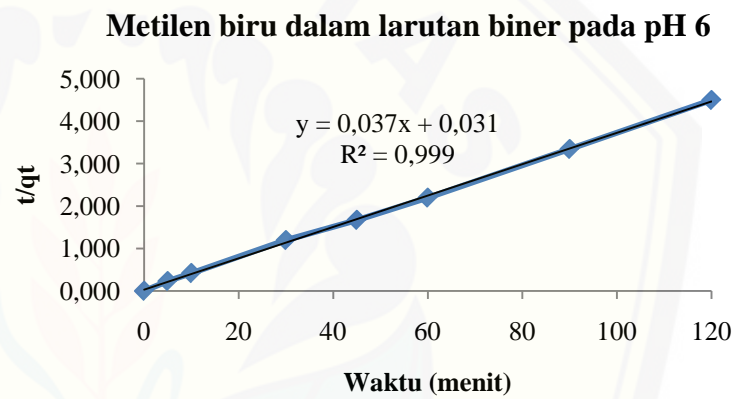
t (menit)	t/qt
0	0,000
5	0,142
10	0,271
30	0,796
45	1,156
60	1,525
90	2,295
120	3,066



t (menit)	t/qt
0	0,000
5	0,127
10	0,249
30	0,739
45	1,083
60	1,430
90	2,151
120	2,872



t (menit)	t/qt
0	0,000
5	0,232
10	0,419
30	1,198
45	1,670
60	2,197
90	3,343
120	4,498

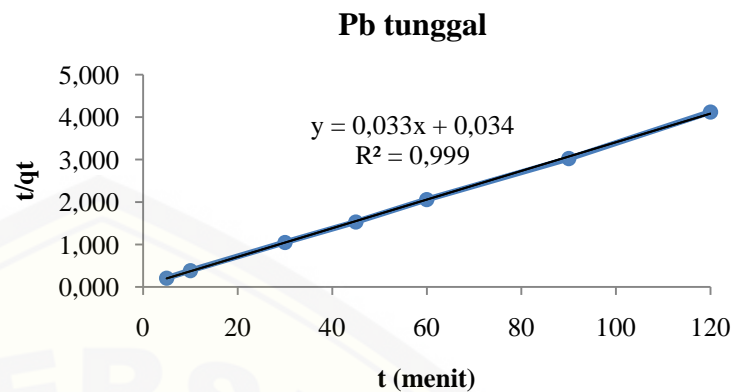


t (menit)	t/qt
0	0,000
5	0,198
10	0,369
30	1,051
45	1,526
60	2,021
90	3,047
120	4,087

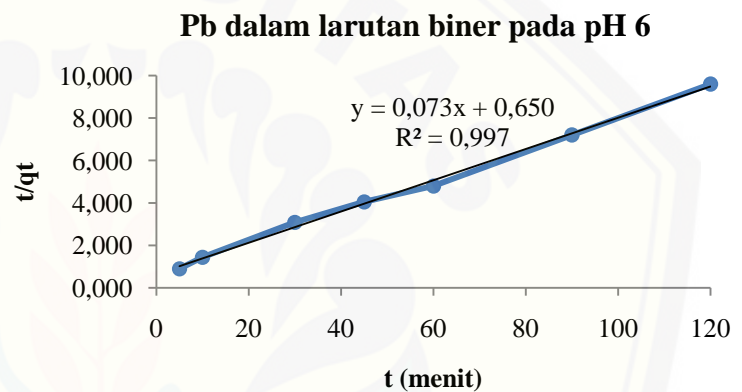


b. Pb^{2+}

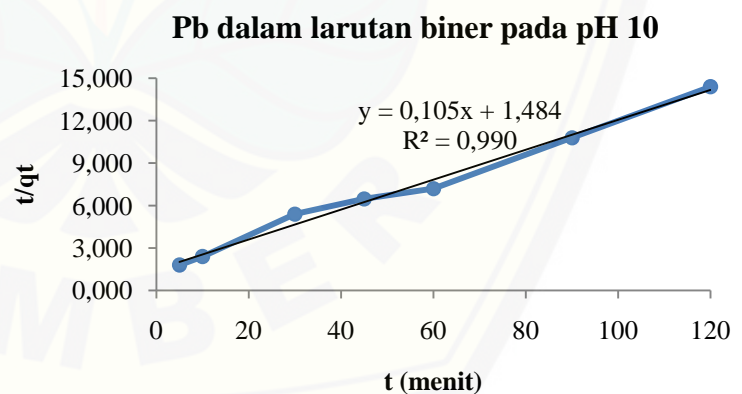
t (menit)	t/qt
0	0,000
5	0,210
10	0,388
30	1,050
45	1,532
60	2,062
90	3,024
120	4,124



t (menit)	t/qt
0	0,000
5	0,900
10	1,440
30	3,086
45	4,050
60	4,800
90	7,200
120	9,600



t (menit)	t/qt
0	0,000
5	1,800
10	2,400
30	5,400
45	6,480
60	7,200
90	10,800
120	14,400





(a) Larutan metilen biru tunggal setelah adsorpsi pada variasi pH sistem



(b) Larutan metilen biru tunggal setelah adsorpsi pada variasi waktu kontak



(c) Campuran larutan metilen biru-Pb setelah adsorpsi pada variasi pH sistem



(d) Campuran larutan metilen biru-Pb setelah adsorpsi pada variasi waktu kontak

