



**PEMANFAATAN LIMBAH ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA  
SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENENTUAN  
KADAR GAS NO<sub>2</sub> DI UDARA**

**SKRIPSI**

Oleh

**Yuliani Tri Lestari  
NIM 071810301007**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**PEMANFAATAN LIMBAH ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA  
SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENENTUAN  
KADAR GAS NO<sub>2</sub> DI UDARA**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Yuliani Tri Lestari  
NIM 071810301007**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**

## **PERSEMBAHAN**

Dengan ketulusan hati, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ayahanda Mujiarto dan Ibunda Mudlikah tercinta yang selalu menyanyangi ananda dengan segala pengorbanan, kasih sayang, dan doa. Hanya balasan doa yang bisa ananda berikan;
2. Kakakku Edi Santoso dan Winarti terima kasih atas kebersamaan, canda tawa, dan motivasinya;
3. bapak-ibu guru TK Mardiputra 1; SDN 1 Kedunglurah; SMP Negeri 1 Trenggalek; SMA Negeri 2 Trenggalek; Bapak-Ibu guru bimbingan belajar; Bapak-Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember;
4. Almamater tercinta Kimia FMIPA Universitas Jember.

## MOTO

**Tiadalah balasan kebaikan, melainkan kebaikan pula, maka nikmat Tuhanmu  
yang manakah yang kamu dustakan  
(Terjemahan QS Ar-Rahman 60-61) \***

**The best way to find yourself is to lose yourself in the service of other  
(Mahatma Gandhi) \*\***

---

\* Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang : PT Kumudasmoro Grafindo.

\*\* Mahatma Gandhi dalam Setyawan I. 2012. *Ibuk*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

nama : Yuliani Tri Lestari

NIM : 071810301007

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Adsorben Untuk Penentuan Kadar Gas NO<sub>2</sub> di Udara” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 09 Desember 2012

Yang menyatakan,

Yuliani Tri Lestari

NIM 071810301007

**SKRIPSI**

**PEMANFAATAN LIMBAH ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA  
SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENENTUAN  
KADAR GAS NO<sub>2</sub> DI UDARA**

Oleh

Yuliani Tri Lestari

NIM 071810301007

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Mukh. Mintadi

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Adsorben Untuk Penentuan Kadar Gas NO<sub>2</sub> Di Udara” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat :

Tim Penguji

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

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

Drs. Mukh. Mintadi  
NIP 196410261991031001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Bambang Piluharto, S.Si, MSi  
NIP 197107031997021001

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

Mengesahkan  
Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D  
NIP 19610108198621001

## RINGKASAN

**Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Adsorben Untuk Penentuan Kadar Gas NO<sub>2</sub> Di Udara;** Yuliani Tri Lestari, 071810301007; 2013: 54 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penggunaan energi listrik untuk keperluan industri maupun masyarakat sehari-hari semakin meningkat. Ini menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi dan krisis bahan bakar minyak sehingga muncul beberapa penggunaan energi alternatif sebagai usaha untuk mengatasi permasalahan ini. Salah satunya yaitu adanya industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan batubara sebagai bahan baku pembakarannya. Akan tetapi penggunaan batubara ini menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan, yaitu pelepasan polutan gas seperti CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, hidrokarbon dan abu yang relatif besar, ada dua jenis limbah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*).

Limbah *fly ash* yang berasal dari pembakaran batubara merupakan masalah yang sering dihadapi oleh banyak industri yang menggunakan batubara sebagai bahan baku pembakarannya. Limbah *fly ash* berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben untuk penyerapan polutan pada gas buang proses pembakaran yang berpotensi untuk merusak lingkungan, salah satunya adalah gas nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>).

Pada penelitian ini limbah *fly ash* akan digunakan sebagai adsorben untuk penentuan kadar gas NO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode passive sampler. Pereaksi yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH). Sedangkan reagen yang digunakan adalah reagen Griess Saltzman yang akan memberikan warna merah muda jika bereaksi dengan gas NO<sub>2</sub>, warna tersebut akan stabil dalam jangka waktu



tertentu. Penelitian ini dilakukan dua perlakuan yaitu, perlakuan pertama hanya adsorben saja yang terdapat pada alat passive sampler, sedangkan perlakuan kedua di dalam alat passive sampler terdapat adsorben dan pereaksi.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kondisi optimum untuk *fly ash* tanpa penambahan NaOH diperoleh pada saat konsentrasi  $H_2SO_4$  2%, waktu aktivasi 120 menit, dan waktu penyerapan 5 menit. Sedangkan kondisi optimum untuk *fly ash* dengan penambahan NaOH diperoleh pada saat konsentrasi  $H_2SO_4$  1%, waktu aktivasi 60 menit, dan waktu penyerapan 5 menit.

Kemampuan *fly ash* sebagai adsorben gas  $NO_2$  dapat dilihat dari konsentrasi gas  $NO_2$  yang terserap. Semakin bertambahnya konsentrasi maka semakin banyak molekul adsorbat dan adsorben yang saling berinteraksi dalam proses adsorpsi sehingga menyebabkan adsorpsi semakin meningkat. Selain itu juga dapat disebabkan karena permukaan adsorben mempunyai sejumlah tertentu situs aktif adsorpsi. Banyaknya situs aktif tersebut sebanding dengan luas permukaan adsorben dan masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat. Pada keadaan dimana tempat adsorpsi belum jenuh dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat akan dapat menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi. Bila tempat adsorpsi sudah jenuh dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi. Dalam penelitian ini jika konsentrasi adsorbat dinaikkan lagi maka kemungkinan besar jumlah zat yang teradsorpsi juga akan naik sampai pada titik tertentu dimana adsorben sudah tidak dapat mengadsorpsi lagi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah abu terbang (*fly ash*) batubara dapat digunakan sebagai adsorben untuk pengukuran gas  $NO_2$ , baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Penelitian ini dapat digunakan untuk keperluan monitoring udara sehingga dapat ditentukan langkah yang tepat untuk menanggulangi permasalahan pencemaran udara oleh gas  $NO_2$ .

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Adsorben Untuk Penentuan Kadar Gas NO<sub>2</sub> Di Udara”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

1. Prof. Drs. Kusno, DEA. Ph.D., selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember;
2. Bapak Drs. Sjaifullah, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember;
3. Bapak Ir. Neran, M.Kes, selaku dosen pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu dan perhatian untuk membimbing;
4. Bapak Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing utama, dan Bapak Drs. Mukh. Mintadi, selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Bambang Piluharto, S.Si, M.Si., selaku dosen penguji I, dan Ibu Tanti Haryati, S.Si.,M.Si., selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik dan saran serta masukan yang berharga dalam penyempurnaan penyusunan skripsi ini;
6. Ibu Asnawati, S.Si., M.Si., yang telah bersedia membantu dalam penyusunan skripsi ini;
7. Hutari Laksono, S.T, terimakasih banyak untuk kebersamaan, perhatian, dan motivasinya;

8. Ike Diah Kusuma Wardani, Fera Anderia, Aninta Ayuning Tyas, Chatarina Wijayanti sebagai sahabat, terimakasih banyak untuk kebersamaan, canda tawa, dan saran-sarannya selama berlangsungnya penyelesaian skripsi ini;
9. Eka Farista, Andika Monalisa, Juariya, Linda Apriliyana, terimakasih untuk kebersamaan dan segala bantuannya;
10. teman-teman angkatan 2007, terimakasih untuk kebersamaan dan motivasinya;
11. seluruh teknisi dan petugas administrasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember, semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Jember, 9 Desember 2012

Yuliani Tri Lestari

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>

<b>2.1 Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Abu Terbang (<i>Fly ash</i>) Batubara.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) Batubara Sebagai Adsorben.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Aktivasi Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) Batubara dengan Asam Sulfat .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Adsorpsi .....</b>	<b>13</b>
<b>2.6 Desorpsi.....</b>	<b>15</b>
<b>2.7 Passive Sampler .....</b>	<b>16</b>
<b>2.8 Natrium Hidroksida.....</b>	<b>19</b>
<b>2.9 Spektrofotometri UV-Vis.....</b>	<b>20</b>
2.9.1 Spektroskopi.....	20
2.9.2 Hukum Lambert-Beer .....	21
2.9.3 Penyimpangan Hukum Lambert-Beer .....	24
2.9.4 Spektrofotometri UV-Vis.....	24
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan.....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Alat.....	26
3.2.2 Bahan .....	26
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Desain Alat.....</b>	<b>28</b>
3.4.1 Alat passive sampler .....	28
3.4.2 Pengambilan sampel NO <sub>2</sub> .....	28
<b>3.5 Prosedur Kerja .....</b>	<b>29</b>

3.5.1 Pencucian abu terbang ( <i>fly ash</i> ) batubara.....	29
3.5.2 Aktivasi dengan penambahan larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	29
3.5.3 Pembuatan gas NO <sub>2</sub> .....	29
3.5.4 Pembuatan reagen Saltzman .....	30
3.5.5 Variasi waktu penyerapan <i>fly ash</i> .....	30
3.5.6 Variasi waktu penyerapan <i>fly ash</i> dan pereaksi .....	30
3.5.7 Uji kinerja penyerap.....	31
3.5.8 Uji kinerja penyerap dan pereaksi.....	31
3.5.9 Pembuatan larutan standar NO <sub>2</sub> .....	31
3.5.10 Analisis data .....	32
<b>BAB 4. PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Penelitian Awal.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Kurva Kalibrasi Pengukuran Gas NO<sub>2</sub> .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3 Penentuan Kondisi Optimum .....</b>	<b>37</b>
4.3.1 Penentuan konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> optimum.....	38
4.3.2 Waktu aktivasi optimum .....	42
4.3.3 Waktu penyerapan optimum .....	44
<b>4.4 Kemampuan fly ash sebagai adsorben.....</b>	<b>47</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>50</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>50</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat fisika nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) .....	8
Tabel 2.2 Komposisi <i>fly ash</i> batubara dari PLTU Paiton .....	11
Tabel 2.3 Sifat fisika asam sulfat .....	12
Tabel 2.4 Sifat fisika natrium hidroksida .....	20
Tabel 4.1 Hasil penyerapan gas NO <sub>2</sub> dalam berbagai variasi konsentrasi .....	48

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rumus struktur NO <sub>2</sub> .....	6
Gambar 2.2 Bentuk resonansi NO <sub>2</sub> (Heslop and Robinson, 1960) .....	6
Gambar 2.3 Passive sampler jenis Yanagizawa.....	17
Gambar 2.4 Kurva Kalibrasi .....	22
Gambar 2.5 Fenomena interaksi gelombang cahaya dengan spesies kimia.....	23
Gambar 2.6 Diagram spektrofotometer.....	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.2 Alat passive sampler .....	28
Gambar 3.3 Desain alat proses pengambilan sampel gas NO <sub>2</sub> .....	28
Gambar 4.1 Hasil scanning panjang gelombang maksimum NO <sub>2</sub> .....	36
Gambar 4.2 Kurva kalibrasi pengukuran gas NO <sub>2</sub> .....	37
Gambar 4.3 Proses penyerapan gas NO <sub>2</sub> .....	38
Gambar 4.4 Kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit.....	39
Gambar 4.5 Kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit.....	41
Gambar 4.6 Kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dengan konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2% .....	42
Gambar 4.7 Kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dengan konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2% .....	43



Gambar 4.8 Kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit.....	45
Gambar 4.9 Kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit.....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Penentuan panjang gelombang maksimum .....	55
B. Kurva kalibrasi NO <sub>2</sub> pada panjang gelombang 540 nm .....	59
C.1. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi .....	60
C.2. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi .....	61
D.1. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi .....	63
D.2. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi .....	64
E.1. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan .....	65
E.2. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan .....	67
F. Perhitungan uji statistik (Uji-t) .....	69
G.1. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi .....	74
G.2. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi .....	75
H.1. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi .....	77
H.2. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi .....	78

I.1. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan .....	79
I.2. Penentuan kondisi optimum <i>fly ash</i> dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan .....	81

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi listrik untuk keperluan industri maupun masyarakat sehari-hari semakin meningkat. Ini menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi dan krisis bahan bakar minyak sehingga muncul beberapa penggunaan energi alternatif sebagai usaha untuk mengatasi permasalahan ini. Salah satunya yaitu adanya industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan batubara sebagai bahan baku pembakarannya. Batubara adalah sumber energi yang paling mudah diambil dari alam dan relatif lebih murah dibandingkan minyak bumi. Penggunaan batubara sebagai sumber energi dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik untuk keperluan industri maupun masyarakat sehari-hari. Akan tetapi penggunaan batubara ini menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan, yaitu pelepasan polutan gas seperti CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, hidrokarbon dan abu yang relatif besar. Ada dua jenis limbah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) (Harijono, 2006).

Abu terbang (*fly ash*) batubara adalah abu yang dihasilkan dari pelelehan material anorganik yang terkandung dalam batubara, sedangkan abu dasar (*bottom ash*) adalah abu yang terbentuk di bawah tungku proses pembakarannya. Komponen yang terkandung dalam *fly ash* bervariasi bergantung pada sumber batubara yang dibakar, tetapi semua *fly ash* mengandung silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan kalsium oksida (CaO) (Mufrodi, 2010).

Limbah *fly ash* yang berasal dari pembakaran batubara merupakan masalah yang dihadapi oleh banyak industri yang menggunakan batubara sebagai bahan baku pembakarannya. Akumulasi limbah *fly ash* ini bila tidak dimanfaatkan akan membutuhkan tempat yang cukup luas untuk menampungnya. Limbah *fly ash*

umumnya ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan limbah *fly ash* ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Banyak penelitian mengenai pemanfaatan limbah *fly ash* sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan, misalnya dengan menggunakannya sebagai penyusun beton untuk jalan dan bendungan, penimbunan lahan bekas pertambangan, bahan baku keramik, bahan penggosok, filler aspal, pengganti dan bahan baku semen, dan konversi menjadi zeolit dan adsorben (Nugraha dan Aditya, 2009). Pemanfaatan limbah *fly ash* sebagai adsorben (Fahriyah, 2009) merupakan contoh pemanfaatan yang efektif. Limbah *fly ash* ini dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyisihkan COD pada limbah cair domestik, penyisihan ion logam berat pada limbah cair, adsorben limbah batik, adsorben untuk gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, merkuri (Hg), dan gas-gas organik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa limbah *fly ash* dapat digunakan sebagai adsorben. Keuntungan adsorben berbahan baku limbah *fly ash* adalah biayanya yang murah. Selain itu adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair. Limbah *fly ash* dapat dipakai secara langsung sebagai adsorben atau dapat juga melalui perlakuan kimia dan fisik tertentu sebelum menjadi adsorben. Limbah *fly ash* berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben untuk penyerapan polutan pada gas buang proses pembakaran yang berpotensi untuk merusak lingkungan (Putri, 2008).

Banyak polutan di udara yang diketahui berpotensi mencemari lingkungan, mengganggu kehidupan manusia maupun makhluk lainnya atau dalam jangka panjang secara langsung maupun tidak langsung dapat menyebabkan pemanasan global. Salah satu sumber polutan adalah gas nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) adalah gas yang sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia, bersifat racun, berbau tajam menyengat hidung dan berwarna merah kecoklatan. Gas NO<sub>2</sub> banyak dihasilkan dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor pada suhu tinggi, industri, dan pembangkit tenaga berbahan bakar fosil. Dampak negatif yang paling berbahaya ditimbulkan oleh gas NO<sub>2</sub> adalah terjadinya pemanasan global dan

hujan asam yang mampu berdampak langsung pada vegetasi, bangunan, tanah, badan air, dan kesehatan manusia itu sendiri (Fardiaz, 1992).

Untuk mengetahui keberadaan dan kadar gas  $\text{NO}_2$  di udara, salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah monitoring udara, sehingga dapat dilakukan upaya yang tepat untuk menangani permasalahan pencemaran udara oleh gas  $\text{NO}_2$ . Metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas  $\text{NO}_2$  baik secara kualitatif maupun kuantitatif adalah metode aktif dan passive. Pada metode aktif terdapat dua teknik yang umum digunakan yaitu teknik impinger dan chemiluminescence. Teknik impinger adalah teknik penyerapan gas berdasarkan kemampuan gas pencemar terabsorpsi dengan larutan pereaksi spesifik (larutan absorben) dengan menggunakan alat midget impinger, sedangkan teknik chemiluminescence adalah metode analisis gas yang bergantung pada pengukuran cahaya yang dihasilkan (Korenaga, 1999). Peralatan-peralatan yang digunakan pada kedua teknik tersebut bersifat semi otomatis sehingga biayanya cukup mahal, sedangkan peralatan yang digunakan pada metode passive yang disebut juga passive sampler atau difusif sampler cukup murah, sederhana, dan lebih mudah dioperasikan (Krupa dan Legge, 2000).

Pada penelitian ini limbah *fly ash* akan digunakan sebagai adsorben untuk penentuan kadar gas  $\text{NO}_2$  dengan menggunakan metode passive sampler. Pereaksi yang digunakan adalah natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) yang berfungsi sebagai bahan penyerap  $\text{NO}_2$ . Sedangkan reagen yang digunakan adalah reagen Griess Saltzman yang akan memberikan warna merah muda jika bereaksi dengan gas  $\text{NO}_2$ , warna tersebut akan stabil dalam jangka waktu tertentu. Penelitian ini dilakukan dua perlakuan yaitu, perlakuan pertama hanya adsorben saja yang terdapat pada alat passive sampler, sedangkan perlakuan kedua di dalam alat passive sampler terdapat adsorben dan pereaksi. Setelah  $\text{NO}_2$  berhasil teradsorpsi kemudian dilakukan desorpsi. Penggunaan limbah *fly ash* sebagai adsorben ini diharapkan dapat mengurangi tumpukan limbah yang dihasilkan oleh industri batubara serta memberikan nilai ekonomis karena biayanya yang murah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu penyerapan oleh *fly ash*?
2. Bagaimana kemampuan *fly ash* sebagai adsorben dalam menyerap gas  $\text{NO}_2$ ?
3. Bagaimana perbedaan kemampuan penyerapan  $\text{NO}_2$  antara *fly ash* dibandingkan dengan *fly ash* ditambah pereaksi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh waktu penyerapan oleh *fly ash*
2. Mengetahui kemampuan *fly ash* sebagai adsorben dalam menyerap gas  $\text{NO}_2$
3. Mengetahui perbedaan kemampuan penyerapan  $\text{NO}_2$  antara *fly ash* dibandingkan dengan *fly ash* ditambah pereaksi.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pereaksi yang digunakan adalah natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ )
2. Gas  $\text{NO}_2$  yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan mereaksikan serbuk tembaga ( $\text{Cu}$ ) dengan larutan asam nitrat pekat ( $\text{HNO}_3$ )
3. Alat passive sampler yang digunakan terbuat dari kotak kaca dengan ukuran 5 cm x 2 cm x 3 cm.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

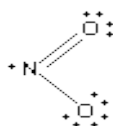
1. Dapat menjadi alternatif solusi dalam pemanfaatan limbah *fly ash* sebagai adsorben gas NO<sub>2</sub> di udara
2. Memberikan kontribusi pada penyelesaian masalah lingkungan sebagai usaha awal untuk menanggulangi permasalahan pencemaran udara.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

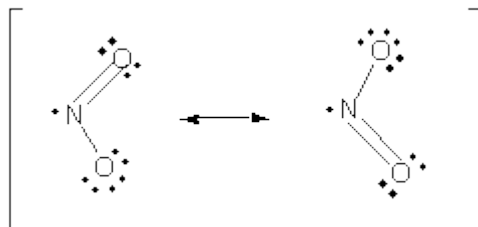
### 2.1 Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

Nitrogen dioksida merupakan salah satu senyawa dari tujuh senyawa oksida nitrogen yang bersifat sangat reaktif. Nitrogen dioksida tersusun dari dua atom oksigen yang terikat pada satu atom nitrogen.



Gambar 2.1 Rumus struktur NO<sub>2</sub>

Adanya satu elektron bebas pada atom N menyebabkan ikatan rangkap pada NO<sub>2</sub> dapat mengalami resonansi dan menyebabkan NO<sub>2</sub> bersifat paramagnetik.



Gambar 2.2 Bentuk resonansi NO<sub>2</sub> (Heslop and Robinson, 1960)

Gas NO<sub>2</sub> ini bersifat beracun, berbau tajam menyengat hidung dan dapat dilihat dengan kasat mata dari warnanya yang kecoklatan. Gas NO<sub>2</sub> banyak dihasilkan dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor pada suhu tinggi, industri, dan pembangkit tenaga berbahan bakar fosil. Gas NO<sub>2</sub> dapat terbentuk melalui beberapa cara yaitu :

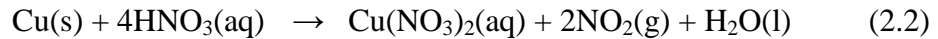
1. Melalui reaksi disosiasi dimernya (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) pada suhu tinggi



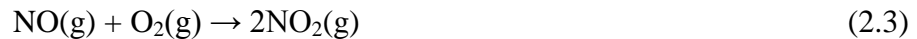
Dinitrogen tetraoksida (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ditemukan murni hanya dalam wujud padat dengan titik lebur -9,3°C. Apabila dipanaskan hingga suhu 21,3°C maka akan terbentuk

larutan yang mengandung 1% NO<sub>2</sub>, monomernya, dan mengandung 90 % NO<sub>2</sub> jika dipanaskan hingga suhu 100°C.

2. Melalui reaksi antara antara serbuk tembaga (Cu) dan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>)



3. Melalui reaksi antara gas NO dengan oksigen di udara.



Pembentukan gas NO<sub>2</sub> melalui reaksi ini dapat terjadi pada pagi hari. Dengan makin tingginya matahari, sinar ultraviolet yang dipancarkan menyebabkan NO<sub>2</sub> terdekomposisi.



Fenomena inilah yang dimanfaatkan dalam analisa gas NO<sub>2</sub> dengan teknik chemiluminescence. Dengan dihasilkannya satu atom oksigen pada peristiwa dekomposisi tersebut, kemudian atom oksigen bereaksi dengan molekul oksigen yang ada di udara sehingga terbentuk senyawa ozon.



Oleh karena itu, gas NO<sub>2</sub> dapat juga dikatakan sebagai bahan pemicu terbentuknya ozon (Heslop and Robinson, 1960).

Gas NO<sub>2</sub> yang dilarutkan ke dalam air akan menghasilkan asam nitrat dan asam nitrit (Cotton dan Wilkinson, 1989). Pada kondisi asam, dapat menghasilkan ion nitrit dan ion nitrat. Ion nitrit akan bereaksi dengan reagen Saltzman membentuk senyawa berwarna yang dapat dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Untuk lebih jelasnya sifat fisika nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat fisika nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>)

Bentuk	Gas
Warna	Kecoklatan
Bau	Menyengat
Massa molar	46,0055 g mol <sup>-1</sup>
Densitas	2,62 g dm <sup>-3</sup>
Titik didih	21°C, 294 K, 70°F
Kelrutan dalam air	Dapat larut
Tekanan uap (20°C)	98,80 kPa

Sumber : Merck, 2004

## 2.2 Abu Terbang (*Fly ash*) Batubara

Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan *fly ash* dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU. Pembakaran batubara menghasilkan emisi limbah yang lebih banyak dibandingkan bahan bakar minyak dan gas. Selain itu, pembakaran batubara juga menghasilkan gas-gas oksida belerang (SO<sub>x</sub>), oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>), gas hidrokarbon, karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) (Harijono, 2006).

Komposisi antara *fly ash* dan *bottom ash* tergantung sistem pembakarannya. Dalam tungku *pulverized coal* sistem basah antara 45-55%, dan tungku *underfeed stoker* 30-80% dari total abu batubara. *Fly ash* ditangkap dengan *electrostatic precipitator* (ESP) sebelum dibuang ke udara melalui cerobong (Firdaushanif, 2007).

Komponen utama dari *fly ash* batubara adalah silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Sisanya adalah karbon, kalsium, dan magnesium. Rumus empiris abu terbang (*fly ash*) batubara adalah

$\text{Si}_{1.0}\text{Al}_{0.45}\text{Ca}_{0.51}\text{Na}_{0.047}\text{Fe}_{0.039}\text{Mg}_{0.020}\text{K}_{0.013}\text{Ti}_{0.011}$ . *Fly ash* batubara juga memiliki komponen fasa amorf seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan komponen fasa kristalin seperti  $\alpha$ -quartz ( $\text{SiO}_2$ ) dan mullit ( $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{AlO}_3$ ), hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Tanaka, 2002).

Menurut standart ASTM C 168-87 / AASHTO M 295-90, *fly ash* hasil pembakaran batubara digolongkan berdasarkan jenis batu bara yang digunakan untuk pembakaran tersebut. Ada dua jenis *fly ash*, yaitu:

1) Kelas F

*Fly ash* ini dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis anthrasit atau bituminous.

2) Kelas C

*Fly ash* ini dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis lignit atau sub bituminous.

*Fly ash* mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan di dalam menunjang pemanfaatannya yaitu:

1. Sifat fisik

*Fly ash* merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. *Fly ash* terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000  $\text{kg/m}^3$  dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain warnanya abu-abu keputihan dan ukurannya sangat halus yaitu sekitar 88%.

## 2. Sifat kimia

Komponen utama dari *fly ash* yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Sifat kimia dari *fly ash* dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sob/bituminous menghasilkan *fly ash* dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminus. Namun memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. *Fly ash* terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat berongga. Ukuran partikel *fly ash* hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan *fly ash* berkisar antara 2100-3000  $\text{kg/m}^3$  dan luas area spesifiknya antara 170-1000  $\text{m}^2/\text{kg}$  (Firdaushanif, 2007).

### 2.3 Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Adsorben

Pada PLTU Paiton yang merupakan pensuplai tenaga listrik terbesar untuk wilayah Jawa, penanganan *fly ash* yaitu dikirim menggunakan udara bertekanan ke tempat pembuangan *fly ash* yang berada di luar ruangan yang hanya dibatasi oleh pagar yang menjulang tinggi disetiap sisinya. Jumlah *fly ash* tersebut demikian banyaknya sehingga menjadi masalah dalam pembuangannya. Seiring dengan bertambahnya jumlah *fly ash*, maka harus ada usaha-usaha memanfaatkan limbah padat tersebut. Adapun komposisi *fly ash* batubara yang terdapat pada PLTU Paiton adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Komposisi *fly ash* batubara dari PLTU Paiton

Komponen penyusun	Kandungan (%w)
SiO <sub>2</sub>	30,25 – 36,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,52 – 23,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,46 – 19,94
CaO	11,40 – 16,57
MgO	5,360 – 8,110
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,140 – 0,480
Na <sub>2</sub> O	0,250 – 0,740
K <sub>2</sub> O	0,630 – 1,320
TiO <sub>2</sub>	0,830 – 1,050
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,630 – 3,750
SO <sub>3</sub>	3,010 – 7,280

Sumber : PJB Paiton, 2002

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya *fly ash* digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu sebenarnya *fly ash* memiliki berbagai kegunaan antara lain: sebagai penyusun beton untuk jalan dan bendungan, penimbunan lahan bekas pertambangan, recovery magnetik, cenosphere, dan karbon, sebagai bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori, sebagai bahan penggosok (polisher), sebagai filer aspal, plastik, dan kertas, sebagai pengganti dan bahan baku semen, sebagai aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilization), dan sebagai adsorben dan konversi menjadi zeolit (Koesnadi, 2008).

*Fly ash* yang dikonversi menjadi adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari *fly ash*. Keuntungan adsorben berbahan baku *fly ash* adalah biayanya yang murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas

maupun limbah cair. Adsorben ini dapat digunakan dalam penyisihan logam berat, limbah zat warna berbahaya, dan senyawa organik pada pengolahan limbah. *Fly ash* dapat dipakai secara langsung sebagai adsorben atau dapat juga melalui perlakuan kimia dan fisik tertentu sebelum menjadi adsorben (Sunardi, 2006).

#### 2.4 Aktivasi Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara dengan Asam Sulfat

Asam sulfat merupakan salah satu senyawa yang sangat korosif dan berbentuk cairan kental yang banyak digunakan dalam industri. Asam sulfat murni yang tidak diencerkan tidak dapat ditemukan secara alami karena sifatnya yang higroskopis. Asam sulfat terbentuk secara alami melalui oksidasi mineral sulfida. Uap asam sulfat sangat iritatif terhadap saluran pernafasan. Asam sulfat seperti halnya asam nitrat merupakan oksidator kuat.

Asam sulfat dapat larut dalam air dengan segala perbandingan serta mempunyai titik lebur  $10,31^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $336,85^{\circ}\text{C}$ . Untuk lebih jelasnya, sifat fisika asam sulfat dapat dilihat pada tabel 2.5:

Tabel 2.3 Sifat fisika asam sulfat

Bentuk	Cairan
Warna	Tidak berwarna
Bau	Tidak berbau
Nilai pH pada 49 g/l H <sub>2</sub> O (25°C)	0,3
Kekentalan dinamik (20°C)	26,9 mPa s
Titik lebur	~ -15°C
Titik didih	~ 310°C
Suhu penyalaaan	Tidak dapat diaplikasikan
Titik nyala	Tidak dapat diaplikasikan
Batas ledakan	Tidak dapat diaplikasikan
Tekanan uap (20°C)	~ 0,0001 hPa
Densitas uap relative	~ 3,4
Densitas (20°C)	1,84 g/cm <sup>3</sup>
Kelarutan dalam air (20°C)	Dapat larut
Penguraian termal	~338°C

Sumber : Merck, 2004

Sebelum *fly ash* batubara digunakan dalam proses adsorpsi, *fly ash* batubara terlebih dahulu diaktivasi menggunakan asam sulfat. Dalam penelitian ini asam sulfat digunakan sebagai aktivator karena mempunyai jumlah ion  $H^+$  yang lebih banyak dari asam-asam lainnya, serta mempunyai sifat higroskopis yang dapat menyerap kandungan air yang terdapat pada *fly ash*. Selain itu, tujuan aktivasi ini adalah untuk menukar kation yang ada dalam *fly ash* menjadi  $H^+$  dan melepaskan ion Al, Fe, Mg dan pengotor-pengotor lainnya (mengandung unsur alkali/alkali tanah) dari kisi-kisi struktur.

Selama proses aktivasi, pengotor yang terdapat pada permukaan adsorben dan menutupi situs aktif dari adsorben dapat dihilangkan dengan cara dilarutkan dengan asam sulfat sehingga rangkaian struktur adsorben mempunyai area yang lebih luas, serta situs aktifnya juga mengalami peningkatan karena situs yang tersembunyi menjadi terbuka dan kemungkinan juga akan memunculkan situs aktif baru akibat reaksi pelarutan. Peningkatan luas permukaan spesifik pori dan situs aktifnya dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya (Widiharti, 2008).

## 2.5 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa kesetimbangan kimia. Oleh Karena itu, berkurangnya kadar zat yang teradsorpsi (adsorbat) oleh material pengadsorpsi (adsorben) terjadi secara kesetimbangan, sehingga secara teoritis tidak dapat terjadi penyerapan sempurna adsorbat oleh adsorben. Bahan yang diserap disebut adsorbat atau solute, sedangkan bahan penyerapnya disebut adsorben. Meterial-material yang dapat digunakan sebagai adsorben diantaranya adalah asam humat, tanah diatomae, bentonit, biomasa mikroorganism air serta adsorben-adsorben yang umum dipakai seperti karbon aktif, alumina, silika gel dan zeolit.

Adsorpsi yang terjadi pada permukaan zat padat disebabkan oleh adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Energi potensial permukaan dari molekul turun dengan mendekatnya molekul ke permukaan. Molekul teradsorpsi



dapat dianggap membentuk fasa dua dimensi dan biasanya terkonsentrasi pada permukaan atau antar muka (Alberty dan Daniels, 1983).

Menurut Atkins (1997) adsorpsi dibagi menjadi dua, yaitu :

#### 1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya interaksi van der Waals antara adsorbat dan substrat dengan jarak jauh, lemah, dan energi yang dilepaskan jika partikel teradsorpsi secara fisik mempunyai orde besaran yang sama dengan entalpi kondensasi. Entalpi yang kecil ini tidak cukup untuk menghasilkan pemutusan ikatan, sehingga molekul yang terfisisorpsi tetap mempertahankan identitasnya walaupun molekul itu dapat terdistorsi dengan adanya permukaan. Adsorpsi fisika bersifat reversibel, umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok. Penerapannya antara lain pada penentuan luas permukaan, analisis kromatografi, pemurnian gas dan pertukaran ion. Panas adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika yaitu kurang dari 20,92 kJ/mol (Adamson, 1990).

#### 2. Adsorpsi kimia

Dalam adsorpsi kimia, proses adsorpsi terjadi dengan adanya pembentukan ikatan kimia (kovalen) dengan sifat yang spesifik karena tergantung pada jenis adsorben dan adsorbatnya. Adsorpsi kimia bersifat ireversibel, berlangsung pada temperatur tinggi dan tergantung pada energi aktivasi. Karena terjadi pemutusan ikatan, maka panas adsorpsinya mempunyai kisaran yang sama seperti reaksi kimia, yaitu di atas 20,92 kJ/mol. Penerapannya antara lain pada proses korosi dan katalisis heterogen (Adamson, 1990).

Kecepatan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, 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 antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan.

## 3. Suhu

Adsorpsi akan lebih cepat berlangsung pada suhu tinggi, namun demikian 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

pH mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi. pH optimum dari suatu proses adsorpsi ditetapkan melalui uji laboratorium.

## 6. Waktu kontak

Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan ion logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam.

(Bernasconi, 1995).

## 2.6 Desorpsi

Desorpsi adalah suatu proses dimana komponen tertentu dari suatu zat dilepaskan dari suatu adsorben setelah mengalami proses adsorpsi. Desorpsi dapat terjadi melalui beberapa cara, yaitu desorpsi dengan gas inert, desorpsi dengan pemanasan, dan desorpsi akibat penurunan tekanan. Metode yang paling umum digunakan adalah dengan cara pemanasan. *Fly ash* yang telah digunakan untuk adsorpsi, kemudian direaksikan dengan desorben. Desorben yang umum digunakan adalah air. Campuran *fly ash* air kemudian dipanaskan pada suhu 65°C (Alberty dan Daniels, 1983).

## 2.7 Passive Sampler

Metode yang biasa digunakan untuk mendeteksi gas  $\text{NO}_2$  adalah metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan metode analisis udara dengan cara memaksa udara untuk bergerak memasuki alat penyerap. Contoh metode aktif yaitu teknik impinger dan chemiluminescence. Teknik impinger adalah teknik penyerapan gas berdasarkan kemampuan gas pencemar terabsorpsi dengan larutan pereaksi spesifik (larutan absorben) dengan menggunakan alat midget impinger, sedangkan teknik chemiluminescent adalah metode analisis gas yang bergantung pada pengukuran cahaya yang dihasilkan. Sedangkan metode pasif merupakan metode analisis udara dengan cara membiarkan udara untuk bergerak memasuki alat penyerap dengan sendirinya (Korenaga, 1999).

Passive atau difusif sampler diketahui sebagai metode analisis termurah, sederhana, dan mudah dioperasikan untuk keperluan monitoring kualitas udara dan dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang level rata-rata polutan pada sebuah lokasi jika dibandingkan dengan metode aktif (Krochmal and Kalina, 1997). Passive sampler juga reproduksibel dan memberikan respon yang linier terhadap keberadaan  $\text{NO}_2$  serta waktu sampling yang singkat dengan menggunakan reagen Griess Saltzman dan kertas saring sebagai media penyerap (Cadoff and Hedgeson, 1983).

Peralatan passive sampler dapat dibuat sendiri yang pada umumnya terbuat dari tabung plastik atau gelas yang transparan, terbuka atau tertutupi oleh membran pada salah satu ujungnya dan suatu media penangkap/penyerap tertentu yang terletak pada ujung lainnya atau mengisi penuh keseluruhan tabung. Sampler ini menangkap polutan selama waktu tertentu (hari atau minggu) dan setelah selesai dibawa ke laboratorium untuk dianalisis dengan metode analisis standar. Sampler jenis ini sudah banyak digunakan sebagai alat penilai ruang kesehatan (*occupational health assessment*) dan personal monitor (Dore and McGinlay, 1997). Teori tentang pergerakan gas dalam difusif sampler pertama kali dikemukakan oleh Palmes *et. al.*, (1976).

Secara prinsip dengan metode ini, konsentrasi  $\text{NO}_2$  akan terserap pada passive sampler mengikuti Hukum Fick, Hukum Henry dan teori penyerapan gas. Dasar dari metode ini adalah adanya proses penyerapan bahan polutan (gas) menggunakan *coefficient mass transfer* (koefisien pemindahan masa)  $K_{OG}$ . *Mass flux* (aliran masa) yang dipindahkan melalui difusi molekuler dihitung dengan menggunakan Hukum Henry sehingga diperoleh hubungan antara aliran masa yang terserap, koefisien pemindahan masa, luas permukaan passive sampler, dan suhu yang dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$M = K_{OG} \times A \times T \times (1/RT) \times f_{\text{gas}} \times 10^{-9}$$

dimana:  $M$  = aliran massa yang terserap

$K_{OG}$  = koefisien pemindahan masa

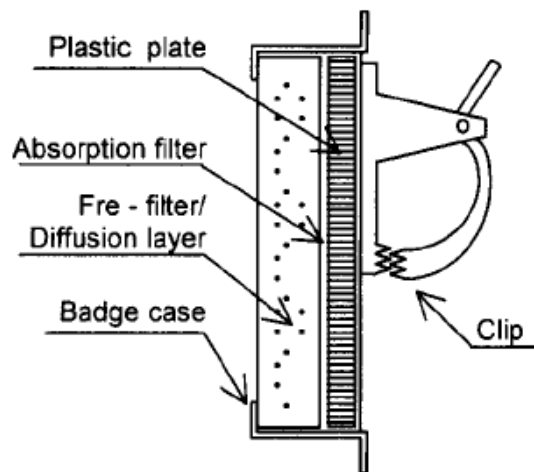
$T$  = temperature

$R$  = konstanta gas ideal

$f_{\text{gas}}$  = konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang terserap

(Susanto dan Prayudi, 2000).

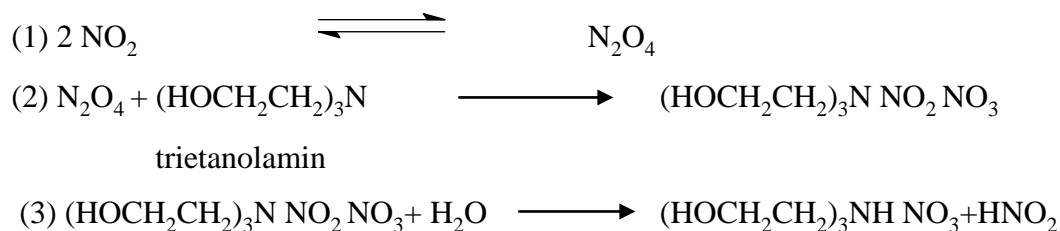
Salah satu jenis passive sampler yang telah dikembangkan untuk pengukuran kadar  $\text{NO}_2$  adalah jenis Yanagasiwa. Jenis ini mempunyai lapisan difusi yang melindungi filter penyerap sebelum terjadi proses penyerapan gas  $\text{NO}_2$ . Skema passive sampler jenis Yanagizawa ini ditunjukkan pada gambar berikut:



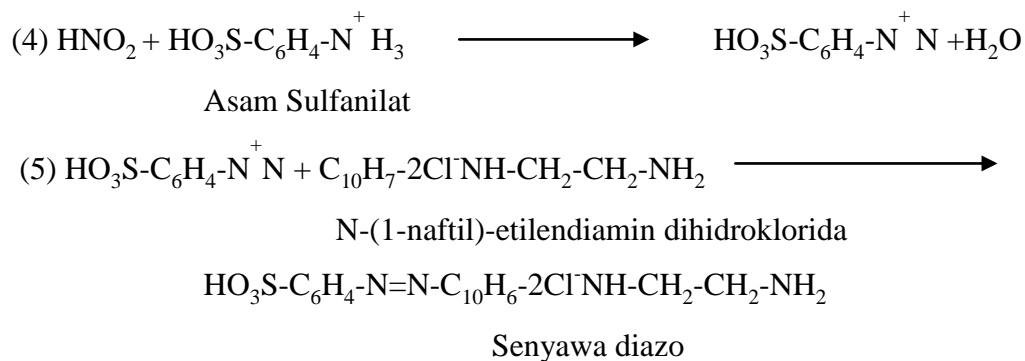
Gambar 2.3 Passive sampler jenis Yanagizawa (Susanto dan Prayudi, 2000)

Passive sampler ini secara umum dibagi dalam dua bagian, yaitu *diffusion zone* (bagian difusi) dan *absorbent zone* (bagian penyerapan). Bagian difusi ini terdiri dari lapisan-lapisan bahan terbuat dari *polytetrafluorethylene*. Lapisan ini digunakan untuk melindungi bagian penyerapan terhadap kecepatan angin yang dapat mempengaruhi proses reaksi maupun penyerapan gas NO<sub>2</sub> ke dalam lapisan penyerap. Sedangkan bagian penyerapan terbuat dari filter selulosa yang berfungsi sebagai bahan penyerap gas NO<sub>2</sub>.

Menurut Gold (1977), mekanisme reaksi yang terjadi antara triethanolamine dengan gas NO<sub>2</sub> melalui pembentukan senyawa antara nitroso ammonium nitrate sebagai berikut:

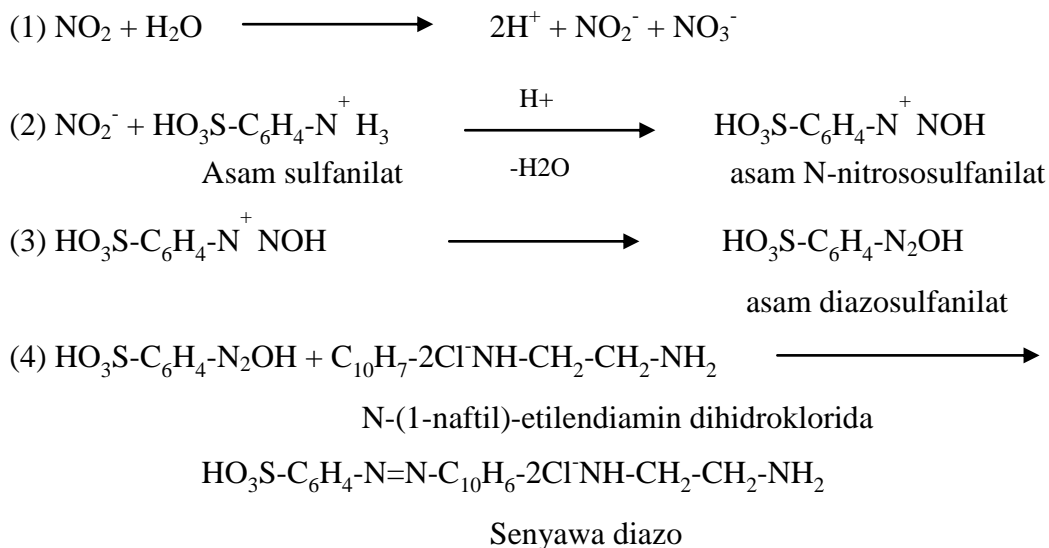


Sedangkan dalam metode passive sampler ini pada saat analisa sampel terjadi reaksi pembentukan senyawa diazo berdasarkan mekanisme reaksi Griess sebagai berikut:



Senyawa diazo yang terbentuk merupakan senyawa berwarna oranye kemerah-merahan yang dapat dianalisa menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) 540 nm (Susanto, 2004).

Sedangkan menurut Tanaka (2002), mekanisme reaksi antara gas  $\text{NO}_2$  dengan reagen Griess Saltzman dapat dituliskan sebagai berikut :



Reagen Griess Saltzman tersebut jika bereaksi dengan  $\text{NO}_2$  akan mengalami perubahan warna dari tidak berwarna menjadi merah muda, akan berubah menjadi merah dengan meningkatnya konsentrasi gas  $\text{NO}_2$  dan dapat diukur intensitasnya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) 540 nm.

## 2.8 Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik.  $\text{NaOH}$  terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air.  $\text{NaOH}$  membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air.  $\text{NaOH}$  digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, sabun, dan deterjen.  $\text{NaOH}$  adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

$\text{NaOH}$  murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%.  $\text{NaOH}$  bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas.  $\text{NaOH}$  sangat larut dalam air dan akan

melepaskan panas ketika dilarutkan. NaOH juga larut dalam etanol dan metanol walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. NaOH tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non polar lainnya. Larutan NaOH akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas. Untuk lebih jelasnya sifat fisika NaOH dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.4 Sifat fisika natrium hidroksida

Bentuk	Padat
Warna	Putih
Sifat	Higroskopis
Massa molar	39,9971 g/mol
Kepadatan	2,1 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	318°C, 591 K
Titik didih	1390°C, 1663 K
Kelarutan dalam air	111g/100 ml

Sumber : Merck, 2004

## 2.9 Spektrofotometri UV-Vis

### 2.9.1 Spektroskopi

Spektroskopi merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara materi dengan radiasi gelombang elektromagnetik. Fenomena yang terjadi akibat dari interaksi ini adalah hamburan (*scattering*), absorpsi (*absorption*) dan emisi (*emision*) radiasi gelombang elektromagnetik oleh materi yang diamati. Fenomena absorpsi radiasi elektromagnetik terjadi pada SSA, Spektrofotometri ultraviolet-visible, dan inframerah yang melibatkan atom, ion, atau molekul (Mulja,1995).

Spektrofotometri ultraviolet dan visibel didasarkan pada absorpsi radiasi elektromagnetik (cahaya) oleh suatu molekul, dimana energi cahaya yang terserap selanjutnya digunakan untuk transisi elektron. Pada spektrofotometri ultraviolet yang diserap adalah cahaya ultra ungu (*ultraviolet* = UV), dengan cara ini larutan tak berwarna dapat diukur. Metode spektrofotometri sinar tampak (*visible*) didasarkan

pada penyerapan sinar tampak oleh suatu larutan berwarna. Hanya larutan senyawa berwarna yang dapat ditentukan dengan metode ini. Akan tetapi untuk larutan senyawa yang tidak berwarna dapat dibuat berwarna dengan mereaksikannya dengan pereaksi yang menghasilkan senyawa berwarna (Hendayana S, 1994).

Absorpsi cahaya ultraviolet atau cahaya tampak mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektro-elektron dari orbital dasar yang memiliki energi rendah ke orbital tereksitasi yang memiliki energi lebih tinggi. Energi yang terserap selanjutnya terbuang sebagai kalor, sebagai cahaya atau tersalurkan dalam reaksi kimia. Kuantitas energi yang terserap oleh suatu senyawa berbanding terbalik dengan panjang gelombang radiasi :  $E = hv = \frac{hc}{\lambda}$

dimana : E = energi yang diabsorpsi, dalam erg

h = tetapan Plack,  $6,6 \times 10^{-27}$  erg.det

v = frekuensi, dalam Hz

c = kecepatan cahaya,  $3 \times 10^{10}$  cm/det

$\lambda$  = panjang gelombang

### 2.9.2 Hukum Lambert-Beer

Hukum Lambert-Beer merupakan landasan hukum dasar untuk analisa suatu atom maupun molekul secara spektroskopi, yang dikemukakan oleh Lambert (1760) dan Beer (1852). Hukum Lambert-Beer mengemukakan tentang serapan radiasi oleh spesies kimia secara kuantitatif.

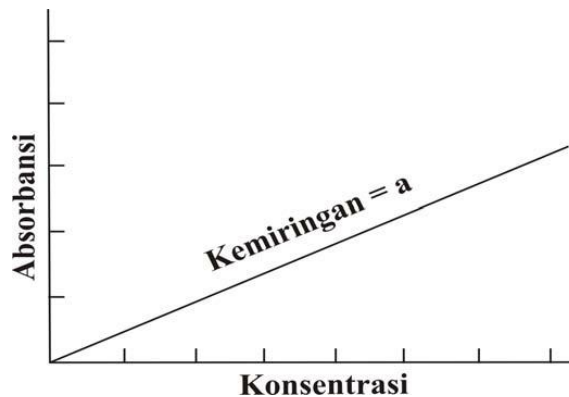
Hukum Lambert-Beer digunakan untuk radiasi monokromatik, pada Hukum Lambert-Beer, jumlah radiasi yang diserap sebanding dengan ketebalan sel (*b*), konsentrasi analit (*c*), dan koefisien absorptivitas molekuler (*a*) dari suatu spesi (senyawa) pada suatu panjang gelombang, sehingga dirumuskan:

$$A = abc$$



Jika konsentrasi (c) diekspresikan sebagai molaritas (mol/L) dan ketebalan sel (b) dinyatakan dalam centimeter (cm), koefisien absorptivitas molekuler (a) disebut koefisien ekstinsi molar ( $\epsilon$ ) dan memiliki satuan L/mol cm.

Jika suatu sistem mengikuti hukum Beer, maka grafik antara absorban terhadap konsentrasi akan menghasilkan garis lurus melalui (0,0). Jika hukum Beer benar-benar diikuti maka grafik tersebut dapat disebut kurva kalibrasi.



Gambar 2.4 Kurva Kalibrasi (Khopkar, 2007)

Ketika suatu berkas sinar polikromatis (warna putih) melewati suatu medium homogen, sebagian dari cahaya yang datang ada yang diabsorpsi, sebagian dipantulkan, dan sisanya ditransmisikan dengan efek intensitas murni sebesar:

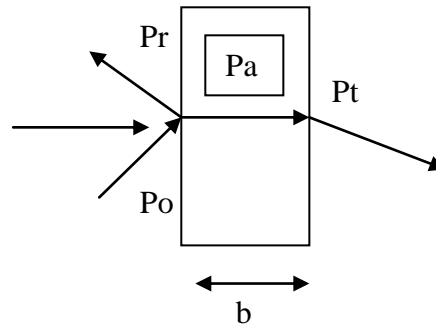
$$P_o = P_a + P_t + P_r$$

dimana,  $P_o$  = intensitas cahaya yang masuk pada sampel

$P_a$  = intensitas cahaya yang diabsorpsi

$P_t$  = intensitas cahaya yang ditransmisikan

$P_r$  = intensitas cahaya yang dipantulkan



Gambar 2.5 Fenomena interaksi gelombang cahaya dengan spesies kimia  
(Hendayana, 1994)

Namun, pada prakteknya nilai  $Pr$  sangat kecil ( $\approx 4\%$ ), sehingga untuk tujuan praktis :

$$Po = Pa + Pt$$

(Weiss, G. S., 1993).

Hukum Lambert-Beer radiasi monokromatik dapat ditinjau sebagai berikut :

1. Jika suatu berkas radiasi monokromatik yang sejajar jatuh pada medium pengabsorpsi pada suatu sudut tegak lurus setiap lapisan yang sangat kecil akan menurunkan intensitas berkas,
2. Jika suatu cahaya monokromatis melewati (mengenai) suatu medium yang transparan, laju pengurangan intensitas dengan ketebalan medium sebanding dengan intensitas cahaya,
3. Intensitas berkas sinar monokromatis berkurang secara eksponensial bila konsentrasi pengabsorpsi bertambah.

(Khopkar, S.M., 1990).

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam menggunakan Hukum Lambert-Beer adalah:

1. Cahaya (radiasi) yang masuk harus monokromatis,
2. Larutan yang digunakan tidak terlalu pekat,
3. Larutan tidak memancarkan pendar-flour atau suspensi,
4. Selama pengukuran tidak terjadi interaksi antar komponen penyusun larutan.

### 2.9.3 Penyimpangan Hukum Lambert-Beer

Menurut Hukum Lambert-Beer suatu plot absorbansi vs konsentrasi molar berupa garis lurus dengan arah kemiringan  $\epsilon b$ . Namun seringkali pengukuran terhadap sistem kimia riil menghasilkan plot hukum Beer yang tidak linear sepanjang rentang konsentrasi yang diinginkan. Kelengkungan semacam ini menyatakan bahwa  $\epsilon$  bukan suatu tetapan yang tak bergantung pada konsentrasi untuk sistem-sistem semacam ini. Nilai  $\epsilon$  diharapkan bergantung pada sifat dasar spesies pengabsorpsi dalam larutan dan pada panjang gelombang radiasi (Underwood, 2002).

Jika sinar yang digunakan polikromatis, maka pita radiasi makin melebar sehingga kemungkinan tidak akan diperoleh garis lurus. Penyimpangan juga jelas teramati pada konsentrasi lebih besar. Pada kurva absorban terhadap konsentrasi, kurva akan mulai melengkung pada daerah konsentrasi yang lebih tinggi. Bila kurva kalibrasi yang diperoleh pada berbagai konsentrasi linier, maka hukum Beer berlaku. Penyimpangan negatif menyebabkan kesalahan relatif yang makin membesar dari konsentrasi sebenarnya (Khopkar, 1990).

### 2.9.4 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah suatu teknik analisis spektroskopi yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik *ultraviolet* dekat (panjang gelombang antara 190-380 nm), dan daerah sinar tampak (panjang gelombang antara 380-780 nm) dengan memakai instrument 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 analisis kualitatif (Mulja, 1995).

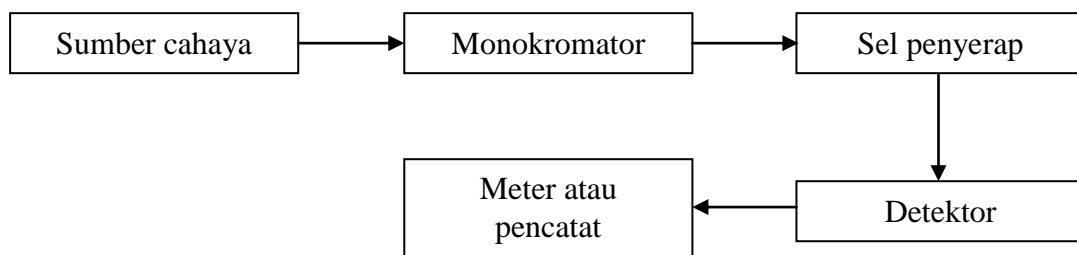
Prinsip dasar spektrofotometri UV-Vis adalah jika suatu materi diradiasi dengan gelombang elektromagnetik, maka radiasi itu sebagian akan diserap, dan sebagian lagi diteruskan. Penyerapan radiasi gelombang elektromagnetik pada cahaya

*visible* atau *ultraviolet* oleh suatu molekul materi, menyebabkan terjadinya transisi eksitasi elektron tersebut dari tingkat energi dasar (*ground state*) ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited stated*) (Hendayana, 1994).

Instrumen yang digunakan untuk mempelajari serapan atau emisi radiasi elektromagnetik sebagai fungsi dari panjang gelombang disebut spektrometer atau spektrofotometer. Komponen-komponen pokok dari spektrofotometer meliputi :

1. Sumber tenaga radiasi yang stabil,
2. Sistem yang terdiri atas lensa-lensa, cermin, celah,
3. Monokromator, untuk mengubah radiasi menjadi komponen-komponen panjang gelombang tunggal,
4. Tempat cuplikan yang transparan, dan
5. Detektor radiasi yang dihubungkan dengan sistem meter atau pencatat.

(Sastrohamidjojo, 1996).



Gambar 2.6 Diagram spektrofotometer (Khopkar, 2007)

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2012 sampai dengan bulan Agustus 2012 di Laboratorium Kimia Analitik dan Kimia Organik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

### **3.2 Alat dan Bahan**

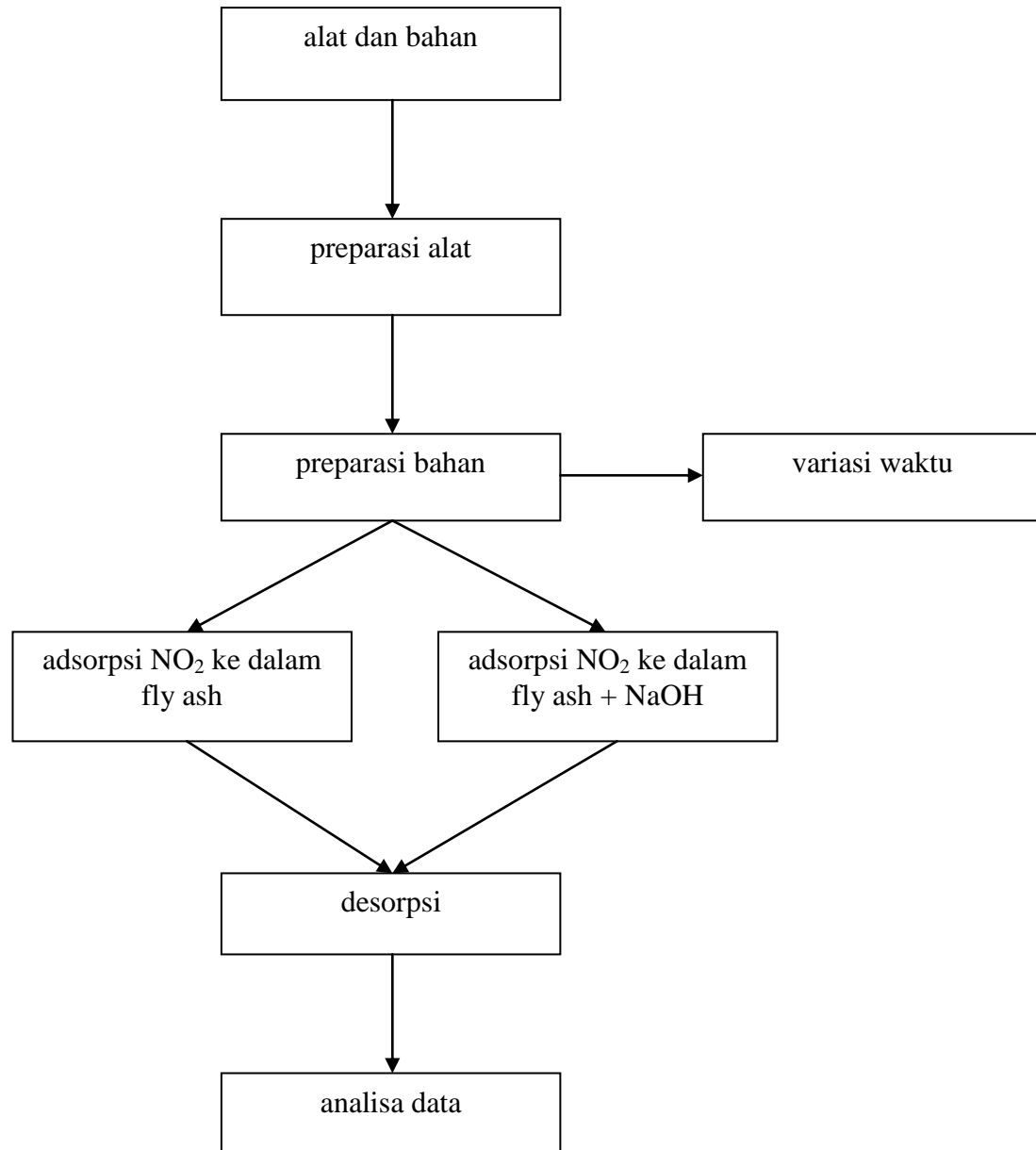
#### **3.2.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang dan alu, ayakan 100 mesh, beaker glass, gelas ukur, oven, neraca analitis, labu ukur, stirrer magnetik, penangas, ball pipet, pipet mohr, pipet volume, pipet tetes, botol semprot, kertas saring, dan spektrofotometer UV-Vis.

#### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* dari PLTU Paiton, larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) Merck KGaA, larutan asam nitrat ( $HNO_3$ ) pekat Merck KGaA, serbuk tembaga (Cu) Merck KGaA, asam sulfanilat ( $C_6H_7NO_3S$ ) Riedel de Haen, asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) pekat Merck KGaA, N-(1-naftil)-etilendiamin dihidroklorida (ND) Riedel de Haen, natrium hidroksida (NaOH) Merck KGaA, natrium nitrat ( $NaNO_2$ ) Merck KGaA dan aquades.

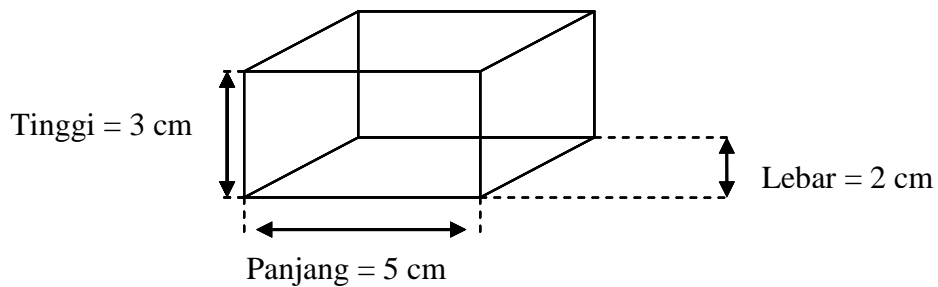
### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.4 Desain Alat

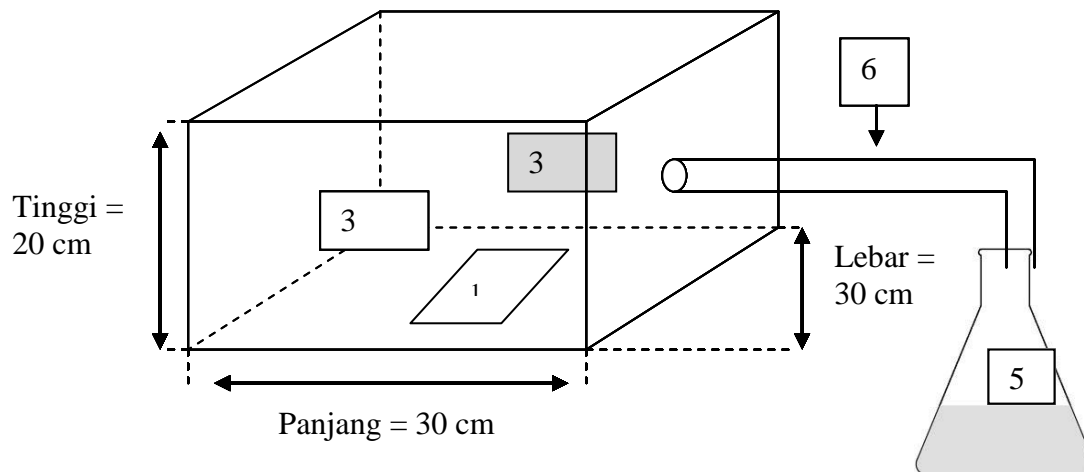
#### 3.4.1 Alat passive sampler



Gambar 3.2 Alat passive sampler

Alat passive sampler ini dibuat dari kaca dengan ukuran 5 cm x 2 cm x 3 cm.

#### 3.4.2 Pengambilan sampel NO<sub>2</sub>



Keterangan gambar :

1. Alat passive sampler diletakkan di sisi bawah kotak kaca
2. Alat passive sampler diletakkan di sisi depan kotak kaca
3. Alat passive sampler diletakkan di sisi belakang kotak kaca
4. Pembuatan gas NO<sub>2</sub>
5. Selang

Gambar 3.3 Desain alat proses pengambilan sampel gas NO<sub>2</sub>

Pengambilan sampel gas  $\text{NO}_2$  dilakukan di dalam kotak yang terbuat dari kaca seperti gambar 3.3 di atas. Alat passive sampler yang berisi *fly ash* maupun *fly ash* ditambah pereaksi dimasukkan ke dalam kotak tersebut yang telah berisi gas  $\text{NO}_2$  dengan variasi konsentrasi yang telah ditentukan dengan variasi waktu absorp.

### 3.5 Prosedur Kerja

#### 3.5.1 Pencucian abu terbang (*fly ash*) batubara

*Fly ash* yang diambil dari PLTU Paiton, dicuci dengan aquades untuk menghilangkan kotoran-kotorannya, kemudian dikeringkan menggunakan sinar matahari. Padatan yang dihasilkan dihaluskan menggunakan lumpang dan alu. Selanjutnya diayak dengan ayakan 100 mesh.

#### 3.5.2 Aktivasi dengan penambahan larutan $\text{H}_2\text{SO}_4$

Sebanyak 100 ml larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi masing-masing 1%, 2%, dan 3% ditambahkan ke dalam 100 gram *fly ash* dalam gelas kimia. Setelah itu direfluks pada suhu  $60^\circ\text{C}$  dengan variasi waktu 60 menit dan 120 menit dengan bantuan stirrer magnetik. Kemudian *fly ash* disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades sampai beberapa kali untuk menurunkan keasamannya (sampai netral). *Fly ash* dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 1 jam.

#### 3.5.3 Pembuatan gas $\text{NO}_2$

Gas  $\text{NO}_2$  dibuat dengan mereaksikan larutan asam nitrat pekat ( $\text{HNO}_3$ ) dengan serbuk tembaga (Cu). Untuk mendapatkan variasi konsentrasi gas  $\text{NO}_2$ , massa serbuk Cu dibuat bervariasi antara lain 0,5 gr, 0,6 gr, dan 0,7 gr. Cu bertindak sebagai pereaksi pembatas, oleh karena itu yang perlu diperhatikan adalah massa Cu.



### 3.5.4 Pembuatan reagen Saltzman

Sebanyak 5 gram asam sulfanilat dilarutkan ke dalam labu ukur yang telah berisi 700 ml aquades, kemudian ditambahkan 50 ml asam fosfat pekat ke dalam larutan tersebut dan mengocoknya hingga sempurna. Selanjutnya ditambahkan 50 ml larutan N-(1-naftil)-etilendiamin dihidroklorida 0,1% (w/w) dan diencerkan sampai 1000 ml

### 3.5.5 Variasi waktu penyerapan *fly ash*

*Fly ash* dimasukkan ke dalam filter penyerap. Penyerapan dilakukan dengan variasi waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Setelah itu dilakukan desorpsi dengan penambahan 30 ml aquades dan dipanaskan pada suhu 60°C. Kemudian didinginkan dan disaring. Filtrat yang dihasilkan diambil 20 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml kemudian ditambahkan dengan larutan Saltzman sampai tanda batas. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm.

### 3.5.6 Variasi waktu penyerapan *fly ash* dan pereaksi

*Fly ash* dan pereaksi (NaOH) dimasukkan ke dalam filter penyerap. Penyerapan dilakukan dengan variasi waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Setelah itu dilakukan desorpsi dengan penambahan 30 ml aquades dan dipanaskan pada suhu 60°C. Kemudian didinginkan dan disaring. Filtrat yang dihasilkan diambil 20 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml kemudian ditambahkan dengan larutan Saltzman sampai tanda batas. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm.

### 3.5.7 Uji kinerja penyerap

*Fly ash* dimasukkan ke dalam filter penyerap. Penyerapan dilakukan pada kondisi optimum. Setelah itu dilakukan desorpsi dengan penambahan 30 ml aquades dan dipanaskan pada suhu 60°C. Kemudian didinginkan dan disaring. Filtrat yang dihasilkan diambil 20 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml kemudian ditambahkan dengan larutan Saltzman sampai tanda batas. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm.

### 3.5.8 Uji kinerja penyerap dan pereaksi

*Fly ash* dan pereaksi (NaOH) dimasukkan ke dalam filter penyerap. Penyerapan dilakukan pada kondisi optimum. Setelah itu dilakukan desorpsi dengan penambahan 30 ml aquades dan dipanaskan pada suhu 60°C. Kemudian didinginkan dan disaring. Filtrat yang dihasilkan diambil 20 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml kemudian ditambahkan dengan larutan Saltzman sampai tanda batas. Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm.

### 3.5.9 Pembuatan larutan standar NO<sub>2</sub>

Larutan standar NO<sub>2</sub> 25 ppm diambil 10 ml, dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan standar NO<sub>2</sub> 5 ppm diambil 0 ml, 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml, dan 10 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml kemudian diencerkan dengan aquades sampai tanda batas, sehingga diperoleh larutan standar NO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0 ppm ; 0,4 ppm ; 0,8 ppm ; 1,2 ppm ; 1,6 ppm dan 2 ppm. Kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dan dibuat kurva kalibrasinya.

### 3.5.10 Analisis data

#### a. Penentuan konsentrasi NO<sub>2</sub> menggunakan spektrofotometer UV-Vis

Dari kurva kalibrasi yang dihasilkan pada analisa sampel dihasilkan persamaan yaitu  $y = mx + c$ . Persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi NO<sub>2</sub>.

$$\text{Konsentrasi NO}_2 (x) = \frac{y - c}{m}$$

#### b. Uji t

Uji- t adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan berpasangan yang bertujuan untuk membandingkan hasil dari 2 macam perlakuan. Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah salah satu individu (objek penelitian) dikenai 2 macam perlakuan yang berbeda. Walaupun menggunakan individu yang sama, tetapi tetap diperoleh 2 macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama dan data dari perlakuan kedua. Perlakuan pertama berupa kontrol, yaitu tidak memberikan perlakuan sama sekali terhadap objek penelitian (Kurniawan, 2008).

Dalam penelitian ini akan dilakukan uji- t untuk 2 macam perlakuan yang berbeda, yaitu perlakuan perlakuan pertama hanya adsorben saja yang terdapat pada alat passive sampler, sedangkan perlakuan kedua di dalam alat passive sampler terdapat adsorben dan pereaksi.

Uji- t dapat diperoleh dengan menghitung nilai x untuk respon metode pertama dan nilai y untuk respon metode kedua. Nilai t-eksperimen diperoleh melalui persamaan berikut :

$$S^2 = \frac{[(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2]}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

$$t_{\text{eks}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

dimana  $\bar{X}_1$  = mean data metode pertama

$\bar{X}_2$  = mean data metode kedua

$S_1$  = standar deviasi rata-rata metode pertama

$S_2$  = standar deviasi rata-rata metode kedua

$S$  = standar deviasi total

$n_1$  = jumlah pengulangan percobaan metode pertama

$n_2$  = jumlah pengulangan percobaan metode kedua

(Miller, J.C, dan Miller, J.N, 1991).

Jika nilai t-eksperimen lebih kecil dibandingkan dengan nilai t-tabel, maka secara statistik kedua metode tersebut tidak mempunyai perbedaan yang signifikan pada selang kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ) (Sudjana, 1996)

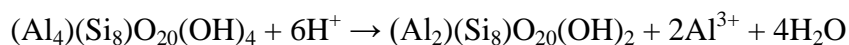
## BAB 4. PEMBAHASAN

### 4.1 Penelitian Awal

Limbah abu terbang (*fly ash*) batubara yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil pembakaran PLTU Paiton. Komponen utama dari *fly ash* ini adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Sisanya adalah karbon, kalsium, dan magnesium.

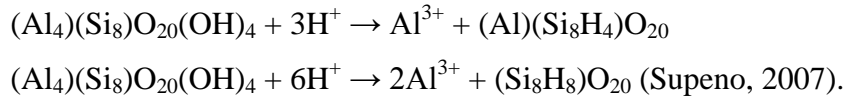
Sebelum *fly ash* digunakan sebagai adsorben, terlebih dahulu dilakukan aktivasi dengan menggunakan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Dalam penelitian ini asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) digunakan sebagai aktivator karena mempunyai jumlah ion  $\text{H}^+$  yang lebih banyak dari asam-asam yang lainnya, serta memiliki sifat higroskopis yang dapat menyerap kandungan air yang terdapat pada *fly ash*. Selain itu, tujuan dilakukan aktivasi ini adalah untuk menukar kation yang ada dalam *fly ash* menjadi  $\text{H}^+$  dan melepaskan ion Al, Fe, Mg, dan pengotor-pengotor lainnya (mengandung unsur alkali/ alkali tanah) dari kisi-kisi struktur.

Selama proses aktivasi, pengotor yang terdapat dalam permukaan adsorben dan menutupi sisi aktif dari adsorben dapat dihilangkan sehingga rangkaian struktur adsorben mempunyai area yang lebih luas, serta sisi aktifnya juga mengalami peningkatan karena sisi aktif yang tersembunyi menjadi terbuka. Peningkatan luas permukaan spesifik pori dan sisi aktifnya dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya (Widihati, 2008). Selain itu juga terjadi proses dealuminasi yaitu proses pelepasan Al dari *fly ash* menurut persamaan berikut:

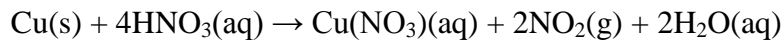


Pada kondisi di atas separuh dari Al berpindah dari struktur bersama-sama dengan gugus hidroksida. Atom-atom Al yang tersisa masih terkoordinasi dalam rangkaian tetrahedral dengan empat atom oksigen tersisa. Perubahan dari gugus

oktahedral menjadi tetrahedral membuat kisi kristal bermuatan negatif pada permukaan kristal, sehingga dapat dinetralisir oleh ion hidrogen. Pada proses aktivasi selanjutnya terjadi proses pelepasan yang lebih banyak lagi. Persamaan rekasinya sebagai berikut:

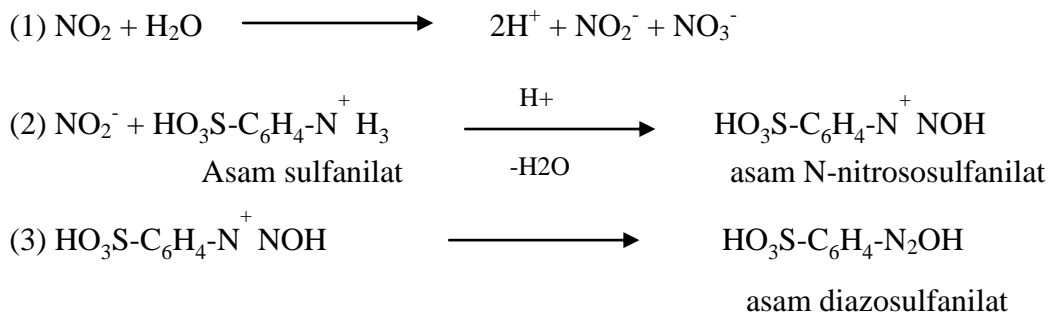


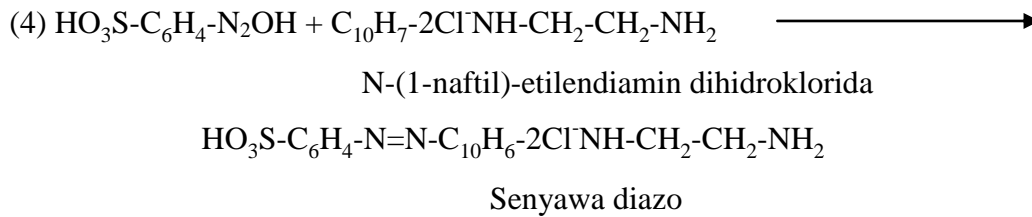
Setelah dilakukan proses aktivasi maka *fly ash* dapat digunakan sebagai adsorben untuk gas NO<sub>2</sub>. Pembuatan gas NO<sub>2</sub> ini dilakukan dengan mereaksikan larutan asam nitrat pekat (HNO<sub>3</sub>) dengan serbuk tembaga (Cu) berdasarkan persamaan reaksi berikut:



Reaksi tersebut tergolong reaksi eksoterm yaitu reaksi yang melepaskan energi. Energi yang dihasilkan pada reaksi pembentukan gas NO<sub>2</sub> ini menyebabkan temperatur pada labu meningkat. Selain itu reaksi pembentukan gas NO<sub>2</sub> ini menghasilkan tembaga nitrat yang merupakan endapan berwarna biru.

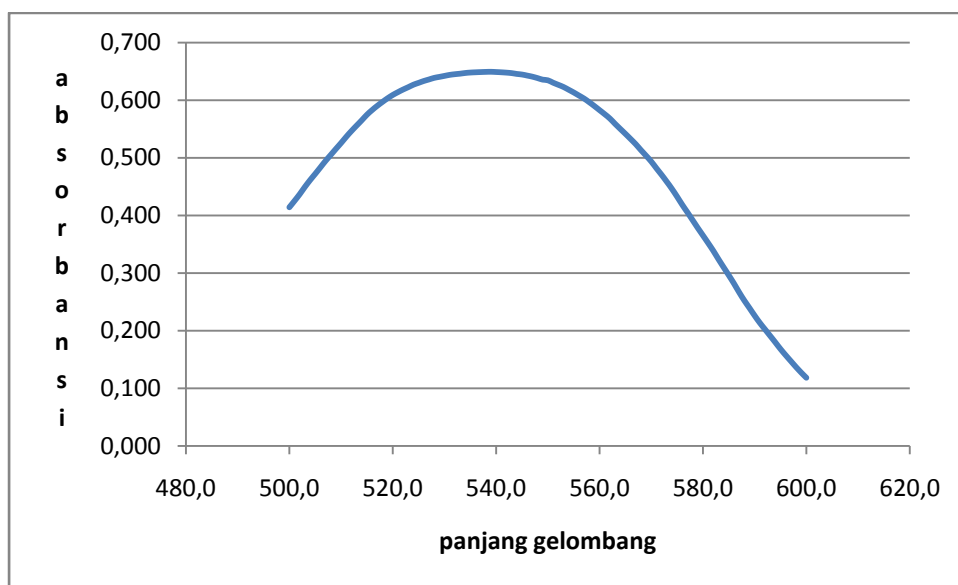
Gas NO<sub>2</sub> ini yang nantinya akan diserap oleh *fly ash* yang selanjutnya ditambahkan dengan reagen Griess Saltzman sebelum diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm. Reaksi yang terjadi antara NO<sub>2</sub> dengan reagen Griess Saltzman menurut Tanaka (2002) adalah sebagai berikut :





#### 4.2 Kurva Kalibrasi Pengukuran Gas NO<sub>2</sub>

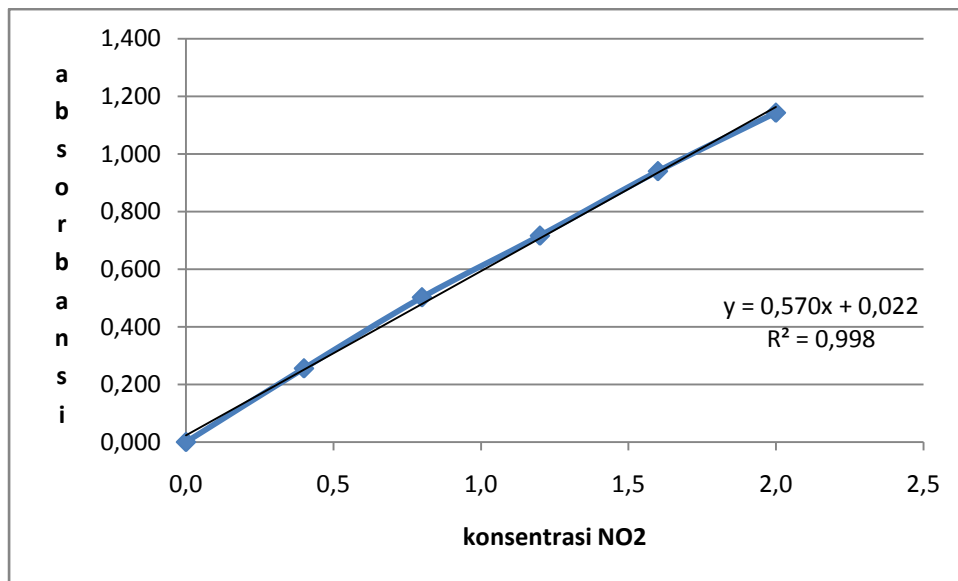
Kurva kalibrasi dibuat dengan membuat plot antara konsentrasi larutan NO<sub>2</sub> dengan absorbansi. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang maksimum yaitu 540 nm, data yang diperoleh tercantum pada lampiran A. Berikut adalah kurva hasil scanning panjang gelombang maksimum NO<sub>2</sub>.



Gambar 4.1 Hasil scanning panjang gelombang maksimum NO<sub>2</sub>

Kurva kalibrasi di bawah ini diperoleh dari pengukuran larutan standart NO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0,4 ppm, 0,8 ppm, 1,2 ppm, 1,6 ppm, dan 2,0 ppm. Diperoleh persamaan regresi  $y = 0,570x + 0,022$  dengan koefisien korelasi  $r = 99,9\%$ . Dari persamaan regresi tersebut dapat diketahui bahwa nilai slope kurva adalah tinggi yang

berarti sensitivitas metode ini cukup tinggi. Berikut adalah kurva kalibrasi pengukuran gas NO<sub>2</sub>.



Gambar 4.2 Kurva kalibrasi pengukuran gas NO<sub>2</sub>

### 4.3 Penentuan Kondisi Optimum

Penentuan kondisi optimum ini dilakukan melalui dua cara, yaitu yang pertama penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan pereaksi dan yang kedua penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan pereaksi. Pereaksi yang digunakan adalah NaOH.

Pengambilan sampel gas NO<sub>2</sub> dilakukan di dalam kotak yang terbuat dari kaca dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 20 cm. Alat passive sampler yang berisi *fly ash* maupun *fly ash* dengan penambahan pereaksi dimasukkan ke dalam kotak tersebut yang telah berisi gas NO<sub>2</sub>. Massa serbuk tembaga (Cu) yang digunakan sebesar 0,5 gram. Konsentrasi NO<sub>2</sub> yang dihasilkan cukup besar sehingga energi yang dihasilkan juga besar.





Gambar 4.3 Proses penyerapan gas NO<sub>2</sub>

Pada penentuan kondisi optimum ini dapat dilihat dari tiga kondisi, yaitu dari variasi konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, variasi waktu aktivasi, dan variasi waktu penyerapan.

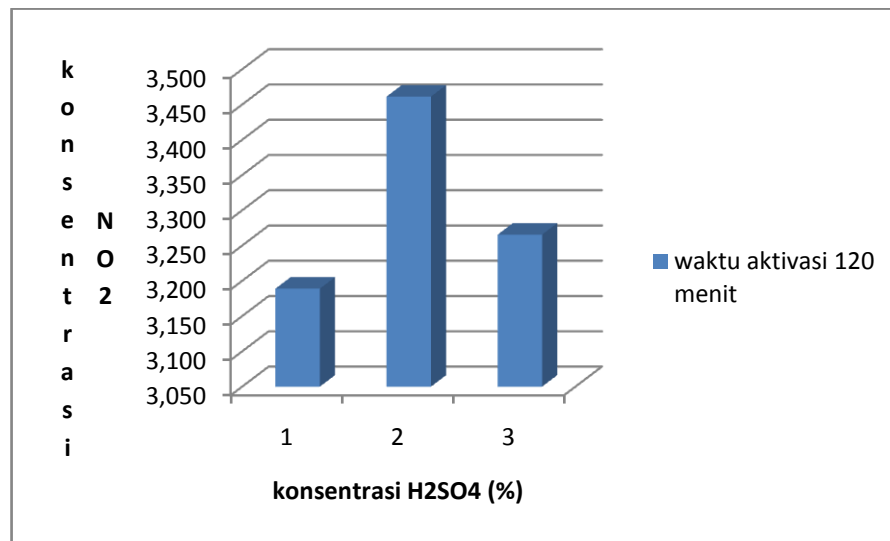
#### 4.3.1 Penentuan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> optimum

##### a. Kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH

Variasi konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dilakukan untuk melihat pada konsentrasi berapa *fly ash* dapat bekerja dengan baik. Fungsi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam proses aktivasi adalah untuk menghilangkan karbon yang tidak terbakar (*unburned carbon*) yang dapat bersifat sebagai pengotor dan mengganggu dalam proses adsorpsi. Dengan semakin berkurangnya karbon maka proses adsorpsi dapat lebih efektif. Jika kadar karbon terlalu tinggi maka situs aktif akan tertutup dengan karbon dan menurunkan kemampuan adsorpsi.

Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1%, 2%, dan 3%. Variasi konsentrasi yang digunakan tidak tinggi karena penambahan asam pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan terjadi kerusakan struktur yang akan diikuti oleh pemutusan gugus siloksan (Si-O-Si) menjadi silanol (-Si-OH), yang merupakan

gugus aktif untuk berinteraksi dengan ion logam. Dari data yang diperoleh didapatkan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH pada konsentrasi  $H_2SO_4$  2% yaitu sebesar 3,461 ppm. Berikut adalah kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi  $H_2SO_4$  yang digunakan.



Gambar 4.4 Kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit

Pada konsentrasi  $H_2SO_4$  1%, konsentrasi  $NO_2$  yang dapat diserap oleh *fly ash* sudah cukup besar yaitu 3,189 ppm, dan naik pada saat konsentrasi  $H_2SO_4$  2%. Namun pada konsentrasi  $H_2SO_4$  3%, konsentrasi  $NO_2$  yang dapat diserap oleh *fly ash* turun yaitu sebesar 3,266 ppm. Selisih kenaikan dan penurunan konsentrasi  $NO_2$  ini dapat terlihat jelas dari nilai konsentrasi yang dihasilkan.

Dari kondisi optimum yang diperoleh, peningkatan konsentrasi  $H_2SO_4$  akan meningkatkan pula daya adsorpsi *fly ash*. Tetapi terdapat batas konsentrasi yang paling optimal yang dapat digunakan. Pada konsentrasi rendah, jumlah adsorbat sedikit sehingga partikel adsorbat memiliki jarak yang cukup jauh dengan partikel-partikel adsorbennya. Pada jarak tertentu antara permukaan adsorben dan adsorbat, adsorben tidak mampu menarik adsorbat sehingga penyerapan tidak terjadi. Hal ini

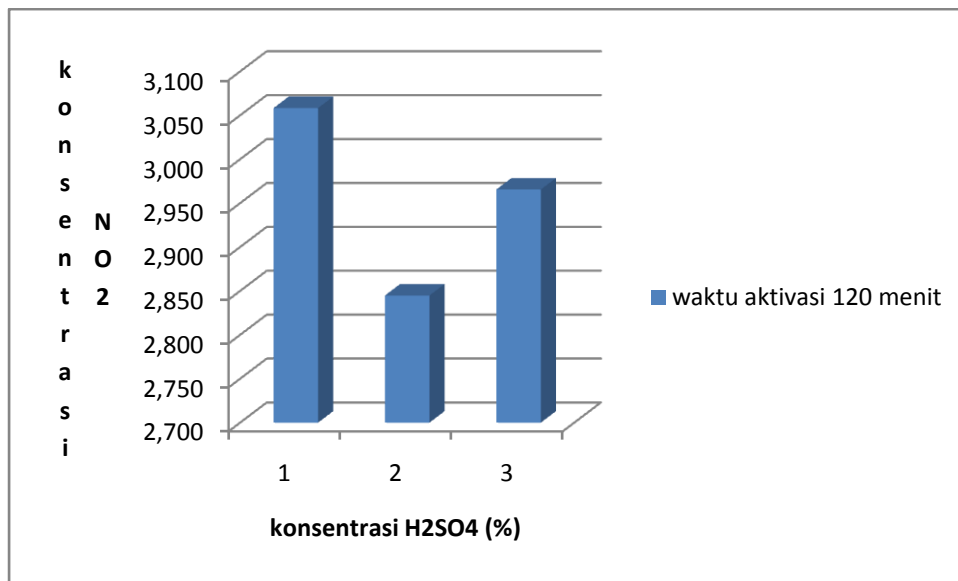
menyebabkan adsorbat yang diserap menjadi lebih sedikit. Untuk larutan  $H_2SO_4$  yang sedang yaitu 2%, pada volume larutan yang sama perbandingan adsorben dengan adsorbat menjadi lebih baik sehingga jarak antar partikel tersebut dapat dimanfaatkan untuk proses penyerapan yang lebih baik pula. Hal inilah yang menyebabkan pada konsentrasi  $H_2SO_4$  2% proses penyerapan menjadi lebih baik. Pada konsentrasi tinggi, jarak antar partikel semakin dekat sehingga adsorbat yang diserap pun juga semakin banyak yang ditandai dengan kapasitas penyerapan yang tinggi (Sukawati, 2008). Namun hal ini tidak berarti meningkatkan efisiensi penyisihan karena terlalu banyaknya partikel adsorbat yang ada dapat mengurangi ruang gerak penyerapan bagi adsorben sendiri. Selain itu dengan tingginya konsentrasi yang ada, maka tingkat kejenuhan telah terlewati sehingga kemampuan adsorben untuk menyerap gas  $NO_2$  sudah sangat kecil atau dengan kata lain kapasitas adsorbennya sudah terlampaui.

Aktivasi *fly ash* secara kimiawi menggunakan larutan asam mampu melarutkan pengotor yang dapat larut dalam asam yang berada di bagian luar kerangka kristal dan yang menutupi pori-pori permukaan *fly ash*. Pengaruh dari konsentrasi yang melebihi konsentrasi optimum selain dapat melarutkan unsur-unsur di sisi luar permukaan kristal juga dapat melarutkan sisi-sisi kristal sehingga menyebabkan luas permukaan *fly ash* berkurang dan menyebabkan pengurangan penyerapan daya adsorpsi *fly ash* itu sendiri.

#### b. Kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH

*Fly ash* yang sudah diaktivasi dengan  $H_2SO_4$ , pada saat proses penyerapan ditambahkan dengan NaOH. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH pada konsentrasi  $H_2SO_4$  1% yaitu sebesar 3,058 ppm. Pada konsentrasi  $H_2SO_4$  2%, konsentrasi  $NO_2$  yang dapat diserap oleh *fly ash* turun yaitu 2,845 ppm. Tetapi pada konsentrasi  $H_2SO_4$  3%, konsentrasi  $NO_2$  naik kembali sebesar 2,965 ppm. Hal ini berbanding terbalik dengan kondisi yang pertama, ini dapat disebabkan karena adanya pengaruh basa yaitu dari

penambahan NaOH. Berikut adalah kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi  $H_2SO_4$  yang digunakan.



Gambar 4.5 Kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit

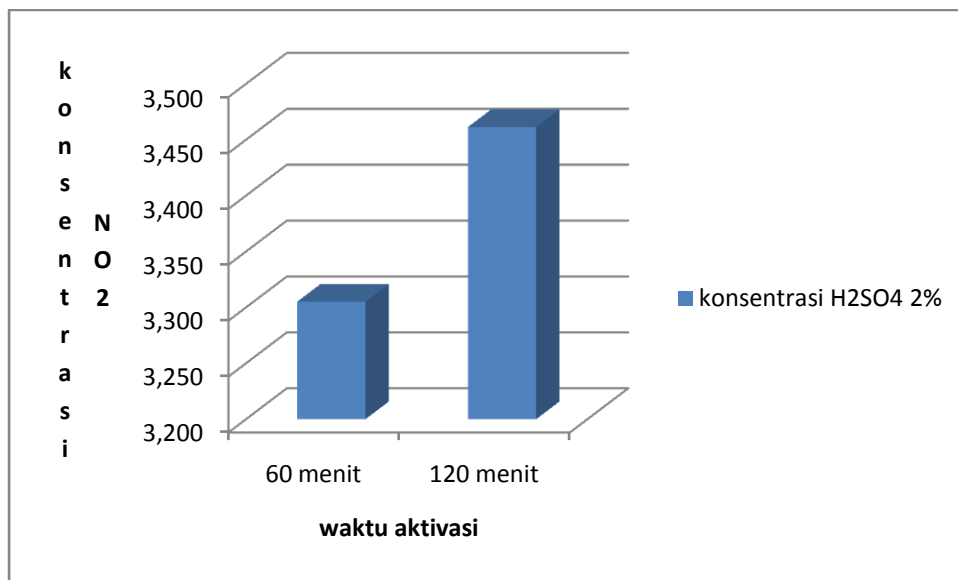
Dari kondisi optimum yang diperoleh dapat dilihat bahwa ketika *fly ash* diaktivasi dengan larutan asam terjadi penurunan kandungan logam yang dapat mempengaruhi kristanilitas *fly ash*. Menurunnya kandungan logam ini memberikan perubahan terhadap perbandingan silika dan alumina yang merupakan komponen terbesar dari *fly ash*. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi berjalan dengan baik tanpa merusak struktur mineral. Naiknya prosentase kandungan silika menunjukkan lepasnya ikatan silika yang sebelumnya berikatan dengan gugus lain, sehingga menyebabkan proses adsorpsi dapat berjalan dengan baik (Mufrodi, 2010). Tetapi setelah dilakukan penambahan NaOH yang merupakan basa pada saat proses penyerapan, proses adsorpsi tidak berjalan dengan baik. Hal ini disebabkan karena penambahan NaOH dapat menyebabkan menurunnya kristanilitas silika.

#### 4.3.2 Waktu aktivasi optimum

##### a. Kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH

Variasi waktu aktivasi digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu aktivasi optimum untuk *fly ash* dapat bekerja dengan baik. Lamanya waktu aktivasi menentukan kecepatan waktu kontak adsorben dan adsorbat. Pada waktu yang sedikit, maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula. Sedikitnya waktu aktivasi menyebabkan kurang efektifnya tumbukan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat sehingga daya serap yang ada bernilai kecil.

Variasi waktu aktivasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 60 menit dan 120 menit. Dari data yang dihasilkan diperoleh kondisi optimum untuk *fly ash* tanpa penambahan NaOH adalah pada saat waktu aktivasi selama 120 menit yaitu sebesar 3,461 ppm. Pada waktu aktivasi selama 60 menit, konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang dapat diserap cukup besar yaitu 3,305 ppm. Selisih antara keduanya sangat kecil. Berikut adalah kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi yang dilakukan.



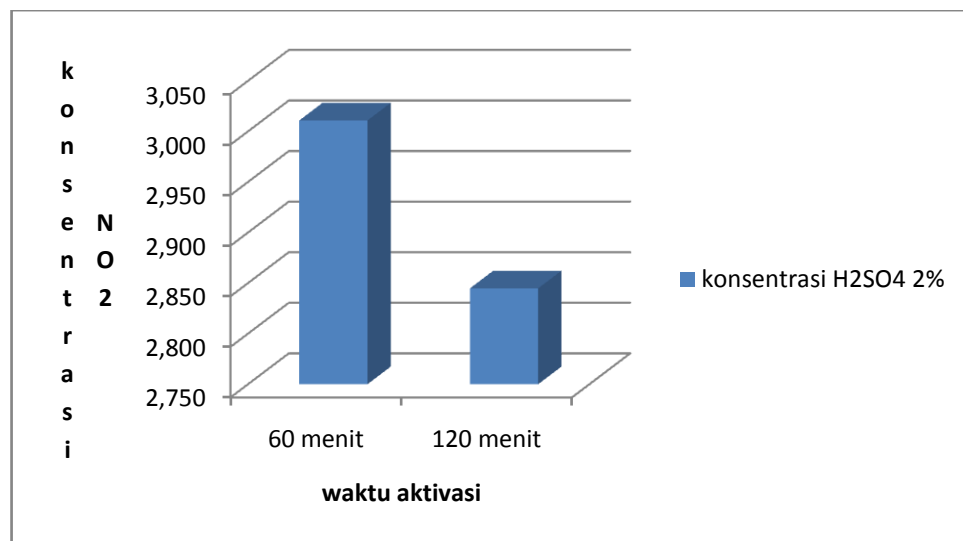
Gambar 4.6 Kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dengan konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$

2%

Dari kondisi optimum yang diperoleh, terjadi peningkatan daya adsorpsi gas  $\text{NO}_2$  oleh *fly ash* seiring dengan bertambahnya waktu aktivasi. Pada waktu aktivasi selama 120 menit struktur pori *fly ash* menjadi sangat terbuka dan memiliki luas yang mampu mengadsorpsi sejumlah besar gas  $\text{NO}_2$ . Waktu aktivasi yang optimum menyebabkan pergerakan partikel yang ada menjadi efektif sehingga adsorben dapat menyerap adsorbat yang lebih banyak. Untuk kondisi sebaliknya dengan waktu aktivasi yang lebih lama, maka kemungkinan yang terjadi adalah struktur adsorben cepat rusak, sehingga proses adsorpsinya kurang optimal (Mulyatna, 2003). Adsorbat yang telah menempel nantinya akan kembali pecah karena besarnya kecepatan yang ada.

b. Kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH

Kondisi optimum untuk *fly ash* dengan penambahan NaOH diperoleh pada saat waktu aktivasi selama 60 menit yaitu sebesar 3,011 ppm. Berikut adalah kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari waktu aktivasi yang digunakan.



Gambar 4.7 Kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dengan konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$

2%

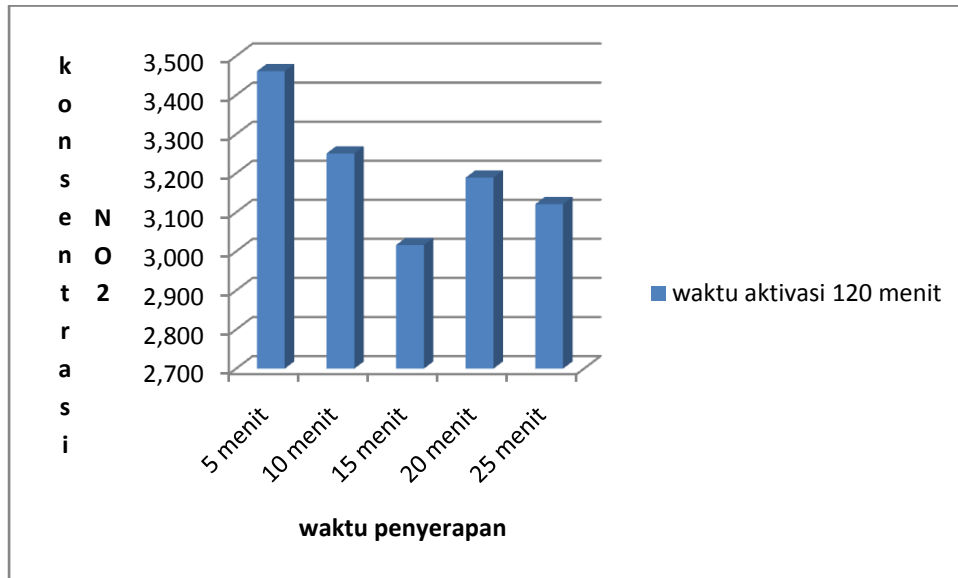
Pada waktu aktivasi selama 120 menit konsentrasi yang dihasilkan turun sebesar 2,845 ppm. Sama halnya dengan yang terjadi pada kondisi yang pertama. Yang membedakan adalah pada kondisi yang pertama terjadi kenaikan konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang dapat diserap oleh *fly ash* dari waktu aktivasi 60 menit ke waktu aktivasi 120 menit. Sebaliknya pada kondisi yang kedua terjadi penurunan konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang dapat diserap oleh *fly ash* dari waktu aktivasi 60 menit ke waktu aktivasi 120 menit.

#### 4.3.3 Waktu penyerapan optimum

##### a. Kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH

Variasi waktu penyerapan optimum dilakukan untuk mengetahui berapa waktu penyerapan optimum untuk *fly ash* dapat bekerja dengan baik. Waktu penyerapan adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk berinteraksi pada proses adsorpsi antara *fly ash* sebagai adsorben dan gas  $\text{NO}_2$  sebagai adsorbat.

Variasi waktu penyerapan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Berdasarkan penelitian sebelumnya untuk aktivasi menggunakan larutan HCl, waktu penyerapan optimum yaitu pada 15 menit, namun karena pada penelitian ini menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , maka waktu penyerapan yang dibutuhkan akan lebih sedikit (Fahriyah, 2009). Dari data yang dihasilkan diperoleh kondisi optimum untuk *fly ash* tanpa penambahan NaOH pada saat waktu penyerapan selama 5 menit yaitu sebesar 3,461 ppm. Setelah 5 menit, konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang dapat diserap menurun. Hal ini dapat disebabkan karena gas  $\text{NO}_2$  yang dihasilkan sudah berkurang. Dapat dilihat dari proses yang dilakukan pada saat pembuatan gas  $\text{NO}_2$ . Setelah 5 menit gas  $\text{NO}_2$  sudah tidak kelihatan berjalan ke dalam kotak kaca. Dapat juga disimpulkan bahwa gas  $\text{NO}_2$  tetap ada tapi dalam konsentrasi yang kecil sehingga tidak dapat terlihat. Berikut adalah kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu yang dilakukan.



Gambar 4.8 Kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit

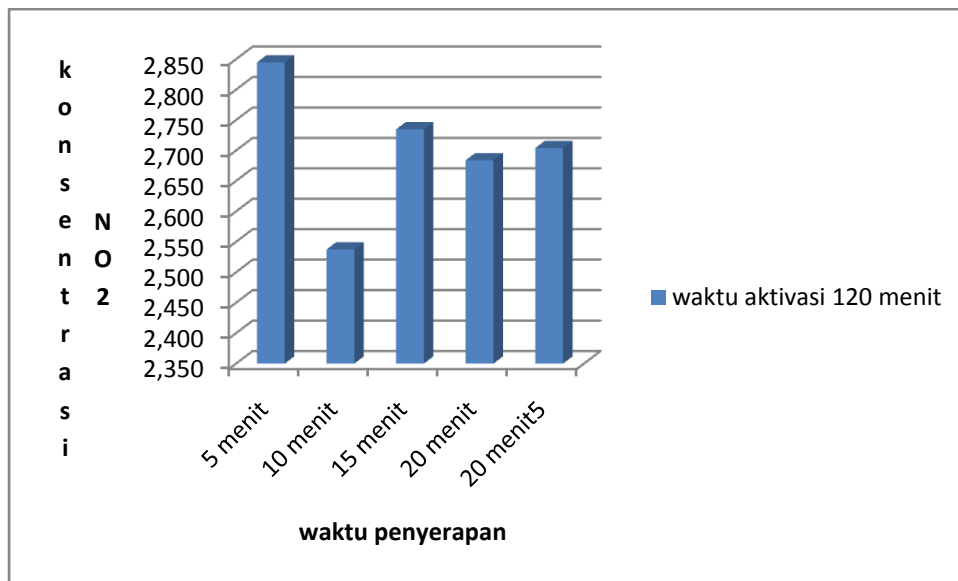
Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa pada waktu penyerapan 5 menit adsorben bekerja lebih optimum dibandingkan dengan variasi waktu lainnya. Setelah 5 menit, adsorben masih tetap bisa menyerap gas NO<sub>2</sub> namun kapasitas penyerapannya telah menurun. Hal ini disebabkan karena kondisi jenuh yang telah dicapai sebelumnya dimana hampir seluruh permukaan adsorben telah tertutup oleh partikel adsorbat yang ada. Pada kondisi ini terjadi kesetimbangan dinamis antara laju adsorpsi dengan desorpsi dimana tidak ada lagi gas NO<sub>2</sub> yang diserap maupun terlepas atau larut kembali ke dalam adsorbat (Waranusantigul,2003).

#### b. Kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH

Kondisi optimum untuk *fly ash* dengan penambahan NaOH diperoleh pada saat waktu penyerapan selama 5 menit yaitu sebesar 2,845 ppm. Sama halnya dengan kondisi yang pertama. Setelah 5 menit, konsentrasi NO<sub>2</sub> yang dapat diserap oleh *fly ash* menurun. Hal ini disebabkan karena kondisi jenuh yang telah dicapai sebelumnya dimana hampir seluruh permukaan adsorben telah tertutup oleh partikel adsorbat yang ada. Tetapi pada saat waktu penyerapan 15 menit , konsentrasi NO<sub>2</sub> yang dapat



diserap naik kembali. Berikut adalah kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan.



Gambar 4.9 Kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dengan waktu aktivasi 120 menit

Dari data keseluruhan dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum untuk *fly ash* tanpa penambahan NaOH diperoleh pada saat konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%, waktu aktivasi 120 menit, dan waktu penyerapan 5 menit. Sedangkan kondisi optimum untuk *fly ash* dengan penambahan NaOH diperoleh pada saat konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%, waktu aktivasi 60 menit, dan waktu penyerapan 5 menit.

Dari ketiga variasi di atas, konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, waktu aktivasi, dan waktu penyerapan, semuanya saling mempengaruhi. Tetapi yang terlihat jelas adalah waktu penyerapan. Waktu penyerapan gas NO<sub>2</sub> dilakukan maksimal selama 5 menit, apabila waktu penyerapan gas NO<sub>2</sub> dilakukan lebih dari 5 menit maka gas NO<sub>2</sub> yang terdapat dalam *fly ash* akan berkurang konsentrasinya. Hal ini dapat dilihat dari warna gas NO<sub>2</sub> setelah bereaksi dengan reagen Saltzman pada saat pengukuran.

Perubahan warna tersebut merupakan hasil reaksi spesifik antara reagen Saltzman dengan gas  $\text{NO}_2$ , dengan demikian keberadaan gas  $\text{NO}_2$  dapat dianalisis secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kuantitatif dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan.

Perubahan warna yang dihasilkan dari tiap-tiap larutan akan berbeda. Warna merah muda yang dihasilkan bergantung pada banyaknya gas  $\text{NO}_2$  yang dapat terserap. Semakin banyak gas  $\text{NO}_2$  yang terserap maka warnanya akan semakin pekat, begitu juga sebaliknya jika gas  $\text{NO}_2$  yang terserap sedikit maka warna larutan akan pudar.

#### **4.4 Kemampuan *fly ash* sebagai adsorben**

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan pada permukaan suatu adsorben, misalnya adsorpsi zat padat terhadap gas atau zat cair. Zat yang teradsorpsi disebut sebagai adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Peristiwa adsorpsi dapat terjadi pada adsorben yang pada umumnya berupa zat padat. Adsorpsi oleh zat padat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Kasmadi, 2002). Sedangkan desorpsi merupakan proses dimana komponen tertentu dari suatu zat dilepaskan dari suatu adsorben setelah mengalami proses adsorpsi (Alberty dan Daniels, 1983).

Kandungan utama pada *fly ash* adalah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kondisi silika dan alumina dalam *fly ash* yang cukup besar memungkinkan *fly ash* digunakan sebagai adsorben yang potensial. Dengan besarnya kadar kedua komponen tersebut dalam *fly ash* berarti banyak pusat-pusat aktif dari permukaan padatan yang dapat berinteraksi dengan adsorbat. Proses adsorpsi dapat berlangsung secara efektif apabila ada kesesuaian sifat antara adsorben dengan adsorbat. Bila sisi aktif bersifat basa atau berupa anion maka adsorpsi maksimal terjadi pada adsorbat yang bersifat asam atau kation, demikian juga sebaliknya.

Kemampuan *fly ash* sebagai adsorben gas NO<sub>2</sub> dapat dilihat dari jumlah gas NO<sub>2</sub> yang terserap. Penyerapan gas NO<sub>2</sub> dilakukan pada kondisi optimum dengan variasi massa serbuk tembaga (Cu) 0,5 gr, 0,6 gr, dan 0,7 gr. Berikut adalah tabel hasil penyerapan gas NO<sub>2</sub> pereaksi dalam berbagai variasi jumlah gas NO<sub>2</sub>.

Tabel 4.1 Hasil penyerapan gas NO<sub>2</sub> dalam berbagai variasi konsentrasi

Jumlah awal gas NO <sub>2</sub> (g)	Tanpa penambahan NaOH		Dengan penambahan NaOH	
	Jumlah gas NO <sub>2</sub> yang terserap (g)	Jumlah akhir gas NO <sub>2</sub> (g)	Jumlah gas NO <sub>2</sub> yang terserap (g)	Jumlah akhir gas NO <sub>2</sub> (g)
0,720	0,096	0,624	0,076	0,644
0,870	0,125	0,745	0,104	0,766
1,010	0,127	0,883	0,107	0,903

Dari tabel diatas dapat dilihat terjadi kenaikan nilai konsentrasi NO<sub>2</sub> yang terserap. Semakin bertambahnya konsentrasi maka semakin banyak molekul adsorbat dan adsorben yang saling berinteraksi dalam proses adsorpsi sehingga menyebabkan adsorpsi semakin meningkat. Selain itu juga dapat disebabkan karena permukaan adsorben mempunyai sejumlah tertentu situs aktif adsorpsi. Banyaknya situs aktif tersebut sebanding dengan luas permukaan adsorben dan masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat. Pada keadaan dimana tempat adsorpsi belum jenuh dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat akan dapat menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi. Bila tempat adsorpsi sudah jenuh dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi. Dalam penelitian ini jika konsentrasi adsorbat dinaikkan lagi maka kemungkinan besar jumlah zat yang teradsorpsi juga akan naik sampai pada titik tertentu dimana adsorben sudah tidak dapat mengadsorpsi lagi.

Kemampuan penyerapan gas NO<sub>2</sub> antara *fly ash* tanpa penambahan NaOH dengan *fly ash* dengan penambahan NaOH dapat dilihat dari nilai uji t-tes yang dilakukan. Dari data yang dihasilkan diperoleh nilai uji t-tes hasil penelitian lebih besar dari nilai t tabel yaitu 2,75; 7,39; dan 15,71, sehingga secara statistik metode adsorpsi gas NO<sub>2</sub> tanpa menggunakan pereaksi lebih baik dilakukan daripada adsorpsi gas NO<sub>2</sub> dengan menggunakan pereaksi pada selang kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah *fly ash* batubara dapat digunakan sebagai adsorben untuk pengukuran gas NO<sub>2</sub>, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Penelitian ini dapat digunakan untuk keperluan monitoring udara sehingga dapat ditentukan langkah yang tepat untuk menanggulangi permasalahan pencemaran udara oleh gas NO<sub>2</sub>.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Waktu penyerapan mempengaruhi proses adsorpsi. Waktu penyerapan optimum gas NO<sub>2</sub> diperoleh maksimal selama 5 menit, baik yang tanpa penambahan NaOH maupun yang dengan penambahan NaOH. Apabila waktu penyerapan gas NO<sub>2</sub> dilakukan lebih dari 5 menit maka gas NO<sub>2</sub> yang terdapat dalam *fly ash* akan berkurang konsentrasinya.
2. Proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan waktu aktivasi. Konsentrasi optimum H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang diperoleh adalah 2% dan waktu aktivasi selama 120 menit untuk adsorpsi tanpa penambahan NaOH dan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1% dan waktu aktivasi 60 menit untuk adsorpsi dengan penambahan NaOH
3. Kemampuan *fly ash* sebagai adsorben dapat dilihat dari banyaknya gas NO<sub>2</sub> yang dapat diserap. Semakin bertambahnya konsentrasi maka semakin banyak molekul adsorbat dan adsorben yang saling berinteraksi dalam proses adsorpsi sehingga menyebabkan adsorpsi semakin meningkat.
4. Kemampuan *fly ash* sebagai adsorben juga dapat dilihat dari nilai uji t-tes. Dari penelitian dihasilkan nilai uji t-tes hasil penelitian lebih besar dari nilai t tabel, sehingga secara statistik metode adsorpsi gas NO<sub>2</sub> tanpa menggunakan pereaksi dan adsorpsi gas NO<sub>2</sub> dengan menggunakan pereaksi mempunyai perbedaan yang signifikan pada selang kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang macam-macam adsorbat yang dapat diserap oleh *fly ash*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A., W. 1990. *Physical Chemistry of Surface*. Canada : John Willey and Sons.
- Alberty, R., A and Daniels, F. 1983. *Physical Chemistry*. New York : John Willey and Sons.
- Atkins, P., W. 1997. *Kimia Fisika*. Jakarta : Erlangga.
- Aziz, M. 2006. *Karakterisasi Fly ash PLTU Suralaya dan Evaluasinya Untuk Refraktori Cor*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara.
- Bernasconi, G. 1995. *Teknologi Kimia*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Cadoff, C. B and Hedgeson, J. 1983. Passive Sampler For Ambient Level Of Nitrogen Dioxide. *Anal. Chem*, Vol. 55, pp. 2083-2085.
- Cotton, F. A dan Wilkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar. Terjemahan Sahati Dari Basic Inorganic Chemistry (1976)*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Dore, C. J., and Mcginlay, J. 1997. *Air Pollution In The United Kingdom*. Ed. G Davidson and CN Hewitt (Cambridge : Royal Society of Chemistry, Information Service).
- Fahriyah. 2009. *Modifikasi Abu Layang Sebagai Adsorben Gas NO<sub>2</sub>*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Sipil UII.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Kanisius.
- Firdaushanif. 2007. *Pembakaran Batubara*. ([http://firdaushanif.multiply.com/journal/item/2/Pembakaran\\_Batubara](http://firdaushanif.multiply.com/journal/item/2/Pembakaran_Batubara)) diunduh pada tanggal 14 Oktober 2011.
- Gold, A. 1997. Stoichiometry oh Nitrogen Dioxide Determination in The Triethanolamine Trapping Solution. *Analytical Chemistry*, vol. 49, p. 1448-1450.
- Harijono, D. 1993. *Fly ash dan Pemanfaatannya*. Seminar Nasional Batubara Indonesia. Yogyakarta : UGM.

- Hendayana, S. 1994. *Kimia Analitik Instrumen Edisi Kesatu*. Semarang : IKIP Semarang Press.
- Heslop, R. B and Robinson, P. L. 1960. *Inorganic Chemistry. A Guide To Advance Study*. Netherland : Elsevier Publishing Company.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Koesnadi. 2008. *Fly Ash*. (<http://heri-mylife.blogspot.com/2008/06/fly-ash.html>). diunduh pada tanggal 28 Februari 2012.
- Korenaga, T. 1999. Development of Passive Sampler for Sulfur Dioxide Monitoring. *Ecotechnology Research*, Vol.1, No. 2, pp. 8-12.
- Krochmal, D and Kalina, A. 1997. Technical Note A Method Of Nitrogen Diokside And Sulphur Diokside Determination In Ambient Air By Use Of Passive Sampler And Ion Chromatography. *Atm. Envir.*, Vol. 31, No. 20, pp. 3437-3479.
- Krupa, S. V. And Legge, A. H. 2000. Passive Sampling of Ambient, Gaseous Air Pollutants : an Assessment From An Ecological Perspective. *Environ. Pollut*, Vol. 2, No. 107, pp. 31-45.
- Kurniawan. 2008. *Uji T Berpasangan (Paired T-Test)*. (<http://ineddeni.files.wordpress.com/2008/03/uji-t-berpasangan.pdf>) diunduh pada tanggal 28 Februari 2012.
- Merck. 2004. *Lembar Data Keselamatan*. Germany : Merck Kga A.
- Miller, J. C., dan Miller, J. N. 1991. *Statistika Untuk Kimia Analitik*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Moestikahadi, Soedomo. 1999. *Pencemaran Udara*. Bandung : ITB.
- Mufrodi, Z. 2010. *Modifikasi Limbah Abu Terbang sebagai Material Baru Adsorben*. (<http://repository.upnyk.ac.id606163.pdf/>) diunduh pada tanggal 28 Februari 2012.
- Mulja, M. 1995. *Analisis Instrumental*. Surabaya : Airlangga University Press.

- Mulyatna, Lili. 2003. Pemilihan Persamaan Adsorpsi Isoterm Pada Penentuan Kapasitas Adsorpsi Kulit Kacang Tanah Terhadap Zat Warna Remazol Golden Yellow 6. *Infomatek*, Vol. 5, No. 3, pp. 131-140.
- Nugraha dan Aditya. 2009. *Penangkapan CO<sub>2</sub> dengan Fly Ash Termodifikasi*. (<http://majarimagazine.com/2009/05/fly-ash-sebagai-adsorben-co2/>) diunduh pada tanggal 14 Oktober 2011.
- Putri, Marinda. 2008. *Fly ash Batubara Sebagai Adsorben*. (<http://majarimagazine.com/2008/06/abu-terbang-batubara-sebagai-adsorben/>) diunduh pada tanggal 14 Oktober 2011.
- PT Pembangkitan Jawa Bali Paiton. 2002. *Material Safety Data Sheet*. Probolinggo : PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Paiton.
- Sastrohamidjojo. 1996. *Spektroskopi*. Yogyakarta : Liberty.
- Sudjana. 1996. *Metode Statistika*. Bandung : Tarsito.
- Sukawati, Tri. 2008. *Penurunan Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Air Limbah Laundry Dengan Menggunakan Reactor Biosandfilter Diikuti Dengan Reaktor Activatedcarbon*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Sunardi. 2006. *Batubara dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Supeno, 2007. *Bentonit Alam Terpillar sebagai Material Katalis/Co Katalis Pembuatan Gas Hidrogen dan Oksigen dari Air*. Sumatera Utara: Jurusan Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Susanto, J. P. 2004. Pemanfaatan Passive Sampler Untuk Monitoring Kualitas NO<sub>2</sub> Dalam Udara Ambien Di Beberapa Lokasi di Indonesia. *Teknologi Lingkungan*, Vol. 5, No. 2, pp 75-81.
- Susanto, J. P. Dan Prayudi, T. 2000. Penerapan Metode Passive Sampler Untuk Analisa NO<sub>2</sub> Udara Ambien di Beberapa Lokasi di Jakarta. *Teknologi Lingkungan*, Vol. 1, No. 3, pp. 16-21.
- Tanaka, T., Ohya, T., Maruo, Y.Y., and T. Hayashi. 2002. Coloration Reaction Between NO<sub>2</sub> and Organic Compound In Porous Glass For Cumulative Gas Sensor. *Sensors And Actuators B* 47, pp. 65-69.
- Underwood, A. L. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam*. Jakarta : Erlangga.



- Waranusantigul, et al. 2003. Kinetics of Basic Dye (Methilen Blue) Biosorption by Giant Duckweed (*Spirodela Polyrhiza*). *Environmental Pollution*, Vol. 1, No. 25, pp. 385-392.
- Weiss, G. S. 1993. *Experimental in General Chemistry*, 7<sup>th</sup> edition. New York : Macmillon Publishing Company.
- Widiharti, I., A., G. 2008. *Adsorpsi Anion Cr(VI) Oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam Dan Tersalut Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*. (<http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/j-kim-vol2-no1-widihati.pdf>) diunduh pada tanggal 14 Oktober 2011.
- Wight, Gregory . 1994. *Fundamentals of Air Sampling*. Tokyo : Lewis Publishers.

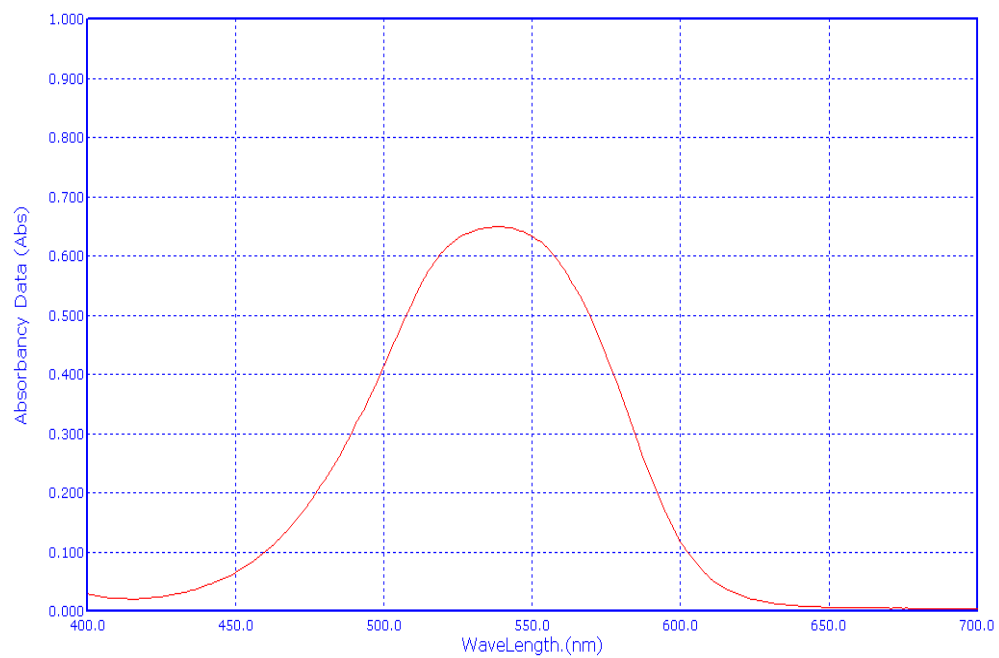
### LAMPIRAN A. Penentuan panjang gelombang maksimum

No.	Wavelength (nm)	Abs	Trans (%T)	Energi	Energi (100%T)	Energi (0%T)
1	600,0	0,118	76,2	15397	20197	1
2	599,0	0,127	74,7	15027	20127	1
3	598,0	0,137	73,0	14645	20055	1
4	597,0	0,147	71,3	14255	19987	1
5	596,0	0,157	69,7	13881	19929	1
6	595,0	0,168	68,0	13503	19869	1
7	594,0	0,179	66,2	26211	39611	1
8	593,0	0,191	64,5	25479	39525	1
9	592,0	0,202	62,8	24779	39449	1
10	591,0	0,213	61,2	24103	39383	1
11	590,0	0,226	59,5	23387	39329	1
12	589,0	0,239	57,7	22667	39299	1
13	588,0	0,252	56,0	21973	39257	1
14	587,0	0,266	54,2	21257	39243	1
15	586,0	0,282	52,3	20519	39233	1
16	585,0	0,296	50,6	19859	39241	1
17	584,0	0,310	49,0	19227	39231	1
18	583,0	0,324	47,4	9317	19635	1
19	582,0	0,338	45,9	9011	19641	1
20	581,0	0,352	44,5	8735	19639	1
21	580,0	0,365	43,1	8469	19627	1
22	579,0	0,378	41,9	8213	19613	1
23	578,0	0,392	40,6	7953	19597	1
24	577,0	0,405	39,3	7701	19571	1
25	576,0	0,418	38,2	7457	19535	1
26	575,0	0,432	37,0	14377	38907	1
27	574,0	0,446	35,8	13881	38757	1
28	573,0	0,458	34,8	13455	38661	1
29	572,0	0,470	33,9	13069	38597	1
30	571,0	0,482	33,0	12697	38493	1
31	570,0	0,493	32,1	12333	38413	1
32	569,0	0,504	31,4	12013	38301	1
33	568,0	0,513	30,7	11721	38219	1

34	567,0	0,524	30,0	11421	38129	1
35	566,0	0,533	29,3	11147	38001	1
36	565,0	0,542	28,7	10889	37889	1
37	564,0	0,550	28,2	10637	37755	1
38	563,0	0,559	27,6	10385	37611	1
39	562,0	0,568	27,0	10125	37453	1
40	561,0	0,576	26,6	9905	37281	1
41	560,0	0,583	26,1	9697	37095	1
42	559,0	0,590	25,7	9485	36881	1
43	558,0	0,597	25,3	9281	36649	1
44	557,0	0,603	25,0	9087	36413	1
45	556,0	0,608	24,7	8917	36169	1
46	555,0	0,613	24,4	8745	35903	1
47	554,0	0,618	24,1	8573	35593	1
48	553,0	0,623	23,8	8401	35265	1
49	552,0	0,627	23,6	8245	34907	1
50	551,0	0,630	23,4	8077	34485	1
51	550,0	0,635	23,2	7893	34021	1
52	549,0	0,636	23,1	6071	26235	1
53	548,0	0,638	23,0	6033	26233	1
54	547,0	0,641	22,9	5997	26225	1
55	546,0	0,643	22,8	5965	26201	1
56	545,0	0,645	22,7	5937	26187	1
57	544,0	0,646	22,6	5915	26151	1
58	543,0	0,647	22,5	5891	26129	1
59	542,0	0,648	22,5	5871	26091	1
60	541,0	0,648	22,5	5855	26057	1
61	540,0	0,649	22,4	5841	26021	1
62	539,0	0,649	22,4	5823	25967	1
63	538,0	0,649	22,4	5815	25919	1
64	537,0	0,649	22,4	5805	25857	1
65	536,0	0,648	22,5	5799	25807	1
66	535,0	0,648	22,5	5791	25745	1
67	534,0	0,647	22,5	5787	25681	1
68	533,0	0,646	22,6	5787	25609	1
69	532,0	0,645	22,6	5785	25549	1
70	531,0	0,644	22,7	5785	25479	1
71	530,0	0,642	22,8	5791	25403	1
72	529,0	0,640	22,9	5797	25327	1

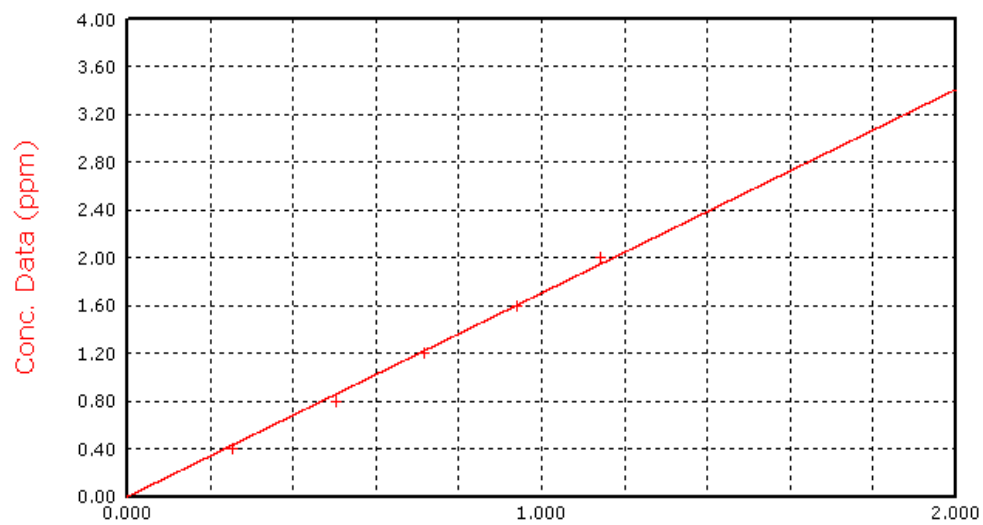
73	528,0	0,639	23,0	5803	25253	1
74	527,0	0,636	23,1	5821	25171	1
75	526,0	0,633	23,3	5837	25089	1
76	525,0	0,630	23,4	5861	25005	1
77	524,0	0,627	23,6	5883	24915	1
78	523,0	0,623	23,8	5921	24827	1
79	522,0	0,619	24,1	5955	24737	1
80	521,0	0,614	24,3	5995	24641	1
81	520,0	0,609	24,6	6045	24569	1
82	519,0	0,603	24,9	6101	24471	1
83	518,0	0,597	25,3	6169	24381	1
84	517,0	0,590	25,7	6239	24279	1
85	516,0	0,583	26,1	6319	24177	1
86	515,0	0,575	26,6	6411	24075	1
87	514,0	0,565	27,2	6525	23965	1
88	513,0	0,556	27,8	6633	23847	1
89	512,0	0,546	28,4	6747	23739	1
90	511,0	0,536	29,1	6873	23627	1
91	510,0	0,526	29,8	7007	23499	1
92	509,0	0,515	30,5	7137	23379	1
93	508,0	0,505	31,3	7273	23255	1
94	507,0	0,495	32,0	7409	23133	1
95	506,0	0,483	32,9	7559	22995	1
96	505,0	0,472	33,7	7705	22841	1
97	504,0	0,461	34,6	7849	22689	1
98	503,0	0,449	35,5	8003	22515	1
99	502,0	0,437	36,6	8169	22325	1
100	501,0	0,425	37,6	8319	22139	1
101	500,0	0,414	38,6	8463	21951	1

---



**LAMPIRAN B. Kurva kalibrasi NO<sub>2</sub> pada panjang gelombang 540 nm**

No.	Absorbansi (540.0nm)	Konsentrasi (ppm)
1	0,256	0,400
2	0,502	0,800
3	0,716	1,200
4	0,940	1,600
5	1,143	2,000



Conc.=(1.706)×A r = 0.999140

## LAMPIRAN C

### C.1. Penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi

#### 1. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%

Waktu penyerapan	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,620	1,828	1,729	1,726	1,888	1,898	1,751	1,846
10	1,579	1,741	1,764	1,695	1,710	2,013	1,823	1,849
15	1,911	1,511	1,635	1,686	1,738	1,924	1,936	1,866
20	1,727	1,586	1,697	1,670	1,492	1,806	1,673	1,657
25	1,633	1,591	1,559	1,594	1,629	1,674	1,831	1,711

#### 2. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%

Waktu penyerapan	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,799	2,008	1,932	1,913	2,002	1,973	2,035	2,004
10	1,943	1,826	1,908	1,892	1,888	1,949	1,808	1,882
15	1,690	1,696	1,719	1,701	1,688	1,724	1,826	1,746
20	1,853	1,836	1,976	1,888	1,798	1,865	1,875	1,846
25	1,734	1,616	1,663	1,671	1,873	1,767	1,779	1,807

### 3. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%

Waktu penyerapan	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,469	2,000	1,975	1,815	1,937	1,977	1,757	1,890
10	1,957	1,856	1,943	1,919	1,865	1,936	1,748	1,850
15	2,015	2,060	1,924	2,000	1,930	1,810	1,796	1,845
20	1,879	0,758	1,824	1,487	1,856	1,838	1,736	1,810
25	1,702	1,664	1,636	1,667	1,863	1,799	1,712	1,791

## C.2. Penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi

### 1. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%

Waktu penyerapan	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,711	2,144	1,700	1,852	1,671	2,027	1,733	1,810
10	1,718	1,751	2,055	1,842	1,592	1,685	1,887	1,721
15	1,970	1,646	1,624	1,747	1,925	1,511	1,602	1,679
20	1,598	1,983	1,591	1,724	1,664	2,031	1,624	1,773
25	1,796	1,623	1,914	1,777	1,654	1,603	1,853	1,703



## 2. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%

Waktu penyerapan	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,630	2,020	1,697	1,782	1,597	1,848	1,606	1,684
10	1,709	1,707	1,901	1,772	1,295	1,476	1,736	1,502
15	1,997	1,501	1,566	1,688	1,856	1,502	1,499	1,619
20	1,589	1,887	1,541	1,672	1,526	1,715	1,525	1,589
25	1,599	1,479	1,932	1,670	1,529	1,389	1,885	1,601

## 3. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%

Waktu penyerapan	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,749	2,004	1,765	1,839	1,650	1,984	1,633	1,755
10	1,720	1,715	1,956	1,797	1,751	1,701	2,035	1,829
15	1,860	1,534	1,508	1,634	1,921	1,638	1,601	1,720
20	1,498	1,849	1,522	1,623	1,338	1,721	1,405	1,488
25	1,528	1,531	1,843	1,634	1,602	1,659	1,935	1,732

## LAMPIRAN D

### D.1. Penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi

#### 1. Waktu aktivasi 60 menit

Waktu penyerapan	Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3%			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,620	1,828	1,729	1,726	1,799	2,008	1,932	1,913	1,469	2,000	1,975	1,815
10	1,579	1,741	1,764	1,695	1,943	1,826	1,908	1,892	1,957	1,856	1,943	1,919
15	1,911	1,511	1,635	1,686	1,690	1,696	1,719	1,701	2,015	2,060	1,924	2,000
20	1,727	1,586	1,697	1,670	1,853	1,836	1,976	1,888	1,879	0,758	1,824	1,487
25	1,633	1,591	1,559	1,594	1,734	1,616	1,663	1,671	1,702	1,664	1,636	1,667

#### 2. Waktu aktivasi 120 menit

Waktu penyerapan	Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3%			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,888	1,898	1,751	1,846	2,002	1,973	2,035	2,004	1,937	1,977	1,757	1,890
10	1,710	2,013	1,823	1,849	1,888	1,949	1,808	1,882	1,865	1,936	1,748	1,850
15	1,738	1,924	1,936	1,866	1,688	1,724	1,826	1,746	1,930	1,810	1,796	1,845
20	1,492	1,806	1,673	1,657	1,798	1,865	1,875	1,846	1,856	1,838	1,736	1,810
25	1,629	1,674	1,831	1,711	1,873	1,767	1,779	1,807	1,863	1,799	1,712	1,791

## D.2. Penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi

### 1.. Waktu aktivasi 60 menit

Waktu penyerapan	Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3%			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,711	2,144	1,700	1,852	1,630	2,020	1,697	1,782	1,749	2,004	1,765	1,839
10	1,718	1,751	2,055	1,842	1,709	1,707	1,901	1,772	1,720	1,715	1,956	1,797
15	1,970	1,646	1,624	1,747	1,997	1,501	1,566	1,688	1,860	1,534	1,508	1,634
20	1,598	1,983	1,591	1,724	1,589	1,887	1,541	1,672	1,498	1,849	1,522	1,623
25	1,796	1,623	1,914	1,777	1,599	1,479	1,932	1,670	1,528	1,531	1,843	1,634

### 2. Waktu aktivasi 120 menit

Waktu penyerapan	Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2%				Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3%			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
5	1,671	2,027	1,733	1,810	1,597	1,848	1,606	1,684	1,650	1,984	1,633	1,755
10	1,592	1,685	1,887	1,721	1,295	1,476	1,736	1,502	1,751	1,701	2,035	1,829
15	1,925	1,511	1,602	1,679	1,856	1,502	1,499	1,619	1,921	1,638	1,601	1,720
20	1,664	2,031	1,624	1,773	1,526	1,715	1,525	1,589	1,338	1,721	1,405	1,488
25	1,654	1,603	1,853	1,703	1,529	1,389	1,885	1,601	1,602	1,659	1,935	1,732

## LAMPIRAN E

### E.1. Penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan

#### 1. Waktu penyerapan 5 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,620	1,828	1,729	1,726	1,888	1,898	1,751	1,846
2%	1,799	2,008	1,932	1,913	2,002	1,973	2,035	2,004
3%	1,469	2,000	1,975	1,815	1,937	1,977	1,757	1,890

#### 2. Waktu penyerapan 10 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,579	1,741	1,764	1,695	1,710	2,013	1,823	1,849
2%	1,943	1,826	1,908	1,892	1,888	1,949	1,808	1,882
3%	1,957	1,856	1,943	1,919	1,865	1,936	1,748	1,850

### 3. Waktu penyerapan 15 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,911	1,511	1,635	1,686	1,738	1,924	1,936	1,866
2%	1,690	1,696	1,719	1,701	1,688	1,724	1,826	1,746
3%	2,015	2,060	1,924	2,000	1,930	1,810	1,796	1,845

### 4. Waktu penyerapan 20 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,727	1,586	1,697	1,670	1,492	1,806	1,673	1,657
2%	1,853	1,836	1,976	1,888	1,798	1,865	1,875	1,846
3%	1,879	0,758	1,824	1,487	1,856	1,838	1,736	1,810

### f. Waktu penyerapan 25 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,633	1,591	1,559	1,594	1,629	1,674	1,831	1,711
2%	1,734	1,616	1,663	1,671	1,873	1,767	1,779	1,807
3%	1,702	1,664	1,636	1,667	1,863	1,799	1,712	1,791

## E.2. Penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan

### 1. Waktu penyerapan 5 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,711	2,144	1,700	1,852	1,671	2,027	1,733	1,810
2%	1,630	2,020	1,697	1,782	1,597	1,848	1,606	1,684
3%	1,749	2,004	1,765	1,839	1,650	1,984	1,633	1,755

### 2. Waktu penyerapan 10 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,718	1,751	2,055	1,842	1,592	1,685	1,887	1,721
2%	1,709	1,707	1,901	1,772	1,295	1,476	1,736	1,502
3%	1,720	1,715	1,956	1,797	1,751	1,701	2,035	1,829

### 3. Waktu penyerapan 15 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,970	1,646	1,624	1,747	1,925	1,511	1,602	1,679
2%	1,997	1,501	1,566	1,688	1,856	1,502	1,499	1,619
3%	1,860	1,534	1,508	1,634	1,921	1,638	1,601	1,720

4. Waktu penyerapan 20 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,598	1,983	1,591	1,724	1,664	2,031	1,624	1,773
2%	1,589	1,887	1,541	1,672	1,526	1,715	1,525	1,589
3%	1,498	1,849	1,522	1,623	1,338	1,721	1,405	1,488

5. Waktu penyerapan 25 menit

Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Waktu aktivasi 60 menit				Waktu aktivasi 120 menit			
	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Absorbansi 3	Rata-rata
1%	1,796	1,623	1,914	1,777	1,654	1,603	1,853	1,703
2%	1,599	1,479	1,932	1,670	1,529	1,389	1,885	1,601
3%	1,528	1,531	1,843	1,634	1,602	1,659	1,935	1,732

## LAMPIRAN F Perhitungan uji statistik (Uji-t)

### F.1 Massa serbuk tembaga (Cu) 0,5 gr

Pengulangan	Jumlah NO <sub>2</sub> Tanpa Penambahan Perekasi	Jumlah NO <sub>2</sub> Dengan Penambahan Perekasi
1	2,165	1,944
2	2,029	2,215
3	3,020	1,562
rata-rata	2,405	1,907
standar deviasi	0,538	0,328

Dari persamaan

$$S^2 = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{(3 - 1)0,54^2 + (3 - 1)0,33^2}{(3 + 3 - 2)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{(2)0,2916 + (2)0,1089}{(4)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{0,5832 + 0,2178}{4} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{0,801}{4} \right]$$

$$S^2 = 0,2$$

$$S^2 = \sqrt{0,2}$$

$$S = 0,44$$

Kemudian nilai S total yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai t-eks dengan menggunakan persamaan:



$$teks = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$teks = \frac{(2,405 - 1,907)}{0,44 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}}$$

$$teks = \frac{(0,498)}{0,44(0,408)}$$

$$teks = \frac{0,498}{0,1795}$$

$$teks = 2,75$$

F.2. Massa serbuk tembaga (Cu) 0,6 gr

Pengulangan	Jumlah NO <sub>2</sub> Tanpa Penambahan Pereaksi	Jumlah NO <sub>2</sub> Dengan Penambahan Pereaksi
1	3,180	2,616
2	3,057	2,841
3	3,148	2,387
rata-rata	3,128	2,615
standar deviasi	0,064	0,227

Dari persamaan

$$S^2 = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{(3 - 1)0,06^2 + (3 - 1)0,23^2}{(3 + 3 - 2)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{(2)0,0036 + (2)0,0529}{(4)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{0,0072 + 0,1058}{4} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{0,113}{4} \right]$$

$$S^2 = 0,03$$

$$S = \sqrt{0,03}$$

$$S = 0,17$$

Kemudian nilai S total yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai t-eks dengan menggunakan persamaan:

$$t_{eks} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$t_{eks} = \frac{(3,128 - 2,615)}{0,17 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}}$$

$$t_{eks} = \frac{(0,513)}{0,17(0,408)}$$

$$t_{eks} = \frac{0,513}{0,0694}$$

$$t_{eks} = 7,39$$

## F.3. Massa serbuk tembaga (Cu) 0,7 gr

Pengulangan	Jumlah NO <sub>2</sub> Tanpa Penambahan Pereaksi	Jumlah NO <sub>2</sub> Dengan Penambahan Pereaksi
1	3,100	2,616
2	3,164	2,703
3	3,129	2,575
rata-rata	3,131	2,691
standar deviasi	0,032	0,110

Dari persamaan

$$S^2 = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{(3 - 1)0,03^2 + (3 - 1)0,10^2}{(3 + 3 - 2)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{(2)0,0009 + (2)0,01}{(4)} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{0,0018 + 0,02}{4} \right]$$

$$S^2 = \left[ \frac{0,0218}{4} \right]$$

$$S^2 = 0,0054$$

$$S = \sqrt{0,0054}$$

$$S = 0,07$$

Kemudian nilai S total yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai t-eks dengan menggunakan persamaan:

$$t_{eks} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$teks = \frac{(3,131 - 2,691)}{0,07 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}}$$

$$teks = \frac{(0,44)}{0,07(0,408)}$$

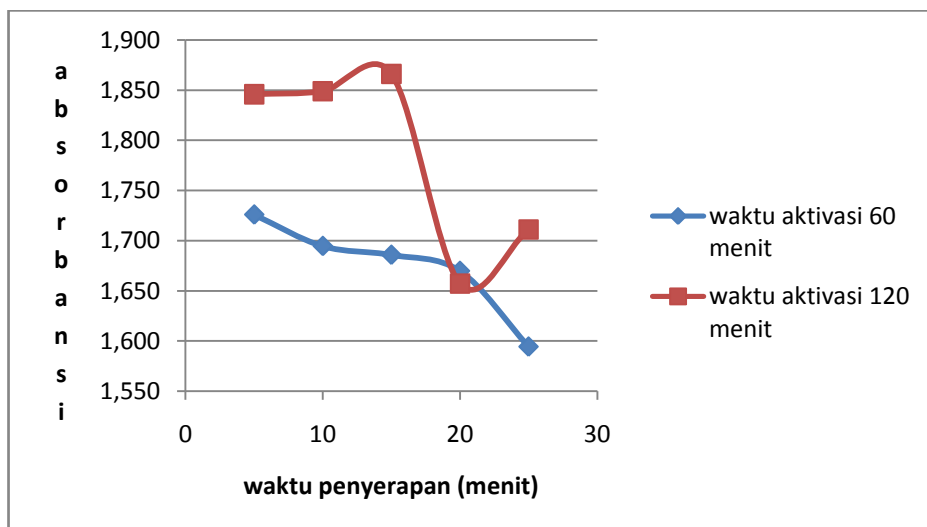
$$teks = \frac{0,44}{0,028}$$

$$teks = 15,71$$

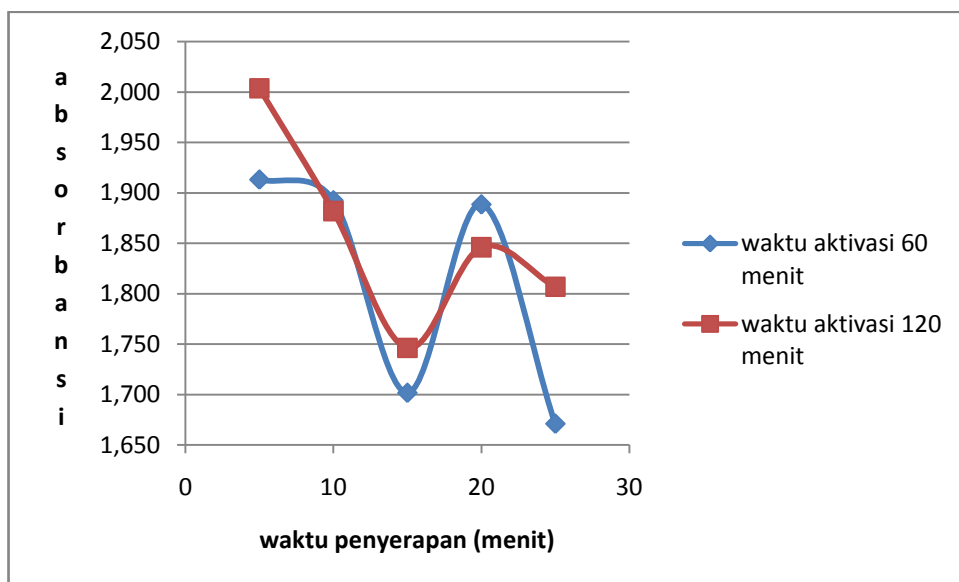
## LAMPIRAN G

### G.1. Penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi

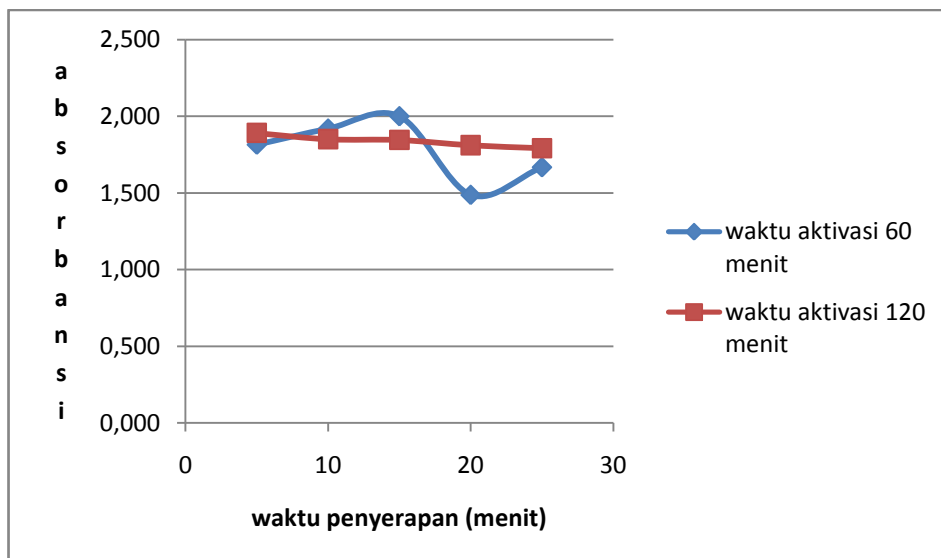
#### 1. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%



#### 2. Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%

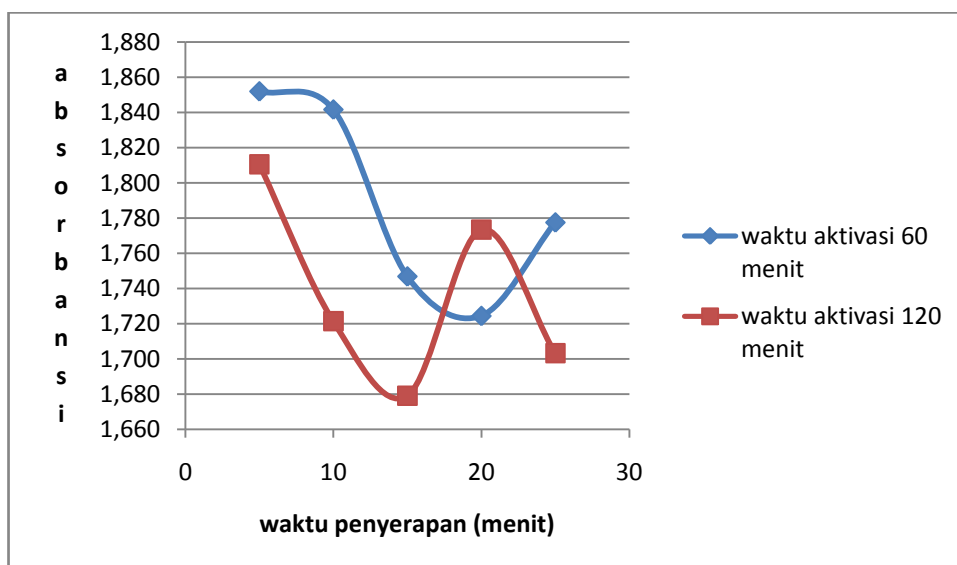


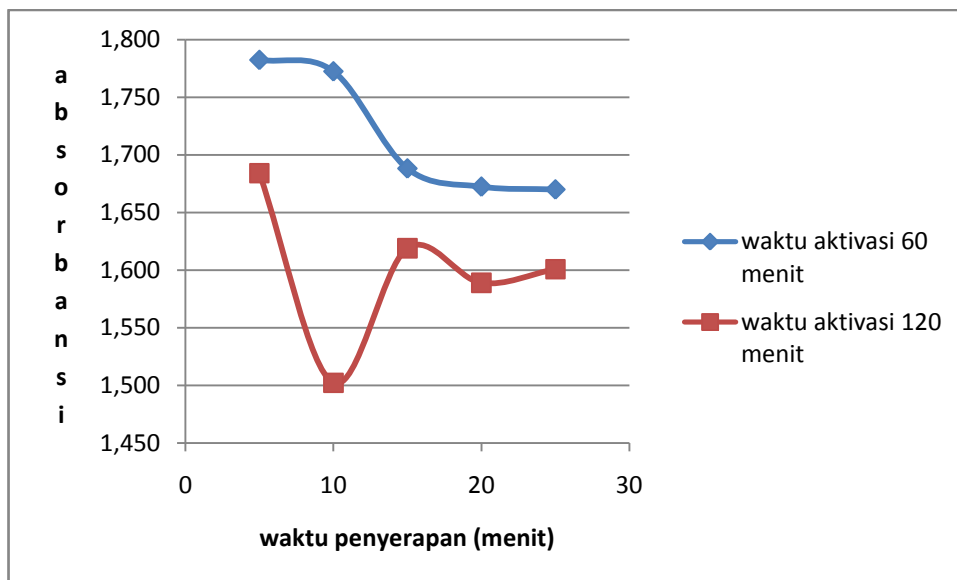
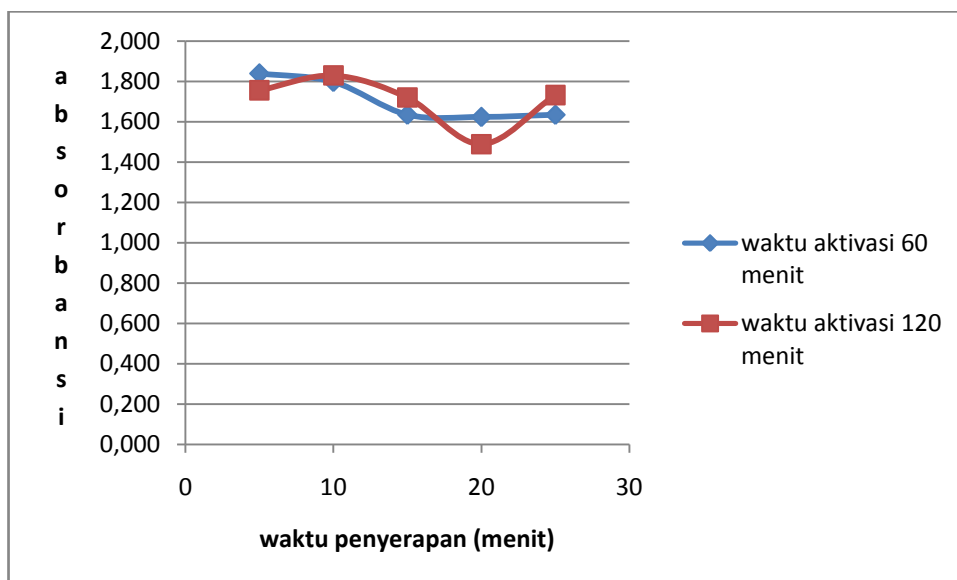
### 3. Konsentrasi $H_2SO_4$ 3%



## G.2. Penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi konsentrasi

### 1. Konsentrasi $H_2SO_4$ 1%

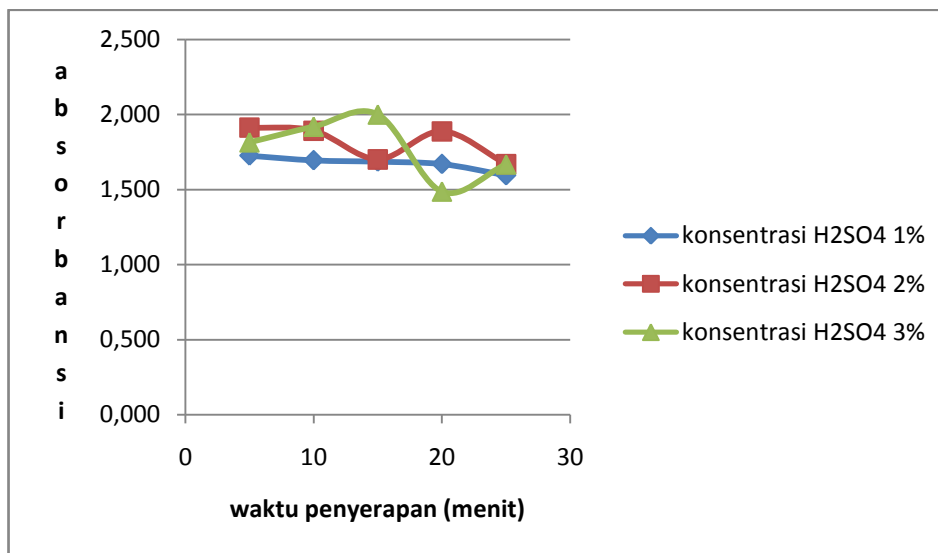


2. Konsentrasi  $H_2SO_4$  2%3. Konsentrasi  $H_2SO_4$  3%

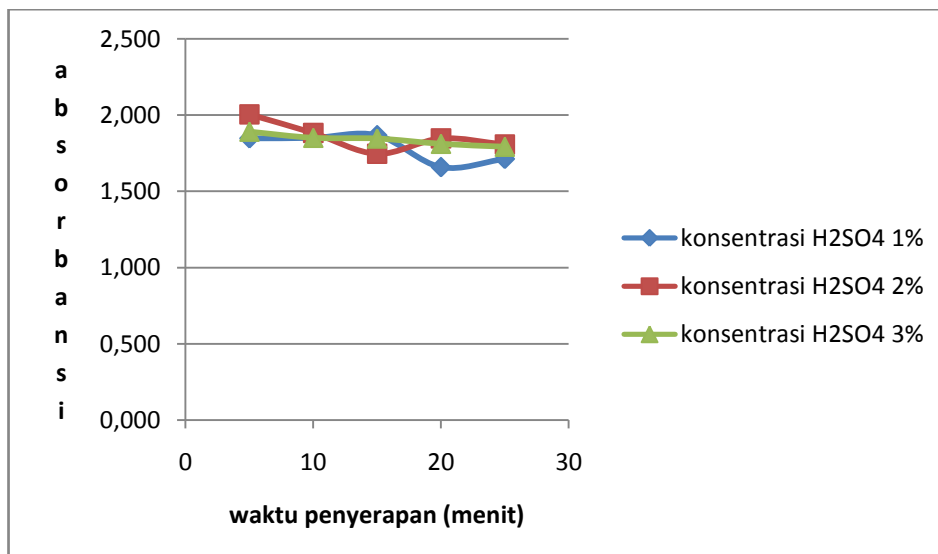
## LAMPIRAN H

### H.1. Penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi

#### 1. Waktu aktivasi 60 menit



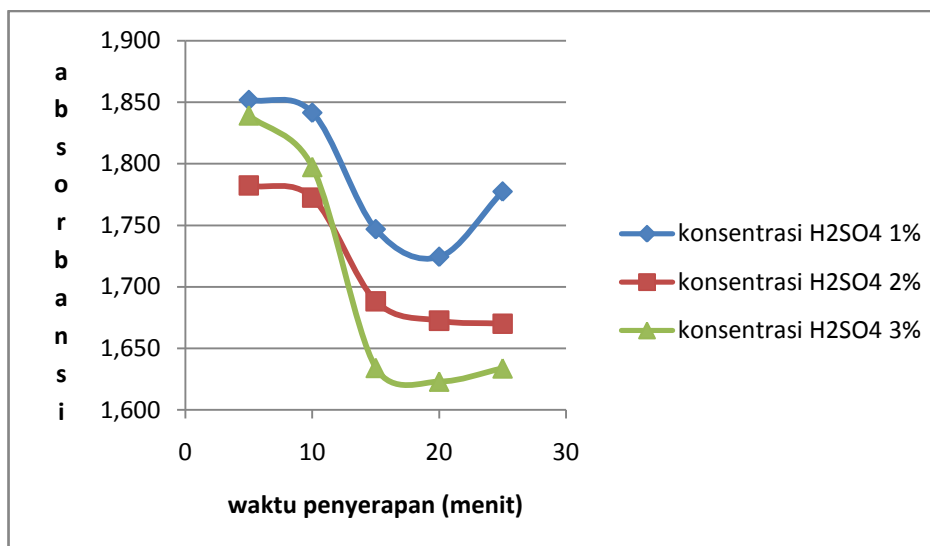
#### 2. Waktu aktivasi 120 menit



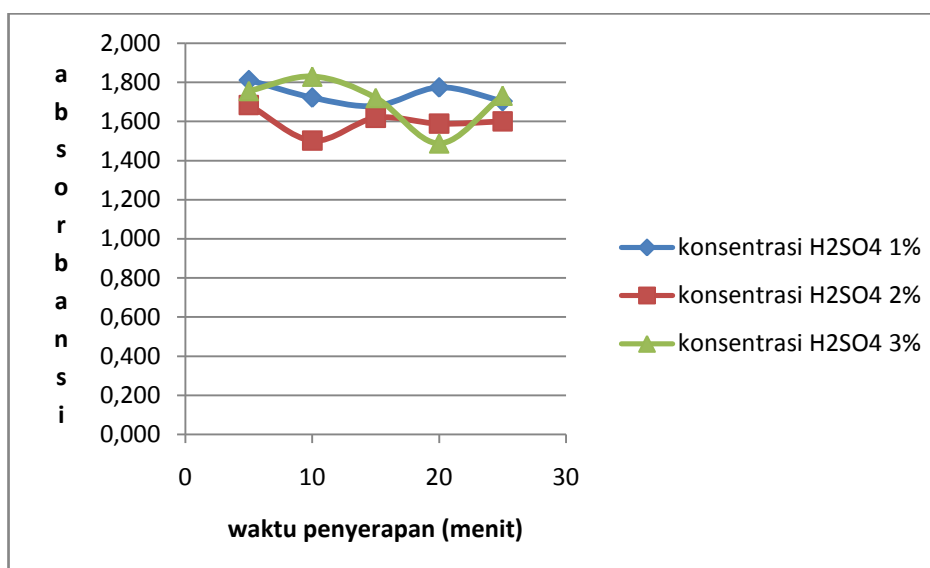


## H.2. Penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu aktivasi

### 1. Waktu aktivasi 60 menit



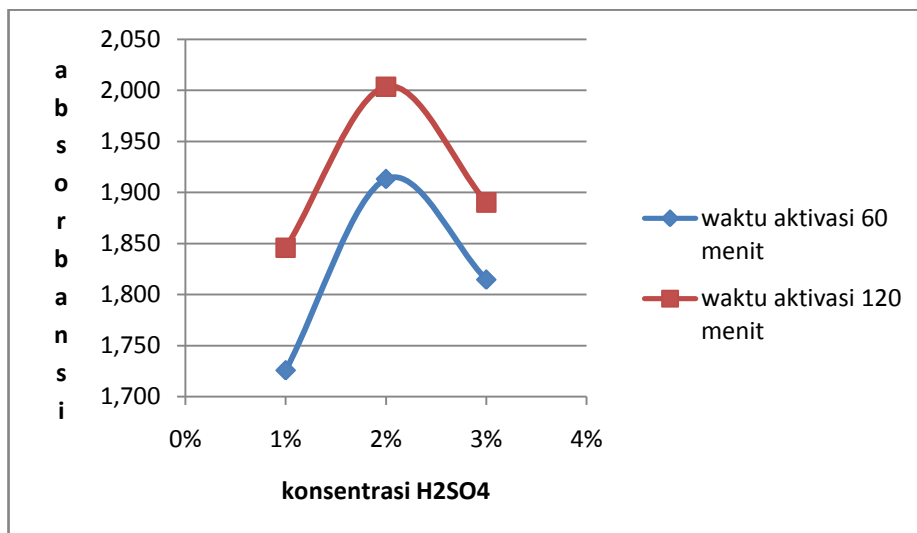
### 2. Waktu aktivasi 120 menit



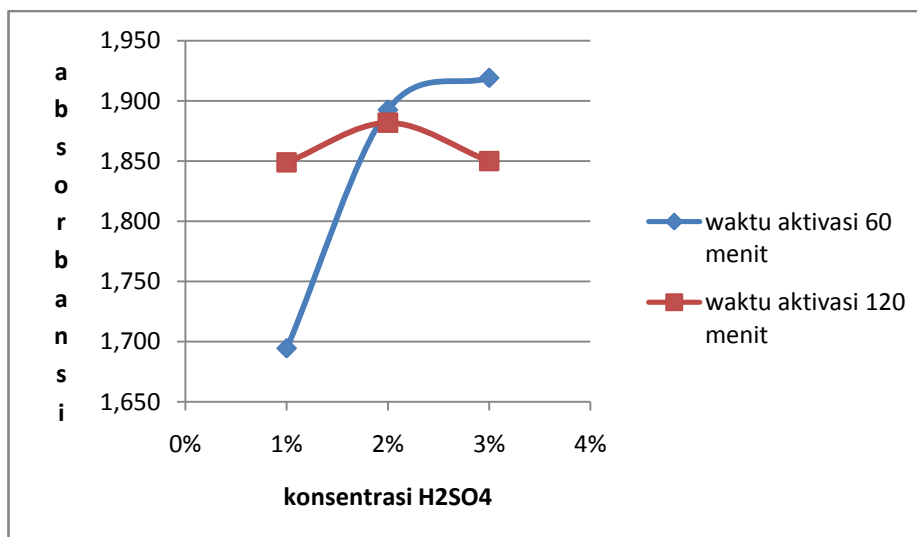
## LAMPIRAN I

### I.1. Penentuan kondisi optimum *fly ash* tanpa penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan

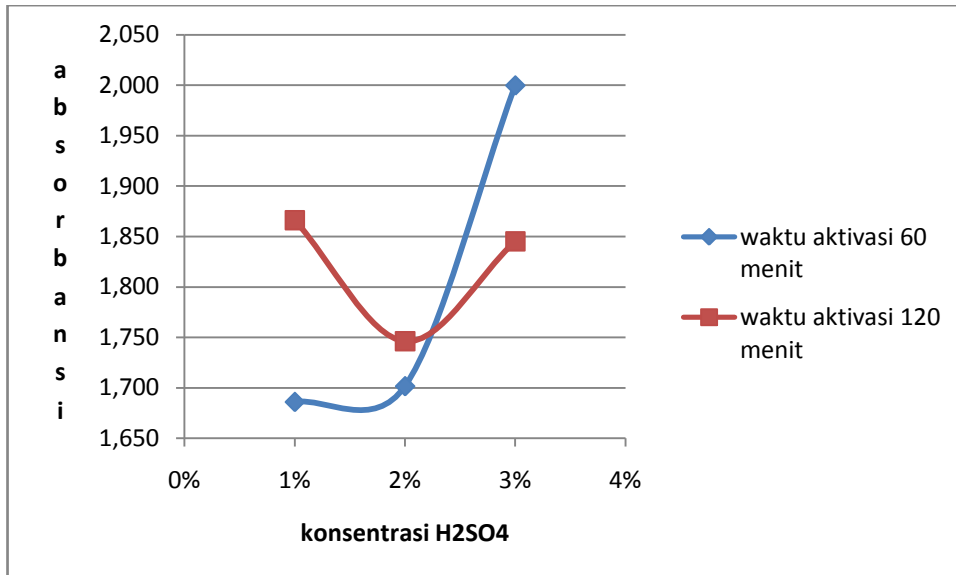
#### 1. Waktu penyerapan 5 menit



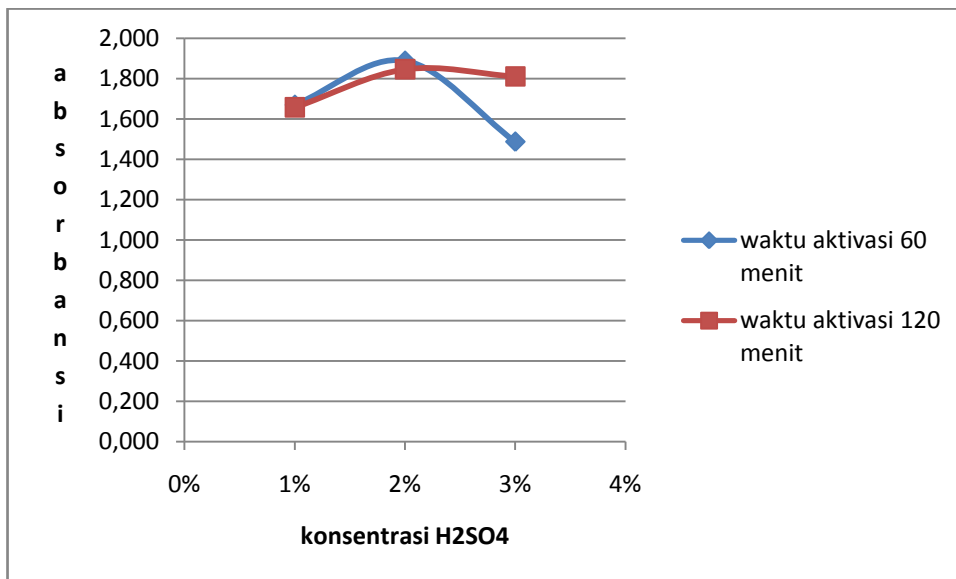
#### 2. Waktu penyerapan 10 menit



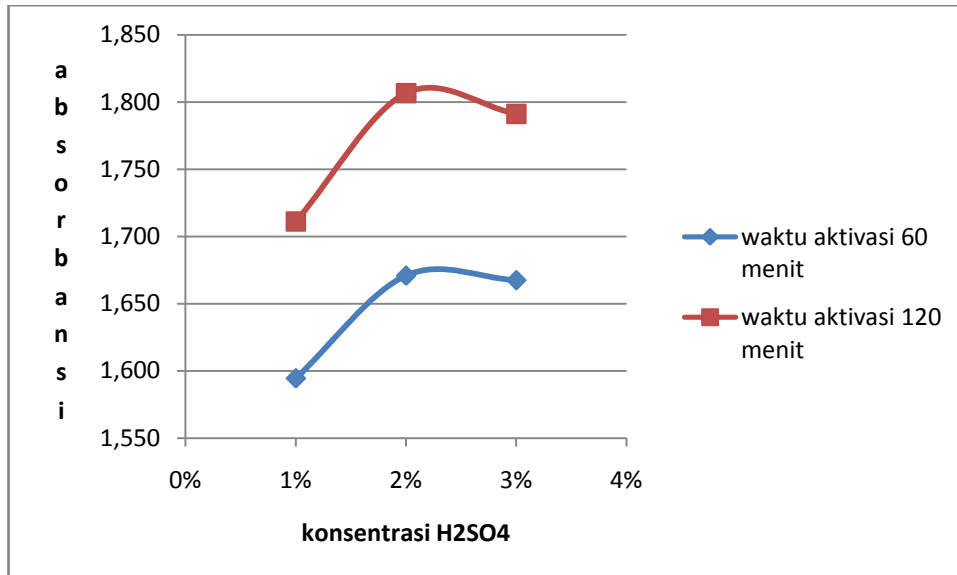
## 3. Waktu penyerapan 15 menit



## 4. Waktu penyerapan 20 menit

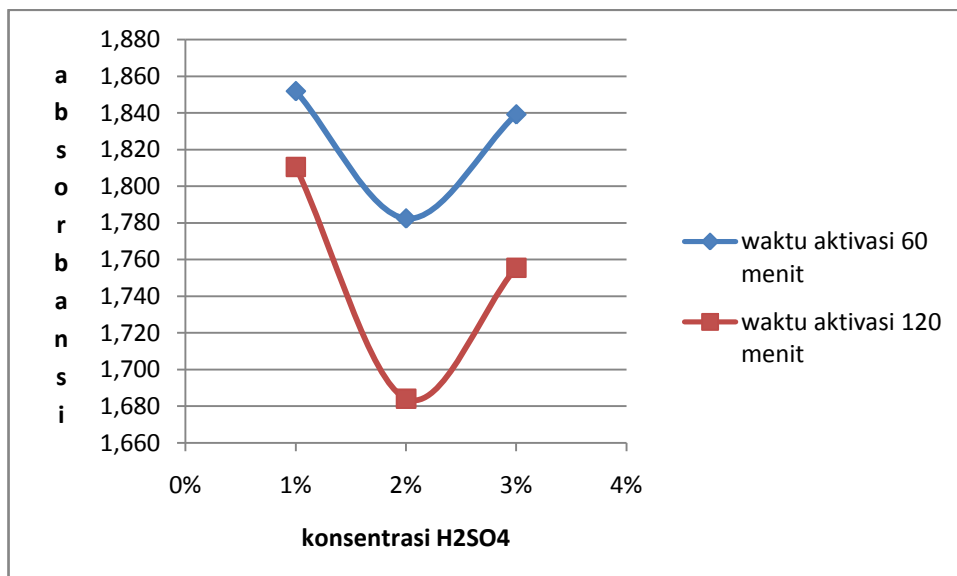


### 5. Waktu penyerapan 25 menit

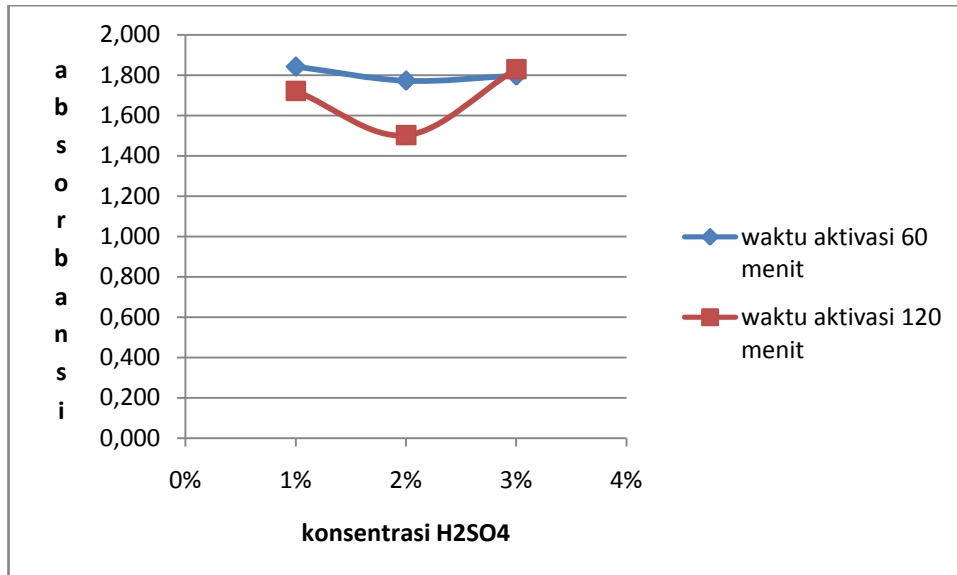


## I.2. Penentuan kondisi optimum *fly ash* dengan penambahan NaOH dilihat dari variasi waktu penyerapan

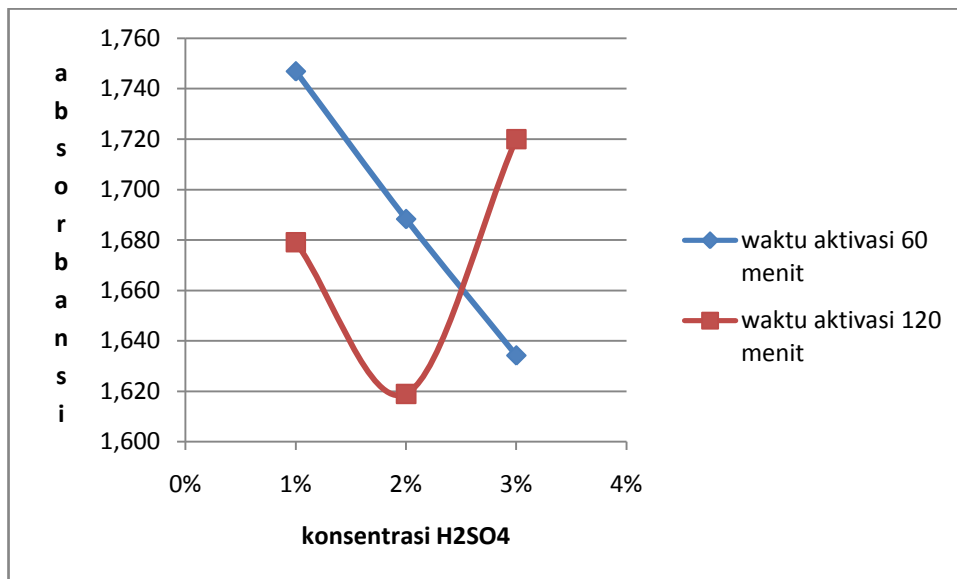
### 1. Waktu penyerapan 5 menit



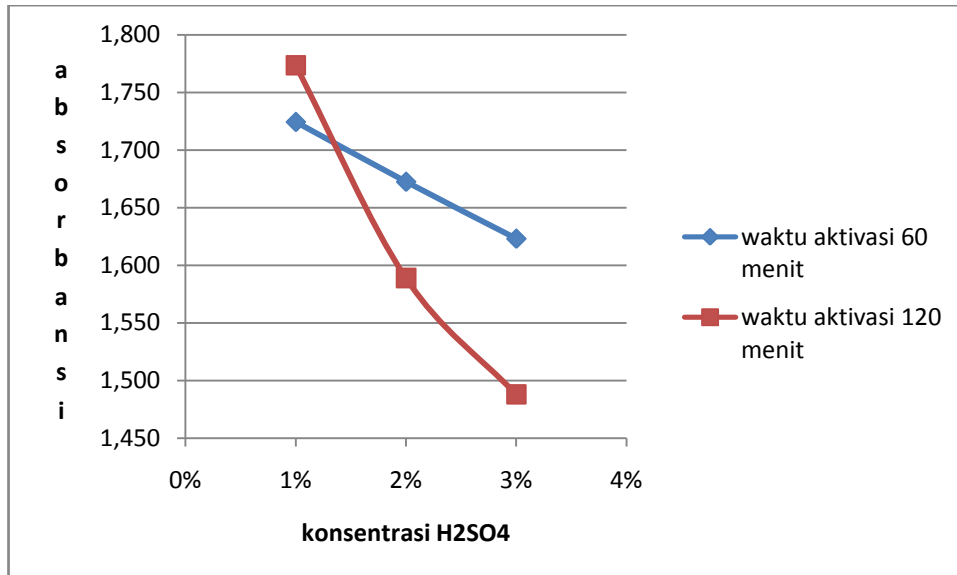
## 2. Waktu penyerapan 10 menit



## 3. Waktu penyerapan 15 menit



## 4. Waktu penyerapan 20 menit



## 5. Waktu penyerapan 25 menit

