



**ADSORPSI ZAT WARNA TEKSTIL *REMAZOL*
BRILLIANT BLUE MENGGUNAKAN ZEOLIT YANG
DISINTESIS DARI ABU LAYANG BATUBARA**

Skripsi
disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia

oleh
Lu'lu'atul Maghfiroh
4311411059

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**Adsorpsi Zat Warna Tekstil *Remazol Brilliant Blue* Menggunakan Zeolit yang Disintesis dari Abu Layang Batubara**” bebas plagiat. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, Juni 2016



Lu'lu'atul Maghfiroh

4311411059

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 10 Juni 2016

Pembimbing I



Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si
NIP. 196912171997022001

Pembimbing II



Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si
NIP. 198212142009122004

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Adsorpsi Zat Warna Tekstil *Remazol Brilliant Blue* Menggunakan Zeolit yang Disintesis dari Abu Layang Batubara

disusun oleh

Lu'lu'atul Maghfiroh

4311411059

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 16 Juni 2016

Panitia:

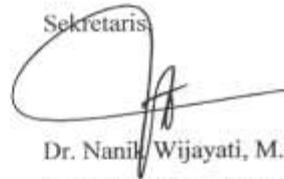


Ketua

Dr. Zaenuri, S.E., M.Si, Akt

NIP. 196310121988031001

Sekretaris



Dr. Nanik Wijayati, M.Si

NIP. 196910231996032002

Ketua Penguji,

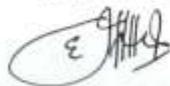


Nuni Widiarti, S.Pd, M.Si

NIP. 197810282006042001

Anggota Penguji/

Pembimbing II

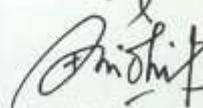


Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si

NIP. 198212142009122004

Anggota Penguji/

Pembimbing I



Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si

NIP. 196912171997022001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

“Maos sholat terus, Inshaallah diparingi kelancaran” (Ibuk)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap” (Al-Insyirah: 6-8).

Persembahan:

1. Abah dan ibuku tercinta (Abah Ali Subkhan dan Ibu Nur Faizah).
2. Pamanku yang selalu mendoakanku.
3. Kawan-kawan seperjuanganku.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Adsorpsi Zat Warna Tekstil *Remazol Brilliant Blue* Menggunakan Zeolit yang Disintesis dari Abu Layang Batubara”, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Kimia.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik dalam penelitian maupun penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Prof. Zaenuri, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Ibu Dr. Nanik Wijayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia
4. Ibu Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si dan Ibu Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, dukungannya, dan bimbingan pada penulis.
5. Nuni Widiarti, S.Pd, M.Si selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan, arahan, serta dukungannya.
6. Segenap Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Kimia yang telah memberikan dukungan, dan ilmunya.
7. Segenap Karyawan dan Staf Laboratorium Kimia UNNES yang telah memberikan pengalaman dan dukungan kepada penulis.

Dalam penulisan skripsi ini tentu masih ada kekurangan, sehingga penulis mengharap adanya kritik yang membangun dan dapat menjadikan skripsi ini menjadi lebih baik.

Semarang, 2016

Penulis

ABSTRAK

Maghfiroh, L. 2016. *Adsorpsi Zat Warna Tekstil Remazol Brilliant Blue Menggunakan Zeolit yang Disintesis dari Abu Layang Batubara*. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing I: F. Widhi Mahatmanti, Pembimbing II: Ella Kusumastuti.

Kata Kunci: abu layang batubara, zeolit hasil sintesis, adsorpsi, isoterm Langmuir

Remazol brilliant blue adalah salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair zat warna adalah adsorpsi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik zeolit yang disintesis dari abu layang batubara, dan mengaplikasikannya sebagai adsorben zat warna tekstil *remazol brilliant blue* serta menentukan kapasitas adsorpsinya. Abu layang batubara yang memiliki kandungan silika sebesar 34,0% digunakan sebagai bahan untuk sintesis zeolit. Sintesis zeolit dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal pada temperatur 140°C selama 8 jam. Zeolit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR, untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi dilakukan variasi pH (5, 6, 7, 8, dan 9), waktu kontak (30, 60, 90, 120, dan 150 menit), dan konsentrasi awal larutan zat warna *remazol brilliant blue* (50, 100, 150, 200 dan 250 ppm). Hasil penelitian menunjukkan sintesis menghasilkan zeolit yang mirip dengan Na-P1 dan carcrinite yang ditunjukkan dengan difraksi utama pada 21,6844° dan 13,6882°. Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya serapan spesifik pada bilangan gelombang 432,05 cm⁻¹ dan vibrasi pembukaan pori pada 324,04 cm⁻¹ sehingga zeolit hasil sintesis memiliki kemampuan adsorpsi. Zeolit hasil sintesis dapat mengadsorpsi zat warna pada kondisi optimum: *remazol brilliant blue* pada pH 6 dengan waktu kontak optimum 120 menit pada konsentrasi awal larutan zat warna *remazol brilliant blue* 200 ppm. Adsorpsi *remazol brilliant blue* cenderung lebih mengikuti pola isoterm Langmuir dan memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 6,45 mg/g dengan energi 20,44 kJ/mol.

ABSTRACT

Maghfiroh, L. 2016. *Adsorption of the Textile Color Remazol Brilliant Blue Using the Zeolite Synthesized from Coal Fly Ash*. Final Project, Department of Chemistry, Chemistry Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Semarang State University. Supervisor I: F. Widhi Mahatmanti, Supervisor II: Ella Kusumastuti.

Keyword: coal fly ash, zeolite synthesis results, adsorption, isotherm Langmuir

Remazol brilliant blue dye is one of the widely used in the textile industry. One of many methods used for dye wastewater treatment is adsorption. The purpose of this research is to know the characteristics of the synthesized zeolite from coal fly ash, and apply it as an adsorbent remazol brilliant blue textile colors as well as determine the adsorption capacity. The coal fly ash which has a silica content of 34.0% was used as the material for the synthesis of zeolites. Synthesis of zeolite is done by using hydrothermal method at temperature of 140°C for 8 hrs. Zeolite are characterized by using XRD and FTIR, to find out the optimum conditions for adsorption with variation of pH (5, 6, 7, 8, and 9), contact time (30, 60, 90, 120, and 150 minutes), and initial concentration of a solution of a substance the color of remazol brilliant blue (50, 100, 150, 200 and 250 ppm). The results showed that zeolites were formed. The synthesized zeolite from coal fly ash is known to have formed similar to zeolites Na-P1 and carcrinite demonstrated by the main diffraction on 21,6844° and 13,6882°. FTIR characterization showed a specific absorption at wave numbers 432,05 cm⁻¹ and the pore opening vibration on 324,04 cm⁻¹. Synthesized zeolite can adsorb dye on the optimum conditions: pH 6 with 120 minutes of time contact on the initial concentration of a solution of a substance the color of remazol brilliant blue 200 ppm. Adsorption of remazol brilliant blue tend to be more following a pattern isotherme Langmuir adsorption and has a capacity of 6.45 mg/g and the energy 20,44 kJ/mol.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	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	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Abu Layang Batubara.....	6
2.2 Zeolit.....	8
2.3 Adsorpsi.....	11
2.3.1 Adsorpsi Fisika (<i>Physical Adsorption</i>).....	12
2.3.2 Adsorpsi Kimia (<i>Chemisorption</i>)	13
2.4 Isoterm Adsorpsi	13
2.4.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir.....	14
2.4.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich	14
2.5 Zat Warna Tekstil <i>Remazol Brilliant Blue</i>	15
2.6 Instrumentasi	16
2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	16
2.6.2 Fluoresensi Sinar-X (XRF)	18
2.6.3 Difraktometer Sinar-X (XRD).....	19
2.6.4 Spektrofotometer Inframerah.....	21
3. METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Lokasi Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian	23

3.2.1	Variabel bebas	23
3.2.2	Variabel Terikat	24
3.2.3	Variabel Terkendali	24
3.3	Alat dan Bahan	24
3.3.1	Alat	24
3.3.2	Bahan	25
3.4	Cara Kerja.....	25
3.4.1	Preparasi Awal.....	26
3.4.2	Sintesis Zeolit	26
3.4.3	Karakterisasi Zeolit.....	26
3.4.4	Pembuatan Larutan Induk <i>Remazol Brilliant Blue</i> 500 ppm.....	27
3.4.5	Penentuan Panjang Gelombang Optimum Larutan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i>	27
3.4.6	Pembuatan Kuva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i>	27
3.4.7	Penentuan pH Optimum	27
3.4.8	Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	28
3.4.9	Penentuan Konsentrasi Optimum	28
3.4.10	Penentuan Kapasitas Adsorpsi.....	28
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1	Preparasi Abu Layang Batubara.....	30
4.2	Sintesis Zeolit.....	32
4.3	Karakterisasi Zeolit Hasil Sintesis	33
4.3.1	Analisis Fluoresensi Sinar-X (XRF).....	33
4.3.2	Analisis Difraksi Sinar-X (XRD).....	35
4.3.3	Analisis Spektrofotometer Inframerah (FTIR).....	37
4.4	Uji Kemampuan Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis	40
4.4.1	Penentuan Panjang Gelombang Optimum Zat Warna <i>Remazol brilliant blue</i>	40
4.4.2	Optimasi pH Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis Terhadap Larutan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i>	41
4.4.2	Optimasi Waktu Kontak Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis Terhadap Larutan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i>	42
4.4.3	Optimasi Konsentrasi Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis Terhadap Larutan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i>	44
4.4.4	Penentuan Kapasitas Adsorpsi	46
5	PENUTUP.....	50
5.1	Simpulan.....	50
5.2	Saran.....	51
	DAFTAR PUSTAKA	52
	LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi kimia abu layang PLTU Tanjung Jati B	7
2.2 Daftar Panjang Gelombang	17
2.3 Spektra IR dari Zeolit (Gambaran Umum Untuk Semua Zeolit).....	22
4.1 Analisis Komposisi Kimia Abu Layang Batubara dan Zeolit Hasil Sintesis Menggunakan XRF.....	33
4.2 Interpretasi Difraktogram Abu Layang Batubara dan Zeolit Hasil Sintesis	36
4.3 Interpretasi Spektrum Inframerah Abu Layang Batubara dan Zeolit Hasil Sintesis	38
4.4 λ Optimum pada Konsentrasi Zat Warna <i>Remazol brilliant blue</i> 40 ppm.....	40
4.5 Parameter Adsorpsi Langmuir dan Freundlich	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Kerangka Zeolit yang Terbentuk Dari Ikatan 4 Atom O dengan 1 Atom Si dan Letak Kation Logam Na^+	8
2.2 Struktur <i>Remazol Brilliant Blue</i>	16
2.3 Rangkaian Alat Spektrofotometri UV-Vis	18
2.4 Skema Alat Difraksi Sinar-X (XRD)	21
4.1 a) Abu Layang Batubara Sebelum Kalsinasi dan b) Abu Layang Batubara Sesudah Kalsinasi	31
4.2 a) Abu layang batubara dan b) Zeolit Hasil Sintesis	32
4.3 Difraktogram Difraktogram Zeolit Hasil Sintesis dan abu layang (Q = Quarsa, C = Cancrinite, Y = Zeolit Y, P = Zeolit P, m = Mullite)	35
4.4 Spektrum Inframerah a) Abu Layang Batubara dan b) Zeolit Hasil Sintesis	37
4.5 Kurva Hubungan antara pH dengan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i> yang Teradsorpsi (ppm)	41
4.4 Kurva Hubungan antara Waktu Kontak (Menit) dengan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i> yang Teradsorpsi (ppm)	43
4.5 Kurva Hubungan antara Konsentrasi Awal <i>Remazol Brilliant Blue</i> dengan Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i> yang Teradsorpsi (ppm)	45
4.6 Grafik Isoterm Adsorpsi Langmuir	47
4.7 Grafik isoterm Adsorpsi Freundlich	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pembuatan Larutan	57
2. Diagram Alir Prosedur Penelitian	58
3. Data Penentuan λ Optimum pada Konsentrasi Zat Warna <i>Remazol Brilliant Blue</i> 40 ppm.....	65
4. Data Penentuan pH Optimum Adsorpsi <i>Remazol Brilliant Blue</i> Oleh Zeolit Hasil Sintesis	72
5. Data Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi <i>Remazol Brilliant Blue</i> Oleh Zeolit Hasil Sintesis.....	73
6. Data Penentuan Konsentrasi Awal Optimum Adsorpsi <i>Remazol Brilliant Blue</i> Oleh Zeolit Hasil Sintesis.....	77
7. Data penentuan kapasitas adsorpsi <i>Remazol Brilliant Blue</i>	83
8. a. Perhitungan Rendemen Zeolit Hasil Sintesi.....	86
b. Penentuan Massa dan Molaritas SiO_2	86
c. Penentuan Massa dan Molaritas Al_2O_3	86
d. Perbandingan Si/Al	87
9. Hasil Karakterisasi XRF Abu Layang	88
10. Hasil Karakterisasi XRF Zeolit.....	90
11. Hasil Karakterisasi FTIR Abu Layang.....	92
12. Hasil Karakterisasi FTIR Zeolit Hasil Sintesis	93
13. Hasil Karakterisasi XRD Abu Layang.....	94
14. Hasil Karakterisasi XRD Zeolit Hasil Sintesis	97
15. Dokumentasi Penelitian	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri tekstil di Indonesia telah maju dengan pesat. Industri tekstil umumnya menghasilkan zat warna senyawa organik *non-biodegradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Apabila air limbahnya dibuang ke lingkungan, seperti ke selokan atau sungai tanpa diolah terlebih dahulu, air selokan menjadi berwarna dan mengubah kualitas air selokan atau air sungai sehingga tidak sesuai peruntukannya (Mufrodi, *et al.*, 2008).

Industri batik sebagai salah satu bidang pengembangan industri di Indonesia juga cukup berkembang. Sebagian besar industri batik menggunakan bahan pewarna yang beraneka ragam, misalnya *remazol golden yellow*, *remazol black B*, *remazol red*, dan *remazol brilliant blue*. Zat warna tersebut sering digunakan untuk proses pewarnaan batik, baik dalam skala industri besar maupun *home industry*. *Remazol brilliant blue* adalah Salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil termasuk batik. Zat warna *remazol brilliant blue* merupakan zat warna reaktif yang digunakan untuk proses pencelupan pada kain (Noorikhlas *et al.*, 2008).

Metode-metode yang digunakan untuk mengurangi intensitas zat warna pada limbah diantaranya koagulasi, filtrasi, elektrodekolorisasi, dan adsorpsi. Menurut Setyaningtyas & Roy (2007), salah satu metode yang banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair zat warna, adalah adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu teknik yang efisien untuk menghadapi masalah kontaminasi limbah cair

domestik dan industri karena dapat menghilangkan bau serta menurunkan kadar zat warna dari larutan dengan sempurna tanpa mengubahnya menjadi senyawa yang lebih berbahaya.

Penelitian tentang proses adsorpsi zat warna dari limbah cair industri tekstil telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan berbagai jenis adsorben, diantaranya: zeolit, karbon aktif, dan lempung (*clay*). Penelitian Ningrum *et al.*, (2008) menggunakan karbon aktif dalam proses dekolorisasi (penghilangan warna) *remazol brilliant blue*, dari penelitian ini diketahui bahwa dengan menggunakan karbon aktif maka zat warna yang dapat terserap sebesar 40%. Penelitian berikutnya dilakukan oleh Widjajanti *et al.*, (2011) dengan menggunakan zeolit alam sebagai adsorben zat warna metil merah dan metil jingga dilakukan berbagai optimasi, pH, waktu kontak dan konsentrasi zat warna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase kemampuan adsorpsi zeolit terhadap pewarna sekitar 50 %. Munawaroh (2012) menyebutkan bahan adsorben yang murah dan mudah diperoleh adalah limbah sisa pembakaran batubara. Limbah abu layang batubara dapat dikonversi menjadi adsorben yang potensial untuk menurunkan kadar zat warna pada limbah, salah satunya adalah zeolit.

Abu layang adalah abu yang dihasilkan dari transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batubara (Molina & Poole, 2004). Secara umum komponen utama abu layang batubara terdiri dari silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang (Mufrodi *et al.*, 2008). Abu layang memiliki kandungan Si sebesar 56,13% dan Al sebesar 18,49% (Kula, 2008). Limbah abu layang batubara yang relatif besar, apabila dibiarkan terus menerus akan

menimbulkan dampak pencemaran yang berbahaya bagi lingkungan. Besarnya kandungan alumina-silika dan karbon yang rendah memungkinkan abu layang dikonversi menjadi material adsorben zeolit.

Zeolit merupakan senyawa alumina silika berpori yang memiliki struktur tiga dimensi yang dibentuk oleh tetrahedral silika (SiO_4^{4-}) dan alumina (AlO_4^{5-}). Zeolit memiliki sifat-sifat istimewa seperti penyaring molekul, kemampuan penukar ion, stabil terhadap panas, dan selektif permukaan dan mudah dimodifikasi sehingga banyak digunakan dalam industri. Zeolit ada yang berupa zeolit alam dan zeolit sintetis. Kemurnian zeolit alam biasanya lebih rendah jika dibandingkan dengan zeolit sintetis sehingga pemanfaatannya tidak optimal. Hal ini dikarenakan pada zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe, ukuran pori bervariasi serta kristalinitasnya kurang baik. Sedangkan zeolit sintetis memiliki struktur yang lebih teratur sehingga membentuk pori-pori yang seragam dan terstruktur (Wustoni *et al*, 2011).

Pada sintesis zeolit dari abu layang digunakan beberapa metode, salah satunya menggunakan metode *hydrothermal alkali treatment* yaitu memanaskan campuran abu layang dengan larutan alkali (KOH, NaOH) yang bertujuan untuk memperbaiki kristalinitas dan efektifitas abu layang (Querol *et al.*, 2002). Proses alkali hidrotermal terhadap abu layang dapat mengubah komponen utama kuarsa dan fase amorf menjadi material zeolit, yang mengandung mineral sodalit, mullit, dan zeolit NaP1 (P). Zeolit NaP1 merupakan salah satu jenis zeolit sintetis yang mempunyai kristalinitas yang cukup besar dan kapasitas tukar kation (KTK) yang besar (Zakaria *et al.*, 2012).

Beberapa penelitian telah dilakukan, Jumaeri *et al.*, (2009) melakukan sintesis zeolit dari abu layang batubara menggunakan proses alkali hidrotermal dihasilkan senyawa-alumina, yang merupakan campuran dari beberapa kristal seperti zeolit P, zeolit Y, sodalit, mullit, dan quartz dengan menggunakan larutan NaOH (2, 3, dan 4 M) pada temperatur (120-160°C). Penelitian berikutnya dilakukan oleh Mimura (2001), yang mensintesis zeolit dari abu layang batubara yang melibatkan variabel konsentrasi NaOH 2, 3, 4 M waktu reaksi proses hidrotermal 8, 12, dan 24 jam pada temperatur 140°C. Kondisi optimum terjadi pada zeolit hasil sintesis dengan konsentrasi NaOH 4 M dan waktu 8 jam, yang mengandung zeolit P sebagai fase dominan.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit NaP1 dan akan diketahui pula kemampuan adsorpsi zeolit yang disintesis dari abu layang batubara terhadap larutan zat warna yang mengandung *remazol brilliant blue*. Uji daya serap dilakukan dengan menggunakan berbagai variasi, diantaranya pH, waktu kontak, dan konsentrasi zat warna yang mengandung *remazol brilliant blue* dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Adsorpsi ini dapat dipelajari menggunakan isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi yang digunakan yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik zeolit yang disintesis dari abu layang batubara?
2. Bagaimana kondisi optimum adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis dari abu layang batubara yang meliputi pH, waktu kontak, dan konsentrasi zat warna?
3. Berapakah kapasitas adsorpsi zat warna yang mengandung *remazol brilliant blue* oleh zeolit yang disintesis dari abu layang batubara?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik zeolit yang disintesis dari abu layang batubara.
2. Mengetahui kondisi optimum adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis dari abu layang batubara yang meliputi pH, waktu kontak, dan konsentrasi zat warna.
3. Mengetahui kapasitas adsorpsi zat warna yang mengandung *remazol brilliant blue* oleh zeolit yang disintesis dari abu layang batubara.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai upaya mengurangi masalah pembuangan limbah dan dampak lingkungan melalui pemanfaatan abu layang batubara yang disintesis menjadi zeolit sebagai salah satu bahan baku adsorben dalam menyerap zat warna tekstil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Layang Batubara

Abu layang batubara adalah abu batubara yang berupa serbuk halus dengan distribusi ukuran 1-100 μm dan relatif homogen. Ukuran partikel abu layang relatif kecil, oleh karena itu dapat melayang di udara. Dibandingkan abu dasar, abu layang mempunyai warna lebih terang (keabu-abuan) mirip semen dan merupakan komponen terbesar abu batubara yaitu kira-kira 85% dari total abu yang dihasilkan (Mattigold *et al.*, 1990). Jumlah limbah abu layang batubara yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sangat besar, termasuk di Indonesia. Indonesia memiliki PLTU penghasil limbah abu layang batubara, diantaranya: PLTU Paiton (Jawa Timur), PLTU Suralaya (Banten), PLTU Bukit Tinggi (Sumatra), dan PLTU Tanjung Jati B (Jawa Tengah) (Mufrodi *et al.*, 2010).

PLTU Tanjung Jati B merupakan pemasok tenaga listrik terbesar untuk wilayah Jawa, Madura, dan Bali. PLTU Tanjung Jati B dapat memproduksi 33.000 ton abu layang batubara per bulan. Banyaknya jumlah abu layang menjadikan masalah dalam pembuangannya. Seiring dengan bertambahnya jumlah abu layang batubara, maka harus ada usaha memanfaatkan limbah padat tersebut. Abu layang batubara dapat dimanfaatkan untuk keperluan industri semen dan beton. Abu layang juga dapat dikonversi menjadi zeolit yang dimanfaatkan sebagai adsorben. Keuntungan adsorben berbahan baku abu layang batubara adalah biayanya yang murah. Adsorben ini dapat digunakan dalam penyisihan

logam berat, limbah zat warna berbahaya, dan senyawa organik pada pengolahan limbah. Abu layang batubara dapat langsung digunakan sebagai adsorben atau melalui perlakuan kimia dan fisik terlebih dahulu sebelum menjadi adsorben (Sunardi, 2006).

Komposisi kimia abu layang batubara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Komposisi abu layang Tanjung Jati untuk lebih jelasnya disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia Abu Layang PLTU Tanjung Jati B

Unsur	Kandungan kimia %
SiO_2	42,27
Al_2O_3	22,33
CaO	7,60
MgO	3,41
Fe_2O_3	12,45
MnO	0,0855
Na_2O	2,04
K_2O	2,05
CuO	0,0098
As_2O_3	0,0038
P_2O_5	0,294
SO_3	1,21
LOI	0,04

(Jumaeri *et al.*, 2007).

Menurut Mattigold *et al.* (1990) abu layang memiliki sifat fisik dan kimia, diantaranya:

Sifat fisik abu layang batubara antara lain :

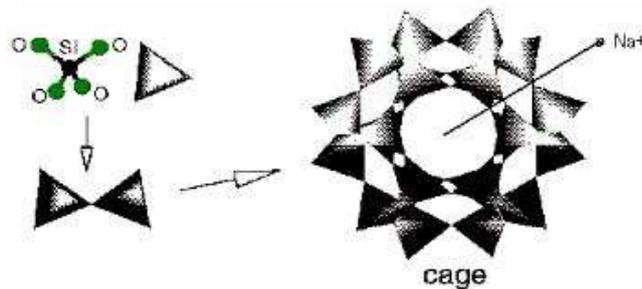
- Berupa serbuk halus yang ringan, titik leleh di atas 1400°C , massa jenis $2,05\text{-}2,8\text{ g/cm}^3$, dan tidak larut dalam air.
- Ukuran partikel abu layang biasanya kurang dari $250\ \mu\text{m}$.

Sifat-sifat kimia abu layang batubara :

- Oksida ion logam asam, antara lain: SiO_2 , Al_2O_3 , dan TiO_2 .
- Oksida ion logam basa, antara lain: Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O .
- Unsur-unsur lain seperti: P_2O_3 , SO_3 , sisa karbon dan beberapa unsur lain.

2.2 Zeolit

Secara umum zeolit didefinisikan sebagai kristal alumina silika yang berstruktur tiga dimensi, yang terbentuk dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas.



Gambar 2.1 Kerangka Zeolit yang terbentuk dari ikatan 4 atom O dengan 1 atom Si dan letak kation logam Na^+ (Bell, 2001).

Zeolit merupakan material yang penting untuk katalis, adsorben, dan aplikasi saringan molekuler (*molecular sieve*). Mineral zeolit adalah material silikat kristal dengan struktur yang sangat teratur dan porositasnya tinggi. Rumus umum zeolit adalah $\text{M}_{X/n} (\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_{2(x+y)}) \cdot z \text{H}_2\text{O}$ (M: kation logam dengan muatan n).

Menurut Gates (1992) berdasarkan rasio Si/Al, zeolit dapat diklasifikasikan antara lain:

(1) Zeolit dengan rasio Si/Al rendah (1-1,5)

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3$ tiap cm^3 volume zeolit. Contoh : zeolit A dan zeolit X.

(2) Zeolit dengan kadar Si sedang (2-5)

Jenis zeolit dengan kadar Si/Al sedang adalah zeolit Y, *modernit*, *klipnotilolit*, *chabazite*, dan *erionite*.

(3) Zeolit dengan kadar Si tinggi (lebih dari 5)

Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

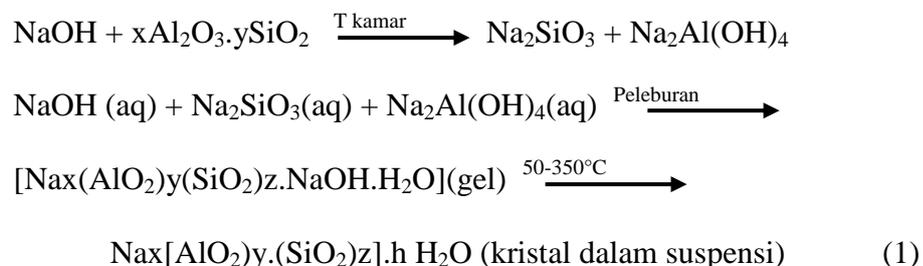
Berdasarkan jenisnya zeolit terdiri dari dua jenis yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis. Zeolit sintesis lebih murni jika dibandingkan dengan zeolit alam, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Persamaan utama dua jenis tersebut adalah *ion exchange*, adsorpsi, dan *molecular sieve*. Zeolit alam diperoleh dengan penambangan secara terbuka dan dapat secara mekanis ditemukan di Indonesia. Zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, antara lain: adanya kotoran, memiliki ukuran pori yang bervariasi, dan adanya struktur amorf. Sedangkan zeolit sintesis diperoleh dengan mensintesis material anorganik dengan senyawa silikat dan aluminat sebagai penyusun utamanya (Jumaeri *et al.*, 2007).

Zeolit sintetis adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit ini dapat dibuat dari bahan lain, misalnya abu sekam padi dan abu layang dengan proses sintesis. Secara umum zeolit mampu menyerap, menukar ion, dan menjadi katalis, membuat zeolit

sintetis ini dapat dikembangkan untuk keperluan alternatif pengolah limbah (Saputra, 2006).

Kebanyakan zeolit dibuat melalui sintesis hidrotermal. Proses alkali hidrotermal abu layang dapat mengubah komponen utama kuarsa dan fase amorf menjadi material zeolit, yang mengandung mineral sodalit, mullit, dan zeolit NaP1 (P). Kondisi sintesis tergantung pada komposisi material yang diinginkan, ukuran partikel, morfologi dan sebagainya. Zeolit dapat disintesis dari larutan silika dan alumina yang mengandung alkali hidroksida atau basa-basa organik untuk mencapai pH yang tinggi. Suatu gel silika alumina akan terbentuk melalui reaksi kondensasi. Jika kandungan silika dari zeolit rendah, produk seringkali dapat dikristalkan pada temperatur 70-100°C, sedangkan jika zeolit mengandung banyak silika, sebagian besar produk hidrotermal adalah gel. Gel selanjutnya ditempatkan dalam *autoclave* selama beberapa hari. Produk zeolit dengan struktur tertentu akan terbentuk pada temperatur antara 100-350°C. Variabel yang menentukan tipe produk meliputi komposisi larutan awal, pH, temperatur, kondisi *aging*, serta laju pengadukan dan pencampuran (Schubert & Husing, 2000).

Menurut Ojha (2004), skema reaksi secara umum yang terjadi pada sintesis zeolit dengan menggunakan abu layang batubara adalah seperti yang digambarkan pada persamaan reaksi (1) berikut:



Larutan NaOH direaksikan dengan abu layang batubara untuk melarutkan sebagian silika dan alumina yang terdapat pada abu layang. Kemudian pada proses peleburan terjadi pengendapan gel aluminosilika pada abu layang yang diikuti dengan proses kristalisasi zeolit. Anion silikat bereaksi dengan prekursor Al (III) untuk membentuk komponen aluminosilikat. Pada larutan basa, aluminium memberikan muatan negatif pada spesies tetrahedral $[Al(OH)_4]^-$, sebagai struktur yang selalu ada selama proses konversi berlangsung. Fungsi NaOH yang ditambahkan dalam sintesis zeolit tidak hanya bekerja sebagai reagen tetapi juga sebagai *mineralizer*, karena pada struktur zeolit terbentuk muatan negatif berlebih pada ion Al sehingga dibutuhkan kation-kation pendukung di luar rangka untuk menetralkannya. Kation Na^+ juga berperan penting dalam pembentukan zeolit (Ojha, *et al.*, 2004)

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain yang diikat secara kimia atau fisika. Adsorpsi ini dapat terjadi pada permukaan padatan atau cairan, dan ini terjadi pada satu atau banyak lapisan dari suatu molekul yang diserap atau dipertahankan oleh permukaan dengan bentuk ikatan tertentu. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Adsorpsi ini dapat terjadi antara zat padat dan zat cair, zat padat dan gas, zat cair dan zat cair atau gas dan zat cair (Castellan, 1982).

Menurut Bernasconi *et al.* (1995) ada beberapa faktor yang sangat mempengaruhi kecepatan adsorpsi, antara lain :

(1) Konsentrasi

Proses adsorpsi sangat sesuai untuk memisahkan bahan dengan konsentrasi yang rendah dari campuran yang mengandung bahan lain dengan konsentrasi tinggi.

(2) Luas permukaan

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antar partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan karena terbukanya pori.

(3) Suhu

Adsorpsi akan lebih cepat berlangsung pada suhu tinggi. Akan tetapi, pengaruh suhu adsorpsi zat cair tidak sebesar pada adsorpsi gas.

(4) Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel yang diadsorpsi maka proses adsorpsinya akan berlangsung lebih cepat.

(5) pH larutan

pH larutan memiliki pengaruh pada proses adsorpsi. pH optimum dari suatu proses adsorpsi ditetapkan melalui uji laboratorium.

(6) Waktu kontak

Waktu kontak mencapai keadaan setimbang pada proses serapan ion logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam. Menurut Atkin (1999) adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

2.3.1 Adsorpsi Fisika (*Physical Adsorption*)

Adsorpsi ini terjadi karena gaya Van der Waals dimana gaya tarik molekul

antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. Adsorpsi fisika ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol. Lapisan yang terbentuk pada permukaan adsorben dapat berbentuk monolayer maupun multilayer (Castellan, 1983). Contoh: adsorpsi oleh arang aktif. Aktivasi pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan struktur berpori dan luas permukaan adsorpsi yang besar. Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi.

2.3.2 Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia mencakup pembentukan ikatan kimia. Pada adsorpsi kimia ikatannya sedemikian kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan lagi. Bentuk lapisan pada adsorpsi kimia biasanya merupakan monolayer.

2.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam fase fluida dan konsentrasi di dalam partikel adsorben pada suhu tertentu. Kesetimbangan terjadi pada saat laju pengikatan adsorben terhadap adsorbat sama dengan laju pelepasannya. Isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi suatu zat. Ada beberapa model isoterm adsorpsi yang dikembangkan untuk mendeskripsikan interaksi antara adsorben dan adsorbat. Model isoterm adsorpsi yang paling umum dan banyak digunakan dalam adsorpsi adalah model isoterm Langmuir dan model isoterm Freundlich.

2.4.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Menurut Oscik (1994), adsorpsi isoterm Langmuir didasarkan pada beberapa asumsi, yaitu (a) adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal (monolayer), (b) panas adsorpsi tidak tergantung pada penutupan permukaan, dan (c) semua situs dan permukaannya bersifat homogen.

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi (Day and Underwood, 2002). Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir menurut Dong *et al.*, (2010) dapat ditulis pada persamaan 2:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max}} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (2)$$

Keterangan:

q_{\max} = kapasitas maksimal adsorpsi (mg/g)

q_e = jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

K_L = Konstanta Langmuir (L/g)

Konstanta Langmuir (K_L) dan kapasitas adsorben maksimum (q_{\max}) dapat ditentukan dari kurva linear antara C_e/q_e terhadap C_e dengan slope $1/q_{\max}$ dan intersep $\frac{1}{q_{\max}K_L}$.

2.4.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm Freundlich menggambarkan hubungan antara sejumlah komponen yang teradsorpsi per unit adsorben dan konsentrasi komponen tersebut pada kesetimbangan. Isoterm Freundlich menganggap bahwa pada semua sisi permukaan adsorben akan terjadi proses adsorpsi di bawah kondisi yang

diberikan. Isoterm Freundlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi-sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi pada saat kesetimbangan tercapai, dan hanya ada beberapa sisi aktif saja yang mampu mengadsorpsi molekul terlarut. Freundlich menyatakan bahwa isoterm adsorpsi dinyatakan dalam persamaan 5:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} C_e \quad (3)$$

dimana q_e adalah jumlah zat yang diadsorpsi pada kesetimbangan (mg/g), C_e adalah konsentrasi larutan saat setimbang (mg/L), K_f adalah konstanta empirik isoterm Freundlich (L/mg) (Dong *et al.*, 2010). Harga n dan K dapat ditentukan secara algoritma dengan membentuk grafik plot antar $\log q_e$ terhadap C_e dimana $1/n$ yang ditentukan merupakan slope sedangkan $\log k$ merupakan intersepnya.

2.5 Zat Warna Tekstil *Remazol Brilliant Blue*

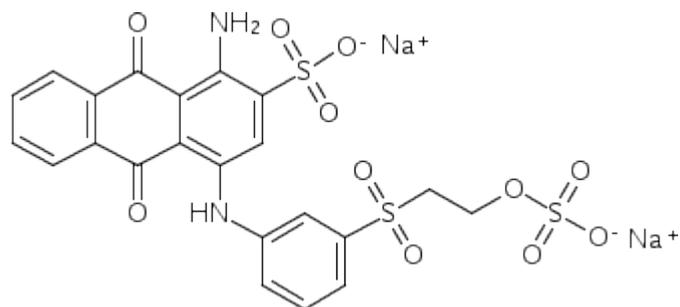
Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor sebagai pembawa warna atau ausokrom sebagai pengikat warna. Zat warna dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu anionik (zat warna asam, dan zat warna reaktif), kationik (zat warna basa), dan nonionik (zat warna dispersi) (Aksu & Tezer, 2000). Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan batik (Suteu & Bilba, 2005). *Remazol brilliant blue* merupakan salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri batik (Mahmoud, 2007). Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Gugus ausokrom terdiri dari dua golongan, yaitu :

Golongan kation : $-\text{NH}_2$; $-\text{NHCH}_3$; $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$

Golongan anion : $-\text{SO}_3\text{H}$; $-\text{OH}$; $-\text{COOH}$ seperti $-\text{O}$; $-\text{SO}_3$ dan lain-lain.

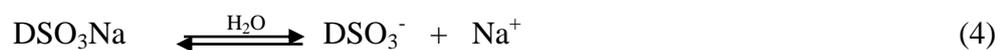
Zat warna *remazol brilliant blue* merupakan senyawa *non biodegradable*, zat warna reaktif yang banyak digunakan untuk pencelupan tekstil. Zat warna ini apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran air. Limbah zat warna *remazol brilliant blue* bersifat merangsang tumbuhnya kanker, dapat membahayakan bagi kesehatan, mempengaruhi kandungan oksigen dalam air mempengaruhi pH air lingkungan yang menjadikan gangguan bagi mikroorganisme dan hewan air (Nirmasari *et al.*, 2008).

Zat warna *remazol brilliant blue* banyak digunakan sebagai pewarna tekstil karena kemampuan gugus fungsi molekul zat warna *remazol brilliant blue* mampu terikat kuat pada serat tekstil. Struktur *remazol brilliant blue* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur *Remazol brilliant blue* (Mafra *et al.*, 2012).

Menurut penelitian Sakkayawong *et al.*, (2005) pada larutan encer zat warna akan terlarut dan gugus sulfonat pada zat warna terdissosiasi dan berubah menjadi ion-ionnya, seperti ditunjukkan pada reaksi berikut:



2.6 Instrumentasi

2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat yang digunakan untuk mengukur transmitansi, reflektansi, dan absorbansi cuplikan sebagai fungsi panjang

gelombang. Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif (Mulja & Suharman, 1995).

Pengukuran absorbansi sinar tampak selain sinar yang digunakan harus monokromatis, juga sinar yang dipakai harus warna komplemen dari warna larutan supaya larutan sampel dapat menyerap secara maksimum. Pasangan warna komplemen dan panjang gelombang dari sinar tampak ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Daftar Panjang Gelombang

Warna	Panjang gelombang (nm)	Warna komplemen
Violet	400-435	Kuning-hijau
Biru	435-480	Kuning
Hijau-biru	480-490	Jingga
Biru-hijau	490-500	Merah
Hijau	500-560	Ungu
Kuning-hijau	560-580	Violet
Kuning	580-595	Biru
Jingga	595-610	Hijau-biru
Merah	610-750	Biru-hijau

(Day & Underwood: 1986)

Jumlah radiasi yang diserap oleh sampel dinyatakan dalam Hukum Lambert-Beer dan dijadikan dasar pada analisis kuantitatif spektrofotometri dan dinyatakan dengan persamaan 3 sebagai berikut:

$$A = \log\left(\frac{1}{T}\right) = \varepsilon \cdot b \cdot c \quad (5)$$

Dimana:

A : Absorbansi atau radiasi yang terserap

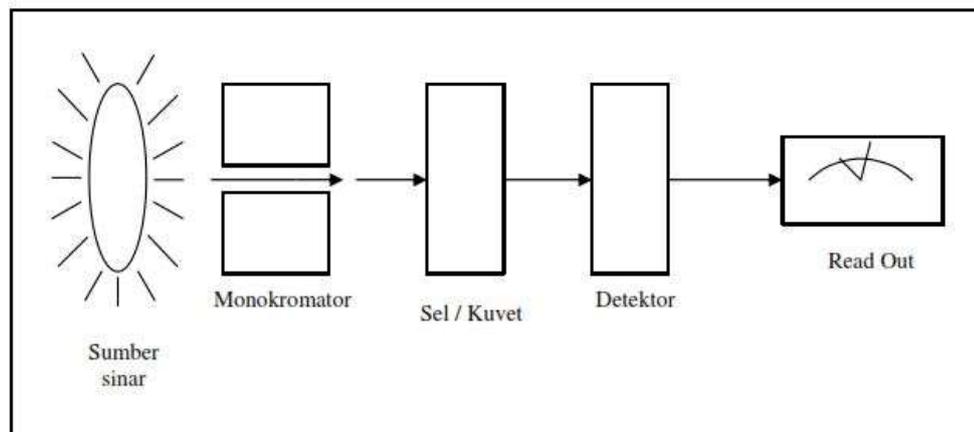
ϵ : Absorbtivitas molar ($L \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

b : Tebal kuvet (cm)

c : Konsentrasi (mol/L)

(Hendayana, 1994).

Komponen peralatan spektrofotometer UV-VIS dapat ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Rangkaian Alat Spektrofotometri UV-Vis (Monica & Avrilia, 2013).

2.6.2 Fluoresensi Sinar-X (*X-Ray Fluorescence*)

Fluoresensi sinar-X (XRF) merupakan suatu teknik analisis yang berdasarkan pada terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan cuplikan oleh sinar-X dari sumber pengeksitasi (sinar-X). Metode analisis XRF digunakan menentukan komponen penyusun abu layang batubara secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedangkan hasil analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar (Kriswarini *et al.*, 2010).

Prinsip kerja metode analisis XRF yaitu apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung sinar-X atau sumber radioaktif mengenai cuplikan, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada electron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam sehingga menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Jenis spektrum *X-ray* dari cuplikan yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda (Syahfitri *et al.*, 2013)

2.6.3 Difraktometer Sinar-X (*X-Ray Diffraction*)

Difraktometer sinar-X merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan dengan radiasi elektromagnetik sinar-X pada panjang gelombang 0,5-2,5 Angstrom dan energi +107 eV. Metode ini hanya dapat digunakan untuk menganalisis padatan kristalin. Dasar yang digunakan pada analisis ini adalah adanya kekhasan jarak antar bidang kristal (d) pada setiap kristal yang berbeda. Metode difraksi sinar-X diaplikasikan dalam penentuan bentuk geometri dan ukuran kristal tunggal, penentuan kemurnian hasil sintesis, identifikasi kristal, pengindeksan bidang kristal, penentuan jumlah atom per sel satuan, deteksi senyawa baru, penentuan kemurnian hasil sintesis dan sebagainya.

XRD dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan struktur kristalin abu layang batubara dan zeolit sintetis yang terbentuk.

Wahyuni (2003) menyebutkan metode analisis dengan difraksi sinar-X pada umumnya menggunakan susunan alat yang terdiri atas:

(1) Tabung sinar-X

Bagian instrument difaksi sinar-X yang berupa filament tungsten (W) sebagian sumber elektron dan anoda berupa ion logam target.

(2) Goniometer

Merupakan bagian instrument difraksi sinar-X yang masih satu unit dengan tempat sampel dan detektor, goniometer akan bergerak memutar selama alat beroperasi.

(3) Tempat sampel

Berupa lempeng ion logam/plat kaca cekung dengan lubang di tengah untuk mengisikan sampel goniometer dan membentuk sudut terhadap sinar-X yang datang.

(4) Detektor

Berisi gas yang sensitive terhadap sinar-X, katoda dan anoda. Sinar-X yang terdifraksi oleh sampel akan mengenai atom-atom gas sehingga atom-atom gas tersebut akan terionisasi dan membentuk elektron dan kation. Selanjutnya elektron tersebut akan menunjukkan katoda dan kation akan menuju anoda, akibatnya dihasilkan suatu arus listrik.

(5) Difraktometer

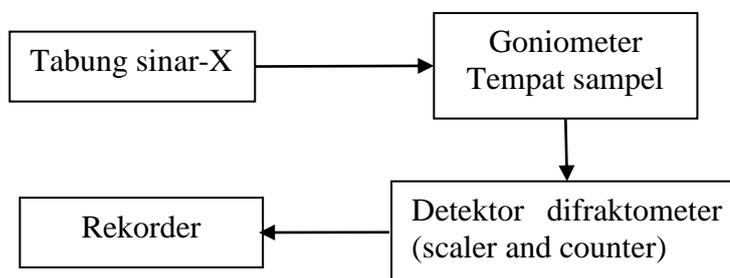
Bagian alat yang terdiri atas *counter* dan *scaler*. Arus listrik yang dihasilkan dari proses sebelumnya akan diubah menjadi pulsa yang dapat dihitung oleh

couter dan *scaler*. *Couter* bertugas mendeteksi sudut difraksi, sedangkan *scaler* bertugas mendeteksi intensitas.

(6) Rekorder

Merupakan bagian instrument difraksi sinar-X yang digunakan untuk menampilkan keluaran yang berupa pola difraksi yang bentuknya tertentu.

Berikut ini skema alat difraksi Sinar-X



Gambar 2.4 Skema Alat Difraksi Sinar-X (Wahyuni, 2003)..

2.6.4 Spektrofotometer Inframerah

Spektrofotometer inframerah merupakan metode analisis yang didasarkan pada penyerapan (adsorpsi) energi pada suatu molekul cuplikan yang dilewatkan radiasi inframerah. Hal ini disebabkan karena transisi antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*exited state*). Pengadsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer inframerah yang memplot jumlah radiasi inframerah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi (panjang gelombang) radiasi. Spektrofotometer inframerah adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur serapan radiasi inframerah pada berbagai panjang gelombang antara $1400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ($2,3\text{-}7,1\mu\text{m}$). Spektrofotometer inframerah memiliki sistem optik yang serupa dengan spektrofotometer sinar laser. Sinar IR mempunyai energi yang rendah, maka tebal

selang dipakai pada spektrofotometer IR lebih tipis daripada spektrofotometer lainnya (misal: 0,02 μm) (Hendayana *et al.*, 1994).

Analisis FTIR memiliki 3 fungsi, yaitu digunakan untuk mengidentifikasi material yang belum diketahui, untuk menentukan kualitas atau konsistensi sampel, dan untuk menentukan suatu komponen dalam suatu campuran. Ukuran puncak (peak) data FTIR menggambarkan jumlah atau transmitansi dan frekuensi. Transmitansi menunjukkan tingkatan jumlah senyawa sedangkan frekuensi menunjukkan jenis senyawa yang terdapat dalam sebuah sampel (Alfaruqi, 2008).

Metode spektroskopi FTIR dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan gugus fungsi dan karakteristik dari abu layang batubara serta zeolit sintetis yang terbentuk. Spektra gambaran umum untuk semua zeolit dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Spektra IR dari Zeolit (gambaran umum untuk semua zeolit)

Mode Vibrasi	Daerah (cm^{-1})
Tetrahedralinternal:	
Vibrasi rentangan asimetris	1250-950
Vibrasi rentangan simetris	720-650
Vibrasi tekuk T-O	420-500
Ikatan Eksternal	
Vibrasi cincin ganda	650-500
Vibrasi pori terbuka	300-420
Vibrasi rentangan simetris	750-820
Vibrasi rentangan asimetris (Tajam)	1050-1150

(Ojha *et al.*, 2004)

Berdasarkan Tabel 2.3 Menurut Ojha *et al.*, (2004) spektra inframerah dari struktur zeolit secara umum terletak pada daerah IR tengah ($300\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$) menyediakan informasi mengenai komposisi dan cara setiap tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 terikat satu sama lain. Informasi struktural lain yang didapat dari spektra IR adalah komposisi Si/Al kerangka, perubahan struktural selama dekomposisi termal serta pergerakan kation selama dehidrasi dan dehidroksilasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang untuk sintesis zeolit. Karakterisasi komposisi abu layang batubara dan zeolit hasil sintesis menggunakan XRF dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang. Karakterisasi struktur kristal abu layang dan zeolit hasil sintesis menggunakan XRD dan karakterisasi gugus fungsi abu layang batubara dan zeolit hasil sintesis menggunakan FTIR dilakukan di Universitas Gajah Mada. Uji zeolit sintesis sebagai adsorben dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis di Laboratorium Kimia Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah faktor-faktor yang mempengaruhi hasil analisis. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pH 5, 6, 7, 8, dan 9, waktu kontak 30, 60, 90, 120, dan 150 menit, dan konsentrasi sampel 50, 100, 150, 200, 250 ppm.

3.2.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah faktor yang diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas. Variabel terikat dalam proses adsorpsi adalah perubahan konsentrasi *remazol brilliant blue*.

3.2.3 Variabel terkendali

Variabel terkendali adalah faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil reaksi, tetapi yang dapat dikendalikan oleh peneliti. Variabel terkendali dalam penelitian ini untuk sintesis zeolit meliputi temperatur kalsinasi abu layang batu bara 600°C, temperatur reaksi 140°C, dan waktu reaksi 8 jam. Sedangkan variabel terkendali pada saat adsorpsi, yaitu massa zeolit hasil sintesis 0,1 gram, volume larutan zat warna 50 mL dan kecepatan pengadukan larutan menggunakan pengaduk shaker 150 rpm.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Alat-alat gelas (Erlenmeyer, beaker glass, pengaduk, corong, labu takar, pipet volume)
- 2) Lumpang dan alu
- 3) *autoclave stainless steel* 100 ml
- 4) Oven pemanas merk Memmert
- 5) Pengaduk shaker
- 6) pH meter merk Hanna Instruments
- 7) Timbangan listrik merk Ohaus Explorer

- 8) Cawan porselin
- 9) Ayakan 100 mesh
- 10) Pengaduk magnet
- 11) Furnace
- 12) Termometer
- 13) Seperangkat alat Spektrofotometer Inframerah (FTIR-8400)
- 14) Spektrofotometer UV-Vis
- 15) Seperangkat alat Difraktometer Sinar-X.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

- 1) Abu layang batubara dari PLTU Tanjung Jati B Jepara
- 2) HCl (kadar 37%, BM=36,453 g/mol, ρ 1,19 Kg/cm³, Merck)
- 3) NaOH (kadar 99% BM= 39,99717 g/mol, 2,1 Kg/dm³, Merck)
- 4) Zat warna *remazol brilliant blue* teknis
- 5) Aquades

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Preparasi Awal

Sebanyak 1 kg abu layang dari PLTU Tanjung Jati Jepara dimasukkan ke dalam *beaker glass* berukuran 2 L, ditambahkan dengan 1 L aquades, kemudian diaduk-aduk menggunakan pengaduk dan didiamkan sampai air memisah. Air dibuang, dan abu layang yang masih basah dikeringkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam. Setelah itu, abu layang yang sudah kering diayak dengan ayakan 100 mesh dan dianalisis menggunakan XRF untuk mengetahui komponen

penyusunnya. Abu layang yang lolos ayakan 100 mesh ditimbang 150 gram dan diletakkan ke dalam cawan porselin, kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 600 °C selama 2 jam. Abu layang hasil *furnace* direndam dengan HCl 1 M dengan rasio abu layang/HCl (1:5) dalam *beaker glass*, diaduk dengan pengaduk magnet (skala 6-8) selama 1 jam. Setelah itu, campuran abu layang dan HCl disaring dan dicuci lagi dengan aquades. Abu layang yang masih basah dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 2 jam (Mimura *et al.*, 2001).

3.4.2 Sintesis Zeolit

Proses sintesis zeolit dari abu layang menggunakan prosedur Zakaria *et al.*, (2012), abu layang batubara ditimbang sebanyak 10 g, kemudian ditambah 100 mL NaOH dengan konsentrasi 4 M. Campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 500 *rpm* selama 2 jam. Setelah proses pencampuran selesai, campuran dimasukkan dalam *autoclave* dan dipanaskan dalam oven selama 8 jam pada temperatur 140°C. Setelah itu, *autoclave* dikeluarkan dari dalam oven. Zeolit hasil sintesis yang ada di dalam *autoclave* dikeluarkan dengan cara menyaringnya. Residu yang diperoleh dicuci dengan aquades. Zeolit hasil sintesis dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dikeringkan di dalam oven selama 2 jam pada suhu 120°C. Zeolit hasil sintesis ditimbang beratnya dan zeolit siap digunakan sebagai adsorben.

3.4.3 Karakterisasi Zeolit

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD) untuk mengetahui jenis mineral dan tingkat kristalinitas dari kedua zeolit sintetis tersebut. Gugus fungsional dari kedua zeolit sintetis tersebut ditentukan dengan

Spektrofotometer Inframerah sedangkan karakterisasi komposisi kimia abu zeolit hasil sintesis dilakukan menggunakan Fluoresensi Sinar-X (XRF) (Fitriyana & Sulardjaka, 2012).

3.4.4 Pembuatan Larutan Induk *Remazol Brilliant Blue* 500 ppm

Sebanyak 0,5 gram *remazol brilliant blue* ditimbang, kemudian diencerkan menggunakan aquades ke dalam labu takar 1000 mL sampai tanda batas (Bokau, 2014).

3.4.5 Penentuan Panjang Gelombang Optimum Larutan Zat Warna *Remazol Brilliant Blue*

Larutan zat warna *remazol brilliant blue* dengan konsentrasi 40 ppm. Absorbansinya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 430-650 sehingga didapatkan panjang gelombang optimum. Panjang gelombang optimum dicari pada masing-masing kondisi pH yang diujikan (Bokau, 2014).

3.4.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna *Remazol Brilliant Blue*

Larutan zat warna *remazol brilliant blue* dibuat dengan konsentrasi 4, 6, 8, 10 ppm melalui proses pengenceran dari larutan induk 500 ppm. Larutan tersebut diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum (Ningrum *et al.*, 2008).

3.4.7 Penentuan pH Optimum

Sebanyak 0,1 gram zeolit dan 50 mL larutan *remazol brilliant blue* 50 ppm yang telah diatur pH-nya mulai dari 5, 6, 7, 8 dan 9 dimasukkan ke dalam labu

erlenmeyer 100 mL. Pengaturan pH larutan dilakukan dengan menambahkan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Labu erlenmeyer tersebut digojog menggunakan pengaduk shaker kecepatan 150 rpm selama 120 menit, kemudian hasilnya disaring, dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Bokau, 2014).

3.4.8 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 0,1 gram zeolit dan 50 mL larutan *remazol brilliant blue* konsentrasi 50 ppm dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer dengan pH optimum yang diperoleh. Labu erlenmeyer tersebut digojog menggunakan pengaduk shaker kecepatan 150 rpm dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Larutan disaring, filtrat larutan absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis (Mufrodi, 2008).

3.4.9 Penentuan Konsentrasi Optimum

Sebanyak 50 ml larutan *remazol brilliant blue* 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm dengan pH optimum dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL. Kemudian dimasukkan 0,1 gram zeolit ke dalam erlenmeyer tersebut pada setiap konsentrasi. Masing-masing diaduk dengan pengaduk shaker selama waktu optimum dengan kecepatan 150 rpm. Selanjutnya larutan disaring, dan filtratnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Putri, 2012).

3.4.10 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dihitung berdasarkan persamaan berikut (Zhao *et al.*, 2013):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

Menurut Dong *et al.*, (2010) penentuan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan persamaan isoterm Langmuir, yaitu:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max}} + \frac{C_e}{q_{\max}}$$

Sedangkan persamaan isoterm Freundlich yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} C_e$$

Keterangan:

m = massa adsorben yang digunakan (gram)

V = volume larutan (Liter)

q_e = jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi pada keadaan setimbang
(mg/g)

q_{\max} = kapasitas maksimal adsorpsi (mg/g)

K_L = konstanta Langmuir (L/g)

K_f = konstanta empirik isoterm Freundlich (L/mg)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai data-data hasil penelitian yang disusun berdasarkan urutan tahap penelitian yaitu tahap preparasi, sintesis zeolit, karakterisasi zeolit hasil sintesis (analisis XRF, FTIR, dan XRD), serta uji kemampuan adsorpsi zeolit hasil sintesis dengan menggunakan Spektrofotometer UV-VIS untuk mengetahui absorbansinya.

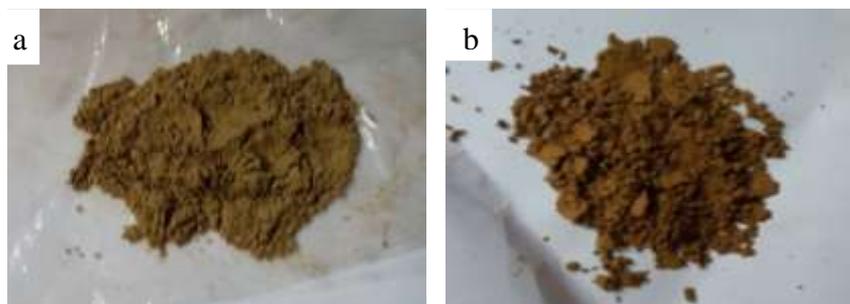
4.1 Preparasi Abu Layang Batubara

Bahan utama yang digunakan untuk sintesis zeolit adalah abu layang batubara yang diambil dari salah satu tempat penampungan limbah di PLTU Tanjung Jati B Jepra. Abu layang batubara dicuci dengan aquades terlebih dahulu untuk menghilangkan pengotor sisa pembakaran, kemudian dikeringkan menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air dalam abu layang. Abu layang dikarakterisasi terlebih dahulu sebelum dikalsinasi untuk mengetahui komponen penyusunnya.

Abu layang yang bersih dan kering dikalsinasi pada temperatur 600°C selama 2 jam. Pemilihan suhu ini didasarkan pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ma'rifat *et al.*, (2014) yang memberikan hasil bahwa pengabuan pada suhu 600°C menghasilkan abu dalam bentuk amorf. Selain itu juga didukung oleh penelitian Gumilarras (2009) yaitu pada suhu 500-600°C menghasilkan abu dalam bentuk amorf. Abu dalam bentuk amorf mempunyai kereaktifan paling

tinggi dibandingkan dalam bentuk kristal dan kuarsa, sehingga silika dalam bentuk amorf ini lebih mudah bereaksi dengan NaOH (Vucinic *et al.*, 2002).

Berdasarkan hasil kalsinasi diperoleh abu layang yang mula-mula berwarna abu-abu kehitaman berubah menjadi coklat. Perubahan ini menunjukkan zat-zat organik yang ada dalam abu layang terdekomposisi selama kalsinasi menjadi gas CO₂. Sedangkan warna gelap menunjukkan abu layang sebelum kalsinasi mengandung Fe₂O₃ yang cukup tinggi (Sunardi *et al.*, 2007). Kenampakan abu layang sebelum dan sesudah kalsinasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



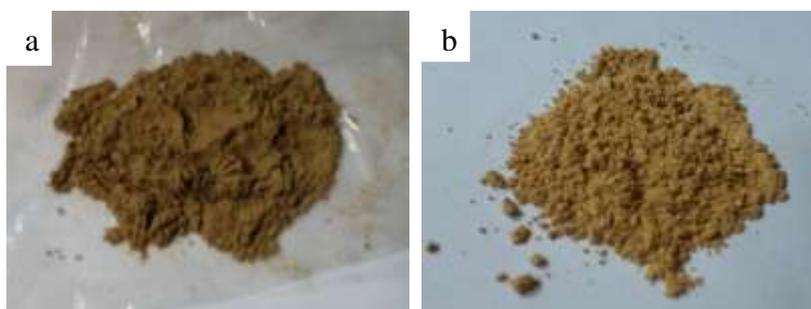
Gambar 4.1 a) Abu layang batubara sebelum kalsinasi, b) Abu layang batubara sesudah kalsinasi

Berdasarkan analisis menggunakan XRF yang disajikan pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa abu layang batubara memiliki kandungan oksida pengotor (Fe₂O₃) yang sangat tinggi yakni 40,53 %. Sedangkan SiO₂ yang terdapat dalam abu layang sebesar 34,0 %. Selain itu terdapat juga senyawa lainnya namun dalam jumlah yang kecil seperti Al₂O₃, K₂O, CaO, Fe₂O₃, dan P₂O₅ yang memiliki kadar berkisar antara 2,07-12 %. Senyawa lainnya yang memiliki kadar sangat kecil di bawah 1 % adalah P₂O₅, MnO, V₂O₅, Cr₂O₃, MnO, NiO, CuO, ZnO, Rb₂O, SrO, BaO, dan Re₂O₇. Untuk mengurangi oksida logam pengotor dilakukan pencucian abu layang menggunakan HCl. Sementara penghilangan air dilakukan dengan

pengeringan menggunakan oven pada suhu 120°C sampai mencapai berat konstan.

4.2 Sintesis Zeolit

Secara fisik hasil sintesis yang diperoleh dari proses peleburan menghasilkan padatan berwarna kuning kecoklatan, berbeda dengan abu layang sebelumnya yang berwarna abu-abu kehitaman dapat dilihat pada Gambar 4.2, dan memiliki berat yang awalnya 20 gram menjadi 15,2 gram dengan berat rendemennya adalah 76 %.



Gambar 4.2. a) Abu layang batubara, b) Zeolit hasil sintesis

Berdasarkan karakterisasi zeolit hasil sintesis menggunakan XRF, diperoleh komposisi SiO_2 dan Al_2O_3 sebesar 36,5% dan 17% yang mengalami peningkatan dibandingkan komposisi awal abu layang yaitu 34,0% dan 12%. Sedangkan kandungan Fe_2O_3 mengalami penurunan yang awalnya 40,53% menjadi 32,61%, hal ini terjadi karena adanya aktivasi dengan HCl pada preparasi awal yang berfungsi mengurangi konsentrasi oksida logam pengotor yang ada di dalam abu layang. Penambahan NaOH dalam sintesis zeolit tidak hanya bekerja sebagai reagen saja tetapi juga sebagai *mineralizer*, dikarenakan kapasitas air sebagai pelarut pada suhu yang tinggi seringkali tidak mampu untuk melarutkan zat dalam proses pengkristalan. Oleh karena itu perlu ditambahkan *mineralizer* berupa NaOH. *Mineralizer* yaitu senyawa yang ditambahkan pada larutan encer

untuk mempercepat proses pengkristalan dengan cara meningkatkan kemampuan melarutnya, sehingga yang biasanya tidak dapat larut dalam air ketika ditambahkan *mineralizer* dapat menjadi larut. *Mineralizer* yang khas adalah suatu hidroksida dari logam alkali, khususnya amfoter dan oksida asam. *Mineralizer* yang digunakan untuk SiO₂ adalah NaOH, KOH, Na₂CO₃ atau NaF (Schubert & Husing, 2000).

4.3 Karakterisasi Zeolit Hasil Sintesis

4.3.1 Analisis Fluororesensi Sinar-X (XRF)

Analisis menggunakan XRF ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun abu layang beserta kadarnya. Komposisi kimia abu layang batubara dan zeolit hasil sintesis dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Analisis Komposisi Kimia Abu Layang Batubara dan Zeolit Hasil Sintesis Menggunakan XRF

No.	Komponen	Abu Layang (%)	Zeolit Hasil Sintesis (%)
1.	Fe ₂ O ₃	40,53	32,61
2.	SiO ₂	34,0	36,5
3.	Al ₂ O ₃	12	17
4.	CaO	5,23	7,58
5.	K ₂ O	2,86	0,50
6.	TiO ₂	2,07	3,16
7.	SrO	0,92	1,0
8.	P ₂ O ₅	0,70	-
9.	BaO	0,27	0,39
10.	Rb ₂ O	0,26	-
11.	NiO	0,23	0,23
12.	Re ₂ O ₇	0,2	0,2
13.	MnO	0,17	0,18
14.	Cr ₂ O ₃	0,11	0,11
15.	CuO	0,11	0,12
16.	ZnO	0,10	0,08
17.	V ₂ O ₅	0,06	0,04

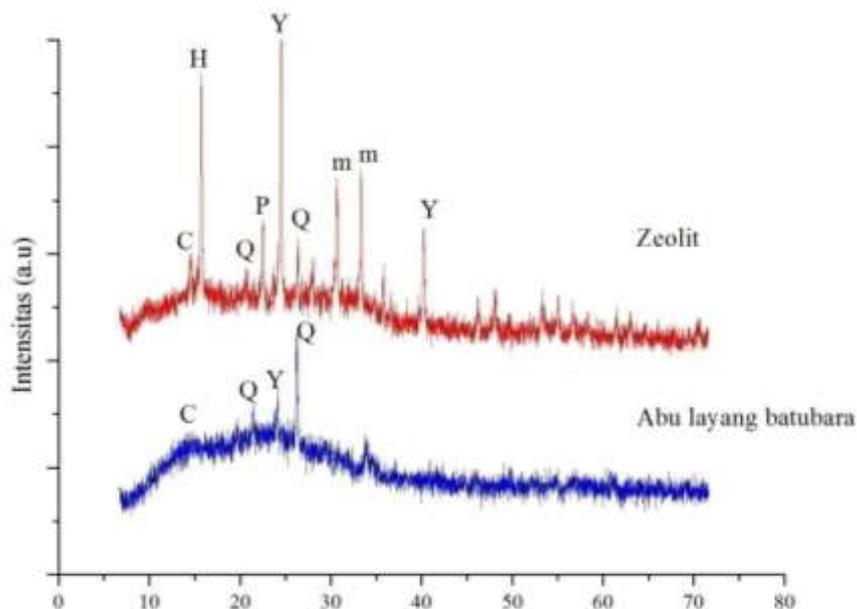
Berdasarkan Tabel 4.1 hasil analisis menggunakan XRF menunjukkan bahwa zeolit hasil sintesis mengalami penurunan kandungan oksida pengotor (Fe_2O_3) dibandingkan dengan abu layang batubara, yang awalnya 40,53% menjadi 32,61%. Sedangkan SiO_2 yang terdapat dalam zeolit hasil sintesis mengalami peningkatan dari 34,0% menjadi 36,5%, kenaikan tersebut dikarenakan sifat SiO_2 yang tidak larut terhadap asam kuat. Hasil penelitian Putri (2012) juga mengalami kenaikan kandungan SiO_2 dari abu layang 27,34% menjadi zeolit sintetis dengan kadar SiO_2 29,53%. Oleh karena itu, adanya kalsinasi sebelumnya dan penambahan asam kuat HCl mampu mengurangi adanya pengotor dan meningkatkan kadar silika SiO_2 .

Selain itu, menurut hasil penelitian Tao *et al.*, (2006) aktivasi dengan asam kuat pada abu layang dapat menyebabkan pengaruh pada kristalinitas dari material amorf yang disebabkan oleh pelepasan oksida-oksida logam seperti Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , dan sebagainya. Namun, pada penelitian ini terdapat senyawa lain yang mengalami kenaikan dan penurunan yang relatif kecil. Kenaikan terjadi pada oksida-oksida logam seperti CaO , TiO_2 , SrO , BaO , MnO , dan CuO . Berdasarkan penelitian Mufrodi *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa penggunaan asam kuat HCl tidak dapat mereduksi secara sempurna senyawa logam pengotor yang tinggi sehingga logam pengotor tidak mudah dilepaskan dari abu layang.

Setelah kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dari zeolit hasil sintesis telah diketahui, dapat diperoleh rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang memiliki perbandingan lebih dari 1 yaitu 1,76. Berdasarkan perbandingan rasio Si/Al antara 1-3 diperoleh zeolit Y (Saputra, 2006).

4.3.2 Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)

Difraktogram hasil uji XRD pada abu layang batubara disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Difraktogram Zeolit Hasil Sintesis (Q = Kuarsa, C = Cancrinite, Y = Zeolit Y, P = Zeolit P, m = Mullite)

Berdasarkan Gambar 4.3 puncak tajam menunjukkan adanya senyawa SiO_2 yang terkandung dalam abu layang batubara dalam bentuk kuarsa sesuai dengan JCPDS nomor 5-0490 yang menunjukkan kemiripan pada puncak-puncak utamanya. Pola difraktogram yang telah didapatkan abu layang batubara mengandung fasa amorf yang dominan. Hal tersebut ditunjukkan oleh puncak yang terbentuk tidak terlalu tajam dengan intensitas yang relatif rendah yaitu berupa puncak yang melebar dengan bentuk rintik-rintik. Kuarsa ditunjukkan dengan adanya gundukan pada $2\theta = 12,4050^\circ$ sampai $2\theta = 35,1946^\circ$. Hal ini sesuai dengan penelitian Ma'rifat *et al.*, (2014) yang menyebutkan bahwa spektrum zeolit dalam bentuk amorf akan terlihat melebar. Sedangkan adanya

puncak tinggi dan tajam pada $2\theta = 20,8^\circ$ dan $26,54^\circ$ menunjukkan adanya mineral kuarsa. Silika pada fasa amorf ini lebih mudah larut jika dibandingkan dengan silika pada fasa kristal saat direaksikan dengan NaOH (Nuryono, 2006).

Difraktogram hasil uji XRD zeolit hasil sintesis menunjukkan adanya cancrinite pada $2\theta = 13,6882^\circ$ (JCPDS kode: 48-1862), pada puncak $2\theta = 24,118^\circ$ menunjukkan adanya zeolit Y (Treacy & Higgins, 2001), sedangkan pada puncak $2\theta = 21,6844^\circ$, $26,2951^\circ$ mengindikasikan adanya spektra zeolit P (Budiyantoro, 2005). Penggunaan larutan NaOH pada sintesis zeolit abu layang menyebabkan terjadinya konversi fraksi amorf menjadi mineral cancrinite, zeolit Y dan zeolit P. Interpretasi difraktogram abu layang dan zeolit hasil sintesis dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Interpretasi Difraktogram Abu Layang dan Zeolit Hasil Sintesis

No.	2θ ($^\circ$)		Fasa	Referensi
	Hasil Analisis	Standar	Mineral	
1.	13,6882 (Zeolit)	14,051	Cancrinite	JCPDS no. 48-1862
2.	20,4116 (Abu layang)	20,835	SiO ₂	JCPDS no.
	26,1731 (Abu layang)	26,643	(Kuarsa)	5-0409
3.	24,1188 (Zeolit)	24,13	Zeolit Y	Treacy & Higgins, 2001
4.	21,6844 (Zeolit)	21,6992	Zeolit P	(Budiyantoro, 2005)
	26,2951 (Zeolit)	26,2200		

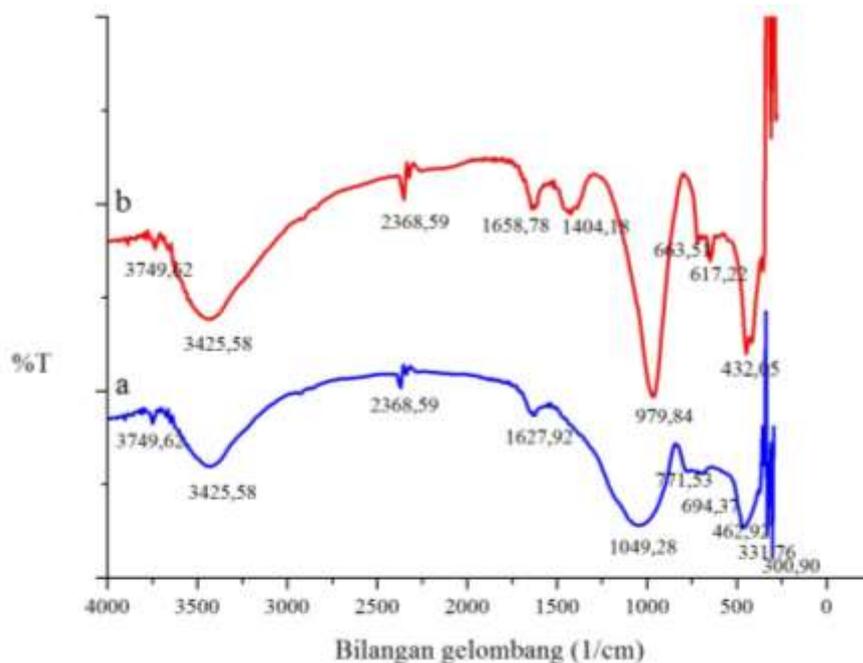
Berdasarkan Tabel 4.2 interpretasi difraktogram zeolit hasil sintesis menunjukkan adanya peningkatan intensitas bila dibandingkan dengan difraktogram pada abu layang batubara. Hal ini ditandai oleh pola-pola yang melebar pada difraktogram Gambar 4.3 semakin menghilang dan muncul puncak tajam yang semakin tinggi intensitasnya.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan XRD menunjukkan sintesis zeolit menghasilkan campuran zeolit P dan zeolit Y. Zeolit hasil sintesis menunjukkan

bahwa kristal yang terbentuk adalah zeolit P ($\text{Na}_3\text{Al}_3\text{Si}_5\text{O}_{16}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Hasil analisis jenis zeolit sesuai dengan JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standart*) yang ditunjukkan dalam difraktogram XRD. Susilowati (2000) menyebutkan bahwa zeolit P termasuk dalam zeolit golongan 1, yaitu dengan satuan unit pembangun sekunder cincin 4-tunggal (*single 4-ring, SAR*).

4.3.3 Analisis Spektrofotometer Inframerah (FTIR)

Pada penelitian ini analisis kualitatif menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR) yang bertujuan untuk mengetahui gugus aktif dalam abu layang batubara dan zeolit hasil sintesis. Hasil difraktogram spektrum infra merah dari abu layang batubara dan zeolit hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Spektrogram Inframerah a) Abu Layang Batubara dan b) Zeolit Hasil Sintesis

Pada Gambar 4.4 memperlihatkan spektrum inframerah zeolit hasil sintesis mengalami kenaikan transmitansi yang semakin besar dibandingkan abu layang batubara yang ditandai pada serapan daerah $980\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$. Spektrum inframerah

zeolit hasil sintesis juga mengalami pergeseran dibandingkan dengan spektrum abu layang batubara yaitu pada daerah sekitar serapan 800-500 cm^{-1} .

Tabel 4.3. Interpretasi Spektrum Infra Merah Abu layang batubara dan Zeolit Hasil Sintesis

No.	Frekuensi Daerah Serapan (cm^{-1})		Interpretasi	Referensi
	Hasil Analisis	$1/\lambda$		
1.	3425,58 (Abu Layang) 3425,58 (Zeolit)	3500-3200	Vibrasi rentang -OH	Sastrohamidjojo, 1992
2.	2368,59 (Abu Layang) 2368,59 (Zeolit)	2368,59	Vibrasi rentangan Si-H	Yunita, 2008
3.	2276 (Zeolit)	2121,70	Vibrasi ikatan -OSi-H	Yulianto, 2011
4.	1627,92 (Abu Layang) 1658,78 (Zeolit)	1650	Vibrasi rentang tekuk dari molekul H_2O	Azizi & Yousefpour, 2010
5.	1404,18 (Zeolit)	1400-800	Daerah sidik jari gugus SiO dan AlOH	Wijaya, 2002
6.	1049,28 (Abu Layang)	1250-950	Vibrasi rentang asimetri T-O-T (T=Si atau Al)	Azizi & Yousefpour, 2010
7.	979,84 (Zeolit)	985,95	Serapan vibrasi rentang asimetri TO_4 (T=Si atau Al)	Jumaeri <i>et al.</i> , 2007
8.	694,37 (Abu Layang) 663,51 (Zeolit)	684	Vibrasi ulur simetri O-Si-O atau O-Al- O	Warsito <i>et al.</i> , 2008
9.	462,92 (Abu Layang) 432,05 (Zeolit)	500-420	Vibrasi tekuk ikatan T-O (T=Si atau Al)	Ojha <i>et al.</i> , 2004
10.	331,76 (Abu Layang) 324,04 (Zeolit)	420-300	Pembukaan pori	Ojha <i>et al.</i> , 2004

Berdasarkan Tabel 4.3 interpretasi spektrum infra merah abu layang menunjukkan adanya pita serapan yang muncul pada daerah 3425,58 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi rentangan -OH. Vibrasi rentangan Si-H dalam abu layang ditunjukkan oleh pita serapan 2368,59 cm^{-1} . Pada pita serapan 1627,92 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi rentang tekuk dari molekul H_2O . Selanjutnya, adanya gugus yang mengandung vibrasi T-O-T (T=Si atau Al) dan daerah sidik

jari gugus SiO dan AlOH ditunjukkan oleh pita serapan $1049,28 \text{ cm}^{-1}$. Adanya gugus Si-O ditunjukkan oleh pita serapan $771,53 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi Si-O. Pita serapan $462,92 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi tekuk ikatan T-O (T=Si atau Al) (Sunardi *et al.*, 2007).

Spektrum inframerah zeolit hasil sintesis menunjukkan adanya vibrasi rentangan -OH pada pita serapan $3425,58 \text{ cm}^{-1}$. Kemunculan vibrasi rentangan Si-H ditunjukkan oleh pita serapan $2368,59 \text{ cm}^{-1}$ sedangkan untuk keberadaan vibrasi ikatan -OSi-H ditunjukkan oleh pita serapan $2121,70 \text{ cm}^{-1}$. Pada pita serapan $1658,78 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi rentang tekuk dari molekul H_2O . Daerah sidik jari gugus SiO dan AlOH pada zeolit hasil sintesis ditunjukkan oleh pita serapan $1404,18 \text{ cm}^{-1}$. Keberadaan serapan vibrasi rentang asimetri TO_4 (T=Si atau Al) ditunjukkan oleh pita serapan $979,84 \text{ cm}^{-1}$. Pada serapan $663,51 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur simetri O-Si-O atau O-Al-O. Vibrasi tekuk ikatan T-O (T=Si atau Al) ditunjukkan pada serapan $432,05 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan pada pita serapan $324,04 \text{ cm}^{-1}$ terdapat vibrasi pori terbuka. Hal ini memungkinkan zeolit hasil sintesis memiliki kemampuan yang efektif untuk menurunkan zat warna *remazol brilliant blue*. Menurut penelitian Ojha *et al.*, (2004) ditemukan daerah serapan $400\text{-}300 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya pembukaan pori pada zeolit hasil sintesis. Pita ini berhubungan dengan pergerakan dari cincin tetrahedral yang menyebabkan terjadinya pembukaan pori dalam zeolit.

4.4 Uji Kemampuan Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis

4.4.1 Penentuan Panjang Gelombang Optimum Zat Warna *Remazol brilliant blue*

Penentuan Panjang Gelombang Optimum diperoleh dengan mengukur absorbansi larutan zat warna *remazol brilliant blue* 40 ppm menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang antara 430 nm sampai dengan 650 nm sehingga didapatkan spektrum absorbansi larutan zat warna *remazol brilliant blue* yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

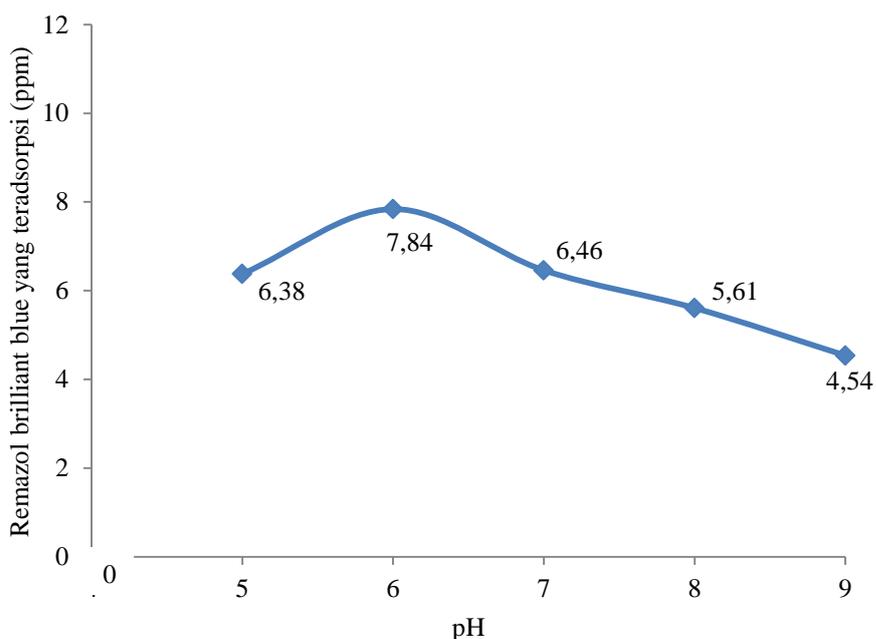
Tabel 4.4 λ Optimum pada Konsentrasi Zat Warna *Remazol brilliant blue* 40 ppm

λ (nm)	Absorbansi
610	0,3868
611	0,3884
612	0,3912
613	0,3939
614	0,3967
615	0,3998
616	0,4034
617	0,4067
618	0,4108
619	0,4143
620	0,4180
621	0,4210
622	0,4240
623	0,4263
624	0,4283
625	0,4303
626	0,4315
627	0,4325

Berdasarkan Tabel 4.4 hasil pengukuran menunjukkan panjang gelombang optimum zat warna *remazol brilliant blue* adalah 625 nm. Panjang gelombang optimum ini digunakan untuk pengujian kondisi optimal yang meliputi pH, waktu kontak, dan konsentrasi larutan zat warna.

4.4.1 Optimasi pH Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis Terhadap Larutan Zat Warna *Remazol brilliant blue*

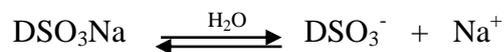
Salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah pH. pH larutan dapat menyebabkan panjang gelombang berubah-ubah dan berpengaruh terhadap pengukuran absorbansi pada optimasi pH ini. Jadi, setiap larutan zat warna pada pH tertentu memiliki panjang gelombang optimum tertentu untuk menentukan absorbansi. Data yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi antara konsentrasi dan absorbansi. Kurva tersebut kemudian digunakan untuk menentukan konsentrasi zat warna tekstil dalam larutan. Hasil adsorpsi dengan variasi pH untuk zat warna *remazol brilliant blue* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva hubungan antara pH dengan zat warna *remazol brilliant blue* yang teradsorpsi (ppm)

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa hasil penyerapan zat warna *remazol brilliant blue* oleh adsorben zeolit hasil sintesis yang terbesar terjadi pada pH 6 sebesar 7,84 ppm. Pada pH 5 penyerapan yang terjadi relatif rendah. Hal ini dikarenakan adanya persaingan antara H^+ dan gugus aktif zeolit hasil sintesis

untuk berikatan dengan larutan zat warna yang terdisosiasi menjadi ion-ionnya. Seperti pada penelitian Rahmawati (2007) reaksi larutan zat warna yang terionisasi ditunjukkan pada reaksi berikut:



Tumin *et al.*, (2008) mengatakan bahwa pada kondisi pH rendah adsorpsi kecil, karena adanya H^+ dari larutan akan mencegah terjadinya interaksi zat warna dengan gugus aktif yang terdapat pada permukaan adsorben.

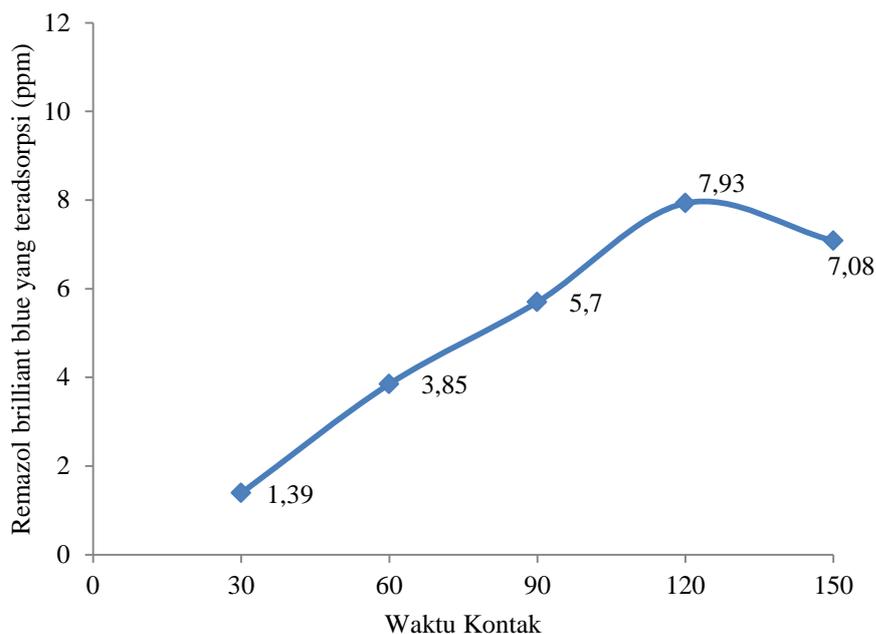
Hasil penyerapan pada pH 6 mengalami kenaikan, hal ini terjadi karena permukaan adsorben cenderung terionisasi dengan melepas ion H^+ sehingga permukaan adsorben menjadi negatif. Hal ini menyebabkan terjadinya interaksi elektrostatik antara permukaan zeolit hasil sintesis dengan zat warna. Hal ini sesuai dengan penelitian Setiyanto *et al.*, (2015) yaitu adsorpsi zat warna secara optimum terjadi pada pH 6.

Wdhiathi *et al.*, (2010) mengatakan bahwa pada pH diatas 6 terjadi penurunan adsorpsi, karena pada pH tersebut ion OH^- yang terlalu banyak mengakibatkan interaksi antara ion OH^- dengan zat warna tolak menolak sehingga daya serapnya semakin berkurang. Pada pH basa atau pH diatas 6, jumlah proton relatif kecil dan menyebabkan peluang terjadinya pengikatan zat warna menjadi besar, sehingga ion-ion zat warna dapat membentuk endapan hidroksida dan dapat menurunkan zat warna yang diserap (Ma'rifat *et al.*, 2014).

4.4.2 Optimasi Waktu Kontak Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis Terhadap Larutan Zat Warna *Remazol brilliant blue*

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan setelah diketahui pH optimum adsorpsi. Penentuan waktu kontak bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum pada zat

warna tekstil yaitu *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis. Waktu kontak dan tumbukan merupakan faktor penting dalam adsorpsi. Menurut teori tumbukan, kecepatan reaksi bergantung pada jumlah tumbukan per satuan waktu. Semakin banyak tumbukan yang terjadi maka reaksi semakin cepat berlangsung sampai terjadi kondisi setimbang.



Gambar 4.6 Kurva Hubungan antara Waktu Kontak (Menit) dengan Zat Warna *Remazol brilliant blue* yang Teradsorpsi (ppm)

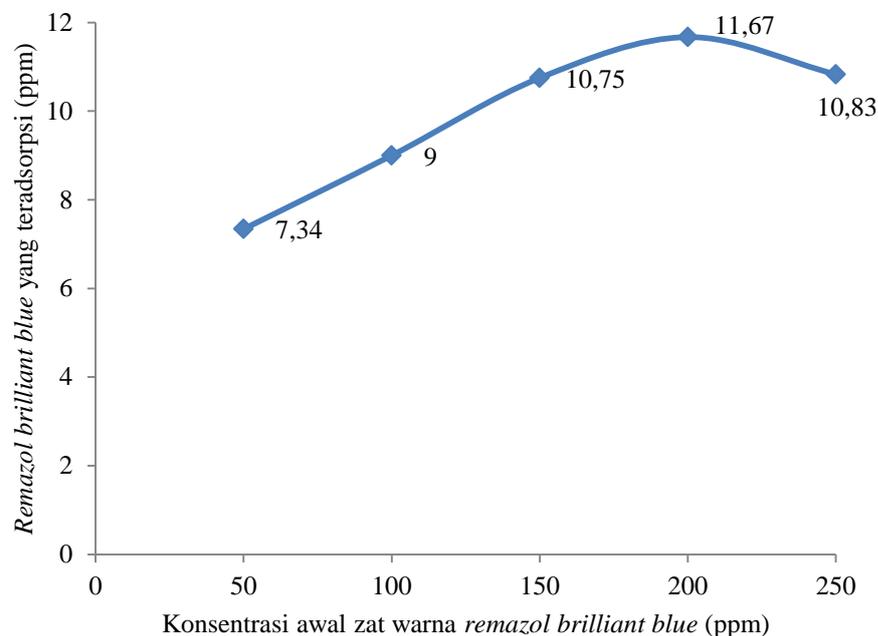
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya waktu kontak. Pada waktu kontak 30 menit zat warna *remazol brilliant blue* yang terserap sebesar 1,39 ppm. Hal ini disebabkan karena banyaknya ruang-ruang kosong yang belum ditempati zat warna. Pada waktu 60 menit penyerapan yang terjadi mengalami kenaikan menjadi 3,85 ppm, hal ini menunjukkan bahwa ruang-ruang kosong adsorben terisi oleh zat warna. Kenaikan juga terjadi pada waktu kontak 90 menit, penyerapan yang terjadi sebesar 5,7 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu kontak tersebut ruang-ruang kosong dari zeolit hasil sintesis yang belum terisi

penuh karena gugus aktif pada adsorben belum berinteraksi secara optimal sehingga belum diperoleh keadaan setimbang. Sedangkan pada waktu 120 menit inilah terjadi keseimbangan antara adsorben dan adsorbat (zat warna), sehingga terjadi adsorpsi secara optimum dengan daya serap 7,93 ppm. Pada waktu kontak 150 menit daya serapnya mengalami penurunan menjadi 7,08 ppm. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat memungkinkan untuk terjadinya peningkatan penyerapan zat warna, namun jika terlalu lama dapat menurunkan tingkat penyerapan. Semakin lama waktu kontak juga dapat mengakibatkan desorpsi, yaitu terlepasnya zat warna yang sudah terikat oleh adsorben. Hal ini sesuai dengan penelitian Bernard *et al.*, (2013) yang menunjukkan bahwa setelah adsorpsi mencapai keadaan setimbang pada waktu kontak optimum, penambahan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat selanjutnya tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penyerapan zat warna. Hastuti *et al.*, (2012) mengatakan terlalu lamanya kontak fisik antara zat warna dengan adsorben menyebabkan zat warna lama-kelamaan terlepas ke dalam larutan. Hal ini mengakibatkan jumlah zat warna yang terukur semakin besar, yang mengindikasikan daya serapnya juga menurun. Oleh karena itu, untuk mencapai keadaan kesetimbangan zat warna oleh adsorben, maka diperlukan rentang waktu.

4.4.3 Optimasi Konsentrasi Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis Terhadap Larutan Zat Warna *Remazol brilliant blue*

Perlakuan variasi konsentrasi bertujuan untuk memperoleh informasi berapa konsentrasi yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum pada zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis. Zat warna *remazol brilliant blue* divariasikan pada konsentrasi 50, 100, 150, 200, 250 ppm. Hasil

adsorpsi *remazol brilliant blue* dengan variasi konsentrasi ditampilkan pada Gambar 4.7



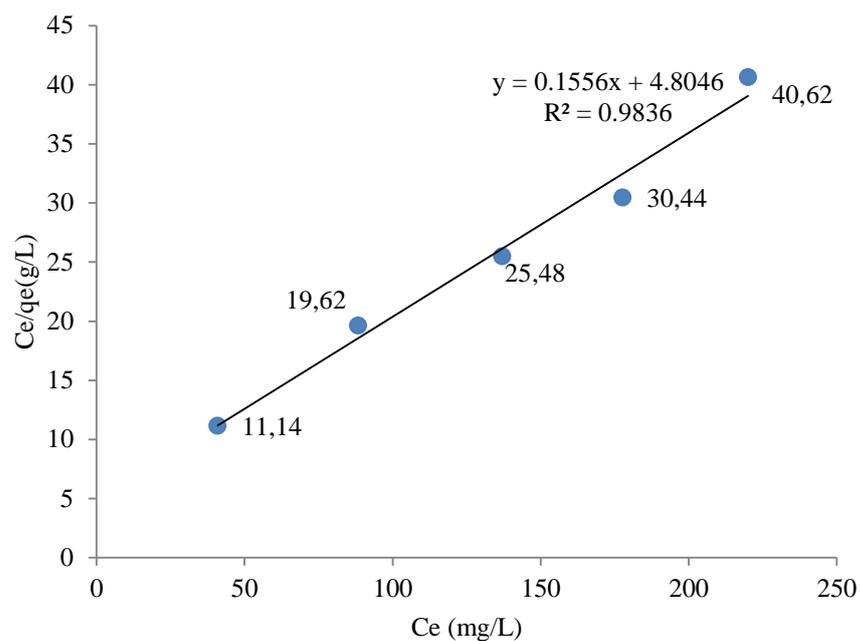
Gambar 4.7 Kurva hubungan konsentrasi awal *remazol brilliant blue* dengan zat warna *remazol brilliant blue* yang teradsorpsi (ppm)

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa penyerapan zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis terjadi pada konsentrasi optimum 200 ppm dengan *remazol brilliant blue* yang terserap sebesar 11,67 ppm. Pada konsentrasi 50 ppm zat warna *remazol brilliant blue* yang terserap sebesar 7,34 ppm. Hal ini disebabkan karena banyaknya ruang-ruang kosong yang belum ditempati zat warna. Pada konsentrasi 100 ppm penyerapan yang terjadi mengalami kenaikan menjadi 9 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa ruang-ruang kosong terisi oleh zat warna, artinya gugus aktif dari zeolit hasil sintesis berikatan dengan zat warna. Kenaikan juga terjadi pada konsentrasi 150 ppm, penyerapan yang terjadi sebesar 10,75 ppm. Hal ini terjadi karena masih terdapatnya ruang-ruang kosong yang terdapat pada permukaan adsorben, yaitu masih tersedianya gugus aktif dari zeolit hasil sintesis untuk berikatan dengan zat warna *remazol brilliant blue*. Pada

konsentrasi 250 ppm terjadi penurunan daya serapnya. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi yang tinggi, jumlah zat warna dalam larutan tidak sebanding dengan banyaknya adsorben sehingga penyerapannya mengalami penurunan menjadi 10,83 ppm. Sedangkan pada konsentrasi lebih dari 200 ppm adsorben sudah mengalami kejenuhan, sehingga penambahan konsentrasi zat warna akan menurunkan kemampuan adsorpsi. Konsentrasi zat warna berhubungan dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan adsorben, bila jumlah sisi aktif cukup besar dibandingkan jumlah zat warna maka efisiensi penyerapan akan tinggi sampai pada jumlah sisi aktif sama dengan zat warna (Ningrum, 2008). Oleh karena itu, pada konsentrasi lebih dari 200 ppm kemampuan adsorpsi mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan penelitian Kristiyani, (2012) dimana setelah mencapai konsentrasi optimum, penambahan konsentrasi dapat menurunkan kemampuan adsorpsi.

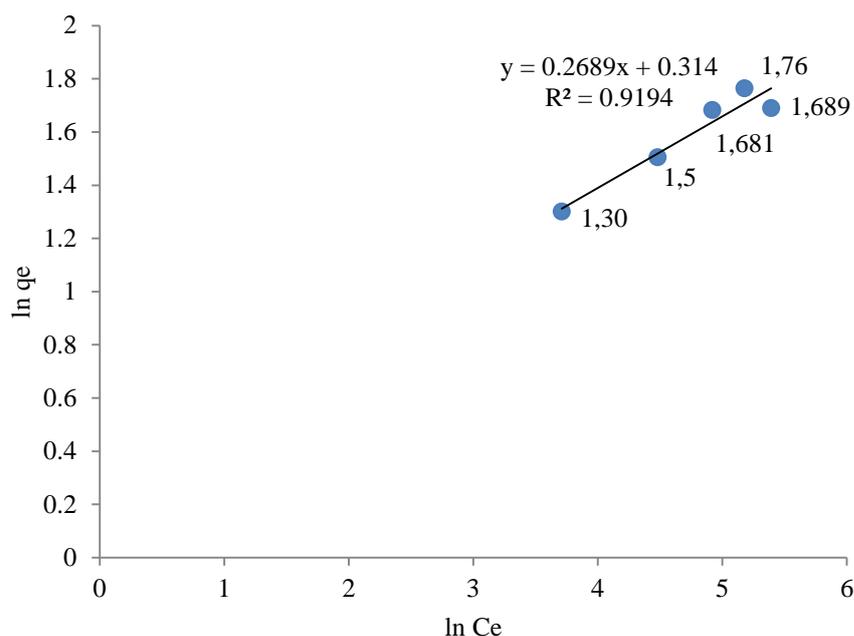
4.4.4 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dapat diperoleh dari perhitungan hasil jumlah zat warna terserap dan konsentrasi zat warna setimbang pada saat variasi konsentrasi zat warna *remazol brilliant blue*. Penelitian ini dikaji dengan dua model isoterm adsorpsi, yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich.



Gambar 4.8 Grafik isoterm adsorpsi Langmuir

Berdasarkan Gambar 4.8 hubungan antara Ce/q_e dengan Ce dapat diperoleh kapasitas adsorpsi dengan persamaan linier $y = 0,155x + 4,804$ dan $R^2=0,983$. Pengujian persamaan adsorpsi langmuir dibuktikan dengan kurva linierisasi yang baik dan memiliki koefisien determinasi $R^2 \geq 0,9$ (mendekati angka 1). Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis mengikuti isoterm Langmuir.



Gambar 4.9 Grafik isoterm adsorpsi Freundlich

Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.9 selanjutnya diuji linieritasnya. Hasil pengujian linearitas menunjukkan harga koefisien regresi yang diperoleh adalah 0,91. Koefisien regresi yang diperoleh cukup tinggi, namun masih lebih tinggi koefisien regresi isoterm Langmuir yakni 0,98. Rahmawati (2012) mengatakan semua pola isoterm adsorpsi menunjukkan terjadinya kenaikan jumlah zat yang teradsorp per gram adsorben seiring dengan naiknya konsentrasi zat yang direaksikan.

Persamaan Langmuir yang diperoleh digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi, konstanta kesetimbangan, dan energi adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue*. Sedangkan persamaan Freundlich digunakan untuk mengetahui afinitas dan konstanta kesetimbangan. Menurut Amri *et al.*, (2004) afinitas merupakan ukuran seberapa kuat molekul adsorbat teradsorpsi menuju permukaan adsorben. Hasil perhitungan parameter adsorpsi Langmuir dan Freundlich yang diperoleh dari lampiran 7 disajikan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Parameter Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

Isoterm	R^2	q_{\max} (mg/g)	K	n	E (kJ/mol)
Langmuir	0,98	6,45	3626,5611	-	20,44256
Freundlich	0,91	-	1,368	3,73	-

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai R^2 , dapat diasumsikan isoterm Langmuir mampu menunjukkan data adsorpsi yang lebih baik daripada isoterm Freundlich. Berdasarkan energi adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis sebesar 20,44256 kJ/mol. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi dalam proses adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis adalah adsorpsi fisika, karena berinteraksi secara fisika yaitu hanya menempel pada permukaan pori adsorben saja. Menurut Castellan (1982) adsorpsi fisika juga menghasilkan energi kurang dari 20,92 kJ/mol.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Zeolit hasil sintesis dari abu layang batubara menghasilkan kadar SiO_2 sebesar 36,5 % dan Al_2O_3 sebesar 17,0 %. Karakteristik menggunakan FTIR dan XRD pada zeolit hasil sintesis menunjukkan kemiripan hasil pada puncak-puncak difraktogramnya dan zeolit yang dihasilkan memiliki struktur mirip zeolit NaP1.
2. Kondisi optimum adsorpsi *remazol brilliant blue* oleh zeolit hasil sintesis terjadi pada pH 6, waktu kontak 120 menit, dan konsentrasi awal larutan *remazol brilliant blue* sebesar 200 ppm.
3. Kapasitas adsorpsi zeolit hasil sintesis terhadap larutan zat warna *remazol brilliant blue* adalah sebesar 6,45 mg/g. Proses adsorpsi yang cocok untuk adsorpsi *remazol brilliant blue* yaitu isoterm Langmuir dengan R^2 sebesar 0,98 dengan energi 20,44 kJ/mol.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan dari hasil penelitian, pembahasan, dan kesimpulan yang telah diuraikan:

1. Perlu adanya penambahan asam kuat pada zeolit hasil sintesis untuk meningkatkan kadar silika yang terkandung didalamnya.
2. Perlu adanya kalsinasi kembali pada zeolit hasil sintesis untuk mengurangi kandungan pengotor yang terdapat didalamnya.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum zeolit hasil sintesis pada konsentrasi larutan zat warna *remazol brilliant blue* 200-210 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksu, Z., & Tezer, S. (2000). Equilibrium and Kinetic Modelling of Biosorption of Remazol Black B by *Rhizopusarrhizus* A Batch System: Effect of Temperature. *Process Biochemistry*. Vol. 36, No. 5: 431– 439.
- Alfaruqi, M.H. 2008. Pengaruh Konsentrasi Hidrogen Klorida (HCl) dan Temperatur Perlakuan Hidrotermal terhadap Kristalinitas Material Mesopori Silika SBA-15. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Amri, A., Suparnoto, & Fakhrurozi, M. 2004. Keseimbangan adsorpsi optional campuran biner Cd (II) dan Cr (II) dengan zeolit alam terimpegnasi 2-merkaptobenzotiazol. *Jurnal Natur Indonesia*. Vol. 6, No. 2: 111-117.
- Atkins, P.W. 1999. *Kimia Fisika 2*. Jakarta: Erlangga.
- Bell, R.G., 2001, *Promoting The Science of Nanoporous Materials*, British Zeolite Association Publication, London.
- Bernasconi, G., H. Lienda. 1995. *Teknologi Kimia*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Bernard, E & Jimoh, A. 2013. Adsorption of Pb, Fe, Cu, and Zn from Industrial Electroplating Waste Water by Orange Peel Activated Carbon. *international Journal of Engineering and Applied Science*. Vol. 4, No. 2: 95-103.
- Bokau, N. S. 2014. Sintesis Membran Kitosan Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi untuk Proses Dekolorisasi. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol 3, No.1: 42-49.
- Castellan, G. W. 1982. *Physical Chemistry*. London: Addison Weley Publishing Company.
- Day, R.A & A.L. Underwood. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif Terjemahan Aloysius Hadyana P*. Jakarta: Erlangga.
- Day, R.A & A.L. Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Dong, L., Z. Zhu, Y. Qiu, and J. Zhao. 2010. Removal of Lead From Aqueous Solution by Hidroxyapatite/Magnetite Composite Adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 16, No. 5: 827-834.
- Fitriyana, D. F. & Sulardjaka. 2012. Sintesis Zeolit A Berbahan Dasar Limbah Geotermal dengan Metode Hidrotermal. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Gates, B.C. 1992. *Cataytic Chemistry*. Singapore: John Wiley and Sons Inc.

- Gumilarras, A. 2009. *Pengaruh Suhu Reaksi Pada Sintesis Zeolit Dari Abu Sekam Padi Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Cu^{2+}* . Tugas Akhir 2. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
- Hastuti, S., S.H. Mawahib, & Setyaningsih. 2012. Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Adsorben Zat Warna Precion Red Mx 8b. *Jurnal EKOSAINS*. Vol. 4, No. 1: 41-47.
- Hendayana, S. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Jakarta: Erlangga.
- Jumaeri, Astuti, W., & Wahyu T. P. L. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor*. Vol.11, No. 1: 38-44.
- Jumaeri, Sutarno, E. S. Kuniarti, & S. J. Santosa. 2009. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Temperatur pada Sintesis Zeolit dari Abu Layang Secara Alkali Hidrotermal. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol 8, No. 1: 22-32.
- Kristiyani, D. 2012. Pemanfaatan Zeolit Abu Sekam Padi untuk Menurunkan Kadar Ion Pb pada Air Sumur. *Indonesia Journal of Chemical Science*. Vol.1, No.1: 13-19.
- Kriswarini, D., Susatyo, E.B., & Djamaludin, A. 2010. Validasi Metoda XRF (X-Ray Fluorescence) Secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn, dan Fe dalam Paduan Alumunium. *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta: PTBN BATAN.
- Kula, O. 2008. Effects of Colemanite Waste Coal Bottom Ash and Fly ash on The properties of cement. *Journal of cement and concrete research*. Vol. 31, No.1: 491-494.
- Mafra, M. R., L. Igarashi-Mafra, D. R. Zuim, E. C. Vasques and M. A. Ferreira. 2013. Adsorption of *Remazol brilliant blue* on an Orange Peel Adsorbent. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vol 30, No. 3: 657-665.
- Mattigold, S.V., D. Rai, L.E. Eary, and C.C. Ainsworth. 1990. Geochemical Factors Controlling the Mobilization of Inorganic Constituents from Fossil Fuel Combustion Residues: I. Review of the Major Elements. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 19, No. 2: 188-201
- Mimura, H., Kenji, Y. Kenichi A., and Yoshio, O. 2001. Alkali Hydrothermal Synthesis of Zeolites from Coal Fly Ash and Their Uptake Properties of Cesium Ion. *Journal of Nuclear Science and Technology*. Vol. 38, No. 9: 766-772.
- Molina, A & C. Poole 2004. A Comparative Study Using Two Methods to Produce Zeolites from Fly Ash. *Minerals Engineering*. Vol. 17, No. 2: 167-173.

- Monica, S. H., & Avrilia D. A. 2013. Penentuan Jenis Solven dan pH Optimum pada Analisis Senyawa Dhelphinidin dalam Kelopak Bunga Rosella dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol 2, No. 2: 91-96.
- Mufrodi, Z., N. Widiastuti., & R. C. Kardika. 2008. Adsorpsi Zat Warna Tekstil Dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Untuk Variasi Massa Adsorben Dan Suhu Operasi. *Jurnal*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan.
- Mufrodi, Z., B. Sutrisno, & A. Hidayat. 2010. Modifikasi Limbah Abu Layang Sebagai Material Baru Adsorben. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan.
- Mulja, M & Suharman. 1995. Analisis Instrumental. Airlangga University Press Surabaya.
- Munawaroh, I. 2012. Pemanfaatan Bonggol Jagung Sebagai Adsorben Rhodamin B dan Metanil Yellow. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
- Ningrum, L. P., R. A. Lusiana, & R. Nuryanto. 2008. Dekolorisasi *Remazol Brilliant Blue* dengan Menggunakan Karbon Aktif. *Makalah Penelitian*. Semarang: Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Undip. Diakses di <http://eprints.undip.ac.id/2916/1/jurnal.pdf>.
- Nirmasari, A. D., Didik S. W., dan Abdul H. 2008. *Dekolorisasi pH terhadap Elektrodokolorisasi Zat Warna Remazol Black B dengan Elektroda PbO₂*. Semarang: Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Undip.
- Noorikhlas, F., Widodo, dan Ismiyanto. 2008. Analisis Produk Elektrodestruksi Senyawa Penyusun Limbah Batik: Elektrolisis Larutan Remazol Black B. *Jurnal Kimia*. Semarang: Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Undip.
- Nuryono, 2006. Pembuatan dan Karakteristik Silika Gel Dari Abu Sekam Padi dengan Asam Sitrat dan Asam Klorida. *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
- Ojha, K., Pradhan, N., dan Samanta, A. 2004. Zeolite from Fly Ash: Synthesis and Characterization. *Indian of Academic Science*. Vol. 27, No. 6: 555–564.
- Oscik, J. 1998. Adsorption. New York: John Wiley And Sons.
- Pratiwi, L., I. Ulfin, & Nurul W. 2010. Adsorpsi Metilen Biru dengan Abu Dasar PT. Ipmomi Probolinggo Jawa Timur dengan Metode Kolom. *Prosiding Skripsi*. Surabaya: Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh.

- Putri, D. L. L. 2012. Preparasi Zeolit A dari Abu Layang Batubara Sebagai Adsorben Ni(II) dan Zn(II). *Skripsi*. Bogor: Departemen Kimia FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Querol, X., N. Moreno, J.C. Umana, A. Alastuey, E. Hernandez, A. Lopez-Soler, F. Plana. 2002. Synthesis of Zeolites From Coal Fly Ash: an overview. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 50, No. 1: 413-423.
- Rahmawati, A. & Santoso S. J. 2012. Studi Adsorpsi Logam Pb (II) dan Cd(II) pada Asam Humat dalam Medium Air. *Alchemy*. Vol. 2, No. 1: 46-57.
- Rahmawati, E. 2007. Pemanfaatan Kitosan Hasil Deasetilasi Kitin Cangkang Bekicot Sebagai Adsorben Zat Warna *Remazol Yellow*. *Skripsi*. Surakarta: Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret.
- Saputra, R. 2006. Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri.
- Sakkayawong, N., Thiravetyan, P., & Nakbanpone, W. 2005. Adsorption Mechanism of Synthetic Dye Wastewater By Chitosan. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 286, No.1: 36-42.
- Schubert, U. & Husing, N. 2000. *Synthesis of Inorganic Materials*. Federation Republic of Germany. Willey-VCH.
- Setiyanto, Riwayanti, I., & Laeli, K. 2015. Adsorpsi Pewarna Tekstil *Rhodamin B* Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. *Momentum*. Vol. 11, No. 1: 24-28
- Setyaningtyas, T. & Roy A. 2007. Penurunan Kadar Zat Warna Rodamin B Menggunakan Humin Hasil Isolasi dari Tanah Hutan Damar Batu Raden. *Molekul*, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED, Purwokerto. Vol. 2, No. 2: 71-78.
- Suteu, D., & Bilba D., 2005. *Equilibrium and Kinetic Study of Reactive Dye Brilliant Red HE-3B Adsorption by Activated Charcoal*. Department of Analytical Chemistry. Tehnical University of Lasi, Romania.
- Sunardi. 2006. *Batubara dan Pemanfaatannya*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sunardi, Taufiqur, R., Edi, M., & Rini, R. 2007. Pengaruh Waktu Refluks dengan NaOH terhadap Konversi Abu Layang Batubara Menjadi Zeolit. *Sains dan Terapan Kimia*. Vol. 1, No.2: 83-92.
- Susilowati, E.K, F. Fajaroh, & S. Wonorahardjo. 2000. Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) Secara Elektrokimia dan Aplikasinya Sebagai Penjerap Pb (II). *Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Malang.

- Syahfitri, W.Y.N., Kurniawati, S., Adventini, N., & Lestiani, D.D. 2013. Evaluasi Penerapan *Energy Dispersive X-Ray Fluororesence (ED-XRF)* untuk Analisis Coal Fly Ash. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. Bandung: PTNBR BATAN.
- Tao, Y., Kanoh, H., Abrams, L., & Kaneko, K. 2006. Mesopore-Modified Zeolites: Preparation, Characterization, and Applications. *Chemical Reviews*. Vol. 106, No. 3: 896-910.
- Tumin, N. D., Chuah, A. L., Zawani, Z., & Rasyid, S. A. 2008. Adsorption of Copper from Aqueous Solution by Elais Guineensis Kernel Activated Carbon. *Journal of Engineering Science and Tehnology*. Vol. 3, No. 2: 180-189.
- Vucinic, D., Miljavonic, I., Rosica, & Lazic P. 2002. Effect of Na₂O/SiO₂ mole Ratio on the Crystal Type of Zeolite Synthesized from Coal Fly Ash.
- Wahyuni, E.T. 2003. *Metode Difraksi Sinar-X. Hand-Out*. Yogyakarta: Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia UGM.
- Warsito, S., Sriatun & Taslimah. 2008. Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium Bromide (n-CTMABr) pada Sintesis Zeolit Y. Universitas Diponegoro Semarang.
- Widhiati, I. A. G., Oka, R., & Yunita, A. 2010. Karakterisasi Keasaman dan Luas Permukaan Tempurung Kelapa Hijau (*Cocus nucifera*) dan Pemanfaatannya Sebagai Biosorben Ion Cd²⁺. *Jurnal Kimia*. Vol. 4, No. 1: 7-14.
- Widjajanti, E., R. Tutik, & M. P. Utomo. 2011. Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Peneletian Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Jurusan pendidikan kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wustoni, S., Rino, dan R. Mukti. 2011. Sintesis Zeolit Mordenit dengan Bantuan Benih Mineral Alam Indonesia. *Jurnal Matematika & Sains*. Vol. 16 No. 3: 158-160.
- Zakaria, A., E. Rohaeti, I. Batubara, Sutisna, & Y. Purwamargapratala. 2012. Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintetis dari Abu Terbang Batubara. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2012*. FMIPA IPB. 190-194.
- Zhao, F., Repo, E., Yin, D., & Silapaa, M., 2013. Adsorption of Cd (II) and Pb (II) by a novel EGTA-modified Chitosan Material: Kinetics and Interface Science. *Journal Colloid and Interface Science*. Vol. 409: 174-182.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Pembuatan Larutan

1. Pembuatan larutan NaOH 0,1 M sebanyak 100 mL

NaOH ($M_r = 40 \text{ g/mol}$) sebanyak 0,4 gram dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL lalu menambahkan aquades hingga tanda tera dan dihomogenkan.

2. Pembuatan larutan NaOH 4 M sebanyak 100 mL

NaOH ($M_r = 40 \text{ g/mol}$) sebanyak 16 gram dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL lalu menambahkan aquades hingga tanda tera dan dihomogenkan.

3. Pembuatan larutan HCl 0,1 M sebanyak 100 mL

HCl pa 37% ($M_r = 36,453 \text{ g/mol}$, $\rho = 1,19 \text{ g/cm}^3$) diambil 0,8279 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda tera serta dihomogenkan.

4. Pembuatan larutan HCl 1M sebanyak 100 mL

HCl pa 37% ($M_r = 36,453 \text{ g/mol}$, $\rho = 1,19 \text{ g/cm}^3$) diambil 8,2791 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda tera serta dihomogenkan.

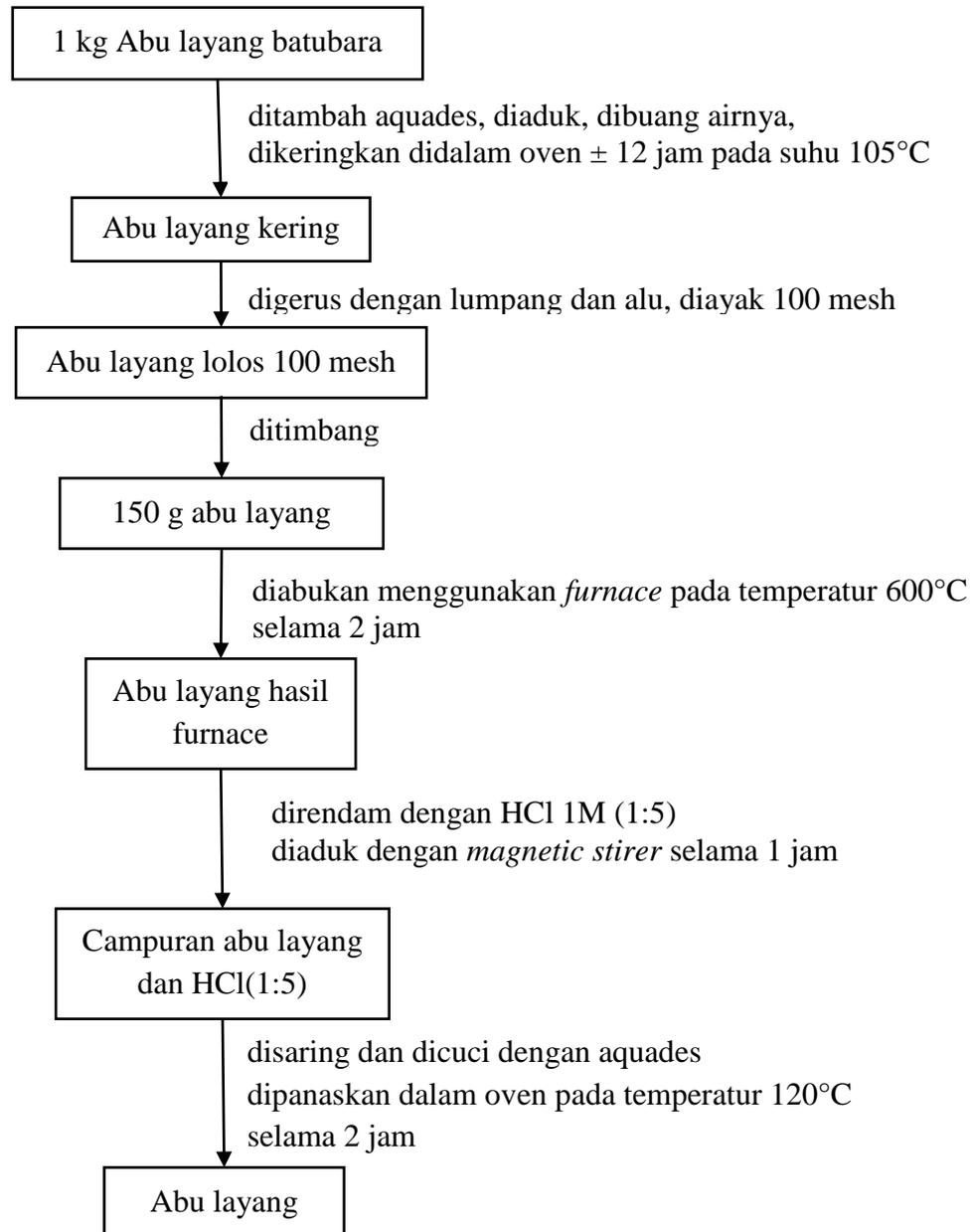
5. Pembuatan larutan HCl 1M sebanyak 500 mL

HCl pa 37% ($M_r = 36,453 \text{ g/mol}$, $\rho = 1,19 \text{ g/cm}^3$) diambil 41,3956 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda tera serta dihomogenkan.

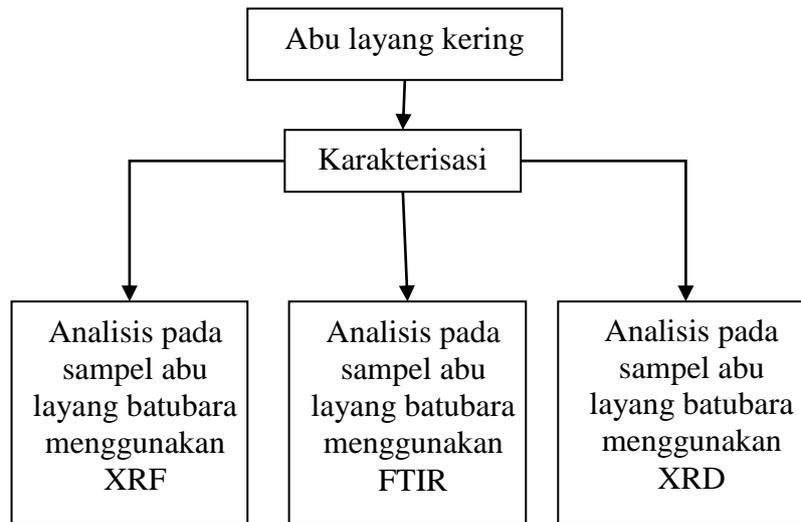
Lampiran 2

Diagram Alir Prosedur Penelitian

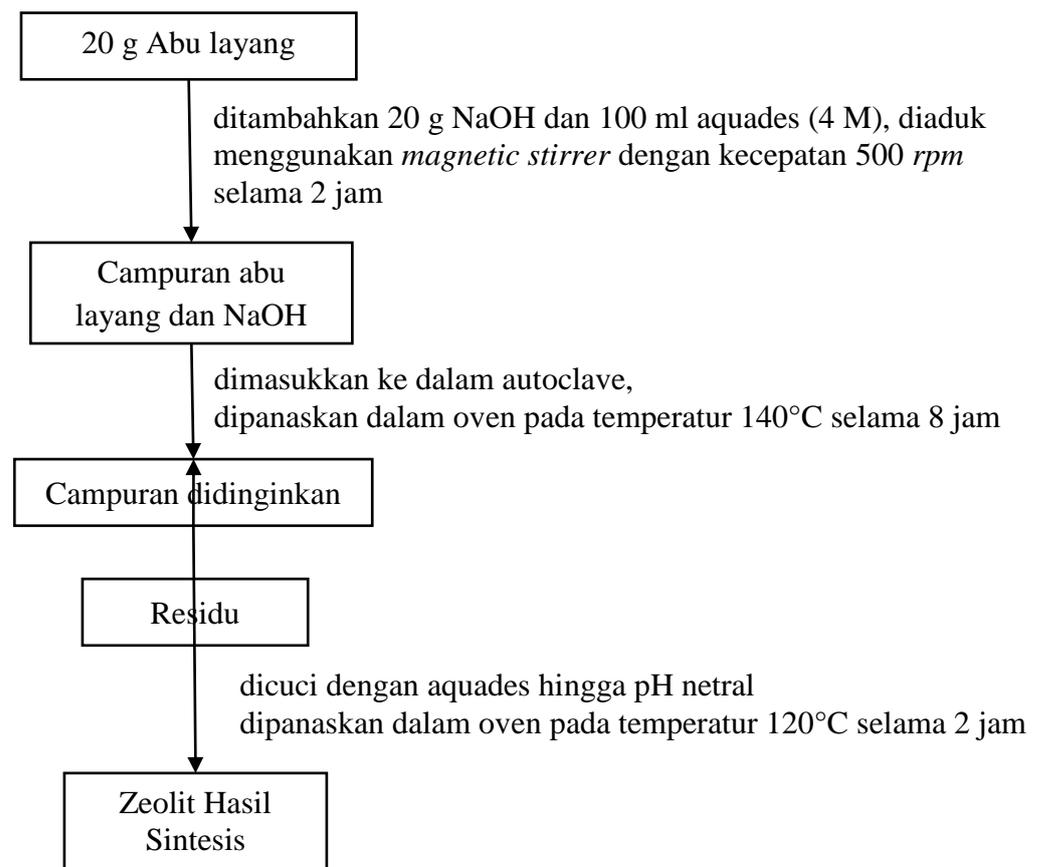
1. Preparasi Abu Layang Batubara



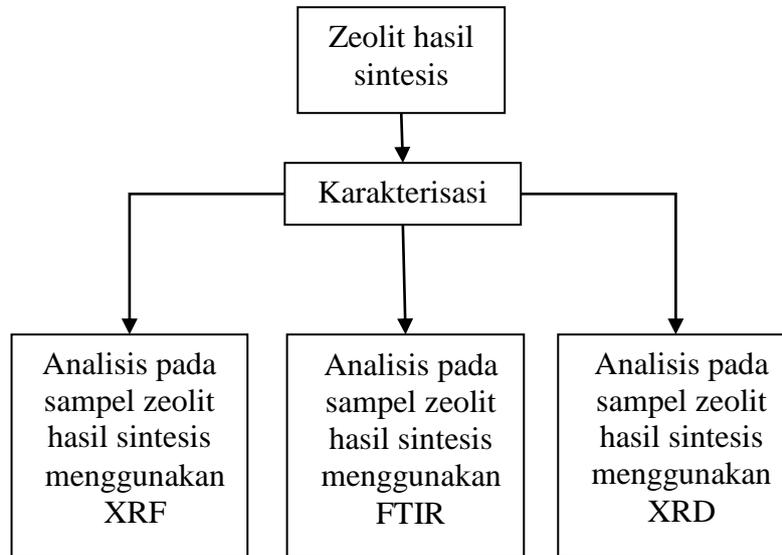
2. Karakterisasi Abu Layang Batubara



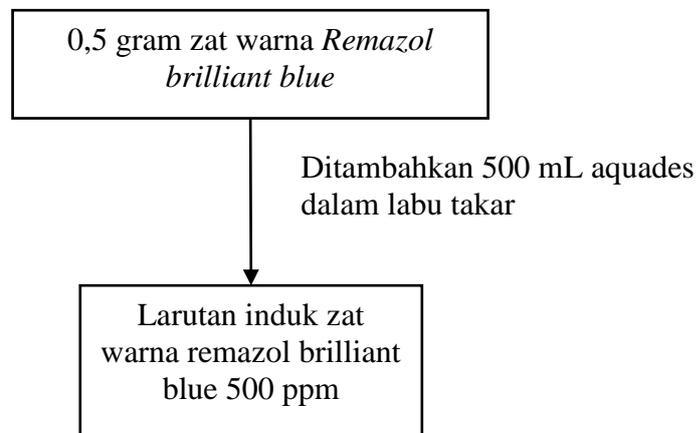
3. Sintesis Zeolit



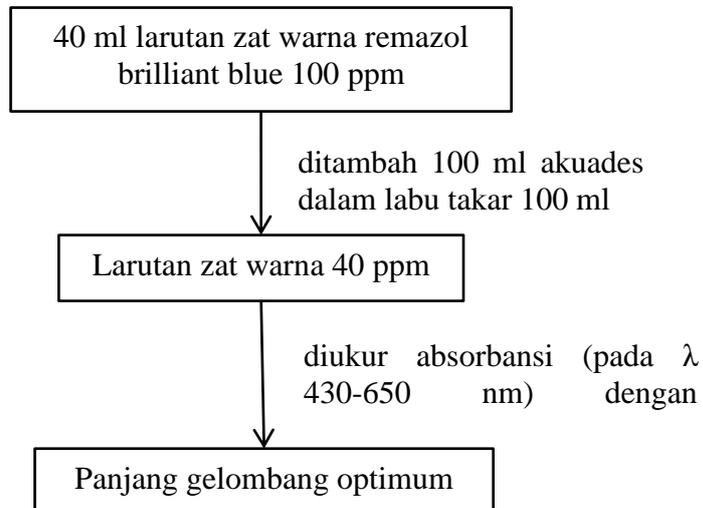
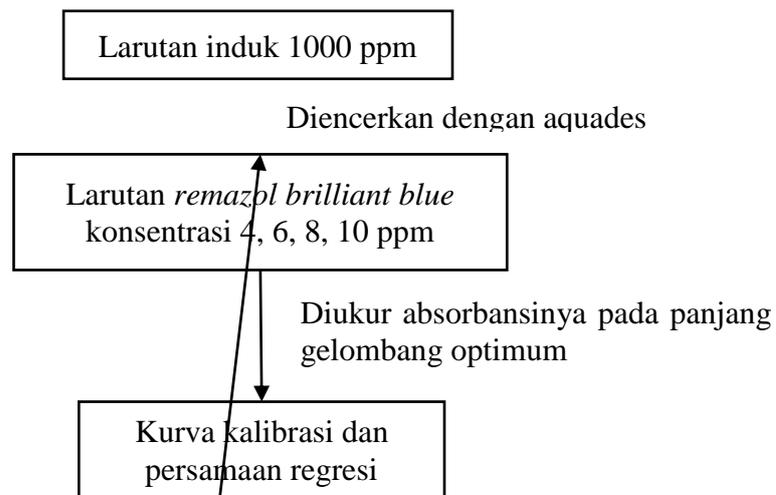
4. Karakterisasi Zeolit Hasil Sintesis



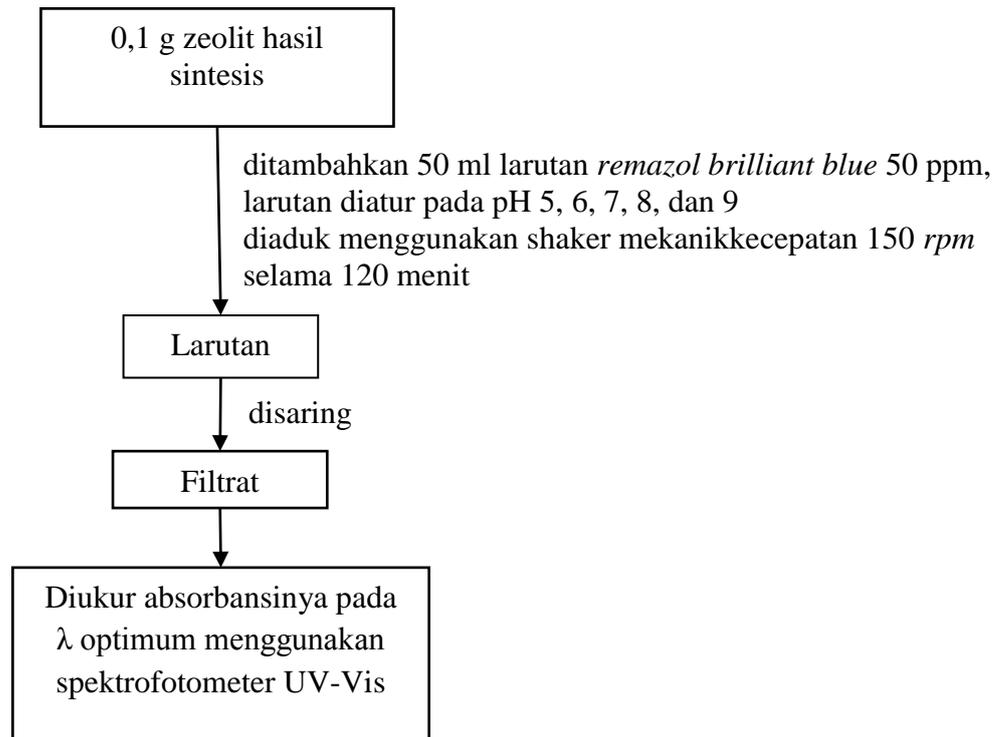
5. Pembuatan Larutan Induk Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* 500 ppm



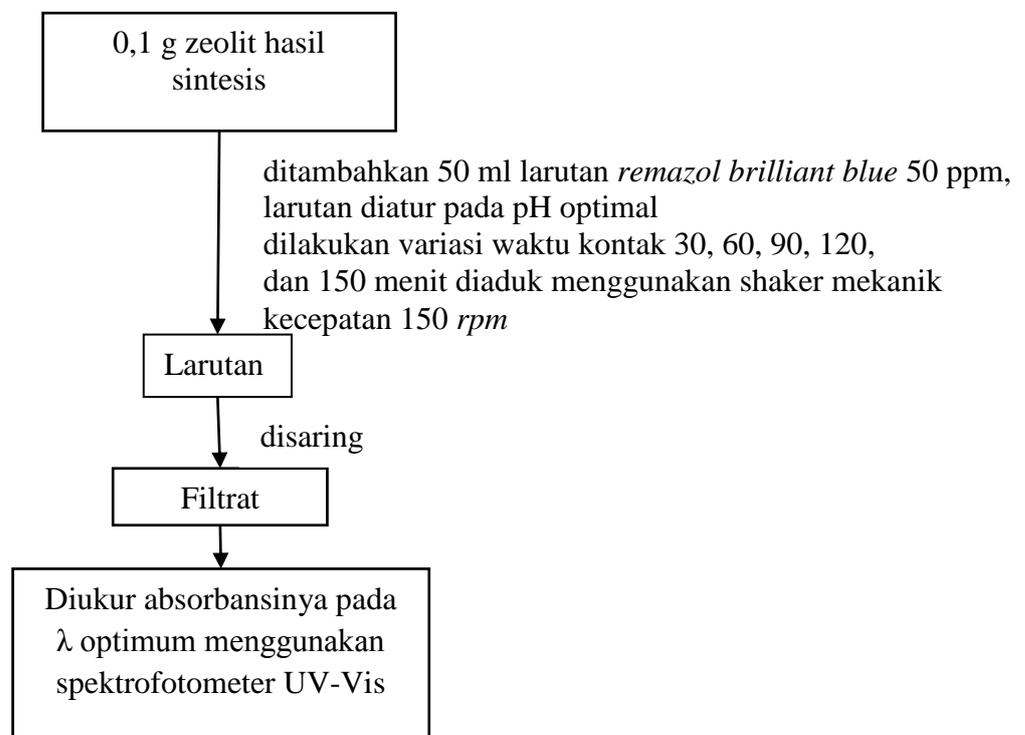
6. Penentuan Panjang Gelombang Optimum

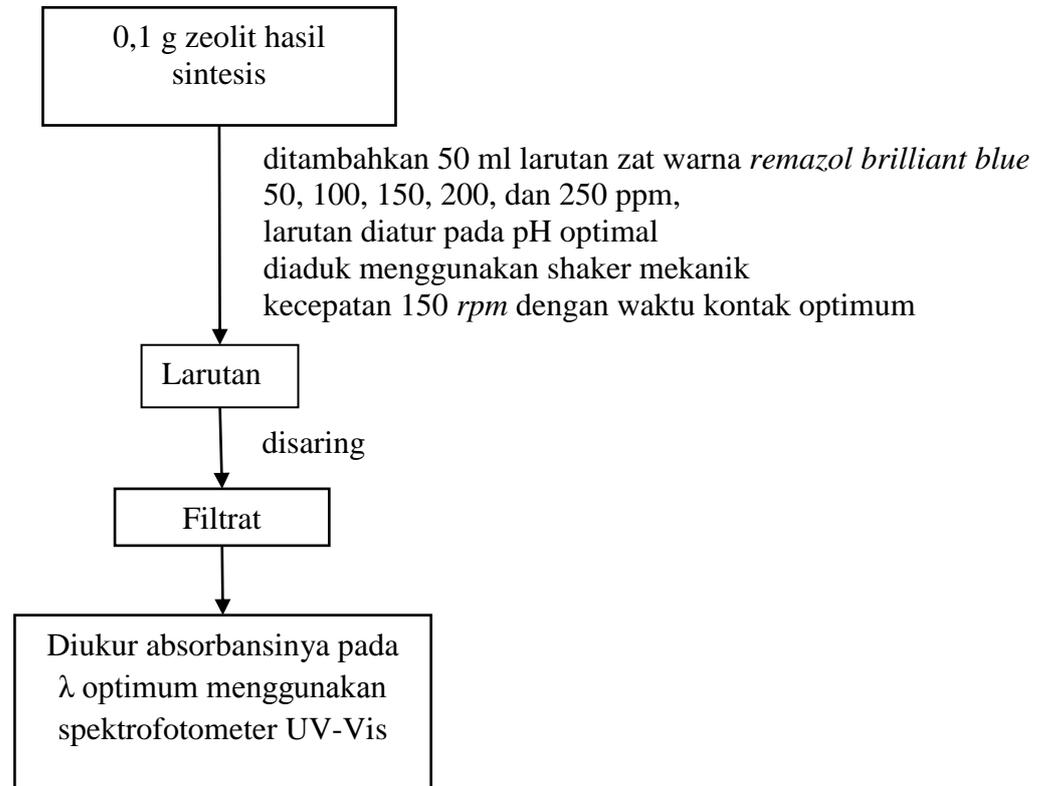
7. Kurva Kalibrasi *Remazol Brilliant Blue*

8. pH Optimum



9. Waktu Kontak Optimum



10. Konsentrasi Awal Larutan Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* Optimum

Lampiran 3

Data Penentuan λ Optimum pada Konsentrasi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue*

40 ppm

λ (nm)	Absorbansi
610	0,3868
611	0,3884
612	0,3912
613	0,3939
614	0,3967
615	0,3998
616	0,4034
617	0,4067
618	0,4108
619	0,4143
620	0,4180
621	0,4210
622	0,4240
623	0,4263
624	0,4283
625	0,4303
626	0,4315
627	0,4325

Lampiran 4

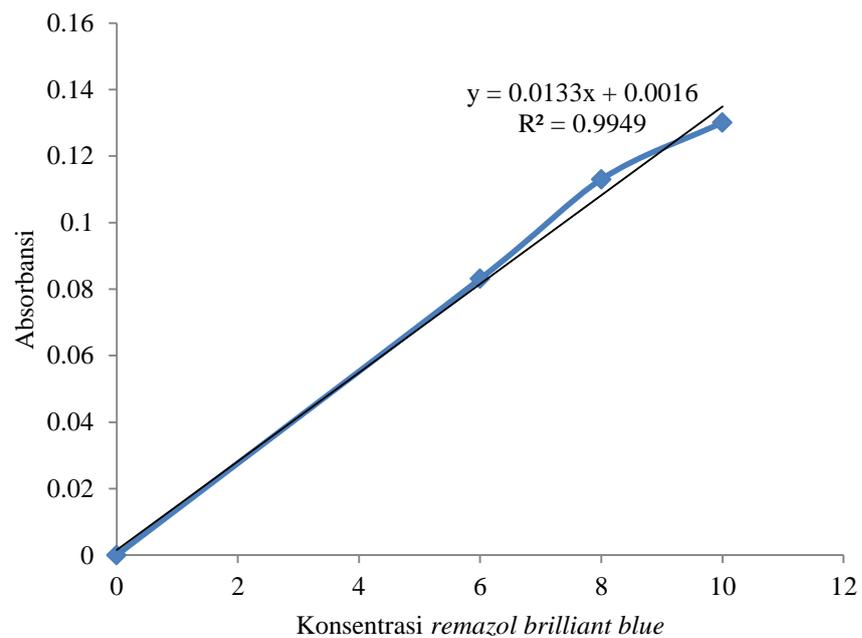
Data Penentuan pH Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue* Oleh Zeolit Hasil Sintesis

1. Data Kalibrasi *Remazol Brilliant Blue* Untuk Penentuan pH Optimum Adsorpsi

Remazol Brilliant Blue

Konsentrasi	Absorbansi
0	0
6	0,0831
8	0,113
10	0,1301

Kurva Kalibrasi Untuk Penentuan pH Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*



2. Data Perhitungan Penentuan pH Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*
Oleh Zeolit Hasil Sintesis

pH	Massa zeolit hasil sintesis (gram)	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi			q _e (mg/g)
			C ₀	C _e	C ₀ -C _e	
5	0,1	120	50,07	43,69	6,38	3,19
6	0,1	120	49,53	41,69	7,84	3,92
7	0,1	120	48,15	41,69	6,46	3,23
8	0,1	120	47,61	42	5,61	2,805
9	0,1	120	47,84	43,30	4,54	2,27

a. pH 5

konsentrasi awal pada pH 5 memiliki absorbansi sebesar 0,0668

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0661 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 5,00769$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C₀) = 5,00769 x 10

$$= 50,07 \text{ ppm}$$

Konsentrasi akhir pada pH 5, memiliki absorbansi sebesar 0,0578

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0578 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,36923$$

pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir = 4,36923 x 10

$$= 43,69 \text{ ppm}$$

Konsentrasi terserap = 50,07 - 43,69

$$= 6,38 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned}
 q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\
 &= \frac{6,38 \times 0,05}{0,1} \\
 &= 3,19 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

b. pH 6

Konsentrasi awal pada pH 6 memiliki absorbansi sebesar 0,0656

$$\begin{aligned}
 y &= 0,013x + 0,001 \\
 0,0656 &= 0,013x + 0,001 \\
 x &= 4,95384
 \end{aligned}$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,95384 \times 10$
 $= 49,53 \text{ ppm}$

Konsentrasi akhir pada pH 6, memiliki absorbansi sebesar 0,0552

$$\begin{aligned}
 y &= 0,013x + 0,001 \\
 0,0552 &= 0,013x + 0,001 \\
 x &= 4,16923
 \end{aligned}$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir = $4,16923 \times 10$
 $= 41,69 \text{ ppm}$

Konsentrasi terserap = $49,53 - 41,69$
 $= 7,84$

$$\begin{aligned}
 q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\
 &= \frac{7,84 \times 0,05}{0,1} \\
 &= 3,92 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

c. pH 7

Konsentrasi awal pada pH 7 memiliki absorbansi sebesar 0,0636

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0636 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,81538$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,81538 \times 10$

$$= 48,15 \text{ ppm}$$

Konsentrasi akhir pada pH 7, memiliki absorbansi sebesar 0,0552

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0552 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,16923$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir = $4,16923 \times 10$

$$= 41,69 \text{ ppm}$$

Konsentrasi terserap = $48,15 - 41,69$

$$= 6,46$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

$$= \frac{6,46 \times 0,05}{0,1}$$

$$= 3,23 \text{ mg/g}$$

d. pH 8

Konsentrasi awal pada pH 8 memiliki absorbansi sebesar 0,0629

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0629 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,76153$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,76153 \times 10$
 = 47,61 ppm

Konsentrasi akhir pada pH 8, memiliki absorbansi sebesar 0,0556

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0556 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,2$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir = $4,2 \times 10$
 = 42 ppm

Konsentrasi terserap = $47,61 - 42$
 = 5,61

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

$$= \frac{5,61 \times 0,05}{0,1}$$

$$= 2,805 \text{ mg/g}$$

e. pH 9

Konsentrasi awal pada pH 9 memiliki absorbansi sebesar 0,0632

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0632 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,78461$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,78461 \times 10$
 = 47,84 ppm

Konsentrasi akhir pada pH 9, memiliki absorbansi sebesar 0,0573

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0573 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,33076$$

$$\begin{aligned} \text{Pengenceran } 10x, \text{ jadi konsentrasi akhir} &= 4,33076 \times 10 \\ &= 43,30 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi terserap} &= 47,84 - 43,30 \\ &= 4,54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\ &= \frac{4,54 \times 0,05}{0,1} \\ &= 2,27 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

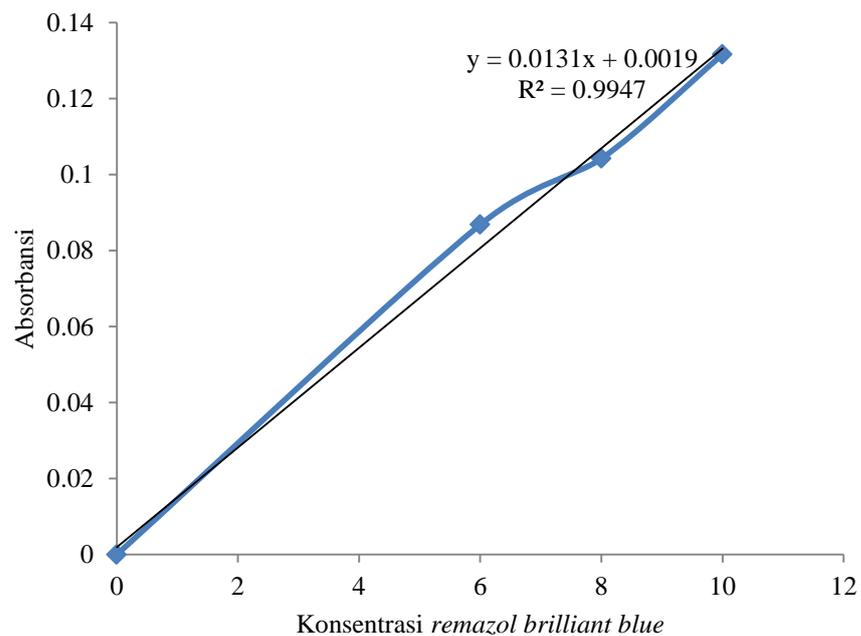
Lampiran 5

Data Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue* Oleh Zeolit Hasil Sintesis

1. Data Kalibrasi *Remazol Brilliant Blue* Untuk Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*

Konsentrasi	Absorbansi
0	0
6	0,0868
8	0,1042
10	0,1316

Kurva Kalibrasi Untuk Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*



2. Data Perhitungan Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue* Oleh Zeolit Hasil Sintesis

pH Optimum	Massa zeolit hasil sintesis (gram)	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi			q _e (mg/g)
			C ₀	C _e	C ₀ -C _e	
6	0,1	30	52,46	51,07	1,39	0,695
6	0,1	60	52,46	48,61	3,85	1,925
6	0,1	90	52,46	46,76	5,7	2,85
6	0,1	120	52,46	44,53	7,93	3,965
6	0,1	150	52,46	45,38	7,08	3,54

a. Waktu kontak 30 menit

Konsentrasi awal waktu kontak 30 menit memiliki absorbansi sebesar 0,0692

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0692 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 5,24615$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C₀) = 5,24615 x 10

$$= 52,46 \text{ ppm}$$

Konsentrasi akhir waktu kontak 30 menit memiliki absorbansi sebesar 0,0674

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0674 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 5,10769$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir = 5,10769 x 10

$$= 51,07 \text{ ppm}$$

Konsentrasi terserap = 52,46 – 51,07

$$= 1,39 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned}
 q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\
 &= \frac{1,39 \times 0,05}{0,1} \\
 &= 0,695 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

b. Waktu kontak 60 menit

Konsentrasi akhir waktu kontak 60 menit memiliki absorbansi sebesar 0,0642

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0642 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,86153$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pengenceran } 10x, \text{ jadi konsentrasi akhir} &= 4,86153 \times 10 \\
 &= 48,61 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi terserap} &= 52,46 - 48,61 \\
 &= 3,85 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\
 &= \frac{3,85 \times 0,05}{0,1} \\
 &= 1,925 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

c. Waktu kontak 90 menit

Konsentrasi akhir waktu kontak 90 menit memiliki absorbansi sebesar 0,0618

$$y = 0,013x + 0,001$$

$$0,0618 = 0,013x + 0,001$$

$$x = 4,67692$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pengenceran } 10x, \text{ jadi konsentrasi akhir} &= 4,67692 \times 10 \\
 &= 46,76 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi terserap} &= 52,46 - 46,76 \\ &= 5,7 \text{ ppm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\ &= \frac{5,7 \times 0,05}{0,1} \\ &= 2,85 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

d. Waktu kontak 120 menit

Konsentrasi akhir waktu kontak 120 menit memiliki absorbansi sebesar 0,0589

$$\begin{aligned}y &= 0,013x + 0,001 \\ 0,0589 &= 0,013x + 0,001 \\ x &= 4,45384\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pengenceran } 10x, \text{ jadi konsentrasi akhir} &= 4,45384 \times 10 \\ &= 44,53 \text{ ppm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi terserap} &= 52,46 - 44,53 \\ &= 7,93 \text{ ppm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\ &= \frac{7,93 \times 0,05}{0,1} \\ &= 3,965 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

e. Waktu kontak 150 menit

Konsentrasi akhir waktu kontak 150 menit memiliki absorbansi sebesar 0,060

$$\begin{aligned}y &= 0,013x + 0,001 \\ 0,060 &= 0,013x + 0,001 \\ x &= 4,53846\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir} &= 4,53846 \times 10 \\ &= 45,38 \text{ ppm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi terserap} &= 52,46 - 45,38 \\ &= 7,08\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\ &= \frac{7,08 \times 0,05}{0,1} \\ &= 3,54 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

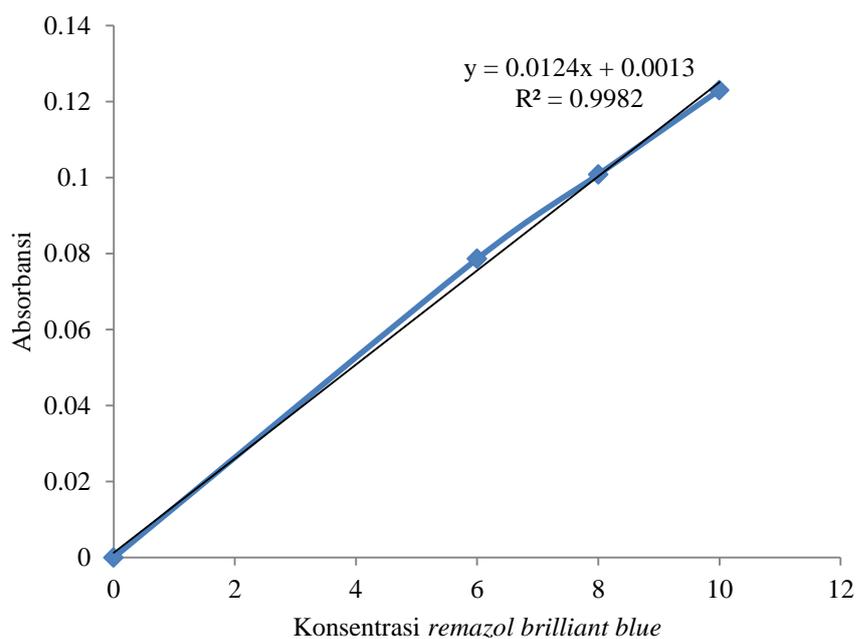
Lampiran 6

Data Penentuan Konsentrasi Awal Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*
Oleh Zeolit Hasil Sintesis

1. Data Kalibrasi *Remazol Brilliant Blue* Untuk Penentuan Konsentrasi
Optimum Adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*

Konsentrasi	Absorbansi
0	0
6	0,0786
8	0,1008
10	0,123

Kurva Kalibrasi Untuk Penentuan Konsentrasi Awal Optimum Adsorpsi
Remazol Brilliant Blue



2. Data Perhitungan Penentuan Konsentrasi Awal Optimum Adsorpsi

Remazol Brilliant Blue Oleh Zeolit Hasil Sintesis

pH Optimum	Massa zeolit hasil sintesis (gram)	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi			q _e (mg/g)
			C ₀	C _e	C ₀ -C _e	
6	0,1	120	48,25	40,91	7,34	3,67
6	0,1	120	97,33	88,33	9	4,5
6	0,1	120	147,75	137	10,75	5,375
6	0,1	120	189,33	177,66	11,67	5,835
6	0,1	120	230,83	220	10,83	5,415

a. Konsentrasi 50 ppm

Konsentrasi awal memiliki absorbansi sebesar 0,0589

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0589 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,825$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi awal (C₀) = 4,825 x 10

$$= 48,25 \text{ ppm}$$

Konsentrasi akhir pada konsentrasi 48,25 memiliki absorbansi sebesar 0,0701

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0701 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,09167$$

Pengenceran 10x, jadi konsentrasi akhir = 4,09167 x 10

$$= 40,91 \text{ ppm}$$

Konsentrasi terserap = 48,25 - 40,91

$$= 7,34 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned}
 q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\
 &= \frac{7,34 \times 0,05}{0,1} \\
 &= 3,67 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

b. Konsentrasi 100 ppm

Konsentrasi awal memiliki absorbansi sebesar 0,0594

$$\begin{aligned}
 y &= 0,012x + 0,001 \\
 0,0594 &= 0,012x + 0,001 \\
 x &= 4,86667
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pengenceran } 20x, \text{ jadi konsentrasi awal } (C_0) &= 4,86667 \times 20 \\
 &= 97,33 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

Konsentrasi akhir pada konsentrasi 97,33 memiliki absorbansi sebesar 0,054

$$\begin{aligned}
 y &= 0,012x + 0,001 \\
 0,054 &= 0,012x + 0,001 \\
 x &= 4,41667
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pengenceran } 20x, \text{ jadi konsentrasi akhir} &= 4,41667 \times 20 \\
 &= 88,33 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi terserap} &= 97,33 - 88,33 \\
 &= 9 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\
 &= \frac{9 \times 0,05}{0,1} \\
 &= 4,5 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

c. Konsentrasi 150 ppm

Konsentrasi awal memiliki absorbansi sebesar 0,0601

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0601 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,925$$

Pengenceran 30x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,925 \times 30$

$$= 147,75 \text{ ppm}$$

Konsentrasi akhir pada konsentrasi 147,75 ppm memiliki absorbansi sebesar

0,0558

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0558 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,56667$$

Pengenceran 30x, jadi konsentrasi akhir = $4,56667 \times 30$

$$= 137 \text{ ppm}$$

Konsentrasi terserap = $147,75 - 137$

$$= 10,75 \text{ ppm}$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

$$= \frac{10,75 \times 0,05}{0,1}$$

$$= 5,375 \text{ mg/g}$$

d. Konsentrasi 200 ppm

Konsentrasi awal memiliki absorbansi sebesar 0,0578

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0578 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,73333$$

Pengenceran 40x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,73333 \times 40$
 $= 189,33 \text{ ppm}$

Konsentrasi akhir pada konsentrasi 189,33 ppm memiliki absorbansi sebesar 0,0543

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0543 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,44166$$

Pengenceran 40x, jadi konsentrasi akhir = $4,44166 \times 40$
 $= 177,66 \text{ ppm}$

Konsentrasi terserap = $189,33 - 177,66$
 $= 11,67 \text{ ppm}$

$$qe = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

$$= \frac{11,67 \times 0,05}{0,1}$$

$$= 5,835 \text{ mg/g}$$

e. Konsentrasi 250 ppm

Konsentrasi awal 250 ppm memiliki absorbansi sebesar 0,0564

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0564 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,61667$$

Pengenceran 50x, jadi konsentrasi awal (C_0) = $4,61667 \times 50$
 $= 230,83 \text{ ppm}$

Konsentrasi akhir pada konsentrasi 230,83 ppm memiliki absorbansi sebesar 0,0538

$$y = 0,012x + 0,001$$

$$0,0538 = 0,012x + 0,001$$

$$x = 4,4$$

$$\begin{aligned} \text{Pengenceran } 50x, \text{ jadi konsentrasi akhir} &= 4,4 \times 50 \\ &= 220 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi terserap} &= 230,83 - 220 \\ &= 10,83 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_e &= \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \\ &= \frac{10,83 \times 0,05}{0,1} \\ &= 5,415 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

Lampiran 7

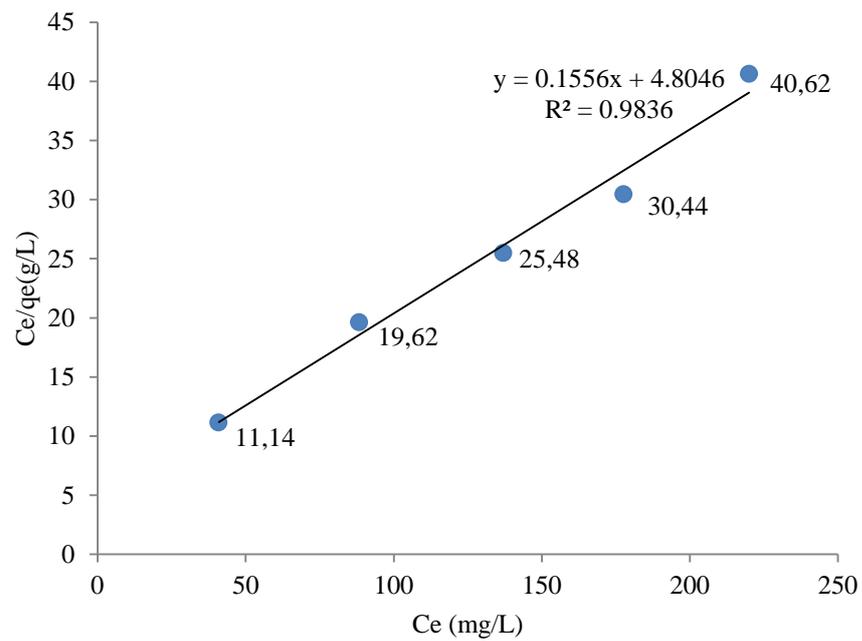
Data penentuan kapasitas adsorpsi *Remazol Brilliant Blue*

Isoterm Adsorpsi

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	Ce/qe (g/L)	ln Ce	ln qe
48,25	40,91	3,67	11,1471	-7,91844	-10,3296
97,33	88,33	4,5	19,6289	-7,18474	-10,1257
147,75	137	5,375	25,4884	-6,70984	-9,94806
189,33	177,66	5,835	30,4473	-6,44995	-9,86594
230,83	220	5,415	40,6279	-6,23619	-9,94065

1. Model Isoterm Adsorpsi Langmuir

Grafik isoterm adsorpsi langmuir



Persamaan Isoterm Adsorpsi Langmuir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max}} + \frac{C_e}{q_{\max}}$$

Perhitungan:

$$y = 0,149x + 7,180$$

$$\text{slope} = \frac{1}{q_{\max}}$$

$$q_{\max} = \frac{1}{0,149}$$

$$= 6,4516129032 \text{ mg/g}$$

$$\text{Intersep} = \frac{1}{q_{\max} K_L}$$

$$K_L = \frac{1}{6,4516129032 \times 4,804}$$

$$= 0,0322647794 \text{ L/mg}$$

$$= \frac{0,0322647794}{10^{-3}} \times 112,4 \text{ L/mol}$$

$$= 3626,5611990005 \text{ L/mol}$$

$$E = RT \ln K$$

$$= 8,314 \text{ JK}^{-1} \times (27+273) \times \ln 3626,5611990005$$

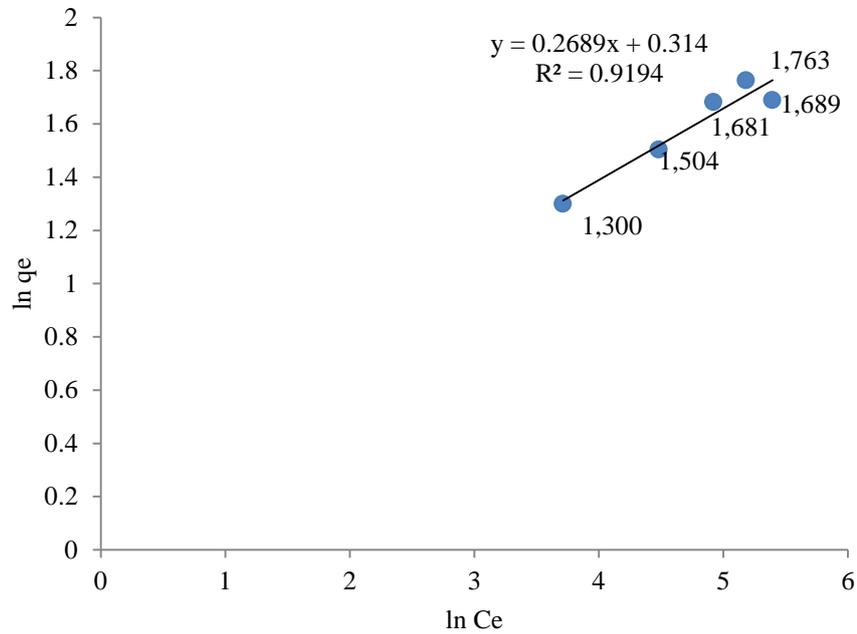
$$= 8,314 \times 300 \text{ K} \times 8,1960401502$$

$$= 20442,563342531 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$= 20,44256334 \text{ kJmol}^{-1}$$

2. Model Isoterm Adsorpsi Freundlich

Grafik Isoterm Adsorpsi Freundlich



Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Perhitungan:

$$\text{Slope} = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{0,268}$$

$$= 3,731343$$

Intersep = $\log K_f$

$$K_f = 1,3688897 \text{ L/mg}$$

Lampiran 8

a. Perhitungan Rendemen Zeolit Hasil Sintesis

Berat abu layang batubara (gram)	Berat zeolit hasil sintesis (gram)	Kadar zeolit hasil sintesis (%)
20	15,2	76

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Berat zeolit hasil sintesis}}{\text{Berat abu layang batubara}} \\ &= \frac{15,2}{20} \times 100 \% \\ &= 76 \% \end{aligned}$$

b. Penentuan Massa dan Molaritas SiO₂

Abu layang batubara (36,5 % SiO₂ dan 17 % Al₂O₃) sebanyak gram, maka massa SiO₂:

$$\text{Gram SiO}_2 = 36,5 \% \times 1,5 \text{ gram}$$

$$= 0,5475 \text{ gram (SiO}_2 \text{ yang terkandung dalam abu layang batubara)}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol SiO}_2 &= \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{0,5475}{60} \\ &= 0,009125 \text{ mol} \end{aligned}$$

c. Penentuan massa dan molaritas Al₂O₃

$$\text{Gram Al}_2\text{O}_3 = 17\% \times 1,5 \text{ gram}$$

$$= 0,255 \text{ gram (Al}_2\text{O}_3 \text{ yang terkandung dalam abu layang batubara)}$$

$$\text{Mol Al}_2\text{O}_3 : \text{mol SiO}_2 = 1 : 1$$

$$\text{Mol Al}_2\text{O}_3 = \text{mol SiO}_2 = 0,009125 \text{ mol}$$

d. Perbandingan Si/Al

$$\begin{aligned}\text{Gram Si pada SiO}_2 &= \frac{\text{Ar Si}}{\text{MrSiO}_2} \times \text{mol SiO}_2 \\ &= \frac{28}{60} \times 0,009125 \\ &= 0,00425 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gram Al pada Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Ar Al}}{\text{MrAl}_2\text{O}_3} \times \text{mol Al}_2\text{O}_3 \\ &= \frac{27}{102} \times 0,009125 \\ &= 0,00241 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Rasio Si/Al} = \frac{0,00425}{0,00241} = 1,76$$

Lampiran 9

Hasil Karakterisasi XRF Abu Layang

02-Oct-2015 11:08:39

Sample results - Averages

Page 1

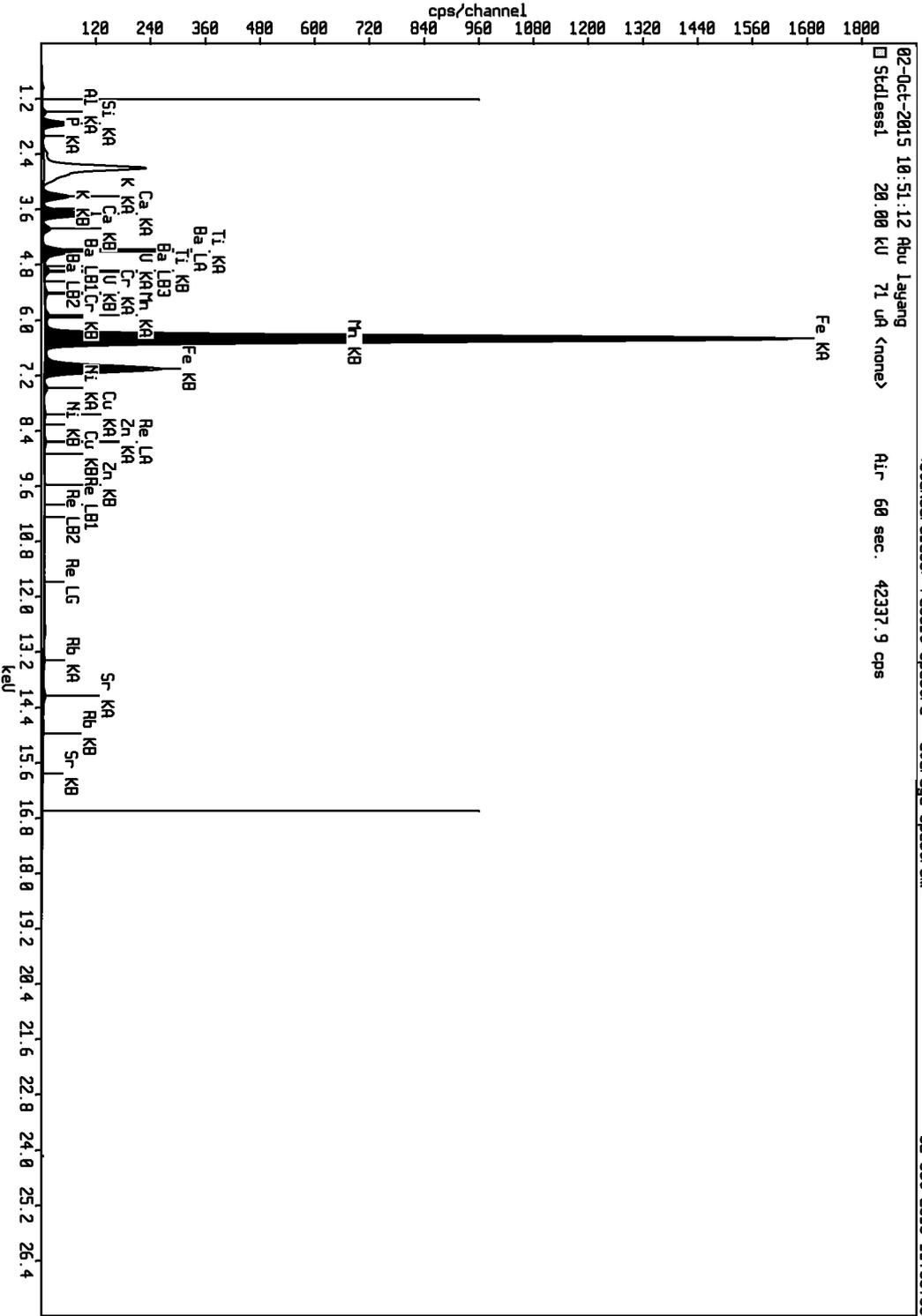
Sample ident
Abu layang

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	02-Oct-2015 10:14:25
Measurement period - end	02-Oct-2015 10:51:12
Position	1

Compound	Al2O3	SiO2	K2O	P2O5	CaO	TiO2
Conc	12 +/- 0.2	34.0 +/- 0.2	2.86 +/- 0.02	0.70 +/- 0.02	5.23 +/- 0.004	2.07 +/- 0.01
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO
Conc	0.06 +/- 0.004	0.11 +/- 0.004	0.17 +/- 0.0006	40.53 +/- 0.03	0.23 +/- 0.006	0.11 +/- 0.005
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	ZnO	Rb2O	SrO	BaO	Re2O7
Conc	0.10 +/- 0.006	0.26 +/- 0.01	0.92 +/- 0.007	0.27 +/- 0.02	0.2 +/- 0.02
Unit	%	%	%	%	%



Lampiran 10

Hasil Karakterisasi XRF Zeolit

02-Oct-2015 11:09:29

Sample results - Averages

Page 1

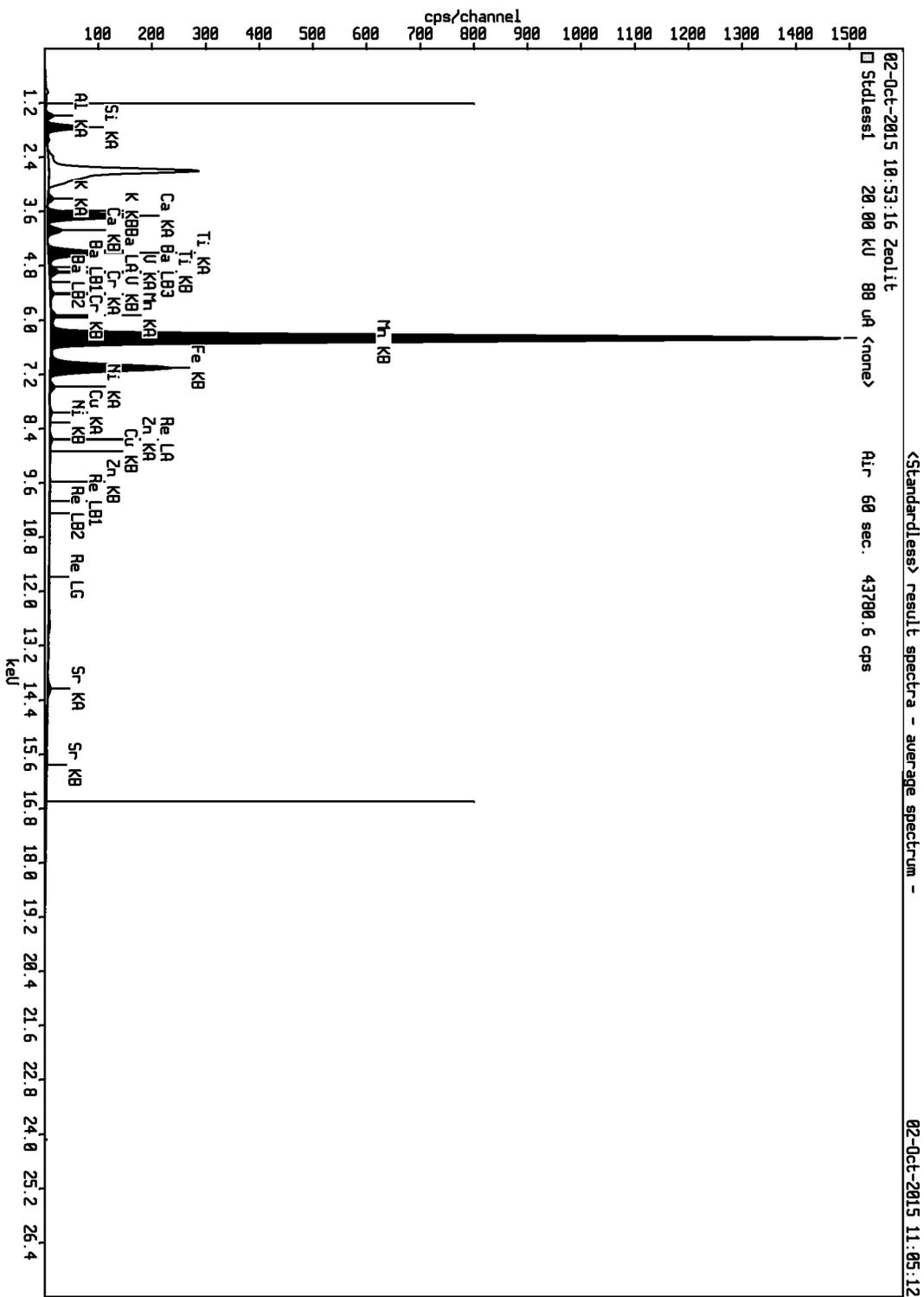
Sample ident
Zeolit

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	02-Oct-2015 10:16:35
Measurement period - end	02-Oct-2015 10:53:16
Position	2

Compound	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	V2O5
Conc	17 +/- 0.2	36.5 +/- 0.3	0.50 +/- 0.02	7.58 +/- 0.06	3.16 +/- 0.03	0.04 +/- 0.0004
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO	ZnO
Conc	0.11 +/- 0.003	0.18 +/- 0.002	32.61 +/- 0.28	0.23 +/- 0.003	0.12 +/- 0.005	0.08 +/- 0.001
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	SrO	BaO	Re2O7
Conc	1.0 +/- 0.02	0.39 +/- 0.02	0.2 +/- 0.02
Unit	%	%	%



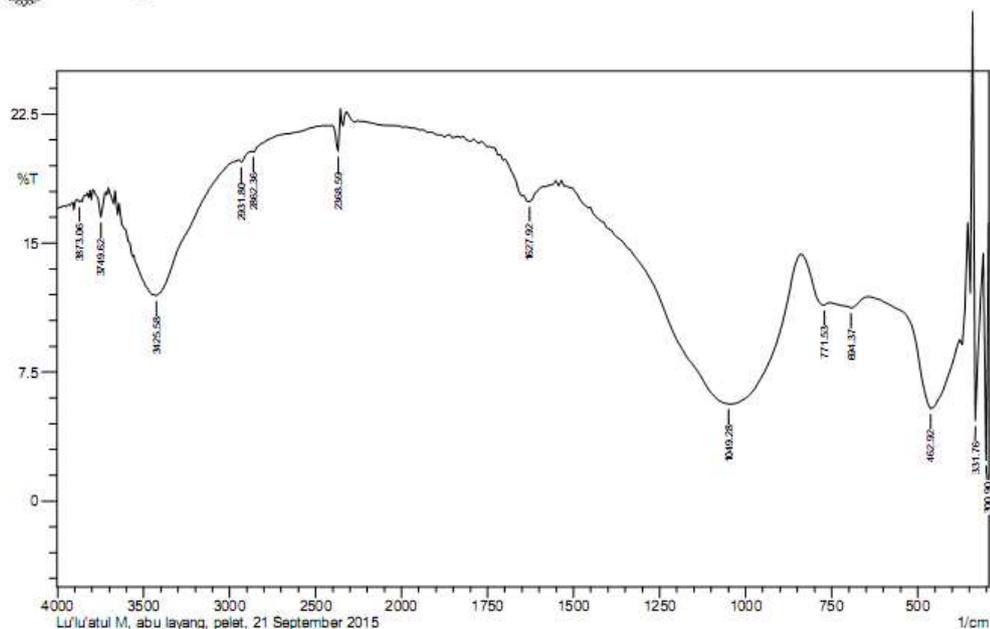
Lampiran 11

Hasil Karakterisasi FTIR Abu Layang

SHIMADZU



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



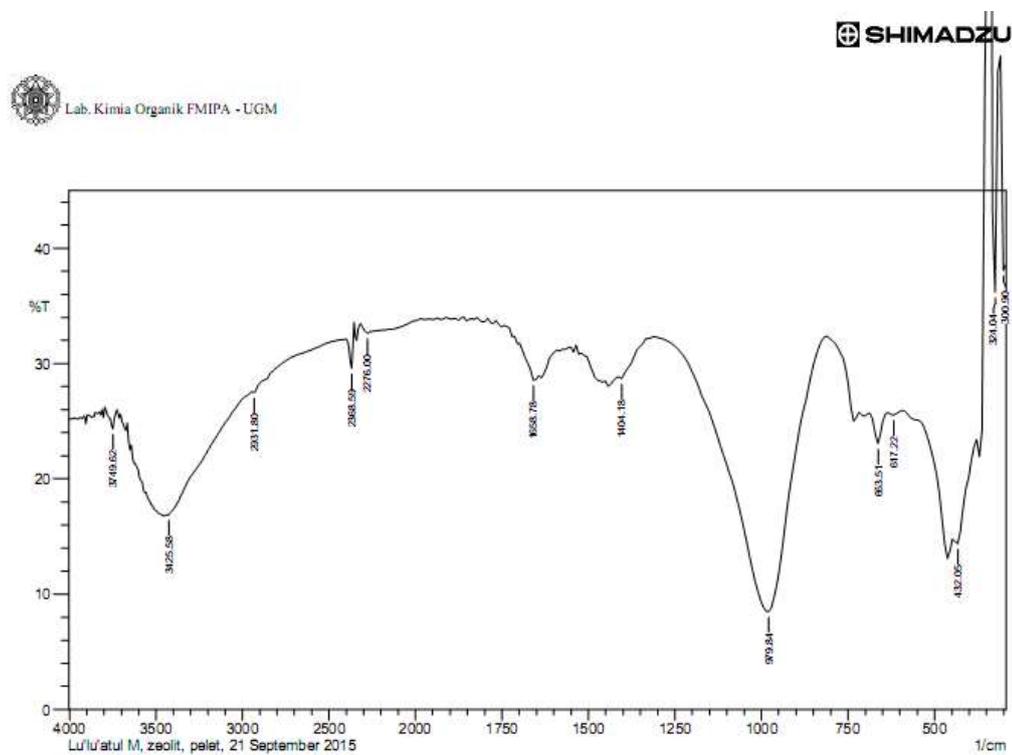
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	300.9	2.34	12.929	308.61	293.18	18.689	6.28
2	331.76	4.659	18.257	339.47	316.33	25.679	7.176
3	462.92	5.347	4.482	640.37	385.76	269.357	18.64
4	694.37	11.218	0.476	748.38	648.08	94.409	0.92
5	771.53	11.364	0.708	833.25	756.1	70.489	1.334
6	1049.28	5.636	9.901	1527.62	840.96	676.304	133.035
7	1627.92	17.405	1.811	1759.08	1558.48	145.541	3.152
8	2368.59	20.314	2.155	2399.45	2353.16	31.018	0.923
9	2862.36	20.289	0.046	2870.08	2453.45	280.003	0.017
10	2931.8	19.705	0.224	2947.23	2870.08	53.882	0.131
11	3425.58	11.925	5.679	3633.89	2954.95	551.736	48.77
12	3749.62	16.494	1.435	3788.19	3726.47	46.972	0.915
13	3873.06	17.382	0.215	3888.49	3842.2	35.018	0.155

Comment:

Lu'lu'atul M, abu layang, pelet, 21 September 2015

Lampiran 12

Hasil Karakterisasi FTIR Zeolit Hasil Sintesis



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	300.9	38.05	9.55	308.61	293.18	6.43	0.69
2	324.04	36.15	51.75	339.47	316.33	8.21	5.66
3	432.05	14.34	2.43	447.49	385.76	46.09	1.34
4	617.22	25.53	0.26	632.65	594.08	22.77	0.09
5	663.51	23.05	2.62	686.66	640.37	28.35	1.01
6	979.84	8.45	23.82	1303.88	817.82	330.1	91.37
7	1404.18	28.66	0.44	1411.89	1311.59	51.26	0.1
8	1658.78	28.57	3.82	1735.93	1558.48	91.3	3.99
9	2276	32.61	0.86	2314.58	2013.68	144.8	2.13
10	2368.59	29.55	3.54	2399.45	2353.16	23.34	1.03
11	2931.8	27.47	0.21	2947.23	2399.45	282.93	0.06
12	3425.58	16.88	0.17	3433.29	2947.23	316.1	0.14
13	3749.62	24.31	1.65	3788.19	3726.47	36.92	0.77

Comment;

Lu'lu'atul M, zeolit, pelet, 21 September 2015

Lampiran 13

Hasil Karakterisasi XRD Abu Layang

*** Basic Data Process ***

Group Name : Sep-15
 Data Name : UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-2
 File Name : UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-2.PKR
 Sample Name : Abu Layang
 Comment : Abu Layang

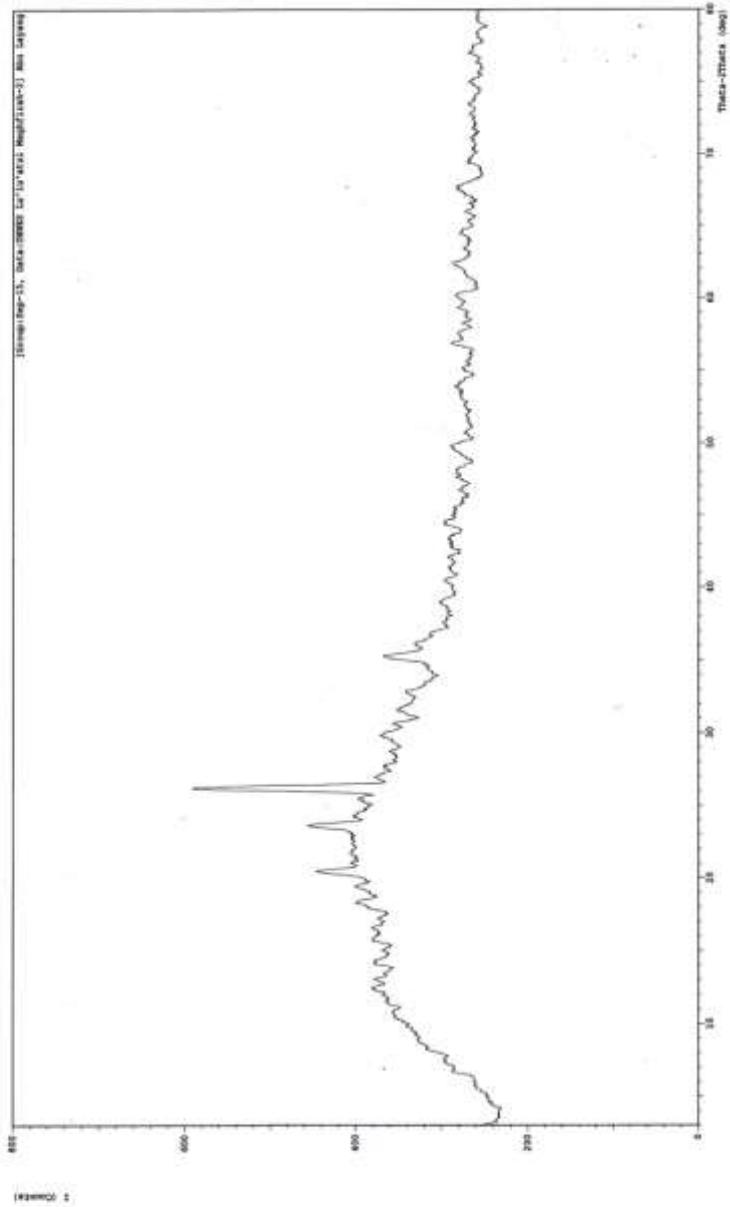
# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int. (Counts)
1	41	26.1731	3.40204	100	0.38970	147	2896
2	37	23.5525	3.77431	30	0.41500	44	1045
3	31	20.4116	4.34745	28	0.39670	41	904

# Peak Data List							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int. (Counts)
1		4.4800	19.70812	3	0.04000	5	25
2		4.7000	18.78609	3	0.04000	5	24
3		5.3700	16.44361	3	0.06000	4	23
4		5.6000	15.76875	4	0.20000	6	64
5		5.8200	15.17317	3	0.16000	5	61
6		6.7300	13.12342	7	0.30000	11	203
7		7.2780	12.13647	5	0.23600	8	151
8		7.5600	11.68438	3	0.00000	5	0
9		8.3400	10.59327	7	0.44000	11	212
10		8.6800	10.17907	7	0.84000	10	295
11		9.2800	9.52225	6	0.16000	9	60
12		9.5300	9.27300	5	0.30000	8	102
13		9.8350	8.98610	7	0.29000	10	118
14		10.1600	8.69937	6	0.32000	9	115
15		10.4400	8.46668	10	0.50660	15	178
16		10.6800	8.27695	10	0.56000	15	286
17		11.5050	7.68521	11	0.51000	16	432
18		11.9400	7.40618	10	0.00000	14	0
19		12.4050	7.12959	14	0.53000	20	579
20		13.0050	6.80197	12	0.35000	17	311
21		13.4400	6.58278	5	0.16000	8	81
22		14.2050	6.22994	10	0.43000	15	382
23		15.0300	5.88979	5	0.20000	8	106
24		15.8100	5.60092	11	0.54000	16	462
25		16.5500	5.35211	10	0.32660	15	296
26		17.1716	5.15975	6	0.20330	9	135
27		17.9200	4.94591	10	0.32000	14	181
28		18.2266	4.86340	15	0.57330	22	456
29		18.8933	4.69325	5	0.09330	7	56
30		19.3580	4.58163	10	0.35600	15	326
31		20.4116	4.34745	28	0.39670	41	904
32		21.0000	4.22695	7	0.28000	11	328
33		21.6400	4.10336	6	0.00000	9	0
34		21.9200	4.05157	5	0.00000	7	0
35		22.3700	3.97108	7	0.18000	10	194
36		22.7200	3.91069	7	0.12000	11	115
37		23.5525	3.77431	30	0.41500	44	1045
38		24.1800	3.67776	7	0.16000	10	73
39		24.4200	3.64216	4	0.29340	6	118
40		25.4733	3.49390	8	0.21330	12	195
41		26.1731	3.40204	100	0.38970	147	2896
42		26.9700	3.30330	5	0.14000	7	86
43		27.7733	3.20956	5	0.06670	7	35
44		28.7100	3.10694	6	0.10000	9	81
45		29.4400	3.03154	7	0.24000	10	143
46		29.8500	2.99082	14	0.54000	21	537
47		30.5933	2.91983	12	0.29330	18	279

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
48	41.8462	2.15701	3	0.07900	18	118
49	42.1313	2.14307	6	0.15070	39	408
50	42.7428	2.11382	30	0.25720	186	2713
51	43.1167	2.09635	4	0.10000	25	195
52	44.6880	2.02622	4	0.11390	25	237
53	46.7070	1.94322	3	0.10200	19	176
54	46.9658	1.93312	4	0.11330	25	144
55	47.5766	1.90972	4	0.18670	23	344
56	48.0680	1.89133	4	0.14400	23	275
57	48.7050	1.86808	3	0.11000	18	196
58	49.6000	1.83644	4	0.19000	22	263
59	49.8756	1.82694	9	0.18730	58	676
60	52.0712	1.75495	12	0.26250	71	1231
61	55.5758	1.65230	4	0.13830	25	210
62	56.1800	1.63595	4	0.20000	23	241
63	56.3800	1.63062	3	0.15560	21	163
64	56.5875	1.62513	4	0.13500	23	149
65	56.8633	1.61790	5	0.12670	30	205
66	57.1654	1.61007	5	0.12420	31	200
67	57.3860	1.60440	3	0.13200	20	160
68	58.0972	1.58644	6	0.17050	37	453
69	58.3459	1.58027	12	0.18280	74	699
70	58.7033	1.57150	4	0.15330	23	199
71	59.0202	1.56382	3	0.14450	21	174
72	59.6414	1.54900	5	0.15710	31	308
73	60.0575	1.53926	5	0.18500	31	277
74	60.3361	1.53282	12	0.17890	73	659
75	60.6350	1.52598	3	0.10130	20	110
76	62.2383	1.49046	8	0.20330	52	919
77	63.2428	1.46919	3	0.15430	20	231
78	63.7454	1.45881	4	0.10910	27	214
79	64.1900	1.44977	8	0.22000	50	606
80	66.0557	1.41327	4	0.12280	26	172
81	66.4329	1.40616	5	0.11590	30	190
82	66.8062	1.39921	3	0.13250	21	159
83	67.9403	1.37859	7	0.26930	40	666
84	69.6400	1.34904	5	0.14280	30	270
85	69.8600	1.34533	6	0.16000	38	371
86	71.6200	1.31653	3	0.28000	20	302
87	71.8000	1.31367	3	0.20000	18	167
88	73.3858	1.28915	3	0.12170	18	170
89	75.2900	1.26120	4	0.16000	24	251
90	75.6587	1.25597	4	0.13460	27	192
91	77.3000	1.23335	4	0.12000	22	147
92	77.5200	1.23039	3	0.25340	18	240
93	78.3714	1.21915	4	0.17710	24	279
94	78.7130	1.21471	6	0.27740	38	576
95	79.9000	1.19962	3	0.12000	18	226

*** Multi Plot ***

File Name : Sep-15\UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-2
 Sample Name : Abu Layang
 Date & Time : 09-28-15 15:18:49
 Comment : Abu Layang
 Condition
 X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
 Scan Range : 3.0000 <-> 80.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
 Count Time : 0.24 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



Lampiran 14

Hasil Karakterisasi XRD Zeolit Hasil Sintesis

```

*** Basic Data Process ***

Group Name : Sep-15
Data Name : UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-1
File Name : UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-1.PKR
Sample Name : Zeolit
Comment : Zeolit

# Strongest 3 peaks
no. peak 2Theta d I/I1 FWHM Intensity Integrated Int
no. (deg) (A)
1 19 24.1188 3.68696 100 0.20510 615 7309
2 5 13.6882 6.46397 53 0.23380 326 4236
3 39 34.5485 2.59408 40 0.19330 244 2573

# Peak Data List
peak 2Theta d I/I1 FWHM Intensity Integrated Int
no. (deg) (A) (deg) (Counts) (Counts)
1 6.6600 13.26120 3 0.16000 20 495
2 12.0800 7.32066 5 0.15700 31 297
3 12.3390 7.16757 11 0.22540 65 857
4 13.2400 6.68177 6 0.16000 39 588
5 13.6882 6.46397 53 0.23380 326 4236
6 13.9600 6.33872 7 0.08000 40 252
7 14.1882 6.23728 3 0.15150 19 292
8 14.8275 5.96976 3 0.08500 18 87
9 15.0379 5.88671 3 0.11080 19 129
10 16.0400 5.52112 3 0.12580 19 260
11 18.4766 4.79815 3 0.10330 21 205
12 19.5585 4.53511 7 0.18700 43 632
13 20.5053 4.32779 5 0.12400 30 230
14 21.2800 4.17196 3 0.21340 20 418
15 21.6844 4.09506 23 0.24890 139 1942
16 23.0381 3.85741 6 0.11040 39 333
17 23.2841 3.81721 6 0.11830 39 302
18 23.6600 3.75740 13 0.16440 77 1041
19 24.1188 3.68696 100 0.20510 615 7309
20 24.4800 3.63337 3 0.00000 18 0
21 25.8444 3.44456 4 0.14230 26 249
22 26.2951 3.38654 16 0.18520 96 982
23 26.8366 3.31942 5 0.12320 31 224
24 27.3480 3.25850 3 0.16000 19 264
25 27.9800 3.18632 5 0.23500 33 313
26 28.2137 3.16045 10 0.28460 60 680
27 28.8797 3.08906 4 0.19060 23 278
28 29.5958 3.01593 7 0.14830 40 460
29 30.6800 2.91178 5 0.10280 30 207
30 31.1000 2.87340 12 0.22580 75 969
31 31.4100 2.84575 33 0.22000 202 2372
32 32.1133 2.78501 6 0.22670 37 489
33 32.7679 2.73086 4 0.09080 25 137
34 32.9920 2.71282 5 0.09600 33 196
35 33.2871 2.68944 3 0.25430 20 248
36 33.7600 2.65284 3 0.10000 18 86
37 33.9295 2.63997 4 0.17100 26 274
38 34.3200 2.61082 8 0.10660 52 341
39 34.5485 2.59408 40 0.19330 244 2573
40 36.2927 2.47331 4 0.28950 24 442
41 37.4656 2.39853 11 0.20330 65 765
42 38.3971 2.34246 7 0.14920 45 415
43 38.7348 2.32281 4 0.09470 23 142
44 39.1160 2.30105 5 0.09600 29 199
45 39.9550 2.25464 4 0.10130 23 142
46 40.5054 2.22526 5 0.13580 28 301
47 41.1225 2.19328 3 0.15500 21 308

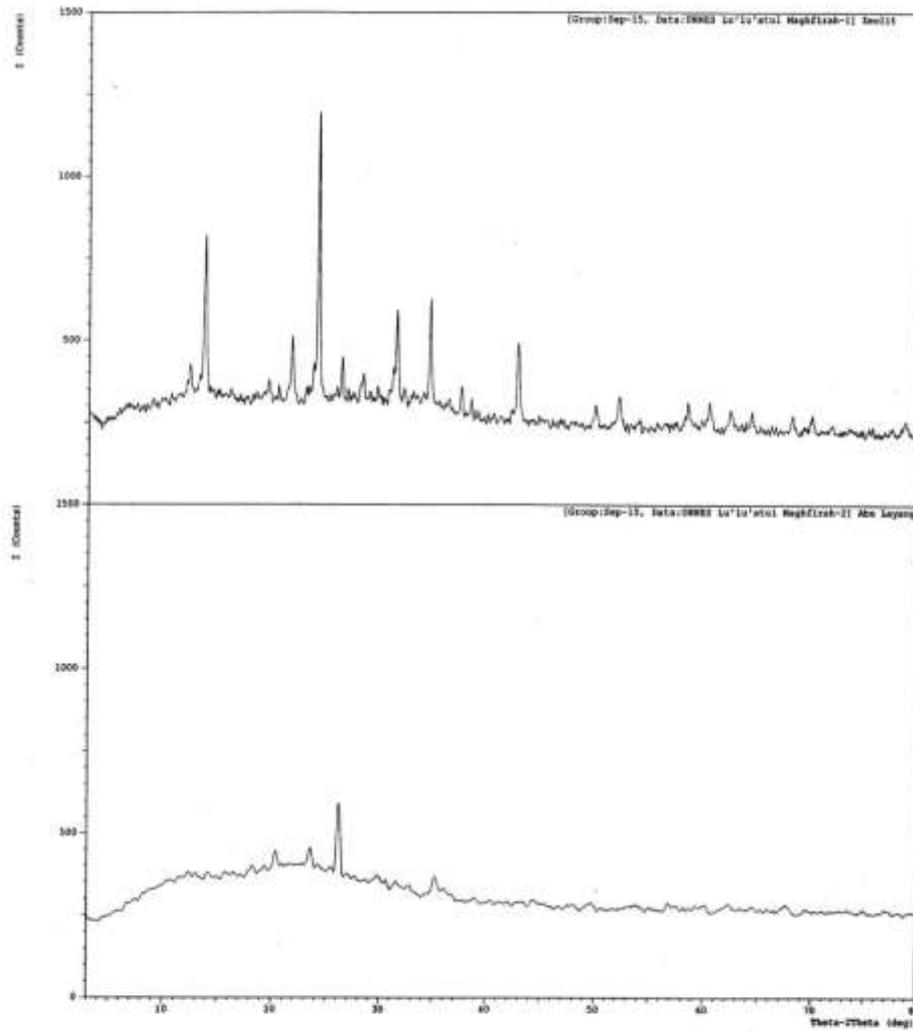
```

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
48	31.2000	2.86442	6	0.10660	9	50
49	31.6150	2.82776	12	0.57000	18	441
50	32.2000	2.77771	5	0.34660	7	165
51	32.7580	2.73166	10	0.35600	15	322
52	33.1400	2.70104	3	0.02660	5	14
53	33.4350	2.67788	3	0.09000	5	45
54	34.4450	2.60163	3	0.09000	5	42
55	34.6800	2.58454	4	0.12000	6	53
56	35.1946	2.54792	27	0.52270	39	833
57	35.5200	2.52532	12	0.29340	17	276
58	36.0983	2.48618	12	0.42330	17	368
59	36.4233	2.46474	7	0.16670	11	83
60	36.7867	2.44122	5	0.28000	8	128
61	38.9100	2.31275	7	0.30000	11	248
62	40.4200	2.22977	7	0.36000	10	222
63	41.1400	2.19239	4	0.32000	6	92
64	41.3833	2.18006	5	0.12670	8	80
65	42.0475	2.14715	7	0.12500	11	126
66	42.7216	2.11482	5	0.14330	7	70
67	43.0233	2.10068	6	0.12670	9	71
68	43.2600	2.08973	7	0.20000	10	164
69	44.4150	2.03804	10	0.47000	14	341
70	44.9350	2.01565	6	0.15000	9	80
71	45.1666	2.00585	6	0.14670	9	83
72	45.4800	1.99276	6	0.20000	9	126
73	45.9733	1.97252	4	0.10670	6	45
74	46.6700	1.94468	5	0.22000	8	100
75	46.9575	1.93344	4	0.09500	6	31
76	47.5800	1.90959	7	0.16000	11	129
77	47.8800	1.89832	7	0.16000	11	119
78	48.1800	1.88720	7	0.12000	11	94
79	49.1600	1.85185	5	0.12000	7	62
80	49.4800	1.84062	9	0.28000	13	198
81	49.7800	1.83022	10	0.20000	15	159
82	50.0200	1.82200	5	0.16000	8	71
83	50.6766	1.79993	4	0.11330	6	47
84	51.5600	1.77114	3	0.08000	4	24
85	51.9300	1.75939	3	0.10000	5	54
86	52.5600	1.73978	3	0.08000	5	59
87	52.9600	1.72757	5	0.12000	8	102
88	53.3400	1.71616	6	0.20000	9	146
89	53.8500	1.70110	10	0.30000	14	218
90	54.1533	1.69229	7	0.18670	10	93
91	54.4400	1.68405	4	0.16000	6	44
92	55.0800	1.66599	6	0.32000	9	143
93	55.5650	1.65259	4	0.13000	6	52
94	56.8100	1.61929	12	0.30000	17	299
95	57.2600	1.60763	7	0.24000	10	107
96	57.5166	1.60107	8	0.27330	12	169
97	58.2633	1.58232	5	0.11330	8	58
98	58.6750	1.57219	3	0.11000	5	39
99	58.9000	1.56672	3	0.08000	5	28
100	59.2850	1.55746	10	0.23000	14	155
101	59.6316	1.54923	6	0.20330	9	94
102	60.1050	1.53816	10	0.49000	15	362
103	61.4800	1.50701	5	0.20000	7	122
104	61.7400	1.50129	4	0.00000	6	0
105	62.1000	1.49345	8	0.44000	12	180
106	62.2600	1.49000	11	0.48000	16	310
107	63.4100	1.46571	5	0.14000	7	79
108	63.8250	1.45718	3	0.11000	4	28
109	64.4150	1.44525	8	0.25000	12	177

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
110	64.6925	1.43972	6	0.10500	9	60
111	65.3000	1.42779	4	0.20000	6	77
112	65.9500	1.41528	7	0.22000	11	166
113	66.5180	1.40457	5	0.07600	8	47
114	66.9066	1.39735	5	0.10670	7	41
115	67.1400	1.39306	9	0.20000	13	172
116	67.4600	1.38723	12	0.12000	18	187
117	67.8600	1.38002	7	0.25340	10	288
118	69.4000	1.35311	8	0.24000	12	188
119	69.9300	1.34415	3	0.10000	4	37
120	70.2816	1.33828	5	0.09670	7	49
121	70.9100	1.32796	4	0.14000	6	52
122	71.1100	1.32471	4	0.14000	6	52
123	71.7600	1.31430	5	0.12000	7	73
124	72.3900	1.30441	3	0.06000	5	40
125	72.7550	1.29876	6	0.19000	9	98
126	73.4000	1.28894	7	0.28000	10	137
127	73.8400	1.28234	4	0.16000	6	66
128	74.9450	1.26615	7	0.27000	11	225
129	75.6266	1.25642	3	0.05330	5	28
130	76.3466	1.24636	4	0.18670	6	70
131	77.0250	1.23706	8	0.25000	12	181
132	77.4650	1.23113	5	0.19000	7	81

*** Multi Plot ***

File Name : Sep-15\UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-1
 Sample Name : Zeolit Comment : Zeolit
 Date & Time : 09-28-15 14:52:50
 Condition
 X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
 Scan Range : 3.0000 <-> 80.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
 Count Time : 0.24 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



Sep-15\UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-1 Zeolit
 Sep-15\UNNES Lu'lu'atul Maghfirah-2 Abu Layang

Cont.Scan 5.0 deg/mir
 Cont.Scan 5.0 deg/mir

Lampiran 14

Dokumentasi Penelitian



Preparasi awal



Sintesis zeolit



zeolit hasil sintesis dan abu layang



Adsorpsi zeolit hasil sintesis
dengan zat warna



zat warna *remazol brilliant blue*
10x pengenceran