

**PENGOLAHAN LIMBAH CAMPURAN LOGAM Fe,  
Cu, Ni DAN AMONIA MENGGUNAKAN METODE  
FLOTASI-FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM  
LAMPUNG SEBAGAI BAHAN PENGIKAT**

**SKRIPSI**

Oleh

**ADINDA NIRMALA SARI**

**04 04 06 00 39**



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

**PENGOLAHAN LIMBAH CAMPURAN LOGAM Fe,  
Cu, Ni DAN AMONIA MENGGUNAKAN METODE  
FLOTASI-FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM  
LAMPUNG SEBAGAI BAHAN PENGIKAT**

**SKRIPSI**

Oleh

**ADINDA NIRMALA SARI**  
**04 04 06 00 39**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul,

**PENGOLAHAN LIMBAH CAMPURAN LOGAM Fe, Cu, Ni DAN AMONIA  
MENGUNAKAN METODE FLOTASI-FILTRASI DENGAN ZEOLIT  
ALAM LAMPUNG SEBAGAI BAHAN PENGIKAT**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 27 Juni 2008

Adinda Nirmala Sari  
0404060039

## **PENGESAHAN**

Skripsi dengan judul,

**PENGOLAHAN LIMBAH CAMPURAN LOGAM Fe, Cu, Ni DAN AMONIA  
MENGUNAKAN METODE FLOTASI-FILTRASI DENGAN ZEOLIT  
ALAM LAMPUNG SEBAGAI BAHAN PENGIKAT**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini akan diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 8 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Depok, 26 Juni 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Eva Fathul Karamah, MT.

NIP. 132 161 170

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Ir. Eva Fathul Karamah, MT**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



## ABSTRAK

Adinda Nirmala Sari NPM 04 04 06 0039 Departemen Teknik Kimia	Dosen Pembimbing Ir. Eva Fathul Karamah, MT.
<b>PENGOLAHAN LIMBAH CAMPURAN LOGAM Fe, Cu, Ni DAN AMONIA MENGUNAKAN METODE FLOTASI-FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI BAHAN PENGIKAT</b>	
<p>Flotasi-filtrasi merupakan metode penyisihan limbah logam berat dan anorganik, yang sangat potensial untuk digunakan pada proses industri ataupun pada industri pengolahan limbah cair. Metode ini merupakan gabungan antara proses flotasi dan filtrasi.</p> <p>Proses flotasi-filtrasi saat ini telah digunakan dalam berbagai industri pada proses pengolahan limbah logam berat dan anorganik. Namun, proses yang ada masih memiliki beberapa kekurangan. Salah satunya adalah kebutuhan akan bahan pengikat yang dapat dengan efektif mengikat partikel-partikel limbah. Oleh karena itu, sebagai solusi yang ditawarkan, dalam penelitian ke depan akan dilakukan proses flotasi-filtrasi menggunakan zeolit alam sebagai bahan pengikat untuk mengurangi kadar limbah logam berat (Fe, Cu, dan Ni) dalam campuran limbah logam berat dan limbah anorganik (NH<sub>3</sub>). Zeolit alam dipilih sebagai bahan pengikat karena distribusi diameter dari pori-pori mediana cukup selektif untuk melakukan proses penyisihan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk, dan polaritas dari molekul yang disaring. Keuntungan lainnya adalah zeolit alam tersedia dalam jumlah yang berlimpah di Indonesia, sehingga harganya lebih murah. Dalam penelitian ini telah dilakukan preparasi bahan pengikat, uji produktivitas ozonator, pembuatan limbah sintetik, penambahan bahan-bahan kimia, dan proses flotasi-filtrasi.</p> <p>Untuk proses flotasi-filtrasi variasi yang telah dilakukan adalah variasi pH awal limbah logam berat, variasi konsentrasi awal amonia dalam limbah campuran logam berat dan anorganik dan variasi pH awal limbah campuran logam berat dan amonia..</p> <p>Dari hasil analisa sampel diketahui bahwa, pH awal optimum dalam pengolahan limbah logam berat adalah 8, konsentrasi awal optimum amonia dalam pengolahan campuran limbah logam berat dan amonia adalah 40 mg/L, dan pH awal optimum dalam pengolahan campuran limbah logam berat dengan amonia adalah 9.</p>	
<b>Kata kunci : Flotasi-filtrasi, Zeolit alam lampung, Limbah Logam berat dan Anorganik.</b>	

## ABSTRACT

Adinda Nirmala Sari NPM 04 04 06 0039 Department of Chemical Engineering	Counsellor Ir. Eva Fathul Karamah, MT.
<b>PROCESSING MIXED WASTE METAL Fe, Cu, Ni AND AMMONIA USING FLOTATION-FILTRATION METHOD WITH NATURAL LAMPUNG ZEOLITE AS BONDING AGENT</b>	
<p>Flotation-filtration is a method to separate heavy metals and anorganic on wastewater. This method combines the advantages of both flotation and membrane separation.</p> <p>Nowadays, flotation-filtration process has been used in many industrial process, especially in wastewater treatment section. But, it still need alternative bonding agent that can improve the effectiveness of this process. Hence, this research used natural Lampung zeolite as alternative bonding agent, to eliminates heavy metals (Fe, Cu, and Ni) in wastewater that contains heavy metal (Fe, Cu, Ni) and anorganic (NH<sub>3</sub>) compounds. The pores of natural lampung zeolite are selective to bond with waste molecules, based on size and polarity of waste molecules. It is also easy to get, because the amount of natural lampung zeolite are abundant.</p> <p>This research consist of zeolite preparation, ozonator productivity test, make synthetic waste, chemical add, and flotation-filtration process. There 3 variation made in flotation-filtration process. First, variation of pH in processing heavy metals waste. Second, variation of ammonia concentration in processing mixed heavy metals and ammonia waste. And third, variation of pH in processing mixed heavy metals and ammonia waste.</p> <p>In result, the optimum pH in processing heavy metals waste is 8. The optimum concentration of ammonia in processing mixed heavy metals and ammonia waste is 40 mg/L. And the optimum pH in in processing mixed heavy metals and ammonia waste is 9.</p>	
<b>Kata kunci : Flotation-filtration, Natural lampung zeolite, Waste heavy metals and anorganic.</b>	

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	i
PENGESAHAN.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR SIMBOL .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 AMONIA.....	6
2.2 LOGAM BERAT Fe, Cu, Ni.....	7
2.2.1 Karakteristik Besi (Fe).....	7
2.2.2 Karakteristik Tembaga (Cu).....	8
2.2.3 Karakteristik Nikel (Ni).....	9
2.3 STANDAR BAKU MUTU LIMBAH.....	11
2.4 FLOTASI.....	12
2.4.1 Jenis-jenis flotasi.....	12
2.4.2 Mekanisme Flotasi Udara.....	13
2.4.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Flotasi.....	15
2.4.4 Kelebihan dan Kekurangan Proses Flotasi .....	16
2.5 FILTRASI MEMBRAN .....	17

2.5.1	Klasifikasi Membran.....	18
2.5.2	Hal-hal Yang Harus Diperhatikan Pada Membran .....	19
2.5.3	Kelebihan dan Kekurangan Membran .....	20
2.5.4	Membran Keramik.....	21
2.6	FLOTASI-FILTRASI .....	22
2.7	ZEOLIT .....	23
2.7.1	Jenis-Jenis Zeolit.....	23
2.7.2	Sifat-Sifat Zeolit .....	24
2.7.3	Zeolit Alam Lampung (ZAL) .....	28
2.7.4	Zeolit jenis klinoptilolit $\{(Na_4K_4)(Al_8Si_{40}O_{96}).24H_2O\}$ .....	28
BAB III METODE PENELITIAN .....		31
3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	31
3.2	PROSEDUR PENELITIAN .....	32
3.2.1	Uji Produktivitas Ozon .....	32
3.2.2	Preparasi Dan Karakterisasi Bahan Pengikat.....	33
3.2.3	Kalibrasi Flowmeter Air .....	34
3.2.4	Kalibrasi Flowmeter Udara.....	34
3.2.5	Proses Flotasi-filtrasi .....	35
3.3	PENGOLAHAN DATA.....	37
3.4	ANALISIS SAMPEL .....	37
3.4.1	Analisis kandungan logam.....	37
3.4.2	Analisis Kandungan Amonia.....	38
3.4.3	Analisis COD.....	38
3.4.4	Analisis pH .....	39
BAB IV HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	HASIL UJI PRODUKTIVITAS OZON.....	40
4.2	PENYISIHAN LOGAM BERAT DARI AIR LIMBAH CAMPURAN Fe, Cu, DAN Ni.....	40
4.2.1	Pengaruh Variasi pH Awal Pencampuran Terhadap Proses Penyisihan Campuran Logam Fe, Cu, dan Ni. ....	41
4.2.2	Pengaruh Variasi pH Terhadap Parameter Kualitas Air Terukur .....	45

4.3	PENYISIHAN LOGAM BERAT DARI AIR LIMBAH CAMPURAN Fe, Cu, Ni DAN AMONIA. ....	48
4.3.1	Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap Proses Penyisihan Campuran Logam Fe, Cu, dan Ni. ....	48
4.3.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap Parameter Kualitas Air Terukur.....	49
4.3.3	Pengaruh Variasi pH Awal Pencampuran Terhadap Proses Penyisihan Campuran Logam Fe, Cu, dan Ni. ....	52
4.3.4	Pengaruh Variasi Variasi pH Awal Pencampuran Terhadap Parameter Kualitas Air Terukur.....	53
4.4	ANALISA VOLUME EFFLUENT TERHADAP EFEKTIFITAS PROSES	56
	BAB V KESIMPULAN.....	58
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

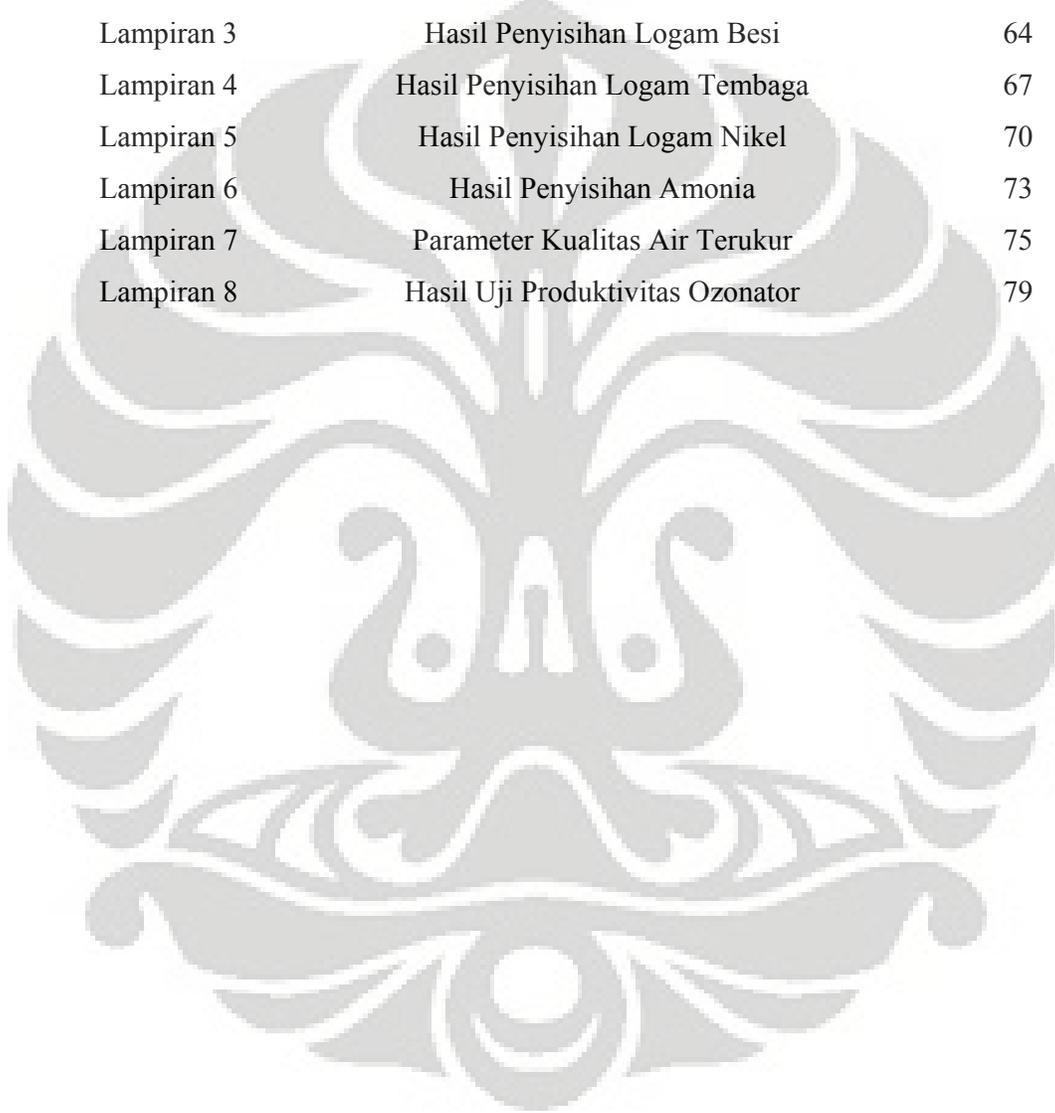
Gambar 2. 1 Sudut Kontak .....	14
Gambar 2. 2 Struktur atom Sodium Lauril Sulfat (SLS) .....	16
Gambar 2. 3 Proses filtrasi.....	18
Gambar 2. 4 Kolom Flotasi-Filtrasi.....	23
Gambar 2. 5 Struktur rangka zeolit alam jenis klinoptilolit .....	29
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Skema peralatan uji produktivitas ozonator.....	32
Gambar 3. 3 Skema peralatan proses flotasi-filtrasi .....	35
Gambar 4. 1 Pengaruh Variasi pH Terhadap % Penyisihan Fe, Cu dan Ni.....	41
Gambar 4. 4 Pengaruh Variasi pH awal terhadap pH akhir limbah. ....	46
Gambar 4. 5 Pengaruh pH awal terhadap nilai COD.....	47
Gambar 4. 6 Pengaruh variasi konsentrasi amonia terhadap % penyisihan logam. ..	48
Gambar 4. 7 Pengaruh Variasi konsentrasi amonia terhadap pH akhir limbah. ....	50
Gambar 4. 8 Pengaruh konsentrasi amonia terhadap nilai COD .....	51
Gambar 4. 9 Pengaruh pH awal limbah campuran terhadap persentase penyisihan logam .....	52
Gambar 4. 10 Pengaruh pH awal terhadap pH akhir .....	54
Gambar 4. 11 Pengaruh pH awal terhadap nilai COD.....	55
Gambar 4. 12 Pengaruh variasi pH awal limbah terhadap volume <i>effluent</i> .....	56
Gambar 4. 13 Pengaruh variasi Konsentrasi awal amonia terhadap volume <i>effluent</i> .....	56
Gambar 4. 14 Pengaruh variasi pH awal limbah campuran Fe, Cu, Ni dan amonia terhadap volume <i>effluent</i> .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat fisika amonia .....	6
Tabel 2. 2 Kelarutan Amonia Dalam Air.....	7
Tabel 2. 3 Sifat Fisika Besi.....	7
Tabel 2. 4 Kelarutan Besi Dalam Air .....	8
Tabel 2. 5 Sifat Fisika Tembaga .....	8
Tabel 2. 6 Sifat fisika Nikel.....	10
Tabel 2. 7 Standar Baku Mutu Limbah.....	11
Tabel 2. 8 Jenis Flotasi Berdasarkan Mekanisme.....	12
Tabel 2. 9 Jenis Flotasi Berdasarkan Terbentuknya Udara .....	13
Tabel 2. 10 Jenis Flotasi Berdasarkan Pengaturan Tekanan.....	13
Tabel 2. 11 Karakteristik Membran.....	19
Tabel 2. 12 Kapasitas Tukar Kation Zeolit.....	26
Tabel 2. 13 Selektifitas Zeolit.....	27
Tabel 2. 14 Energi Bebas Hidrasi Logam.....	27
Tabel 2. 15 Komposisi Kimia ZAL .....	28
Tabel 2. 16 Selektifitas zeolit klinoptilolit.....	30
Tabel 4. 1Kondisi Operasi Optimal Untuk Penyisihan Logam Fe, Cu dan Ni.....	41
Tabel 4. 2 Titik Isoelektrik Logam .....	57

## DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Baku Mutu Limbah Cair	60
Lampiran 2	Perhitungan Pembuatan Limbah Sintetik	61
Lampiran 3	Hasil Penyisihan Logam Besi	64
Lampiran 4	Hasil Penyisihan Logam Tembaga	67
Lampiran 5	Hasil Penyisihan Logam Nikel	70
Lampiran 6	Hasil Penyisihan Amonia	73
Lampiran 7	Parameter Kualitas Air Terukur	75
Lampiran 8	Hasil Uji Produktivitas Ozonator	79



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
S	Zat larut dalam air	-
P	Zat larut sebagian dalam air dan larut dalam asam	-
A	Zat larut dalam asam, namun tidak larut dalam air	-
a	Zat sedikit larut dalam asam, namun tidak larut dalam air	-
I	Zat tidak larut dalam asam atau air	-
d	Zat terdekomposisi dalam air	-
$\theta$	Sudut kontak gelembung	-
Tsg	Tegangan permukaan padatan-gelembung gas	-
Tls	Tegangan permukaan cair-padatan	-
Tlg	Tegangan permukaan cair-gelembung gas	-
M	Kation alkali atau alkali tanah	-
n	Valensi logam	-
x	Bilangan bulat positif	-
y	Bilangan bulat positif	-
C, D	Kation yang dipertukarkan	-
$Z_c, Z_d$	Muatan masing-masing kation	-
Z	Zeolit	-
L	Larutan	-
$C_0$	Konsentrasi awal limbah	-
C	Konsentrasi akhir limbah	-

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Dalam beberapa dekade terakhir ini perekonomian Indonesia tumbuh secara pesat yang ditandai dengan perkembangan kegiatan sektor industri, khususnya di kota-kota besar. Dilihat dari sisi ekonomi perkembangan kegiatan industri sangatlah menguntungkan, baik dari sisi penerimaan pajak, bea dan retribusi maupun dari sisi penyediaan lapangan kerja yang akan membangkitkan rantai pertumbuhan ekonomi yang lebih panjang. Namun demikian, di sisi lain perkembangan sektor industri ini ternyata membawa dampak negatif bagi lingkungan akibat pembuangan limbah yang tidak didahului dengan pengolahan yang layak. Akibatnya, banyak badan air yang tercemar dan menimbulkan efek negatif seperti bau yang tidak sedap, airnya berwarna hitam dan pekat. Oleh karena itu saat ini air bersih semakin sulit ditemukan terutama di kota-kota besar di Indonesia.

Limbah yang ditemukan pada air sebagian besar merupakan campuran dari beberapa jenis limbah. Contohnya, campuran antara limbah logam berat dan limbah anorganik. Limbah logam berat yang terdapat pada air diantaranya, besi (Fe), tembaga (Cu) dan nikel (Ni). Keberadaan limbah Fe, Cu dan Ni dalam air sangat berbahaya bagi manusia karena memiliki kemungkinan yang sangat besar untuk masuk ke dalam tubuh manusia. Limbah Fe dapat menimbulkan bahaya bagi kulit dan pencernaan. Limbah Cu dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal. Sedangkan limbah Ni dapat merusak sel-sel darah dan ginjal jika dikonsumsi dalam jumlah banyak. Limbah yang mengandung logam berat Fe, Cu, Ni biasanya dihasilkan oleh industri petrokimia, peleburan dan pengolahan besi dan tembaga, zat warna dan pigmen, kilang minyak gas bumi, dan lain sebagainya. Sedangkan limbah anorganik yang terdapat pada air contohnya adalah amonia. Limbah amonia yang terkandung dalam air sangat berbahaya bagi manusia jika masuk ke dalam tubuh. Akibat yang paling buruk jika menelan limbah amonia adalah mulut, tenggorokan serta saluran pencernaan terbakar yang berujung kepada kematian. Bagi lingkungan di sekitar limbah amonia akan terjadi kerusakan karena amonia sangat bersifat

korosif. Limbah amonia dihasilkan oleh industri pupuk, manufaktur dan perakitan kendaraan dan mesin, elektroplating dan galvanis, dan lain sebagainya.

Standar baku mutu limbah yang ditetapkan pemerintah berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup KEP-02/MENKLH/I/1988 untuk air limbah Golongan III adalah: Fe 10 mg/L, Cu 3 mg/L, Ni 0,5 mg/L dan amonia 5 mg/L. Pada kenyataannya banyak sungai yang mengandung limbah lebih tinggi dari yang telah ditetapkan. Contohnya, Sungai Cisadane kandungan tembaga (Cu) 48,91 mg/L dan nikel (Ni) 310 mg/L, (Prabowo, H.E., 2004). Sungai Bojong, Kecamatan Tarumajaya, kandungan Amonia mencapai 19,52 mg/L, dan Sungai CBL (Cikarang Bekasi Laut), kandungan amoniak mencapai 30,73 mg/L.(Fai, 2002)

Kenyataan akan tingginya kadar limbah dalam air sungai mendorong dilakukannya proses pengolahan limbah secara khusus agar dapat dibuang atau dapat digunakan kembali untuk memenuhi kebutuhan industri. Berbagai metode pengolahan limbah dapat dilakukan untuk mengurangi kadar logam berat dan amonia yaitu pertukaran ion, Sentrifugasi, flotasi udara, mikrofiltrasi, osmosis balik, dan flotasi-filtrasi. Masing-masing metode memiliki kelemahan yang berbeda-beda misalnya, metode mikrofiltrasi memiliki masalah dengan pengotor (*fouling*) sehingga membran yang digunakan tidak berumur lama. Sedangkan metode flotasi udara memiliki kelemahan dalam mempertahankan ikatan antara gelembung dengan materi yang akan dipisahkan. Namun jika kedua metode tersebut digabungkan akan terbentuk suatu kondisi yang saling menguntungkan. Dimana, masalah pengotor pada membran dapat diminimalisasi dengan adanya udara yang disemprot dari bawah kolom untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada dinding membran. Dan dengan adanya flotasi udara maka kerja membran akan berkurang sehingga energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan membran akan berkurang juga, umur membran pun akan lebih tahan lama

Metode flotasi-filtrasi merupakan gabungan antara proses flotasi dan filtrasi yang bertujuan untuk memisahkan partikel-partikel padat atau cair dari suatu limbah berfasa cair. Keuntungan menggunakan flotasi-filtrasi diantaranya selektivitas yang tinggi, beroperasi pada keadaan ambien, tidak terjadi perubahan fasa pada proses penyisihan, unit operasi yang kecil dan sederhana. Metode flotasi-filtrasi telah terbukti mampu untuk memisahkan Fe, Cu, dan Ni dalam air berdasarkan hasil

penelitian Blocher, et al. (2003) didapatkan hasil sebagai berikut, persentase penyisihan logam nikel 99,9 %, sedangkan logam Cu mencapai 98,5%.

Dalam penelitian kali ini flotasi yang digunakan adalah metode *sorptive flotation* yaitu flotasi yang menggunakan bahan pengikat untuk mengikat partikel yang ingin dipisahkan. Salah satu bahan pengikat yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah zeolit alam Lampung yang berfungsi sebagai penukar ion, penyaring dan absorbent karena strukturnya yang berupa kristal berpori.

Telah banyak penelitian yang membuktikan kemampuan zeolit alam untuk mengolah limbah logam maupun amonia. Diantaranya adalah, Tsitsisvii (1980) dan Blanchard (1984) menemukan zeolit klinoptilolit dapat memisahkan logam berat (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Ni dan Hg) baik dalam limbah industri ataupun dalam tanah pertanian untuk "soil conditioning". Gilbert P. N. (1997) menemukan bahwa zeolit alam Lampung yang telah dikalsinasi pada suhu 550 °C menggunakan metode adsorpsi dapat mengurangi limbah amonia dengan konsentrasi awal 500 mg/L sebesar 99,68% dalam waktu 22 jam menjadi 1,6 mg/L. Penggunaan zeolit alam lampung memiliki keuntungan diantaranya, banyak tersedia di Indonesia sehingga mudah didapat.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

Penggunaan metode flotasi-filtrasi untuk mengurangi kadar limbah Fe, Cu dan Ni dalam campuran limbah logam berat dan anorganik dengan zeolit alam lampung sebagai bahan pengikat, belum banyak dilakukan Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas metode tersebut. Perlu juga diketahui kondisi optimum untuk proses simultan tersebut yaitu pH awal limbah dan pengaruh konsentrasi awal limbah anorganik terhadap penyisihan logam.

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pH awal limbah optimum untuk campuran limbah Fe, Cu, Ni dengan menggunakan metode flotasi-filtrasi.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi awal amonia terhadap penyisihan logam Fe, Cu dan Ni dalam campuran limbah logam dan amonia.

3. Mengetahui pH awal limbah optimum untuk campuran limbah logam dan amonia dengan menggunakan metode flotasi-filtrasi.

#### **1.4 BATASAN MASALAH**

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bahan pengikat yang digunakan untuk mengurangi kadar limbah amonia dan logam berat dengan metode flotasi-filtrasi adalah zeolit alam Lampung.
2. *Diffuser* yang digunakan pada proses flotasi-filtrasi untuk mengurangi kadar limbah adalah ozon.
3. Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah sintetik.
4. Analisis terhadap konsentrasi logam dilakukan dengan menggunakan metode spektroskopi absorpsi atom.
5. Analisis terhadap konsentrasi amonia dilakukan dengan menggunakan metode UV spektrofotometer.

Parameter kualitas air yang diukur adalah : kandungan logam, kandungan amonia, pH, dan COD

6. Variabel yang diamati selama penelitian meliputi:  
Variabel bebas : konsentrasi awal limbah dan pH limbah.  
Variabel terikat : konsentrasi akhir limbah.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, yaitu:

##### **BAB I**

Merupakan penjelasan mengapa diperlukan pengolahan limbah Fe, Cu, Ni dan amonia. Terdapat juga rumusan masalah, tujuan penelitian, dan ruang lingkup yang akan dibahas pada makalah ini.

##### **BAB II**

Merupakan tinjauan pustaka yang akan Menjelaskan karakteristik zeolit dan karakteristik logam Fe, Cu, Ni dan amonia. Serta menjelaskan proses pengolahan limbah yang mengandung Fe, Cu, Ni dan amonia dengan menggunakan metode flotasi-filtrasi dengan zeolit alam Lampung sebagai bahan pengikat.

### **BAB III**

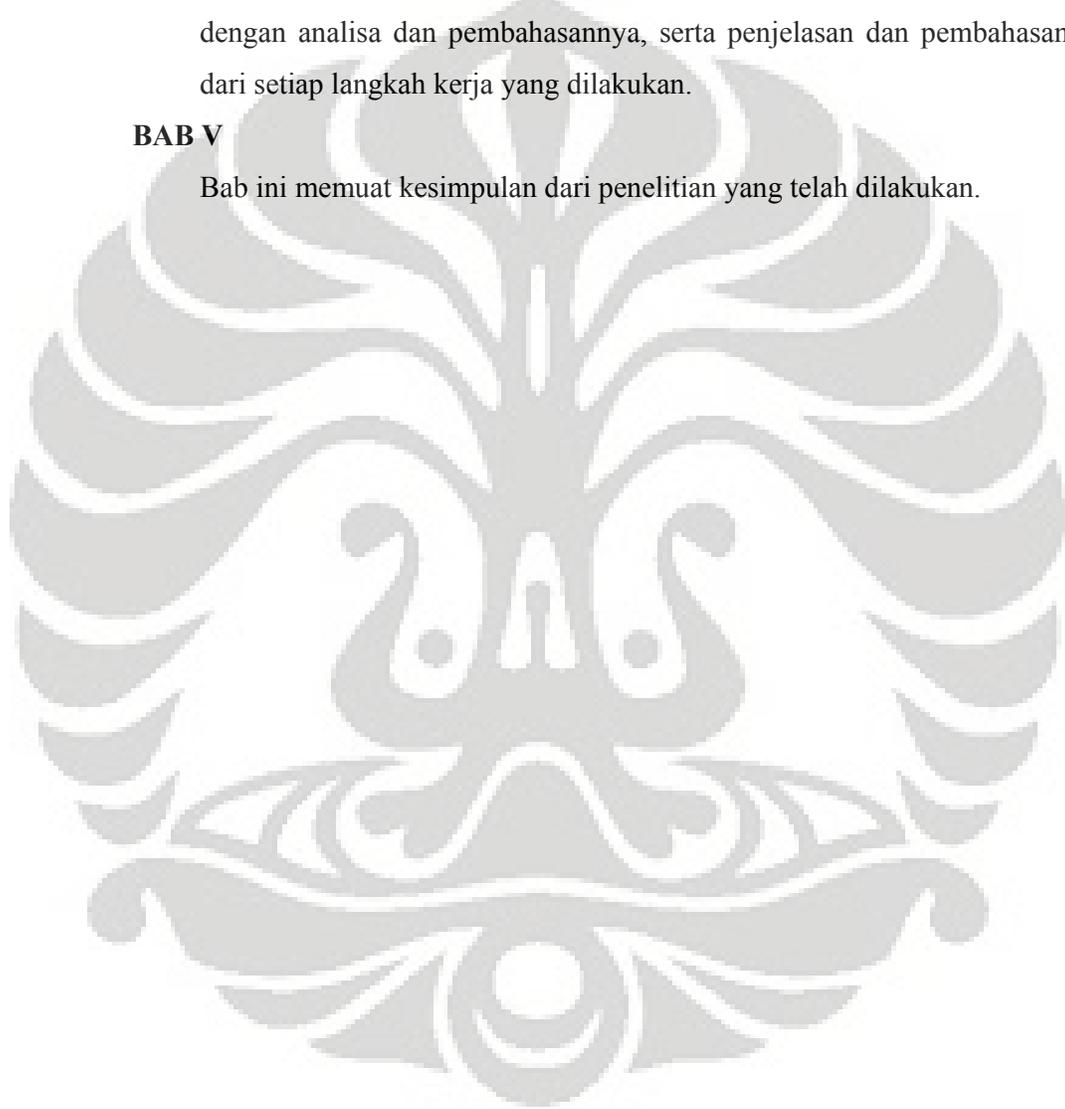
Menjelaskan metode dan prosedur yang digunakan dalam melakukan pengambilan dan pengolahan data dalam proses flotasi-filtrasi menggunakan zeolit alam Lampung sebagai bahan pengikat.

### **BAB IV**

Merupakan pemaparan terhadap hasil penelitian yang dilengkapi dengan analisa dan pembahasannya, serta penjelasan dan pembahasan dari setiap langkah kerja yang dilakukan.

### **BAB V**

Bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 AMONIA

Amonia termasuk dalam golongan senyawa alkalin dari hidrogen dan nitrogen. Amonia memiliki bau yang tajam, tidak berwarna dan biasa ditemui dalam bentuk cairan. Amonia tidak terlalu cepat terbakar namun dapat menyebabkan ledakan. Kebakaran dapat dipadamkan dengan kabut air (*water fog*). Sifat-sifat fisika amonia dapat dilihat pada Tabel 2.1

Bau amonia yang tajam dapat menyebabkan batuk-batuk, sesak napas bahkan tercekik. Uapnya dapat merusak mata, kulit, dan membran selaput lendir. Dapat menyebabkan kematian bagi tumbuhan dan hewan. Sedangkan bagi lingkungan di sekitarnya amonia bersifat korosif dan beracun bagi hewan atau tumbuhan. Bagi makhluk hidup di air amonia dapat menyebabkan kerusakan atau kematian karena amonia yang kontak dengan air akan terhidrolisis dan membentuk kabut amonium hidroksida yang berbahaya.

**Tabel 2. 1 Sifat fisika amonia**

No.	Sifat	Nilai
1.	Berat Molekul	17,03 g/mol
2.	Titik Didih (1 atm)	-30,9°C (-23,62°F)
3.	Titik Lebur	-78°C (-108°F)
4.	Spesifik Gravity (udara = 1) 25°C	0,5970
5.	Spesific Volume 0°C	22,6 lb/ft <sup>3</sup> (1,452 kg/ m <sup>3</sup> )
6.	Densitas Fasa Cair (-33,35 °C & 1 at)	0,6818 g/L
7.	Tegangan Permukaan (11 °C)	23,38 dyne/cm
8.	Kelarutan Dalam Air (101 kPa)	
	40 °C	316 g/L
	60 °C	168 g/L

Amonia dapat larut dalam air melalui beberapa bentuk, sifat kelarutan amonia dalam air dipengaruhi oleh tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Kelarutan amonia dalam air dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2 Kelarutan Amonia Dalam Air (www.salflakemetals.com)**

	Asetat	Klorat	Klorida	Hidroksida	Iodida	Nitrat	Oksida	Fosfat	Sulfat	Sulfida
Amonia	S	S	S	-	S	S	-	S	S	S

## 2.2 LOGAM BERAT Fe, Cu, Ni

Logam berat merupakan unsur logam dengan densitas yang lebih besar dari 5 g/mL, yang dibentuk dari bahan murni organik dan anorganik dari kerak bumi. Beberapa logam berat yang terkandung dalam air adalah besi, tembaga dan nikel.

### 2.2.1 Karakteristik Besi (Fe)

Besi termasuk sebagai unsur transisi (4d) merupakan unsur keempat terbanyak yang ditemukan di alam setelah oksigen, silikon, dan aluminium. Besi memiliki warna hijau muda ( $Fe^{2+}$ ) dan kuning coklat ( $Fe^{3+}$ ). Sifat-sifat fisika Besi dapat dilihat pada Tabel 2.3. Besi dapat mengakibatkan iritasi mata dan kulit serta berbahaya jika tertelan. (<http://www.irwin.com>)

**Tabel 2. 3 Sifat Fisika Besi**

No.	Sifat	Nilai
1.	Berat Molekul	55,847 g/mol
2.	Ukuran Atom	248,2 pm
3.	Volume Atom	7,1 cm <sup>3</sup> /mol
4.	Titik Didih (1 atm)	3032 K
5.	Titik Lebur	1080,2 K
6.	Titik Leleh	1808 K
7.	Panas Peleburan	13,8 kJ/mol
9.	Panas Penguapan	349,6 kJ/mol
10.	Densitas (293 K)	7,86 gr/cm <sup>3</sup>
11.	Konduktivitas elektrik	102,987 J/(m-ohm-cm)

Besi dapat larut dalam air melalui beberapa bentuk, sifat kelarutan besi dalam air dipengaruhi oleh tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Kelarutan besi dalam air dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4 Kelarutan Besi Dalam Air (www.saltlakemetals.com)**

	Asetat	Klorat	Klorida	Hidroksida	Iodida	Nitrat	Oksida	Fosfat	Sulfat	Sulfida
Iron(II)	S	S	S	A	S	S	A	A	S	A

### 2.2.2 Karakteristik Tembaga (Cu)

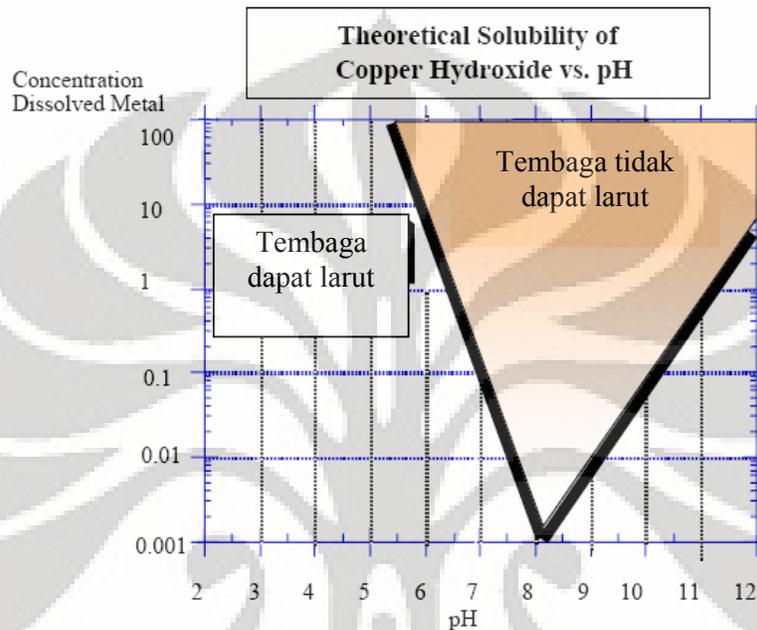
Tembaga merupakan logam yang terbentuk secara alami, biasanya ditemukan didalam batu karang, tanah, air dan udara. Sifat-sifat fisika Tembaga dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2. 5 Sifat Fisika Tembaga**

No.	Sifat	Nilai
1.	Berat Molekul	63,546 g/mol
2.	Ukuran Atom	255,6 pm
3.	Spesific Gravity	8,92
4.	Titik Didih (1 atm)	2595 C
5.	Titik Leleh	1083 C
6.	Densitas (293 K)	8,96 g·cm <sup>-3</sup>
7.	Konduktivitas elektrik	(25 °C) 24,440 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

Tembaga pada umumnya dihasilkan oleh industri pertambangan, pertanian dan manufaktur. Namun, tembaga juga dapat dilepaskan secara alami dari bumi melalui bencana seperti gempa bumi, angin topan, kebakaran hutan dan pembusukan tumbuhan. Manusia membutuhkan tembaga dalam jumlah kecil setiap harinya, namun jika terlalu banyak menghisap tembaga akan berbahaya bagi kesehatan manusia. Karena dapat menyebabkan iritasi pada hidung dan tenggorokan. Sedangkan jika tertelan dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan pusing, muntah-muntah, diare dan yang terparah dapat merusak kerja ginjal dan

hati sehingga menyebabkan kematian ([www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) ). Tembaga dapat larut dalam air melalui beberapa bentuk, sifat kelarutan tembaga dalam air dipengaruhi oleh tingkat keasaman atau kebasaaan suatu larutan. Kelarutan tembaga dalam air dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Kelarutan Teoritis Hidroksida Tembaga ([www.mtech.umd.edu](http://www.mtech.umd.edu))

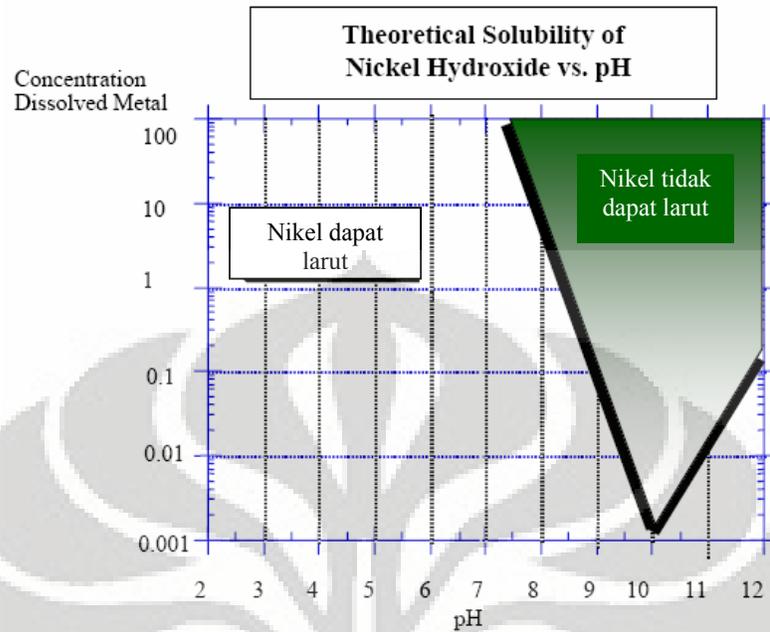
### 2.2.3 Karakteristik Nikel (Ni)

Nikel merupakan elemen alami yang jumlahnya melimpah di alam. Nikel murni bersifat keras, berwarna putih keperakan tidak berwarna dan tidak berbau. Nikel dapat dikombinasikan dengan logam lainnya seperti, besi, tembaga, krom, dan zinc untuk membentuk *alloy*. *Alloy* ini digunakan untuk membuat koin, perhiasan, dan peralatan seperti keran, dan penukar panas. Pada umumnya nikel digunakan untuk *stainless steel*. Sifat-sifat fisika Nikel dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2. 6 Sifat fisika Nikel**

No.	Sifat	Nilai
1.	Berat atom	58,693 amu
2.	Ukuran Atom	249,2 pm
3	Titik leleh	1728 K
4.	Titik didih	3186 K
5.	Konduktivitas termal	90,7 W/(m.K)
6.	Kalor jenis	440 J/(Kg.K)
7.	Elektronegativitas	1,91 (skala Pauling)

Nikel dapat menyebabkan alergi bagi manusia, ini adalah efek yang paling sering ditemui. Jika seseorang telah alergi dengan nikel maka kontak dengan logam lain dapat menyebabkan kulit kemerahan, dan memicu asma. Jika menghirup atau menelan nikel dalam jumlah yang cukup banyak dapat menyebabkan radang paru-paru dan mengurangi kemampuan kerja paru-paru. Jumlah nikel dalam tubuh dapat terakumulasi, sehingga hal ini sangat berbahaya bagi pekerja yang lingkungan sekitarnya banyak menghasilkan nikel, karena tanpa disadari jumlah nikel yang masuk dalam tubuh telah terakumulasi menjadi banyak dan berbahaya bagi kesehatan pekerja. (<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts15.html> ). Nikel dapat larut dalam air melalui beberapa bentuk, sifat kelarutan nikel dalam air dipengaruhi oleh tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Kelarutan nikel dalam air dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Kelarutan Teoritis Hidroksida Nikel ([www.mtech.umd.edu](http://www.mtech.umd.edu))

### 2.3 STANDAR BAKU MUTU LIMBAH

Standar baku mutu air limbah golongan III yang ditetapkan pemerintah berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup KEP-02/MENKLH/I/1988 ([lips-online.com](http://lips-online.com)) dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Standar Baku Mutu Limbah

No.	Jenis Limbah	Standar Baku Mutu (mg/L)
1.	Amonia	5,0
2.	Besi	10,0
3.	Tembaga	3,0
4.	Nikel	0,50

Air limbah golongan III merupakan air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertamanan, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

## 2.4 FLOTASI

Flotasi adalah proses kimia-fisika permukaan, dimana terjadi beberapa fenomena secara bersamaan di antara wilayah air-padat-udara. Dimana padatan, cairan atau zat terlarut yang bersifat non-polar mengapung di permukaan larutan dengan menempel pada zat hidrofobik yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari air (Shergold, H.L., 1984).

Prinsip dasar proses flotasi adalah adanya sifat adhesi selektif beberapa partikel terhadap gelembung gas dan bahan pengikat, sedangkan partikel lain akan beradhesi dengan larutannya.

Proses flotasi dapat diaplikasikan pada partikel yang memiliki ukuran antara 500  $\mu\text{m}$  sampai 2 - 10  $\mu\text{m}$ . Ukuran partikel yang biasa digunakan adalah 230 – 53  $\mu\text{m}$  ( 65 – 207 mesh). (The Columbia Electronic Encyclopedia, 2003)

Secara umum mekanisme proses flotasi adalah sebagai berikut :

Partikel yang permukaannya kasar dan berukuran lebih kecil dari gelembung gas akan menempel pada gelembung gas, sedangkan partikel yang berukuran lebih besar akan terikat pada pori-pori bahan pengikat. Bahan pengikat ini kemudian akan terdorong oleh gelembung-gelembung gas sehingga mengapung.. sedangkan partikel yang permukaannya halus akan tetap terlarut dan tidak mengapung.

### 2.4.1 Jenis-jenis flotasi

Berdasarkan mekanisme flotasi, flotasi dapat dibedakan menjadi, dapat dilihat pada Tabel 2.8.

**Tabel 2. 8 Jenis Flotasi Berdasarkan Mekanisme**

Flotasi Ion	Dimana sebelum proses flotasi terjadi pertukaran ion antara bahan pengikat dengan limbah.
Flotasi Endapan	Merupakan gabungan antara proses presipitasi dan proses flotasi.
<i>Sorptive flotation</i>	Merupakan gabungan dari proses adsorpsi dan proses flotasi dimana logam yang akan dipisahkan pertama-tama akan diadsorp oleh suatu bahan pengikat kemudian di flotasi untuk misahkan dari air limbah

Sedangkan berdasarkan proses terbentuknya udara, flotasi dapat dibedakan menjadi, dapat dilihat pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9 Jenis Flotasi Berdasarkan Terbentuknya Udara**

Flotasi udara terdispersi	Flotasi yang menghasilkan gelembung gas dengan diameter > 1 mm.
Flotasi udara terlarut	Flotasi yang menghasilkan gelembung dari larutan gas jenuh hasil aerasi yang mengalami pengurangan tekanan.

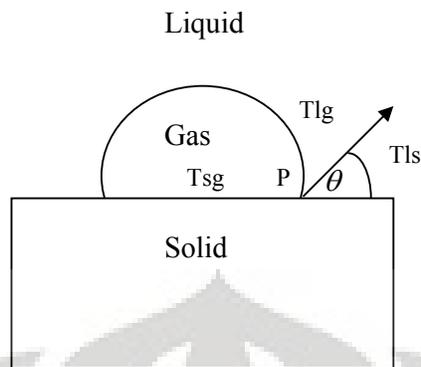
Dan Berdasarkan pengaturan tekanannya, flotasi dapat dibedakan menjadi, dapat dilihat pada Tabel 2.10.

**Tabel 2.10 Jenis Flotasi Berdasarkan Pengaturan Tekanan**

Flotasi vakum	Pada flotasi vakum, limbah yang telah diaerasi akan dimasukkan ke dalam tangki vakum sampai terjadi flotasi.
Flotasi bertekanan	Proses yang terjadi hampir sama dengan flotasi vakum, hanya saja tangki yang digunakan memiliki tekanan sekitar 30-40 psi.

#### 2.4.2 Mekanisme Flotasi Udara

Flotasi udara atau *dissolved air flotation* (DAF) telah banyak digunakan dalam dunia industri pengolahan limbah cair. Flotasi udara memanfaatkan udara untuk membentuk gelembung-gelembung gas. Partikel-partikel larutan akan mengalami kontak dengan gelembung gas. Dengan adanya kontak ini maka akan terbentuk garis sekeliling partikel pada permukaan gas-air, gas padatan dan air padatan yang terikat pada bahan pengikat. Pada garis tiga permukaan ini akan terjadi keseimbangan kekuatan (misalnya, gaya apung dan gaya gravitasi) antara tiap permukaan. Dalam kondisi sebenarnya, kemampuan partikel untuk mengapung atau terikat pada bahan pengikat sangat dipengaruhi oleh daya larut dan tegangan permukaan.



**Gambar 2. 3 Sudut Kontak**

Gambar 2.3 merupakan gelembung gas ideal yang memiliki tegangan permukaan sebagai sebuah vektor. Partikel-partikel padatan akan menempel pada gelembung gas dengan sudut kontak  $\theta$ , Sudut  $\theta$  diukur dalam fasa cair. Titik P adalah proyeksi dari garis kontak tiga permukaan pada bidang gambar. Untuk keseimbangan yang tetap, kekuatan dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Wills, B.A.,1988) :

$$\cos \theta = \frac{T_{sg} - T_{ls}}{T_{lg}} \quad (2.1)$$

Sudut kontak  $\theta$  merupakan suatu indikasi kemampuan mengapung. Jika sudut kontak mendekati atau sama dengan nol, air akan cenderung lebih kuat mengikat padatan. Sehingga padatan tidak akan mengapung. Kemampuan mengapung akan bertambah dengan semakin besarnya sudut  $\theta$ .

Ada beberapa sistem flotasi udara yang digunakan misalnya, berbentuk kotak atau kolom. Namun yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sistem flotasi kolom, karena flotasi kolom memiliki beberapa keuntungan dibandingkan flotasi konvensional lainnya yaitu :

- Menghasilkan keluaran dengan mutu yang lebih tinggi
- Biaya operasi yang lebih rendah.
- Kestabilan operasi meningkat
- Biaya perawatan lebih rendah
- Cocok digunakan untuk kontrol otomatis.

### 2.4.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Flotasi

Kemampuan sistem flotasi dalam mengapungkan suatu partikel dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut :

- **Ukuran Partikel**

Ukuran partikel akan mempengaruhi kemampuan mengapung suatu partikel, dimana semakin halus ukuran partikel tersebut akan semakin sulit untuk mengapung. Secara umum Proses flotasi dapat diaplikasikan pada partikel yang memiliki ukuran antara 500  $\mu\text{m}$  sampai 2-10  $\mu\text{m}$ . Ukuran partikel yang biasa digunakan adalah 230–53  $\mu\text{m}$  (65–207 mesh ). Ketidakmampuan partikel halus untuk mengapung, disebabkan karena (Basset J., et al, 1994) :

- Sudut kontak yang terlalu kecil
- Agitasi yang terlalu kuat
- Penyisihan yang tidak sempurna.

Partikel partikel halus tidak hanya lambat mengapung, tetapi dapat dikatakan tidak mengapung, karena kesempatan kontak yang telalu kecil antara partikel tersebut dengan gelembung gas, di samping itu juga karena permukaan partikel-partikel halus lebih ekstensif dan lebih dipengaruhi oleh ion-ion pelarutnya.

- **pH larutan**

Dalam proses flotasi pH suatu larutan akan berpengaruh pada hal-hal berikut :

- Interaksi antara logam-ligan, sehingga akan mempengaruhi kestabilan ion kompleks yang terbentuk (Basset J., et al, 1994),
- Interaksi ion dengan kolektor (Shergold, 1984). *Kolektor* mempunyai titik *isoelektrik*, yakni titik pH dimana *kolektor* yang berada dalam bentuk molekulnya tidak mempunyai muatan. *Kolektor* yang berada dalam bentuk kationiknya sebaiknya digunakan pada larutan, yang mempunyai harga pH dibawah titik *isoelektrik kolektornya*, sehingga kolektornya tetap bermuatan positif. Sedangkan *kolektor* dalam bentuk anionik harus digunakan pada larutan dengan harga pH berada diatas titik *isoelektrik kolektornya*.

- **Surfaktan**

Pada proses flotasi, surfaktan berfungsi sebagai kolektor dan mempertahankan bentuk gelembung dan menjaga agar gelembung tidak pecah selama proses pengangkatan (*Floated*) berlangsung. Surfaktan yang dapat digunakan dalam proses flotasi adalah :

- Anionik
- Kationik
- Zwitterion
- Non ionik

Surfaktan yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah Sodium Lauril Sulfat (SLS), struktur atom SLS dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4 Struktur atom Sodium Lauril Sulfat (SLS)**

SLS merupakan surfaktan jenis anionik, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan gelembung yang baik bahkan dalam air sadah. Ujung dari atom SLS yang bermuatan memiliki afinitas terhadap air dan bersifat hidrofilik. Sedangkan rantai karbonnya bersifat nonpolar dan lipofilik.

#### **2.4.4 Kelebihan dan Kekurangan Proses Flotasi**

Kelebihan proses ini dibandingkan dengan proses penyisihan limbah cair yang lain antara lain:

- Dapat memisahkan partikel-partikel logam yang lebih kecil dan lebih ringan.
- Laju limpahan air limbah lebih besar sedangkan waktu detensi yang dibutuhkan lebih singkat sehingga ukuran tangki yang dibutuhkan lebih kecil. Oleh karena itu proses ini hanya memerlukan ruangan yang tidak terlalu besar dan biaya yang lebih ekonomis.
- Bau limbah yang mengganggu dapat diminimalisasi karena air limbah tidak terlalu lama di diamkan di dalam tangki dan karena adanya udara terlarut dalam keluaran limbah.
- Lumpur (*sluge*) yang diperoleh lebih tebal karena lebih banyak partikel-partikel logam berat yang terikat dan terangkat ke permukaan.

Selain memiliki kelebihan dibandingkan proses yang lain, pengolahan limbah cair dengan proses flotasi juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain:

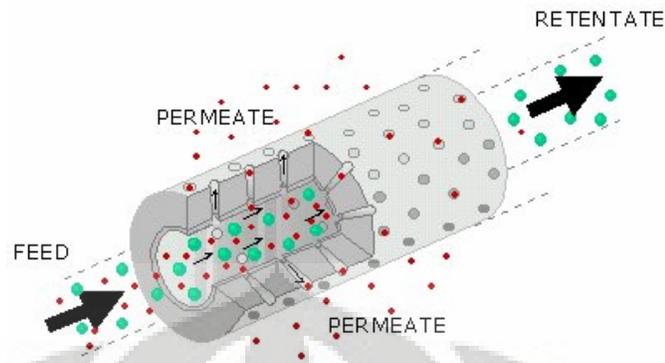
- Untuk pengambilan kembali (*recovery*) logam berat dibutuhkan tambahan alat seperti unit filtrasi.
- Pada flotasi vakum juga diperlukan tambahan alat dan perhatian khusus terhadap kemungkinan terjadinya kebocoran

## 2.5 FILTRASI MEMBRAN

Proses filtrasi membran merupakan proses pemisahan dua aliran dalam fluida cair atau gas. Aliran tersebut mengandung komponen yang tertahan pada membran disebut sebagai aliran *retentate*. Sedangkan komponen yang dapat melewati membran disebut sebagai aliran *permeate*.

Membran sendiri dapat didefinisikan sebagai material yang berupa lapisan tipis yang dapat memisahkan dua fasa zat dan sebagai rintangan selektif dalam perpindahan zat saat suatu daya penggerak diberikan melewati membran tersebut (Mallevalle, 1996).

Perpindahan dalam membran terjadi dengan adanya perbedaan tekanan, perbedaan konsentrasi, perbedaan temperatur dan perbedaan potensial elektrik. Membran akan membentuk rintangan semi-permeable sehingga sebagian partikel akan melewati membran lebih cepat dibanding sebagian lainnya. Maka, proses pemisahan pun dapat terjadi. Proses filtrasi membran dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5 Proses filtrasi**

### 2.5.1 Klasifikasi Membran

Aplikasi membran pada proses separasi industri dapat diklasifikasi berdasarkan gaya pendorong yang menyebabkan terjadinya perpindahan permeat melalui membran. Klasifikasi itu yaitu sebagai berikut (Takeshi Matsuura, 1994):

- Berdasarkan perbedaan tekanan di sepanjang membran.
  - Reverse osmosis
  - Ultrafiltration.
  - Microfiltration
  - Membrane gas and vapor separation.
  - Pervaporation.
- Berdasarkan perbedaan temperatur di sepanjang membran.
  - Distilasi membran
- Berdasarkan perbedaan konsentrasi di sepanjang membran.
  - Dialisis
  - Ekstraksi membran
- Berdasarkan perbedaan potensial elektrik di sepanjang membran.
  - Elektrodialisis

Dari keempat klasifikasi tersebut, yang akan dibahas lebih lanjut hanyalah membran yang diklasifikasi berdasarkan pada perbedaan tekanan.

Perbedaan karakteristik antara membran untuk reverse osmosis, ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Karakteristik Membran

	Reverse osmosis (RO)	Ultrafiltrasi (UF)	Mikrofiltrasi (MF)
<b>Membran</b>	Asimetrikal	Asimetrikal	Asimetrikal, Simetrikal
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ketebalan</b></li> <li>• <b>Film tipis (<i>thin film</i>)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 <math>\mu\text{m}</math></li> <li>• 1 <math>\mu\text{m}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150-250<math>\mu\text{m}</math></li> <li>• 1 <math>\mu\text{m}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 – 150 <math>\mu\text{m}</math></li> </ul>
<b>Ukuran pori</b>	<0,002 $\mu\text{m}$	0,2 – 0,02 $\mu\text{m}$	4 - 0,02 $\mu\text{m}$
<b>Menolak terhadap</b>	sodium klorida, glukosa, asam amino.	Makro molekul, protein, polisakarida.	Tanah liat, bakteri.
<b>Material membran</b>	<i>Cellulose acetate</i> , film tipis.	Keramik, PSO, PVDF, <i>Cellulose acetate</i> , film tipis.	Keramik, PSO, PVDF, PP.
<b>Modul membran</b>	<i>Tubular, spiral wound, plate-and-frame</i>	<i>Tubular, hollow fiber, spiral wound, plate-and-frame.</i>	<i>Tubular, hollow fiber.</i>
<b>Tekanan Operasi</b>	15 – 150 bar	1 – 10 bar	<2 bar

### 2.5.2 Hal-hal Yang Harus Diperhatikan Pada Membran

Dalam penggunaan membrane terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, agar membrane dapat bekerja dengan kondisi yang lebih optimum. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan membrane yaitu :

- Temperatur  
Membran dengan material penyusun CA tidak dapat beroperasi dengan baik pada temperatur diatas 35°C. Sedangkan membran PSO, PVDF dan PAN

dapat beroperasi pada temperatur yang lebih tinggi. Membran PSO dan PVDF pada umumnya beroperasi pada temperatur 95°C. Namun membran PSO dapat beroperasi sampai temperatur diatas 120°C. Kemampuan suatu sistem membran terhadap temperatur tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan temperatur material penyusun bahan. Namun dipengaruhi juga oleh konfigurasi membran dan komponen penyusun membran lainnya.

- Tekanan

Sebagian besar membran sensitif terhadap tekanan, karena tekanan yang tidak sesuai dapat menyebabkan rusaknya membran. Mengikuti petunjuk manufaktur merupakan cara yang terbaik untuk menghindari kerusakan membran akibat tekanan yang tidak sesuai.

- pH

Performa dari membran akan berubah seiring dengan meningkatnya pH, namun masih tetap dapat berfungsi. Sebagian besar membran stabil pada pH rendah.

- Laju alir

Laju alir dari suatu sistem membran sangat dipengaruhi dari kekuatan modul membran.

- Viskositas

Viskositas larutan akan mempengaruhi pressure drop yang terjadi. Semakin besar viskositas maka pressure drop yang terjadi pun akan meningkat.

### 2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan Membran

Membran memiliki kelebihan, seperti :

- Pemisahan dapat dilakukan tanpa perubahan fasa dan pada temperatur ruang.
- Pemisahan tidak memerlukan aditif kimia
- Pemisahan dapat berlangsung tanpa adanya akumulasi produk di dalam membran.

Tetapi, membran juga memiliki beberapa kekurangan, seperti :

- *Fouling membran*

- Polarisasi konsentrasi yaitu penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi pada permukaan membran
- Kerusakan membran khususnya membran polimer karena temperatur yang tinggi
- Kerusakan membran khususnya membran polimer karena keadaan asam atau basa.

#### 2.5.4 Membran Keramik

Membran keramik merupakan campuran oksida yang bergabung menjadi struktur kristal tunggal. Campuran oksida yang biasa digunakan adalah oksida-oksida alumunium, silikon, titanium atau zirkon. Struktur tunggal kristal seperti silikat, baik yang hidrat maupun yang anhidrat seperti alumunium silikat anhidrat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dan magnesium silika anhidrat ( $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ).

Membran keramik memiliki ukuran pori berkisar antara 0,1-0,35  $\mu\text{m}$ . Secara umum, membran keramik stabil secara termal, kimiawi ataupun mekanis, sehingga membran keramik merupakan bahan yang ideal untuk berbagai aplikasi dalam industri kimia, farmasi atau pada proses pengolahan limbah.

Membran keramik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan membran jenis lain, diantaranya adalah :

- Tahan terhadap suhu tinggi ( $\pm 500^\circ\text{C}$ ).
- Tahan terhadap perbedaan tekanan hingga 1000 bar dengan struktur yang tidak berubah.
- Memiliki kekuatan mekanis yang tinggi sehingga tidak mudah rusak dan meningkatkan *life time* dari membran keramik tersebut.
- Tahan terhadap korosi.
- Stabil pada rentang pH yang luas.
- Memiliki ketahanan abrasi yang tinggi.
- Dapat diregenerasi setelah terbentuk *fouling*, penyumbatan bahan-bahan pada pada membran dapat dihilangkan dengan pencucian dan dapat digunakan pada fluida yang sangat kental.

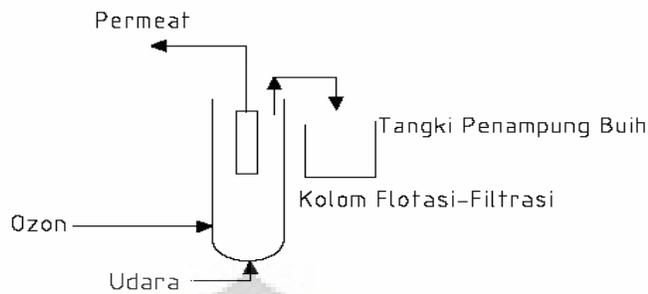
Namun pembuatan membran ini memakan biaya yang cukup besar sehingga modal awalnya juga cukup besar tetapi biaya perawatannya rendah karena proses pembersihannya mudah.

## 2.6 FLOTASI-FILTRASI

Proses flotasi-filtrasi mengkombinasikan keunggulan dari masing-masing proses. Pada flotasi, logam berat pada limbah akan diikat oleh bahan pengikat. Logam yang diikat akan didorong ke permukaan oleh gelembung sehingga membentuk lapisan di permukaan, sehingga dapat dipisahkan. Tetapi, flotasi memiliki kelemahan yaitu logam berat tidak secara permanent berada di dalam *froth*. Sebaliknya, mikrofiltrasi merupakan penyisihan yang baik untuk logam berat, tetapi pada konsentrasi tinggi akan menyebabkan *fouling*.

Pada proses flotasi-filtrasi, *ceramic membranes* didesain untuk dipasang pada kolom flotasi-filtrasi. Kelebihan proses flotasi-filtrasi dibandingkan proses membran konvensional adalah berkurangnya beban kerja membran karena sebagian partikulat telah terbuang melalui proses flotasi dengan bahan pengikat. Sehingga umur membran keramik pun akan lebih lama. Hal ini sangat menguntungkan mengingat harga membran keramik yang mahal.

Proses flotasi filtrasi ini berlangsung secara simultan. Mekanisme penyisihan yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut. Limbah yang telah berada dalam kolom flotasi filtrasi akan disemprotkan udara dari bagian bawah kolom yang bertujuan untuk mengangkat buih ke bagian atas kolom. Adanya udara yang disemprotkan juga dapat mengurangi terjadinya *membrane fouling*. Zeolit sebagai bahan pengikat akan mengikat partikel logam berat (Fe, Cu dan Ni) dan anorganik (amonia) lalu ikut keluar kolom bersama buih yang terbentuk. Selain itu dari bagian bawah kolom juga dialirkan ozon yang berfungsi sebagai oksidan kuat yang akan meningkatkan kualitas air yang dihasilkan dari proses flotasi filtrasi. Pada saat yang bersamaan proses filtrasi menggunakan membran pun berlangsung, pompa vakum akan menyedot limbah melalui membran. Partikel yang berukuran lebih besar dari membran akan tertahan dikolom dan terbawa bersama buih. Gambar kolom flotasi filtrasi dapat diliha pada Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6 Kolom Flotasi-Filtrasi**

## 2.7 ZEOLIT

Zeolit merupakan suatu kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah. Zeolit pertama kali ditemukan pada tahun 1756 oleh Baron Cronstedt, seorang ahli mineral berkebangsaan Swedia. Kata zeolit berasal dari dua kata bahasa Yunani yaitu "zeo" yang berarti mendidih dan "litos" berarti batuan. Karena pada saat dipanaskan zeolit akan mengeluarkan banyak gelembung sehingga disebut sebagai "batuan mendidih" (Yuliusman, 1993). Komponen utama zeolit terdiri dari kation yang dipertukarkan, kerangka aluminasilikat, dan fase air. Struktur zeolit terdiri dari kerangka tiga dimensi  $TO_4$  dengan rumus umum seperti pada Persamaan 2.2.



### 2.7.1 Jenis-Jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis.

- Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam dari bebatuan vulkanik dan banyak dijumpai dalam lubang-lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen Zeolit alam biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar dan kuarsa dan ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*). Di Indonesia, zeolit alam ditemukan pada tahun 1985 oleh PPTM Bandung dalam

jumlah besar, diantaranya tersebar di beberapa daerah pulau Sumatera dan Jawa. Namun dari 46 lokasi zeolit, baru beberapa lokasi yang ditambang secara intensif antara lain di Bayah, Banten, Cikalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung. ([www.batan.go.id](http://www.batan.go.id)).

- Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik merupakan modifikasi dari susunan atom atau komposisi zeolit agar sesuai dengan yang diinginkan. Hal ini pernah dilakukan oleh R.M. Milton dan rekan dari Union Carbide pada tahun 1948 yang berhasil mensintesis zeolit sehingga memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Zeolit ini terbentuk berdasarkan proses termal dari senyawa-senyawa alumina, silika, dan logam alkali.

### 2.7.2 Sifat-Sifat Zeolit

Zeolit memiliki struktur berongga dan biasanya rongga ini berisi air kation-kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu, zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, adsorben, dan sebagai katalis atau penyangga katalis. Sifat zeolit meliputi :

- Sifat Dehidrasi Zeolit

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan berinteraksi dengan molekul yang teradsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal tersebut dipanaskan.

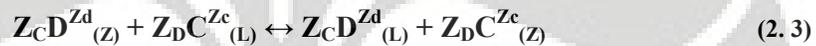
- Sifat Adsorpsi Zeolit

Pada keadaan normal, ruang kosong dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada temperatur  $200\text{ }^{\circ}\text{C} - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Faktor yang mempengaruhi adsorpsi pada permukaan zeolit salah satunya adalah pH larutan. Zeolit

cenderung untuk memiliki pH internal yang tinggi. Jika zeolit dengan pH internal tinggi berada larutan logam dengan konsentrasi internal yang tinggi maka, akan terjadi kemungkinan terbentuknya endapan hidroksida atau karbonat dalam pori-pori atau saluran zeolit dan juga di permukaan zeolit. Pengendapan ini biasanya terjadi pada pH sekitar 11,7. Zeolit memiliki pH optimum pada kisaran 4 – 5 .

- Sifat Penukar Ion

Kemampuan zeolit sebagai penukar ion bergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolit. Banyaknya kation tukar pada zeolit ditentukan oleh banyaknya kation  $Si^{4+}$  yang digantikan oleh kation lain yang bervalensi 3 atau 5. Pertukaran kation pada zeolit akan mencapai kesetimbangan sesuai dengan persamaan 2.3.



Sifat pertukaran ion dipengaruhi oleh hal-hal berikut :

- Ukuran rongga zeolit.

Semakin besar rongga zeolit akan meningkatkan kemampuan zeolit untu melakukan pertukaran ion.

- Rasio Si/Al

Semakin kecil rasio Si/Al akan menambah kapasitas tukar kation suatu zeolit. Kapasitas tukar kation dari beberapa jenis zeolit dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Kapasitas Tukar Kation Zeolit (Sherman, J.D.,1983)

Jenis Zeolit	Ukuran Rongga	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kapasitas Tukar Kation
Analcime	2,6 Å	4	4,9
Clinoptilolite	3,7 Å x 4,2 Å	4	4,9
	4,0 Å x 5,5 Å	10	2,6
Erionite	3,6 Å x 5,5 Å	5	3,3
Ferrierite	3,6 Å x 5,2 Å	11	2,4
	3,4 Å x 4,6 Å		
Modernite	6,7 Å x 7,0 Å	10	2,6
	2,9 Å x 4,4 Å		
Phillipsite	4,2 Å x 4,0 Å	4,4	4,7
	4,3 Å x 4,0 Å		

- Volume ion

Semakin kecil volume ion maka laju pertukaran ionnya pun akan semakin cepat.

- Selektifitas ion

Ion dngan selektifitas tinggi akan lebih mudah masuk dalam rongga-rongga zeolit. Urutan selektifitas dari beberapa jenis zeolit ditunjukkan pada Tabel 2.13.

**Tabel 2. 13 Selektifitas Zeolit**

Jenis Zeolit	Urutan Selektivitas	Peneliti
Analsim	K<Li<Na<Ag	Barreer (1950)
Khabazit	Li<Na<K<Cs	Sheery (1969)
Klinoptilolit	Mg<Ca<Na<NH <sub>4</sub> <K	Ames (1961)
Heulandit	Ca<Ba<Si<Li<Na<Rb<K	Filizova (1974)
Mordenit	Li<Na<Rb<K<Ca	Ames (1961)

- Temperatur

Semakin tinggi temperatur semakin cepat pula laju pertukaran ionnya.

- Energi Bebas Hidrasi

Ketika zeolit diletakan dalam larutan yang mengandung garam logam yang berbeda-beda, maka kemampuan pertukaran ion antara satu logam dengan logam lainnya bergantung pada besarnya energi bebas hidrasi logam tersebut. Semakin besar energi bebasnya maka selektivitas logam tersebut juga akan menurun (Ouki dan Kavannagh, 1997). Energi bebas hidrasi untuk beberapa logam ditunjukkan pada Tabel 2.14. (Wingenfelder et al., 2005, Panayotova dan Velikov, 2002, Ouki dan Kavannagh, 1997)

**Tabel 2. 14 Energi Bebas Hidrasi Logam**

Logam	Jari-Jari Hidrasi (Å)	Jari-Jari Tak Hidrasi (Å)	Energi Bebas Hidrasi (kJ/mol)
Ni <sup>2+</sup>	4,04	0,72	-2105
Cu <sup>2+</sup>	4,19	0,82	-2100
Cd <sup>2+</sup>	4,26	1,03	-1755
Pb <sup>2+</sup>	4,01	1,32	-1425

- Sifat Katalis

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis ataupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi-reaksi katalitik. Ciri paling khusus dari zeolit adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalamnya. Jika zeolit digunakan pada proses

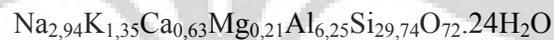
katalisis maka akan terjadi proses difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut.

- Sifat penyaring/pemisah

Meskipun banyak media berpori yang dapat digunakan sebagai penyerap atau pemisah campuran uap atau cair, tetapi distribusi diameter dari pori-pori media tersebut tidak cukup selektif seperti halnya penyaring molekul (zeolit) yang mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk, dan polaritas dari molekul yang disaring.

### 2.7.3 Zeolit Alam Lampung (ZAL)

Sebagian besar Zeolit Alam Lampung (ZAL) memiliki struktur berjenis klinoptilolit. Dengan rumus molekul :



Komposisi ZAL sebagian besar adalah  $\text{SiO}_2$ . Adapun bahan-bahan penyusun lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.15.

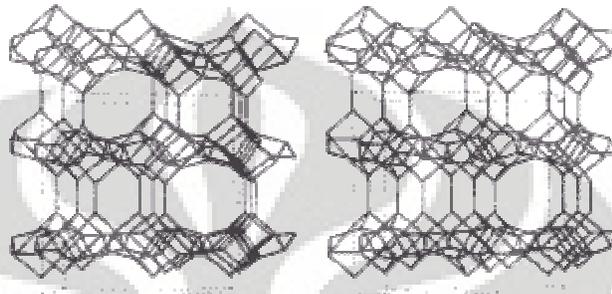
Tabel 2. 15 Komposisi Kimia ZAL (Sugianto, R.,dkk.,1997)

Zat Penyusun	Kandungan Dalam ZAL (%)
$\text{SiO}_2$	72,6
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,4
$\text{CaO}$	3,56
$\text{K}_2\text{O}$	2,17
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,19
$\text{MgO}$	1, 15
$\text{Na}_2\text{O}$	0,45
$\text{TiO}_2$	0,16
Lain-lain	6,32

### 2.7.4 Zeolit jenis klinoptilolit $\{(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})\cdot 24\text{H}_2\text{O}\}$

Zeolit klinoptilolit memiliki perbandingan Si/Al antara 1 sampai 5. struktur kristalnya berbentuk monoklinik yang terdiri dari cincin-8, cincin-10 dan

berbentuk kompleks 4-4=1. Cincin-8 dan cincin-10 terletak sejajar dalam satu bidang membentuk saluran-saluran dengan ukuran bukaan masing-masing 3,3 x 4,6 Å dan 3,0 x 7,6 Å. Sedangkan pada arah bidang lainnya terdapat cincin-8 membentuk saluran dengan ukuran 2,6 x 4,7 Å. Struktur zeolit klinoptilolit dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2. 7** Struktur rangka zeolit alam jenis klinoptilolit (Hamilton, H., 1992)

Zeolit jenis klinoptilolit sangat baik untuk digunakan dalam proses pertukaran ion dengan amonia. Karena daya selektivitas yang baik terhadap amonium serta struktur dan ukuran porinya cocok untuk menyerap ion amonia.

Pada dasarnya pertukaran ion dalam zeolit adalah proses dimana kation yang ada dalam sistem pori intrakristalin ditukar dengan kation lain yang berasal dari larutan.

Proses pertukaran ion dalam zeolit jenis klinoptilolit meliputi tahap perpindahan massa ion amonia dari cairan ke permukaan luar ZAL. Kemudian dilanjutkan dengan difusi ion amonia ke dalam pori ZAL. Setelah melakukan difusi kedalam pori ZAL, massa ion amonia berpindah ke permukaan aktif dalam pori dan diakhiri dengan reaksi pertukaran ion dalam puncak aktif padatan. Contoh pertukaran ion dengan Na sebagai logam alkali dapat dilihat pada persamaan 2.4.



Selektifitas zeolit jenis klinoptilolit telah banyak dipelajari oleh para ahli. Seperti terlihat pada Tabel 2.16, selektifitas dari zeolit jenis klinoptilolit dapat

berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi operasi proses dan komposisi kimia dari zeolit tersebut.

**Tabel 2. 16 Selektifitas zeolit klinoptilolit**

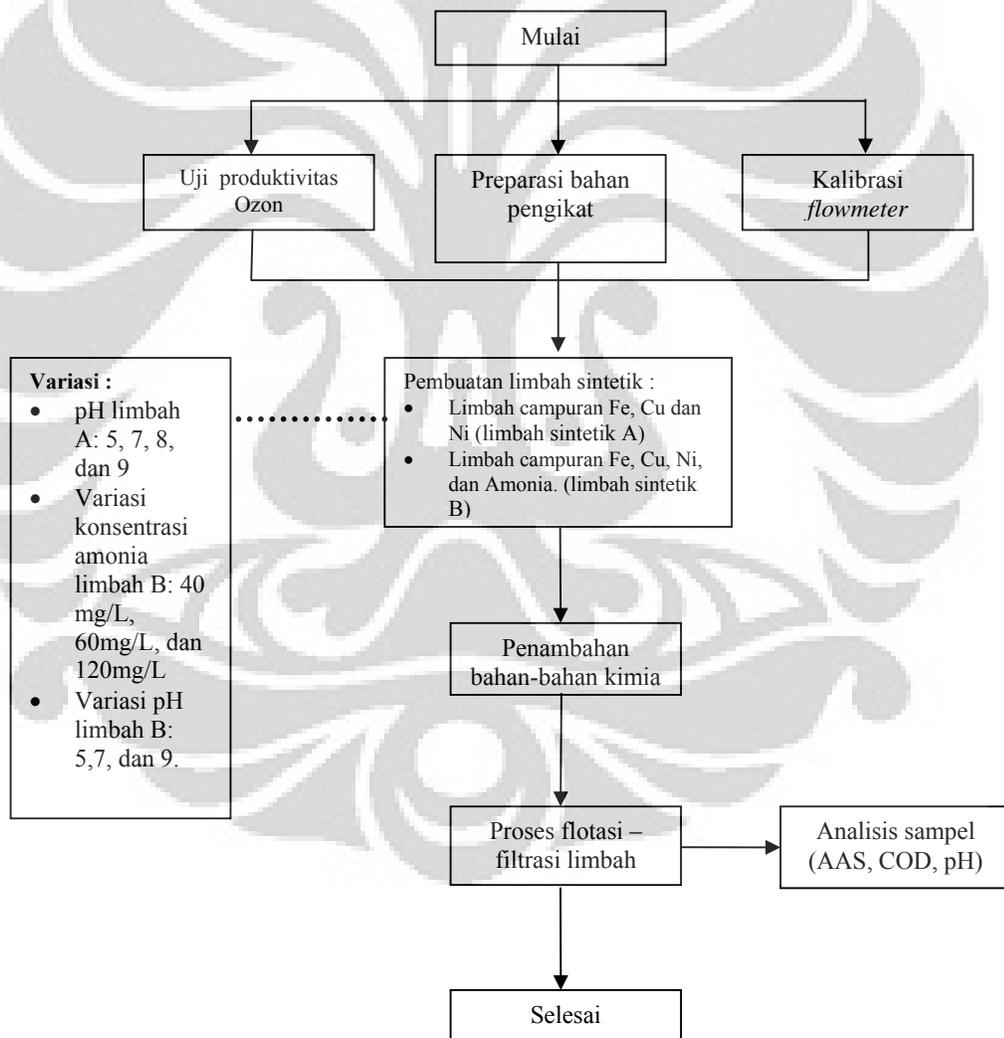
No.	Peneliti, Tahun	Urutan Selektifitas
1.	Cabrera et al. (2005)	$\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$
2.	Tillman et al. (2004),	$\text{Cu}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$
3.	Inglezakis et al. (2002)	$\text{Pb}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+}$
4.	Cincotti et al. (2001)	$\text{NH}_4^+ > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} \approx \text{Zn}^{2+}$
5.	Ouki and Kavannagh (1999)	$\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Co}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$
6.	Faghihian et al. (1999),	$\text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Cs}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$
7.	Ali and El-Bisthawi (1997),	$\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$
8.	Zamzow et al. (1990),	$\text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cs}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Hg}^{2+}$
9.	Blanchard et al. (1988),	$\text{Pb}^{2+} > \text{NH}_4^+, \text{Ba}^{2+} > \text{Cu}^{2+}, \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Co}^{2+}$
10.	Semmens and Martin (1988),	$\text{Pb}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ba}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Na}^+$

## BAB III METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian ini akan dijelaskan tentang diagram alir penelitian, rancangan penelitian, prosedur percobaan, dan analisis sampel yang diambil.

### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Diagram alir penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



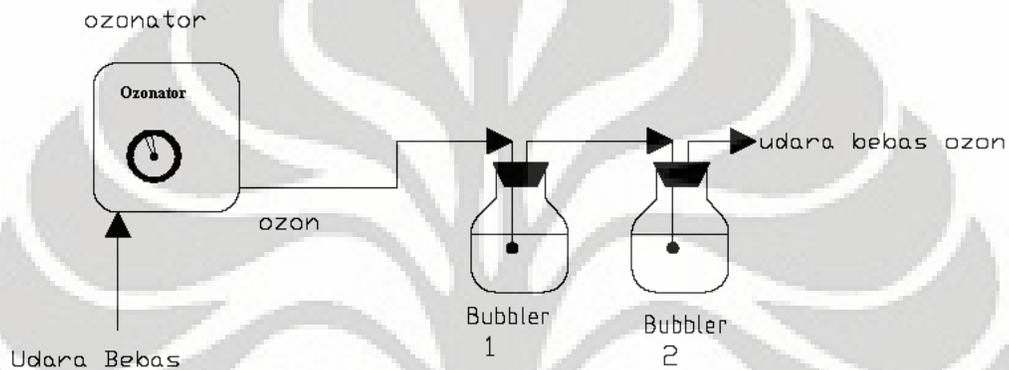
**Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian**

### 3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Separasi Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Prosedur penelitian yang akan dilakukan tahapannya adalah sesuai dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.2.

#### 3.2.1 Uji Produktivitas Ozon

Skema peralatan uji produktivitas ozonator dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Skema peralatan uji produktivitas ozonator.

Pengukuran produktivitas ozonator pada penelitian ini menggunakan metode iodometri, dengan prosedur sebagai berikut :

Alat :

1. Buret 50 ml
2. Gelas Piala 250 mL, 1000 mL.
3. Statip
4. Labu erlenmeyer 250 mL.
5. Botol aquades 250 mL.
6. Stopwatch
7. Gelas ukur 50 mL.
8. *Bubbler* 2 buah @ 200 mL

Bahan :

1. Kalium Iodida (KI)
2. Natrium Tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
3. Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
4. Amilum

## 5. Aquades

Prosedur pengukuran produktivitas ozon :

1. Pembuatan reagen, reagen yang diperlukan terdiri dari :
  - a. Larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (0,005 N) dibuat dengan melarutkan 0,62 gr serbuk  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 1000 mL aquades.
  - b. Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (2N) dibuat dengan mengencerkan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (18 N) dengan menambahkan aquades sehingga didapat larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 N sebanyak 250 mL.
  - c. KI sebanyak 20 gr dilarutkan dalam aquades sehingga diperoleh larutan KI (0,12 N) sebanyak 1000 mL.
  - d. Menyiapkan larutan amilum 1 % berat.
2. Larutan KI yang telah dibuat dimasukkan ke dalam *bubbler* yang terdiri dari bagian hulu dan hilir masing-masing sebanyak 250 mL, kemudian ozonator muloi dinyalakan, secara otomatis ozonator akan menghisap udara bebas dan mengkonversinya menjadi ozon. Keluaran dari ozonator yaitu campuran udara-ozon akan dilewatkan ke dalam *bubbler*.
3. Pengambilan sampel ketika warna larutan KI sudah berubah dari semula bening menjadi kuning muda.
4. Sampel kemudian ditambahkan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2N sebanyak 10 mL dan indikator amilum sampai warnanya berubah menjadi biru tua.
5. Sampel kemudian dititrasi dengan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  sampai berubah warna dari biru tua menjadi tidak berwarna.
6. Perlakuan yang sama juga dilakukan terhadap bagian hulu dan hilir.

### 3.2.2 Preparasi Bahan Pengikat

Bahan pengikat yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam Lampung. Sebelum digunakan bahan pengikat tersebut mengalami proses preparasi. Preparasi bahan pengikat menggunakan metode pemanasan.

Proses preparasi untuk zeolit alam dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

Alat:

1. Timbangan

2. Ayakan
3. Oven

Bahan:

1. Zeolit alam Lampung
2. Aquadest

Prosedur percobaan preparasi zeolit alam Lampung:

1. Mengayak zeolit yang akan digunakan untuk mendapatkan zeolit yang halus dan berukuran sama dengan ukuran diameter 0,35-0,4 mm.
2. Mencuci zeolit dengan aquadest untuk menghilangkan pengotor-pengotornya. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali.
3. Mengeringkan zeolit dalam oven selama 2 jam dengan suhu 200<sup>0</sup> C.

### **3.2.3 Kalibrasi Flowmeter Air**

Alat :

1. Pompa air
2. Tangki flotasi-filtrasi

Bahan :

1. Air

Prosedur kalibrasi flowmeter :

1. Menyalakan pompa air dan mengatur flowmeter air pada laju alir 10 L/jam, 15L/jam, dan 20 L/jam.
2. Mencatat waktu yang diperlukan pompa untuk mengalirkan air sebanyak 500 mL.
3. Menghitung waktu teoritis yang dibutuhkan lalu membandingkannya dengan hasil pencatatan.

### **3.2.4 Kalibrasi Flowmeter Udara**

Alat :

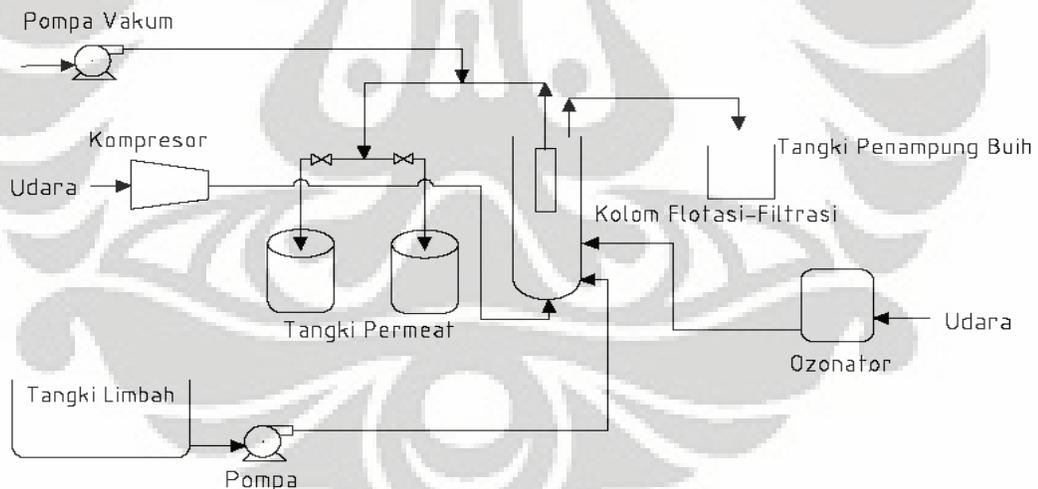
1. Kompresor
2. *Bubble soap*

Prosedur kalibrasi flowmeter

1. Menghubungkan kedua tube pada flowmeter dengan kompresor udara dan *bubble soap*, tube bagian bawah dihubungkan ke kompresor sedangkan tube bagian atas dihubungkan ke *bubble soap*.
2. Mengatur tekanan pada kompresor agar tidak terlalu tinggi, disesuaikan dengan batas maksimum laju alir pada flowmeter yang akan dikalibrasi.
3. Mengalirkan udara sesuai dengan laju alir yang diset pada flowmeter, sambil menekan pipet pada botol *bubble soap* tepat ketika gas dialirkan, sampai terlihat ada gelembung sabun yang berjalan di sepanjang botol.
4. Hitung dan catat waktu yang dibutuhkan gelembung sabun untuk mencapai skala dari 0 sampai 10, untuk berbagai kondisi laju alir yang diset pada flowmeter.

### 3.2.5 Proses Flotasi-filtrasi

Pada penelitian ini, proses flotasi-filtrasi dengan menggunakan ozon sebagai difusernya berlangsung secara kontinyu. Skema peralatan pada proses flotasi-filtrasi dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema peralatan proses flotasi-filtrasi

Alat:

1. Timbangan
2. Tangki pencampuran
3. Pengaduk

4. Kompresor
5. Ozonator
6. Tangki flotasi-filtrasi
7. Tangki penampung buih.

Bahan:

1.  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan senyawa amonia sebagai limbah sintetik
2. Zeolit sebagai bahan pengikat
3. Sodium Lauril Sulfat (SLS) sebagai surfaktan.
4. *Poly-Aluminum Chloride* (PAC) sebagai koagulan.
5. NaOH sebagai pengatur pH.

Prosedur percobaan:

1. Membuat limbah sintetik A dengan cara mencampurkan masing-masing garam logam ke dalam aquades untuk mendapatkan konsentrasi masing-masing ion logam sebesar 40 mg/L (Perhitungan Lampiran B )
2. Membuat limbah sintetik B dengan cara mencampurkan masing-masing garam logam ke dalam aquades untuk mendapatkan konsentrasi masing-masing ion logam sebesar 40 mg/L. Dan menambahkan amonia dengan konsentrasi 40 mg/L. (Perhitungan Lampiran B)
3. Mencampur limbah sintetik A dengan zeolit dengan dosis 2 g/L dan SLS 0,2 g/L dalam tangki pencampuran dengan waktu kontak kurang lebih 20 menit.
4. Mengukur pH dalam tangki pencampuran dengan pH meter, lalu mengatur pH larutan dengan variasi pH 5, 7, 8, 9. Menggunakan NaOH 3 M setetes demi setetes.
5. Setelah itu ditambahkan PAC 0,013 g/L sambil diaduk selama 10 menit.
6. Mengambil sampel awal limbah yang belum diproses dengan metode flotasi-filtrasi.
7. Memindahkan campuran limbah dan bahan pengikat ke dalam tangki flotasi-filtrasi.
8. Mengalirkan udara dari kompresor ke dalam tangki flotasi-filtrasi.
9. Mengalirkan ozon dari ozonator ke dalam tangki flotasi-filtrasi
10. Melakukan proses flotasi-filtrasi secara kontinyu selama 10 menit.

11. Selama proses flotasi-filtrasi, buih yang terbentuk akan ditampung dalam tangki penampung buih.
12. Mengambil sampel hasil flotasi-filtrasi setiap 2 menit sekali.
13. Melakukan analisis kandungan logam, kandungan amonia dan kualitas COD.
14. Melakukan prosedur 1 sampai 13 untuk limbah sintetik B dengan variasi pH (5, 7, dan 9) dan variasi konsentrasi amonia (40 mg/L, 60 mg/L, dan 120 mg/L).

### **3.3 PENGOLAHAN DATA**

Efektifitas proses pengolahan air limbah dapat dihitung berdasarkan % berat, yang dapat dirumuskan sesuai Persamaan 3.1.

$$\text{Pemisahan (\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

### **3.4 ANALISIS SAMPEL**

Sampel yang telah didapat akan dianalisis untuk mengetahui kualitas air keluaran. Parameter-parameter yang akan dianalisis adalah: kandungan logam, COD, dan pH.

#### **3.4.1 Analisis kandungan logam**

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis kandungan logam (Fe, Cu, dan Ni) yang terdapat dalam effluent dengan menggunakan metode Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS). Peralatan AAS yang digunakan adalah yang bertipe Jarrel Ash AA-782, yang terdapat di Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia. Prosedur AAS adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan hubungkan steaker alat dan blower ke listrik kemudian power alat dihidupkan.
2. Memasukan lampu katoda logam yang akan diukur kemudian diberi arus listrik sesuai dengan table kondisi alat kemudian tunggu kurang lebih 20 menit.

3. mengatur panjang gelombang logam yang akan diukur dan tinggi pembakaran (burner height) sesuai dalam table kondisi alat.
4. mencari panjang gelombang max. dengan cara sebagai berikut:
  - a. Atur jarum pembaca sampai di angka 60 dengan tombol sensitivitas, putar tombol panjang gelombang kearah kiri (berlawanan dengan arah jarum jam) sampai jarum pembaca berbalik arah.
  - b. Jika jarum pembaca belum berbalik arah setelah melewati angka 0, maka jarum pembaca harus diputar kembali ke 60 dengan tombol sensitivitas. Kemudian lakukan lagi seperti prosedur a.
5. Setelah didapat panjang gelombang max, kemudian menyalakan air pendingin alat.
6. Mengalirkan gas pembawa (udara) dari kompresor dan gas pembakar ( $C_2H_2$ ) dari tabung, lalu menyalakan pembakar.
7. Zerokan alat dengan tombol sensitivitas
8. Sample siap diukur.

#### **3.4.2 Analisis Kandungan Amonia**

Kandungan amonia diukur menggunakan metode UV Spectrophotmeter. Uji ini dilakukan di Laboratorium Kimia Umum LEMIGAS dan Laboratorium Afiliasi FMIPA UI.

#### **3.4.3 Analisis COD**

COD (Chemical Oxygen Demand) merupakan parameter keberadaan senyawa organik. Semakin tinggi nilai COD, semakin rendah kualitas air. Atau dengan kata lain semakin banyak pengotor organik dalam air tersebut. Uji analisis COD akan dilakukan di Laboratorium Proses Kimia Departemen Kimia Universitas Indonesia. Prosedur pengukuran COD yaitu sebagai berikut :

Alat :

1. *Beaker Glass* 250 mL
2. Tabung reaksi kimia
3. *COD Digester*
4. UV Spectrophotometer.

5. Kuvet kaca

Bahan :

1. Reagen COD dengan range 0 – 1500 ppm.
2. Aquades.

Prosedur pengukuran COD :

1. Mengambil 2 mL sampel lalu memasukkannya ke dalam tabung reagen kemudian dikocok. Saat mengocok sampel harus dilakukan dengan hati-hati karena terjadi reaksi eksotermis antara sampel dengan reagen COD.
2. Memasukan tabung reagen ke dalam *COD Digester* yang telah di set temperaturnya sampai 150 °C selama 2 jam.
3. Setelah dipanaskan sampel dikocok dan dibiarkan sampai dingin selama kurang lebih 20 menit.
4. Menuangkan sampel ke dalam kuvet kaca, jangan sampai endapan yang terdapat di bagian bawah tabung terbawa.
5. Mengukur absorbansinya dengan menggunakan UV spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm.
6. Menghitung konsentrasi COD dari setiap larutan dengan menggunakan kurva kalibrasi terhadap absorbansi yang ada.

#### **3.4.4 Analisis pH**

Nilai pH diukur dengan menggunakan pH meter. pH menunjukkan sifat keasaman pada air hasil produk.

## **BAB IV**

### **HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN**

Pada Bab ini akan dipaparkan pembahasan hasil-hasil penelitian meliputi : pengaruh pH pencampuran dan pengaruh kehadiran senyawa organik dalam hal ini amonia terhadap proses penyisihan campuran logam Fe, Cu, dan Ni.

Penelitian ini menggunakan limbah buatan dengan menggunakan dua jenis larutan limbah yaitu limbah A dan limbah B, dimana limbah A mengandung campuran ion logam  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  dan larutan B mengandung campuran ion logam  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ditambah dengan amonia.

Proses penyisihan logam berat dan amonia dilakukan dengan metode flotasi-filtrasi secara kontinyu, pada kondisi operasi temperatur ambien  $25^{\circ}C$  dan 1 atm. Hasil dari penelitian ini akan dibahas pada sub-sub bab di bawah ini.

#### **4.1 HASIL UJI PRODUKTIVITAS OZON**

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah melakukan uji produktivitas ozonator. Jumlah ozon yang dihasilkan diperoleh dari pengolahan data berdasarkan jumlah volume titran dari natrium thiosulfat yang digunakan untuk mentitrasi larutan KI yang telah di ozonasi.

Dari hasil pengolahan data diperoleh jumlah ozon yang dihasilkan adalah 0,0393 gr/jam. Percobaan ini dilakukan sehingga hasil yang didapatkan merupakan hasil rata-rata dari jumlah ozon yang dihasilkan. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8.

#### **4.2 PENYISIHAN LOGAM BERAT DARI AIR LIMBAH CAMPURAN Fe, Cu, DAN Ni**

Penelitian ini merupakan rangkaian penelitian dari penelitian sebelumnya, dimana pada penelitian sebelumnya telah didapatkan kondisi operasi optimal untuk penyisihan masing-masing logam dari larutan tunggalnya dengan metode flotasi. Kondisi operasi optimal untuk ketiga logam tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1Kondisi Operasi Optimal Untuk Penyisihan Logam Fe, Cu dan Ni.**

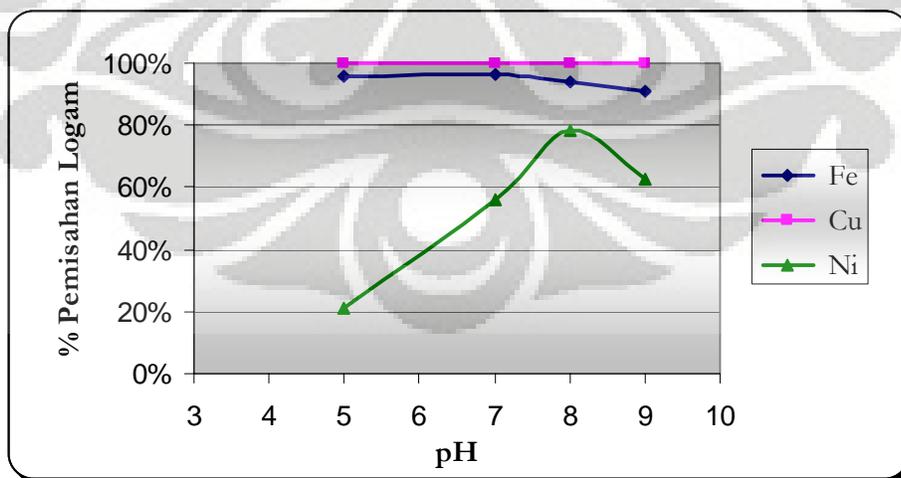
	Kondisi operasi optimal Fe	Kondisi operasi optimal Cu.	Kondisi operasi optimal Ni.
Dosis Surfaktan	0,2 g/L	0,2 g/L	0,2 g/L
Dosis Zeolit	2 g/L	2 g/L	2 g/L
Dosis PAC	0,013 g/L	0,013 g/L	0,013 g/L

Nilai optimum dosis dari penelitian sebelumnya merupakan basis penelitian kali ini. Karena penambahan bahan kimia tersebut tidak mempengaruhi proses filtrasi dengan membran pada penelitian ini, namun hanya berpengaruh pada proses flotasinya saja.

#### **4.2.1 Pengaruh Variasi pH Awal Pencampuran Terhadap Proses Penyisihan Campuran Logam Fe, Cu, dan Ni.**

Pada penelitian ini akan dilihat sejauh mana pengaruh pH awal pencampuran pada proses flotasi-filtrasi terhadap persentase penyisihan logam berat pada limbah campuran logam.

Hasil penelitian mengenai pengaruh pH awal pencampuran terhadap persentase ion logam  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  dalam limbah campuran dapat dilihat pada Gambar 4.1, serta perhitungan pada lampiran. Limbah yang digunakan memiliki konsentrasi awal masing-masing sebesar 40 mg/L.

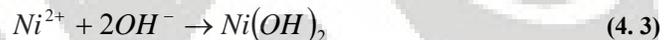
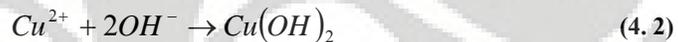


**Gambar 4. 1 Pengaruh Variasi pH Terhadap % Penyisihan Fe, Cu dan Ni.**

Mekanisme penyisihan logam dengan metode flotasi-filtrasi menggunakan zeolit alam lampung dipengaruhi oleh 3 mekanisme penting yaitu, pengendapan, peran zeolit sebagai adsorben atau penukar ion dan filtrasi oleh membran. Sehingga untuk pembahasan analisa hasil penelitian lingkup yang akan dibahas adalah berdasarkan ke 3 mekanisme penting tersebut.

- **Proses pengendapan**

Dari Gambar 4.1 juga terlihat bahwa pH optimum proses adalah 8. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kelarutan logam dalam larutan. Pada penelitian ini digunakan senyawa besi ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), tembaga ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) dan nikel ( $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ). Pada saat pencampuran awal, dilakukan pengaturan pH menggunakan NaOH sehingga terjadi reaksi antara gugus  $OH^-$  dari NaOH dengan ion-ion logam  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ , dan  $Ni^{2+}$ . Reaksi tersebut akan menghasilkan hidroksida logam, dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Hidroksida logam yang dihasilkan akan membentuk endapan tidak larut, sehingga semakin banyak hidroksida logam yang terbentuk akan semakin besar persentase penyisihan logam. Kelarutan hidroksida logam sangat dipengaruhi oleh pH larutan.

Untuk logam besi kelarutan hidroksida besi akan semakin besar pada larutan asam dan pada larutan netral atau basa kelarutan hidroksida besi akan semakin menurun. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Akan tetapi persentase penyisihan besi turun seiring dengan kenaikan pH, hal ini kemungkinan karena adanya pengaruh zeolit yang akan dibahas pada bagian berikutnya.

Untuk logam Cu terlihat bahwa dari kondisi asam sampai basa tidak ada perbedaan persentase penyisihan yang mencolok. Hal ini dikarenakan hidroksida tembaga memiliki rentang pH optimum pengolahan yang cukup luas, seperti terlihat pada Gambar 2.1.

Untuk logam Ni kelarutan hidroksida nikel akan semakin kecil mulai dari pH larutan 7,5. Hal ini merujuk kepada Gambar 2.2. Sehingga persentase penyisihan logam nikel akan semakin besar dengan meningkatnya pH larutan, karena semakin banyak hidroksida logam yang tidak larut.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan persentase penyisihan nikel pada pH 9. Hal ini ada kaitannya dengan selektivitas zeolit terhadap nikel yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya.

Hasil penelitian menunjukkan persentase penyisihan nikel pada pH = 8 mencapai nilai terbesar yaitu 78,5%.

- **Flotasi Dengan Zeolit Alam Lampung**

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa untuk logam Fe, Cu dan Ni semakin tinggi nilai pH maka persentase penyisihan logam akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh penggunaan Zeolit Alam Lampung yang berjenis klinoptilolit sebagai bahan pengikat. Kemampuan pertukaran ion zeolit terhadap logam akan menurun seiring dengan penurunan pH larutan. Hal ini disebabkan karena pada pH yang rendah jumlah  $H^+$  yang terbentuk akan lebih banyak, ion  $H^+$  merupakan pesaing dari kation logam dalam proses pertukaran ion dengan zeolit (Wingenfelder et al., 2005).

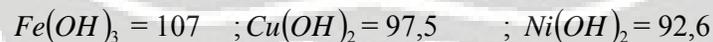
Namun bukan berarti pH yang paling tinggi adalah pH yang optimum, karena pada pH tinggi terjadi kemungkinan terbentuknya endapan hidroksida atau karbonat dalam pori-pori atau saluran zeolit dan juga di permukaan zeolit. Endapan ini kemungkinan akan menghambat jalannya proses pertukaran ion pada zeolit. Hal ini terlihat pada penyisihan besi, dimana persentase penyisihan besi semakin kecil seiring dengan kenaikan pH.

Selain itu kemampuan zeolit dalam mengikat logam dipengaruhi oleh energi hidrasi logam seperti pada Tabel 2.14. Kation logam yang memiliki energi hidrasi lebih besar akan semakin sulit untuk dipisahkan, karena dibutuhkan energi yang besar untuk memisahkannya dari larutan. Hal ini terlihat pada persentase penyisihan logam  $Cu > Ni$  karena energi hidrasi  $Ni > Cu$ , merujuk pada Tabel 2.14.

Pada Gambar 4.1 juga terlihat bahwa persentase penyisihan nikel dan besi menurun setelah pH 9. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh efek kecepatan pengadukan yang berbeda. Pada proses flotasi-filtrasi kontinyu, limbah yang masuk ke dalam kolom flotasi-filtrasi berasal dari bak limbah. Selama proses flotasi-filtrasi berlangsung limbah dalam bak diaduk terus menerus untuk menghindari zeolit dan limbah mengendap di dasar bak. Kecepatan pengadukan yang dilakukan secara manual dengan tangan ini menyebabkan kecepatan pengadukan dapat berbeda-beda, sehingga kemungkinan proses pengadukan pada pH 9 tidak sebaik pada pH lainnya.

Salah satu efek dari pengadukan yang tidak sempurna adalah berkurangnya zeolit yang masuk ke dalam kolom flotasi-filtrasi. Seperti telah dibahas pada bagian sebelumnya (Tabel 2.16), selektivitas zeolit klinoptilolit terhadap nikel paling kecil jika dibandingkan dengan Fe dan Cu. Sehingga berkurangnya zeolit dalam kolom akan sangat mengurangi kemungkinan terjadinya adsorpsi dan pertukaran ion antara nikel dan zeolit.

Adsorpsi logam dalam bentuk hidroksida akan mengurangi situs aktif (*active sites*) zeolit yang tersedia bagi kation logam. Namun, bagaimanapun juga ikatan yang terbentuk antara zeolit dengan hidrosida logam tetap berperan dalam proses penyisihan logam. Zeolit yang telah mengikat hidroksida logam akan dibawa oleh gelembung ke atas kolom. Kemampuan gelembung membawa limbah sampai atas kolom dipengaruhi oleh adanya kompetisi logam. Kompetisi logam dipengaruhi oleh berat molekul logam tersebut. Hidroksida logam yang terbentuk memiliki sebagai berikut :



Semakin beratnya hidroksida logam yang terbentuk maka logam tersebut akan semakin sulit dibawa keatas atau kemungkinan logam tersebut terlepas dari gelembung akan semakin besar. Hal ini berlaku untuk logam Fe dan Cu, dimana persentase penyisihan Cu lebih besar dibandingkan persentase penyisihan Fe.

- **Filtrasi membran**

Faktor penting lain yang menentukan besarnya persentase penyisihan logam adalah adanya kompetisi logam dalam proses flotasi-filtrasi.

Dalam proses filtrasi kompetisi logam dipengaruhi oleh ukuran logam hidroksida yang terbentuk. Semakin besar ukuran molekul hidroksida yang terbentuk maka persentase penyisihannya akan semakin besar karena molekul dengan ukuran yang besar tidak dapat melewati pori-pori membran. Membran keramik yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran pori-pori 0,2 nm.

Ukuran atom dipengaruhi oleh jari-jari dan keelektronegatifan atom. Berdasarkan tabel periodik, jari-jari atom berturut-turut dari besar ke kecil adalah  $Fe > Ni > Cu > O > H$ . Sedangkan keelektronegatifan atom berturut-turut dari besar ke kecil adalah  $O > Cu > Ni > Fe > H$ .

Molekul logam yang akan dipisahkan oleh membran berupa hidroksida, berdasarkan jari-jari atom dan keelektronegatifan zat penyusunnya maka dapat diperkirakan molekul mana yang paling besar. Urutan molekul hidroksida logam berturut-turut dari besar ke kecil adalah  $Fe(OH)_3 > Ni(OH)_2 > Cu(OH)_2$ .

Jika dilihat dari ukuran molekul hidroksidanya maka ketiga logam hidroksida yang terbentuk memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari pada ukuran pori-pori membran. Sehingga hidroksida tidak dapat melewati membran.

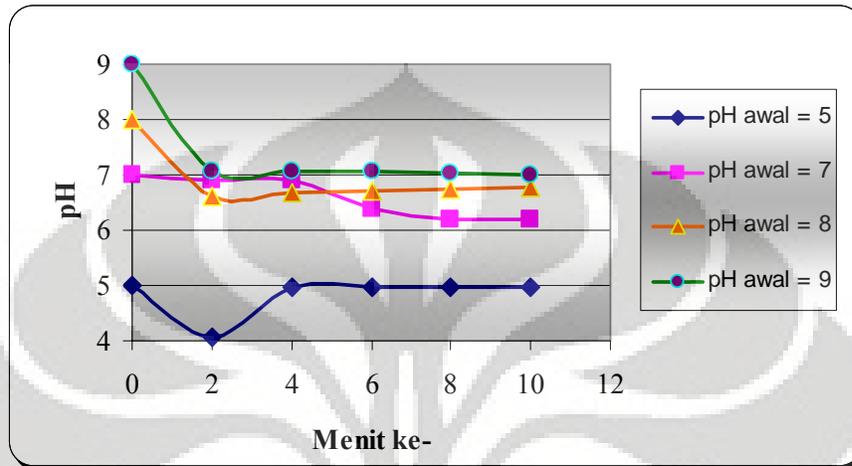
Namun, dalam *effluent* yang dihasilkan masih terdapat logam Fe, Cu dan Ni. Hal ini disebabkan oleh kurang sempurnanya proses pengendapan yang terjadi, sehingga masih ada kation logam yang belum membentuk hidroksida. Kation logam memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan pori-pori membran. Sehingga dapat lolos dan terbawa ke dalam *effluent*.

#### **4.2.2 Pengaruh Variasi pH Terhadap Parameter Kualitas Air Terukur**

Komposisi awal limbah yang digunakan sebelum proses flotasi-filtrasi adalah sama, yaitu 40 mg/L untuk masing-masing logam besi, tembaga dan nikel. Yang membedakan adalah nilai pHnya, pH yang digunakan divariasikan menjadi pH 5, 7, 8 dan 9.

#### 4.2.2.1 Pengaruh Variasi pH Terhadap pH Akhir Air Hasil Olahan.

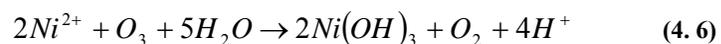
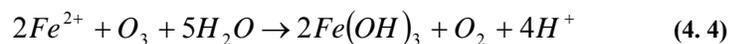
Pengaruh variasi pH terhadap pH akhir air hasil olahan dapat terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Pengaruh Variasi pH awal terhadap pH akhir limbah.

Pada Gambar 4.2 dapat terlihat bahwa pH akhir air setelah diolah dengan proses flotasi-filtrasi akan semakin turun. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadi penurunan pH ini yaitu,

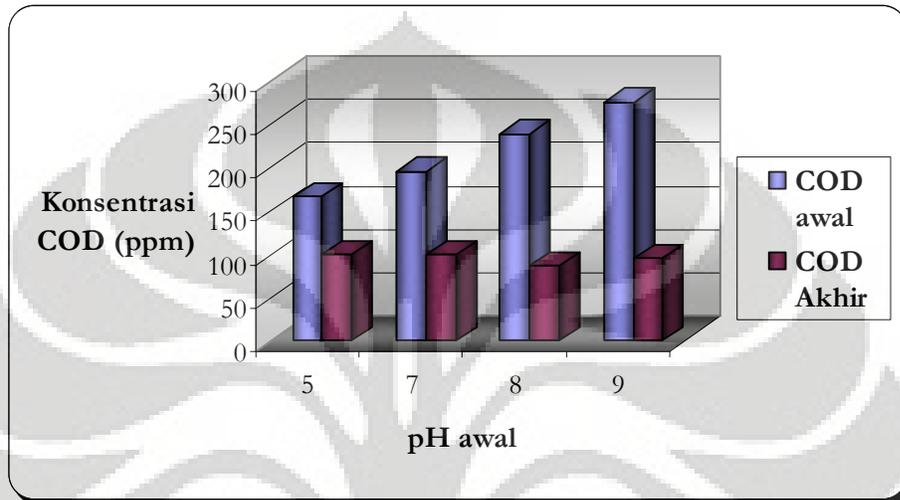
- Penambahan PAC sebelum dilakukan proses flotasi-filtrasi, PAC merupakan koagulan yang bersifat asam. Pada saat dilarutkan ke dalam air ion  $Al^{3+}$  dari PAC akan bereaksi dengan air dan akan mengikat ion hidroksida dan melepaskan  $H^+$  sehingga pH air akan turun.
- Penggunaan ozon dalam proses flotasi-filtrasi. Ozon merupakan oksidator yang sangat kuat, potensial oksidasi ozon lebih besar dibandingkan senyawa lain yang terkandung dalam limbah sintetik. Ozon akan mengoksidasi besi, tembaga, nikel. Reaksi oksidasi yang terjadi adalah :



Reaksi-reaksi oksidasi ini akan melepaskan ion  $H^+$ , yang akan menurunkan pH air setelah proses flotasi-filtrasi.

#### 4.2.2.2 Pengaruh Variasi pH Terhadap Nilai COD Air Hasil Olahan

COD merupakan parameter kualitas air yang menunjukkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan senyawa kimia. Pengaruh variasi pH awal pencampuran terhadap nilai COD proses dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 3 Pengaruh pH awal terhadap nilai COD

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa dengan semakin tingginya pH awal limbah maka nilai COD pun akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya SLS dalam limbah, SLS merupakan senyawa organik yang dapat dioksidasi. Dengan semakin tingginya nilai pH awal maka, tegangan permukaan SLS akan semakin kuat sehingga proses oksidasi akan sulit berjalan dan nilai COD akan meningkat.

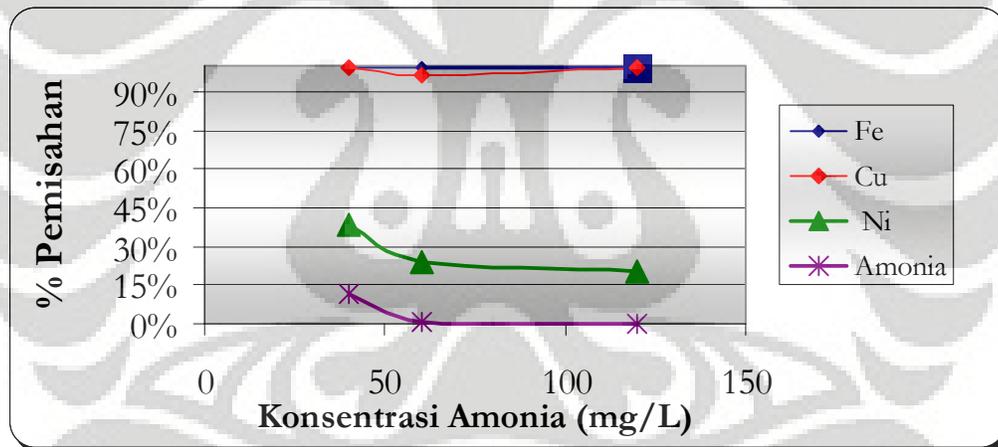
Setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi nilai COD akan menurun. Hal ini disebabkan karena SLS dalam limbah sebagian besar akan terbuang dalam proses. Dimana, SLS tersebut akan menghasilkan busa yang akan menjadi media pembawa logam dan amonia yang telah terikat pada zeolit keluar dari kolom flotasi-filtrasi.

### 4.3 PENYISIHAN LOGAM BERAT DARI AIR LIMBAH CAMPURAN Fe, Cu, Ni DAN AMONIA.

Pada bagian ini limbah sintetik yang dibuat merupakan campuran antara limbah logam Fe, Cu, dan Ni dengan limbah anorganik amonia. Terdapat 2 parameter yang divariasikan yaitu, konsentrasi awal amonia dan pH awal limbah sebelum di proses dengan metode flotasi-filtrasi.

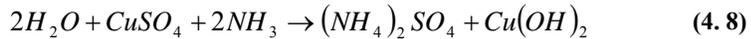
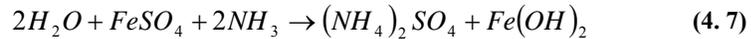
#### 4.3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap Proses Penyisihan Campuran Logam Fe, Cu, dan Ni

Limbah yang digunakan pada bagian ini merupakan campuran limbah logam berat dengan amonia, dengan komposisi 40 mg/L untuk masing-masing logam besi, tembaga dan nikel. Sedangkan untuk amonia konsentrasinya divariasikan menjadi 40 mg/L, 60 mg/L, dan 120 mg/L. Proses flotasi-filtrasi dilakukan pada pH 7.



Gambar 4. 4 Pengaruh variasi konsentrasi amonia terhadap % penyisihan logam.

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa konsentrasi amonia tidak terlalu mempengaruhi proses penyisihan logam besi dan tembaga. Persentase penyisihan logam besi dan tembaga akan mengalami sedikit kenaikan dengan bertambahnya amonia. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi antara amonia dengan besi dan tembaga yang menyebabkan presipitasi logam. Sehingga besi dan tembaga akan semakin mudah untuk dipisahkan. Reaksi antara ammonia dengan garam logam yaitu :



Sedangkan untuk nikel semakin besar konsentrasi amonia maka persentase penyisihan nikel akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin menurunnya pH limbah seiring dengan semakin tingginya konsentrasi amonia. Karena dalam air amonia akan mengalami hidrolisis dengan reaksi sebagai berikut :



Seperti telah dibahas pada bagian 4.2.1 bahwa pada pH dibawah 8, nikel hidroksida akan terlarut dalam air sehingga akan mempersulit proses penyisihan nikel.

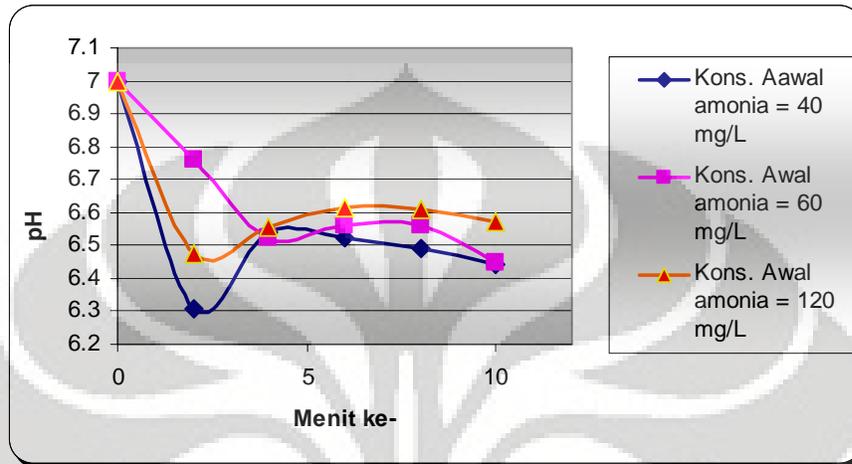
- Pada Gambar 4.4 juga terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi amonia maka persentase penyisihan amonia akan semakin kecil atau bahkan tidak ada. Hal ini disebabkan oleh proses *treatment* zeolit yang belum optimal.
- Selain itu persentase penyisihan amonia yang kecil juga disebabkan karena ukuran zeolit yang digunakan terlalu kecil yaitu 0,3 mm. Ukuran zeolit optimum untuk memisahkan amonia adalah 4 – 8 mm (Rasta, lea, 2002), dan ukuran zeolit dibawah 1 mm akan menurunkan persentase penyisihan amonia secara drastis (Ames, 1960).

#### **4.3.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap Parameter Kualitas Air Terukur.**

Komposisi awal limbah yang digunakan sebelum proses flotasi-filtrasi adalah sama, yaitu 40 mg/L untuk masing-masing logam besi, tembaga dan nikel. Yang membedakan adalah konsentrasi awal amonianya, konsentrasi awal amonia yang digunakan divariasikan menjadi 40, 60, dan 120 mg/L.

#### 4.3.2.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap pH Akhir Air Hasil Olahan

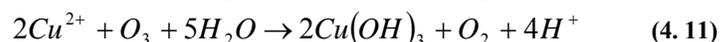
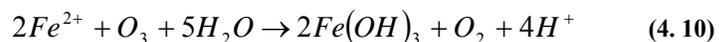
Pengaruh variasi konsentrasi amonia terhadap pH akhir air hasil olahan dapat terlihat pada Gambar 4.5.

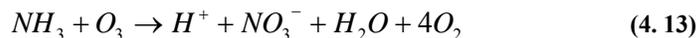
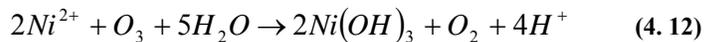


Gambar 4.5 Pengaruh Variasi konsentrasi amonia terhadap pH akhir limbah.

Pada Gambar 4.5 dapat terlihat bahwa pH akhir air setelah diolah dengan proses flotasi-filtrasi akan semakin turun seiring dengan meningkatnya konsentrasi amonia. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadi penurunan pH ini yaitu,

- Penambahan PAC sebelum dilakukan proses flotasi-filtrasi, PAC merupakan koagulan yang bersifat asam. Pada saat dilarutkan ke dalam air ion  $Al^{3+}$  dari PAC akan bereaksi dengan air dan akan mengikat ion hidroksida dan melepaskan  $H^+$  sehingga pH air akan turun.
- Penggunaan ozon dalam proses flotasi-filtrasi. Ozon merupakan oksidator yang sangat kuat, potensial oksidan ozon lebih besar dibandingkan senyawa lain yang terkandung dalam limbah sintetik. Sehingga proses oksidasi akan didominasi oleh ozon. Ozon akan mengoksidasi besi, tembaga, nikel. Sedangkan untuk oksidasi amonia tetap terjadi pada pH di atas 7 tapi pelan karena amonia merupakan reagen elektrofilik. Reaksi oksidasi yang terjadi adalah :



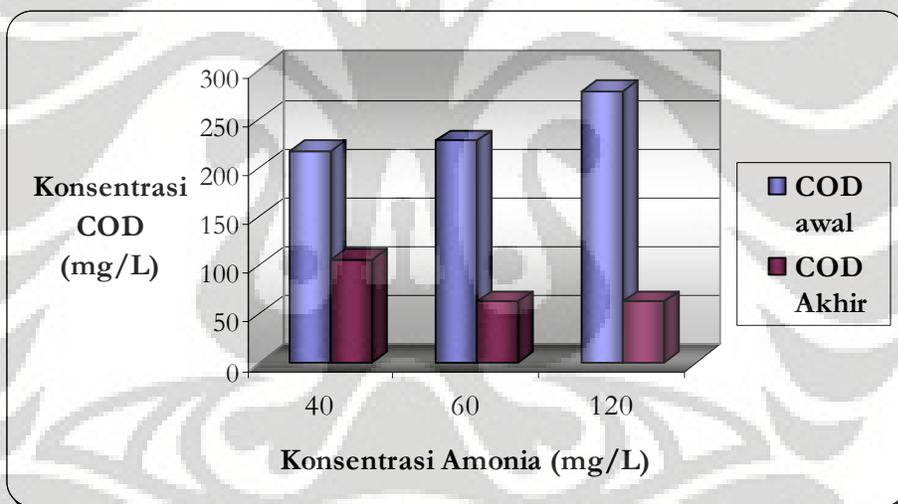


Reaksi-reaksi oksidasi ini akan melepaskan ion  $H^+$ , yang akan menurunkan pH air setelah proses flotasi-filtrasi.

- Terjadinya reaksi hidrolisis amonia yang akan menghasilkan ion  $H_3O^+$  yang bersifat asam. Reaksi yang terjadi terdapat pada Persamaan 4.9.

#### 4.3.2.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap Nilai COD Air Hasil Olahan

COD merupakan parameter kualitas air yang menunjukkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan senyawa kimia. Pengaruh variasi pH awal pencampuran terhadap nilai COD proses dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 6 Pengaruh konsentrasi amonia terhadap nilai COD

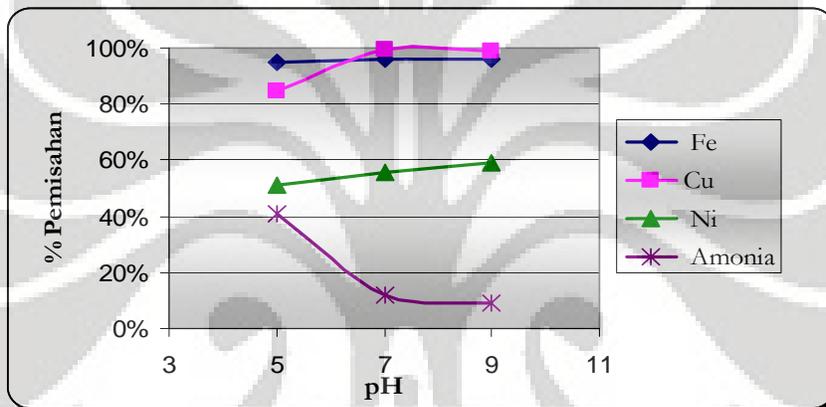
Dari Gambar dapat dilihat bahwa dengan semakin tingginya konsentrasi amonia maka nilai COD pun akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya jumlah amonia yang dapat dioksidasi oleh ozon. Dengan jumlah bahan kimia lainnya tetap.

Setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi nilai COD akan menurun. Walaupun persentase penyisihan amonia sangat kecil namun penurunan COD tetap signifikan. Hal ini disebabkan karena dalam reaksi oksidasi

COD, kehadiran senyawa organik akan mendominasi nilai COD yang terukur. Sehingga kehadiran amonia tidak terlalu mempengaruhi penurunan COD. Selain itu berkurangnya kandungan amonia dan logam setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi juga akan mengurangi nilai COD.

#### 4.3.3 Pengaruh Variasi pH Awal Limbah Campuran Logam dan Anorganik Terhadap Proses Penyisihan Campuran Logam Fe, Cu, dan Ni.

Pengaruh variasi pH awal terhadap persentase penyisihan logam dapat terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Pengaruh pH awal limbah campuran terhadap persentase penyisihan logam

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa pengaruh variasi pH awal dalam campuran limbah Fe, Cu, Ni dan amonia menghasilkan persentase penyisihan logam Fe dan Cu yang tidak jauh berbeda dengan variasi pH awal campuran limbah Fe, Cu, dan Ni. Hal ini disebabkan karena konsentrasi amonia yang digunakan kecil dalam proses yang berlangsung kontinyu sehingga tidak memberikan banyak pengaruh dalam proses penyisihan logam.

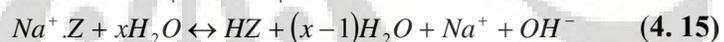
Perbedaan yang cukup signifikan terlihat pada persentase penyisihan nikel yang pada pH 5 menghasilkan persentase penyisihan 51,31 % sedangkan pada variasi pH awal campuran limbah logam persentase penyisihan nikel yang dihasilkan hanya 21,14% untuk pH yang sama. Hal ini disebabkan oleh efek kecepatan pengadukan limbah dalam bak saat proses pencampuran dan selama proses flotasi-filtrasi berlangsung. Pengadukan limbah dapat menyebabkan terjadinya abrasi pada butiran zeolit, menghasilkan lokasi reaktif pada

permukaan zeolit. Efek mekanis ini akan menambah probabilitas lokasi adsorpsi dan meningkatkan efektifitas proses (Trgo dan Peric, 2003). Terjadinya pengadukan yang lebih baik pada variasi pH awal campuran logam dan amonia dibandingkan dengan variasi pH awal campuran logam menyebabkan persentase penyisihan yang lebih baik pada nikel. Pengadukan yang lebih stabil dari setiap variasi akan menghasilkan kecendrungan penyisihan yang stabil pula. Seperti terlihat pada Gambar 4.7, dimana persentase penyisihan nikel akan naik seiring dengan kenaikan pH.

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa nilai persentase penyisihan logam terbesar dicapai pada pH 9. Sehingga pH optimum untuk penyisihan logam dalam variasi ini adalah 9.

Pada Gambar 4.7 bahwa dengan semakin tingginya pH larutan maka persentase penyisihan amonia akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena beberapa hal yaitu :

- Proses yang kontinyu menyebabkan reaksi antara zeolit dan amonia belum terjadi sempurna.
- Reaksi pertukaran ion antara zeolit dan amonia yang berlangsung yaitu :



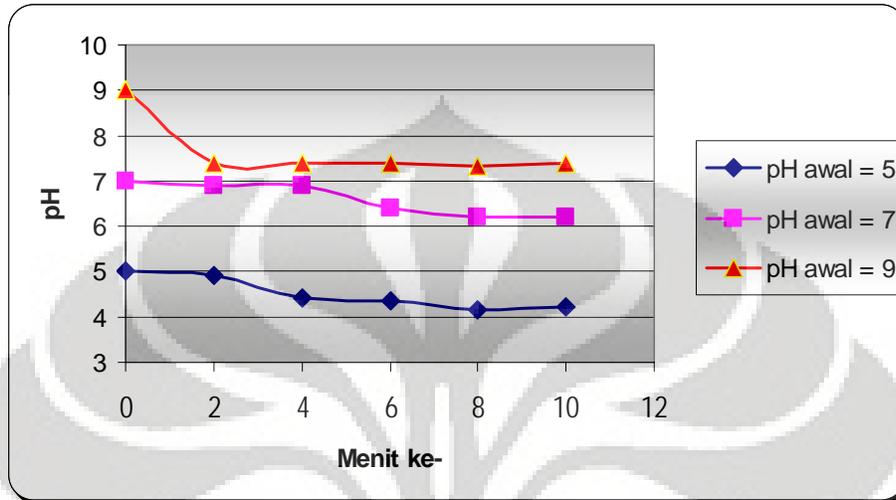
Berdasarkan Reaksi 4.15 maka, dengan semakin menurunnya pH larutan kesetimbangan reaksi akan berjalan ke arah kanan. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi ion yang dipertukarkan. Sehingga dalam proses pertukaran ion amonia dengan zeolit kondisi asam lebih disukai.

#### 4.3.4 Pengaruh Variasi pH Awal Pencampuran Terhadap Parameter Kualitas Air Terukur

Komposisi awal limbah yang digunakan sebelum proses flotasi-filtrasi adalah sama, yaitu 40 mg/L untuk masing-masing logam besi, tembaga, nikel dan amonia. Yang membedakan adalah nilai pHnya, pH yang digunakan divariasikan menjadi pH 5, 7, dan 9.

#### 4.3.4.1 Pengaruh Variasi pH Terhadap pH Akhir Air Hasil Olahan

Pengaruh variasi pH awal terhadap pH akhir air hasil olahan dapat terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Pengaruh pH awal terhadap pH akhir

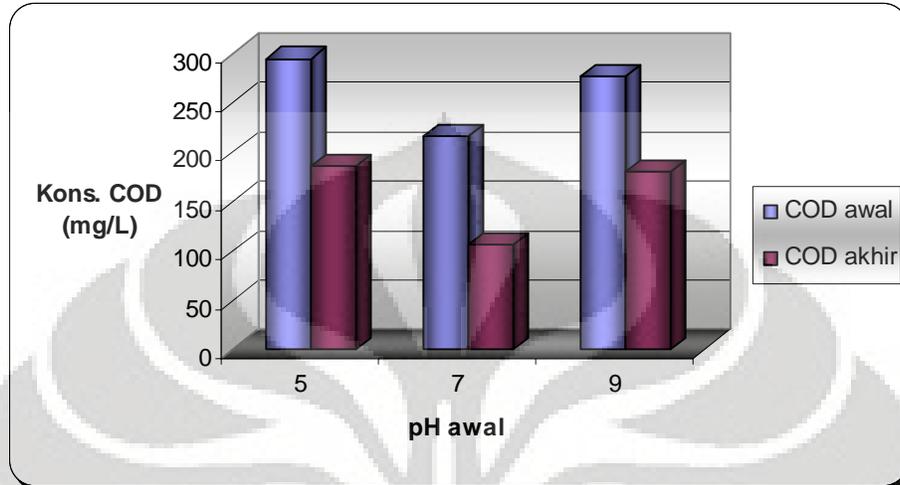
Pada Gambar 4.8 dapat terlihat bahwa pH akhir air setelah diolah dengan proses flotasi-filtrasi akan semakin turun. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadi penurunan pH ini yaitu,

- Penambahan PAC sebelum dilakukan proses flotasi-filtrasi, PAC merupakan koagulan yang bersifat asam. Pada saat dilarutkan ke dalam air ion  $Al^{3+}$  dari PAC akan bereaksi dengan air dan akan mengikat ion hidroksida dan melepaskan  $H^+$  sehingga pH air akan turun.
- Penggunaan ozon dalam proses flotasi-filtrasi. Ozon merupakan oksidator yang sangat kuat, potensial oksidasi ozon lebih besar dibandingkan senyawa lain yang terkandung dalam limbah sintetik. Sehingga proses oksidasi akan didominasi oleh ozon. Ozon akan mengoksidasi besi, tembaga, nikel. Reaksi oksidasi yang terjadi sesuai dengan Persamaan 4.4 – 4.6.

Reaksi-reaksi oksidasi ini akan melepaskan ion  $H^+$ , yang akan menurunkan pH air setelah proses flotasi-filtrasi.

#### 4.3.4.2 Pengaruh Variasi pH Terhadap Nilai COD Air Hasil Olahan

Pengaruh variasi pH awal terhadap nilai COD air hasil olahan dapat terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Pengaruh pH awal terhadap nilai COD

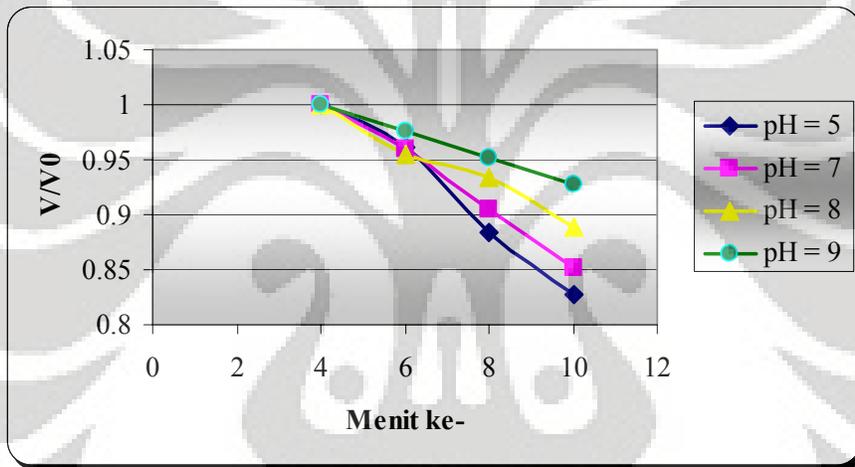
Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa dengan semakin tingginya pH awal limbah maka nilai COD pun akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya SLS dalam limbah, SLS merupakan senyawa organik yang dapat dioksidasi. Dengan semakin tingginya nilai pH awal maka, tegangan permukaan SLS akan semakin kuat sehingga proses oksidasi akan sulit berjalan dan nilai COD akan meningkat.

Setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi nilai COD akan menurun. Hal ini disebabkan karena SLS dalam limbah sebagian besar akan terbuang dalam proses. Dimana, SLS tersebut akan menghasilkan busa yang akan menjadi media pembawa logam dan amonia yang telah terikat pada zeolit keluar dari kolom flotasi-filtrasi.

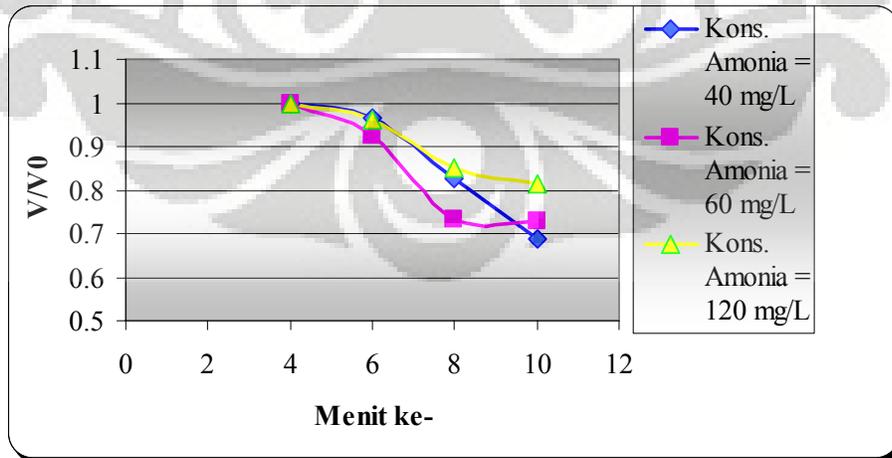
Selain itu berkurangnya kandungan amonia dan logam setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi juga akan mengurangi nilai COD.

#### 4.4 ANALISA VOLUME EFFLUENT TERHADAP EFEKTIFITAS PROSES

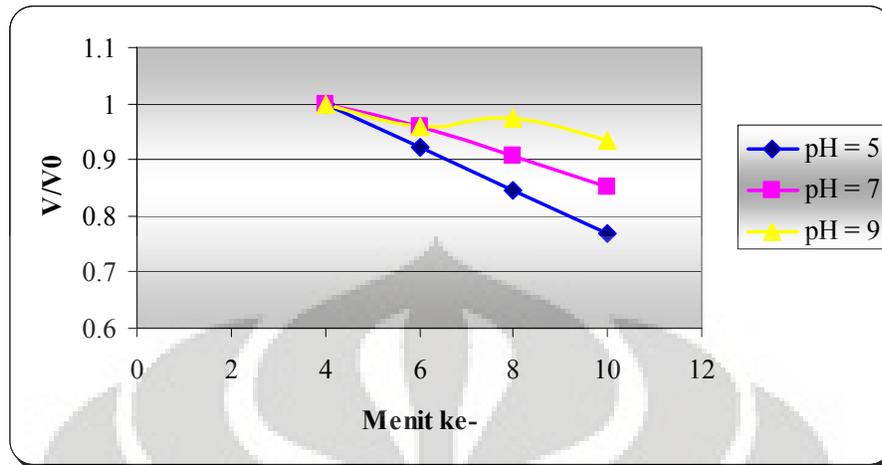
Dalam penelitian ini volume effluent diukur dan dicatat setiap kali dilakukan pengambilan sampel. Sampel diambil setiap 2 menit selama 10 menit. Tujuan dilakukannya pengukuran volume *effluent* adalah untuk mengetahui efektifitas kerja proses flotasi-filtrasi. Hasil pengukuran volume *effluent* untuk variasi pH awal limbah Fe, Cu dan Ni terlihat pada Gambar 4.10. Hasil pengukuran volume *effluent* untuk variasi Konsentrasi awal amonia terlihat pada Gambar 4.11. Hasil pengukuran volume *effluent* untuk variasi pH awal limbah campuran Fe, Cu, Ni dan amonia terlihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 10 Pengaruh variasi pH awal limbah terhadap volume *effluent*



Gambar 4. 11 Pengaruh variasi Konsentrasi awal amonia terhadap volume *effluent*



**Gambar 4.12** Pengaruh variasi pH awal limbah campuran Fe, Cu, Ni dan amonia terhadap volume *effluent*

Dari Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 terlihat bahwa seiring dengan berjalannya proses volume *effluent* yang dihasilkan akan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja dari proses flotasi-filtrasi semakin berkurang. Penyebabnya adalah terjadinya penyumbatan pori-pori membran. Seiring dengan berjalannya proses flotasi-filtrasi, pori-pori membran akan tersumbat oleh partikel limbah yang tidak dapat melewati membran sehingga *effluent* yang keluar akan terhambat.

Penyumbatan pori-pori membran dipengaruhi oleh titik isoelektrik, jika pH larutan berada dibawah titik isoelektrik logam maka akan terbentuk oksida logam. Jika pH larutan berada diatas titik isoelektrik logam maka akan terbentuk hidroksida logam. Oksida logam yang terbentuk akan larut dalam larutan, sedangkan jika hidroksida logam yang terbentuk akan mengendap dalam kolom sehingga dapat menyumbat pori-pori membran.

**Tabel 4.2 Titik Isoelektrik Logam (www.embl-heidelberg.de)**

Jenis Logam	Titik Isoelektrik
Besi	6,97
Tembaga	4,25
Nikel	6,43

Hal ini juga dipengaruhi oleh kondisi pompa vakum yang digunakan dalam penelitian. Pompa vakum yang digunakan cenderung tidak stabil sehingga volume *effluent* yang dihasilkan tidak stabil pula.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses flotasi-filtrasi limbah yang mengandung logam Fe, Cu dan Ni dengan konsentrasi awal masing-masing logam adalah 40 mg/L berlangsung secara optimum pada pH 8. Dengan persentase penyisihan Cu 99,7 %, Fe 93,6 %, dan Ni 78,5 %.
2. Pengaruh amonia pada proses flotasi-filtrasi secara kontinyu selama 10 menit untuk penyisihan logam Fe dan Cu tidaklah signifikan. Namun, persentase pemisahan nikel semakin kecil seiring dengan kenaikan konsentrasi amonia.
3. Proses flotasi-filtrasi limbah yang mengandung logam Fe, Cu, Ni dan amonia dengan konsentrasi awal masing-masing logam dan amonia adalah 40 mg/L berlangsung secara optimum pada pH 9. Dengan persentase penyisihan Cu 99,7 %, Fe 96,3 %, dan Ni 58,3 %.
4. Setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi konsentrasi logam yang terkandung dalam *effluent* pada kondisi optimum yaitu Cu 0,102 mg/L, Fe 2,47 mg/L, dan Ni 8,9 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa air dihasilkan telah memenuhi standar baku mutu limbah Fe dan Cu untuk air golongan III sesuai KEP-02/MENKLH/I/1988. Tetapi belum memenuhi standar baku mutu untuk logam Ni.

#### **5.2 Saran**

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh penggabungan proses flotasi dan filtrasi. Diperlukan juga penelitian untuk mengetahui proses mana yang lebih dominan dalam penyisihan logam berat Fe, Cu dan Ni.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basset J., Denney, R.C., Jeffry, G.H., Mendham, J., *Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*, edisi keempat, Buku Kedokteran EGC, Jakarta, 1994
- Blocher, C. Dorda, J. Mavrov, V. Chmiel, H. Lazaridis, N.K. Matis, K.A.. *Hybrid flotation-membrane filtration process for the removal of heavy metal ions from wastewater*, Department of Process Technology, Saarland University, Saarbrucken, Germany. 2003.
- Fatwa, Hari, *Tugas Akhir : Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam Besi (Fe), Tembaga (Cu), dan Nikel (Ni)dengan Flotasi Ozon*, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. 2007.
- Hamilton, H., *Introduction to Zeolite : Synthesis, Characterization and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Baru. 1992.
- Lea, Rastas. Removal of Ammonium In Wastewater by Clinoptilolite. Department of Environmental Engineering. Lulea Tekniske Universitet.
- Mardisantoso, Ilham, *Tugas Akhir : Pemanfaatan ZAL (Hasil Pengolahan Metode Baru) Untuk Penyisihan Logam Berat dan Amonia Dalam Air Limbah*, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. 2002
- Mallevalle, J. Odendal, P.E. Wiesner, M.R. *Ozone in Water Treatment, Application and Engineering*, Lewis Publisher, Washington D.C. 1996.
- Meier, W.M. and D.H.Olson, *Atlas of Zeolite Structure Type*, Butterworth Heinemann, London. 1992.

Ouki, Sabeha Kesraoui and Mark Kavannagh, *Performance of Natural Zeolites for the Treatment of Mixed Metal-Contaminated Effluents*, Department Civil Engineering, University Of Surrey. London. 1997.

Shergold, H.L., *The Scientific Basis of Flotation*, NATO ASI Series, K.J. Ivesed, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, 1984

Sherman, J.D., *Ion Exchange Separation With Molecular Sieve Zeolites*, Union Carbide Corporation, New York.1983.

Soemantojo, Roekmijati W., *Pemanfaatan Zeolit Alam Indonesia Sebagai Adsorben Amonia dan Turunannya dalam Limbah Cair*, Laporan RUT V, Kantor Menristek BPPT-FTUI, Depok. 2000.

Soemantojo, Roekmijati W., *Diktat Kuliah Pengolahan Limbah dan Pencegahan Pencemaran*, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Depok 2004.

Stefica Cerjan-Stefanovic, *Evaluation of Croatian Clinoptilolite- and Montmorillonite-rich Tuffs for Ammonium Removal*, Department of Analytical Chemistry, Croatia, 2000.

Sugianto, R., Sofyan Akbar, *Zeolit (ZKK) Saran Pendukung Agrobisnis, Berwawasan Lingkungan*, PT Minamata Mineral Perdana, Lmapung. 1997.

Sutarti, Mursi, Minta R., *Zeolit : Tinjauan Literatur*, Pusat Dokjmentasi Informasi Ilmiah, LIPI, Jakarta.1994.

Volkan Çagin .*Use Of Clinoptilolite For Copper And Nickel Removal From Aqueous Solutions*. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.2006

<http://scholar.lib.vt.edu/http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-91497162525/unrestricted/chp1.pdf> (17 Mei 2007)

“KEPUTUSAN MENTERI NEGARA KEPENDUDUKAN DAN LINGKUNGAN HIDUP NOMOR: KEP-02/MENKLH/I/1988” [lips-online.com](http://lips-online.com) (22 maret 2007)

“Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif” [www.batan.go.id](http://www.batan.go.id) (17 April 2007)

“Removing Heavy Metals From Wastewater”. [www.mtech.umd.edu](http://www.mtech.umd.edu). (27 April 2008)

“ToxFAQs™ for Ammonia”. [www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) (25 maret 2007)

“ToxFAQs™ for Copper”. [www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) (25 maret 2007)

“ToxFAQs™ for Nickel”. [www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) (25 maret 2007)

“Sodium dodecyl sulfate” [http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium\\_lauryl\\_sulfate](http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_lauryl_sulfate) (14 Juni 2007)

“Sodium Lauryl Sulfate”  
<http://www.ams.usda.gov/nop/NationalList/TAPReviews/SodiumLaurylSulfate2-10-06.pdf> (14 Juni 2007)

“ToxFAQs™ for Ammonia”. [www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) (25 maret 2007)

“ToxFAQs™ for Copper”. [www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) (25 maret 2007)

“ToxFAQs™ for Nickel”. [www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html) (25 maret 2007)

## LAMPIRAN 1 BAKU MUTU LIMBAH CAIR

Nomor Urut	Parameter	Unit	Golongan baku mutu air limbah			
			I	II	III	IV
<b>FISIKA</b>						
1.	Temperatur	°C	35	38	40	45
2.	Zat padat terlarut	mg/l	1500	2000	4000	5000
3.	Zat padat tersuspensi	mg/l	100	200	400	500
<b>KIMIA</b>						
1.	pH		6-9	6-9	6-9	5-9
2.	Besi terlarut (Fe)	mg/l	1	5	<b>10</b>	20
3.	Mangan terlarut (Mn)	mg/l	0.5	2	5	10
4.	Barium (Ba)	mg/l	1	2	3	5
5.	Tembaga (Cu)	mg/l	1	2	<b>3</b>	5
6.	Seng (Zn)	mg/l	2	5	10	15
7.	Khrom heksavalen (Cr6+)	mg/l	0.05	0.1	0.5	1
8.	Khrom total (Cr)	mg/l	0.1	0.5	1	2
9.	Cadmium (Cd)	mg/l	0.01	0.05	0.1	0.5
10.	Raksa (Hg)	mg/l	0.001	0.002	0.005	0.01
11.	Timbal (Pb)	mg/l	0.03	0.1	1	2
12.	Stanum (Sn)	mg/l	1	2	3	5
13.	Arsen (As)	mg/l	0.05	0.1	0.5	1
14.	Selenium (Se)	mg/l	0.1	0.05	0.5	1
15.	Nikel (Ni)	mg/l	0.1	0.2	<b>0.5</b>	1
16.	Kobalt (Co)	mg/l	0.2	0.4	0.6	1
17.	Sianida (CN)	mg/l	0.02	0.05	0.5	1
18.	Sulphida (H <sub>2</sub> S)	mg/l	0.01	0.05	0.1	1
19.	Fluorida (F)	mg/l	1.5	2	3	5
20.	Klorin bebas (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	0.5	1	2	5
21.	Ammoniak bebas (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	0.02	1	<b>5</b>	20
22.	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	10	20	30	50
23.	Nitrit (NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	0.06	1	3	5
24.	Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD)	mg/l	20	50	150	300

## LAMPIRAN 2

### PERHITUNGAN PEMBUATAN LIMBAH SINTETIK

1. Perhitungan pembuatan larutan logam yang mengandung  $Fe^{2+} = 40$  ppm.

Bahan yang digunakan  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

BM  $Fe^{2+} = 55,85$  g/gmol

BM  $FeSO_4 \cdot 7H_2O = 278,028$  g/gmol

Reaksi yang terjadi :  $FeSO_4 \cdot 7H_2O \rightarrow Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 7H_2O$

$$\begin{aligned} FeSO_4 \cdot 7H_2O \text{ yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM garam}}{\text{BM Fe}} \times [Fe]_{\text{yang diinginkan}} \\ &= \frac{278,028}{55,85} \times [40 \text{ mg / L}] = 199,125 \text{ mg / L} \end{aligned}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang diperlukan} &= 199,125 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L} \\ &= 1990,125 \text{ mg atau } 1,99 \text{ gr} \end{aligned}$$

2. Perhitungan pembuatan larutan logam yang mengandung  $Cu^{2+} = 40$  ppm.

Bahan yang digunakan  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

BM  $Cu^{2+} = 63,5$  g/gmol

BM  $CuSO_4 \cdot 5H_2O = 249,5$  g/gmol

Reaksi yang terjadi :  $CuSO_4 \cdot 5H_2O \rightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-} + 5H_2O$

$$\begin{aligned} CuSO_4 \cdot 5H_2O \text{ yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM garam}}{\text{BM Cu}} \times [Cu]_{\text{yang diinginkan}} \\ &= \frac{249,5}{63,5} \times [40 \text{ mg / L}] = 157,165 \text{ mg / L} \end{aligned}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang diperlukan} &= 157,165 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L} \\ &= 1571,65 \text{ mg atau } 1,57 \text{ gr} \end{aligned}$$

3. Perhitungan pembuatan larutan logam yang mengandung  $Ni^{2+} = 40$  ppm.

Bahan yang digunakan  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

BM Ni = 58,6 g/gmol

BM  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O = 290,6$  g/gmol

Reaksi yang terjadi :  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \rightarrow Ni^{2+} + NO_3^{2-} + 6H_2O$

$$\begin{aligned} Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \text{ yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM garam}}{\text{BM Ni}} \times [Ni]_{\text{yang diinginkan}} \\ &= \frac{290,6}{58,6} \times [40 \text{ mg / L}] = 198,361 \text{ mg / L} \end{aligned}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang diperlukan} &= 198,361 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L} \\ &= 1983,61 \text{ mg atau } 1,98 \text{ gr} \end{aligned}$$

4. Perhitungan pembuatan larutan amonia 40 ppm, 60 ppm, 100 ppm, dan 120 ppm.

Bahan yang digunakan  $NH_4Cl$

BM  $NH_4 = 18$  g/gmol

BM  $NH_4Cl = 53,49$  g/gmol

Reaksi yang terjadi :  $NH_4Cl \rightarrow NH_4^+ + Cl^-$

**Untuk amonia 40 ppm :**

$$\begin{aligned} NH_4Cl \text{ yang dibutuhkan} &= \frac{\text{BM } NH_4Cl}{\text{BM } NH_4} \times [NH_4]_{\text{yang diinginkan}} \\ &= \frac{53,49}{18} \times [40 \text{ mg / L}] = 118,867 \text{ mg / L} \end{aligned}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

$$\begin{aligned} \text{Massa garam yang diperlukan} &= 118,867 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L} \\ &= 1188,67 \text{ mg atau } 1,18 \text{ gr} \end{aligned}$$

**Untuk amonia 60 ppm :**

$$NH_4Cl \text{ yang dibutuhkan} = \frac{\text{BM } NH_4Cl}{\text{BM } NH_4} \times [NH_4]_{\text{yang diinginkan}}$$

$$= \frac{53,49}{18} \times [60 \text{ mg / L}] = 178,3 \text{ mg / L}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

Massa garam yang diperlukan =  $178,3 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L}$

$$= 1783 \text{ mg atau } 1,78 \text{ gr}$$

**Untuk amonia 100 ppm :**

$$NH_4Cl \text{ yang dibutuhkan} = \frac{BM NH_4Cl}{BM NH_4} \times [NH_4]_{\text{yang diinginkan}}$$

$$= \frac{53,49}{18} \times [100 \text{ mg / L}] = 297,167 \text{ mg / L}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

Massa garam yang diperlukan =  $297,167 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L}$

$$= 2971,67 \text{ mg atau } 2,97 \text{ gr}$$

**Untuk amonia 120 ppm :**

$$NH_4Cl \text{ yang dibutuhkan} = \frac{BM NH_4Cl}{BM NH_4} \times [NH_4]_{\text{yang diinginkan}}$$

$$= \frac{53,49}{18} \times [120 \text{ mg / L}] = 356,6 \text{ mg / L}$$

Limbah yang dibutuhkan sebanyak 10 L maka,

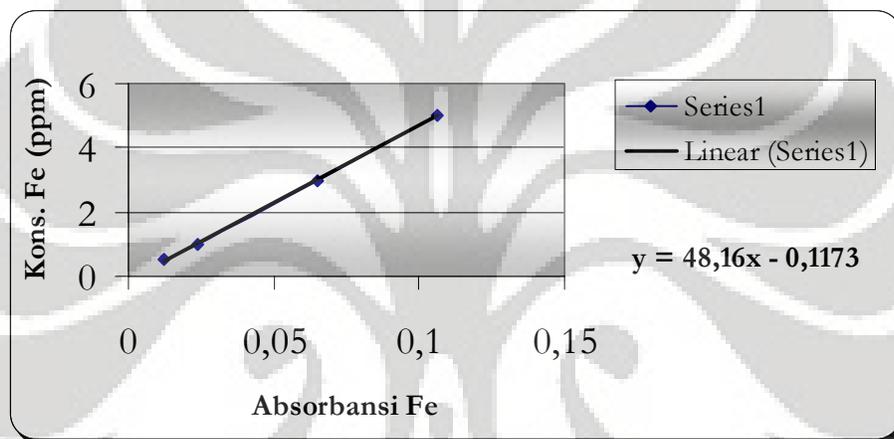
Massa garam yang diperlukan =  $356,6 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L}$

$$= 3566 \text{ mg atau } 3,56 \text{ gr}$$

### LAMPIRAN 3 HASIL PENYISIHAN LOGAM BESI

**Tabel C. 1 Larutan standar Fe**

Kons. Fe (ppm)	Abs.
0,5	0,012
1	0,024
3	0,065
5	0,106



**Gambar C. 1 Kurva kalibrasi Fe**

#### **3.1 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Fe, Cu dan Ni Dengan Variasi pH.**

**Kondisi Operasi :**

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	PH	Absorbansi Fe	Konsentrasi Fe	% Penyisihan
Awal		0,042	38,10	
	<b>5</b>			<b>96,04</b>
Akhir		0,004	1,50	
Awal		0,043	39,07	
	<b>7</b>			<b>96,14</b>
Akhir		0,004	1,50	
Awal		0,043	39,07	
	<b>8</b>			<b>93,671</b>
Akhir		0,005	2,47	
Awal		0,041	37,14	
	<b>9</b>			<b>90,75</b>
Akhir		0,006	3,43	

### 3.2 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam dan Amonia Dengan Variasi Konsentrasi Amonia.

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	Konsentrasi Amonia (mg/L)	Absorbansi Fe	Konsentrasi Fe (ppm)	% Penyisihan
Awal		0,048	32,57	
	<b>40</b>			<b>99,05</b>
Akhir		0,002	0,30	
Awal		0,032	21,35	
	<b>60</b>			<b>99,21</b>
Akhir		0,0018	0,16	
Awal		0,028	18,54	
	<b>120</b>			<b>99,46</b>
Akhir		0,0017	0,098	

### 3.3 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam Dan Amonia Dengan Variasi pH.

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

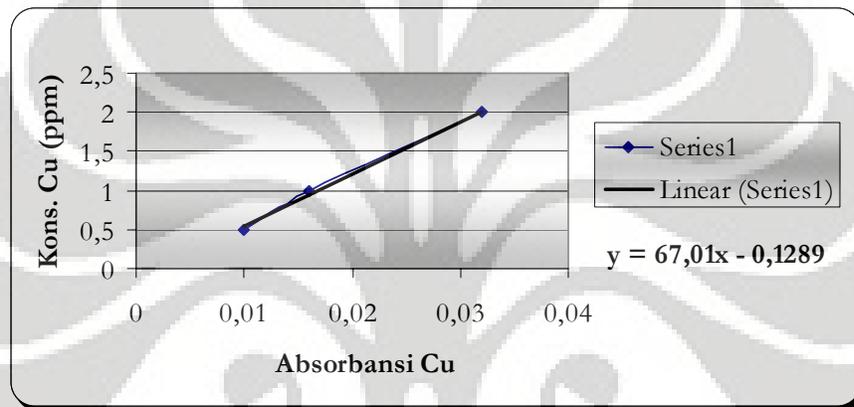
Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	pH Awal	Absorbansi Fe	Konsentrasi Fe (mg/L)	% Penyisihan
Awal		0,058	37,81	
	5			94,65
Akhir		0,002	2,02	
Awal		0,043	39,07	
	7			96,14
Akhir		0,004	1,50	
Awal		0,058	37,81	
	9			96,34
Akhir		0,001	1,38	

## LAMPIRAN 4 HASIL PENYISIHAN LOGAM TEMBAGA

Tabel D. 1 Larutan standar Cu

Kons. (ppm)	Abs.
0,5	0,01
1	0,016
2	0,032



Gambar D. 1 Kurva kalibrasi Cu

### 4.1 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Fe, Cu dan Ni Dengan Variasi pH.

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	PH	Absorbansi Cu	Konsentrasi Cu	% Penyisihan
Awal		0,03	37,62	
	<b>5</b>			<b>99,72</b>
Akhir		0,002	0,10	
Awal		0,032	40,30	
	<b>7</b>			<b>99,74</b>
Akhir		0,002	0,10	
Awal		0,029	36,28	
	<b>8</b>			<b>99,71</b>
Akhir		0,002	0,10	
Awal		0,031	38,96	
	<b>9</b>			<b>99,73</b>
Akhir		0,002	0,10	

#### 4.2 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam dan Amonia Dengan Variasi Konsentrasi Amonia.

##### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	Konsentrasi Amonia (mg/L)	Absorbansi Fe	Konsentrasi Cu (ppm)	% Penyisihan
Awal		0,16	69,99	
	<b>40</b>			<b>98,99</b>
Akhir		0,012	0,70	
Awal		0,084	34,41	
	<b>60</b>			<b>96,59</b>
Akhir		0,013	1,17	
Awal		0,101	42,37	
	<b>120</b>			<b>99,44</b>
Akhir		0,011	0,23	

### 4.3 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam Dan Amonia Dengan Variasi pH

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

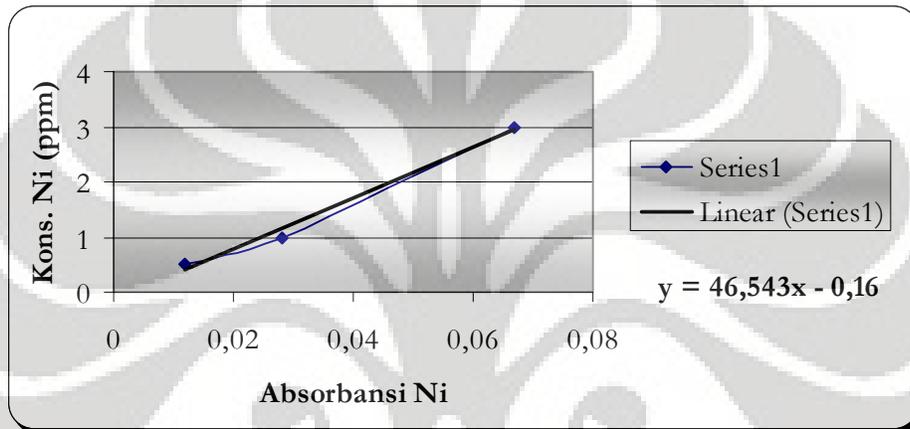
Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	pH Awal	Absorbansi Cu	Konsentrasi Cu (mg/L)	% Penyisihan
Awal		0,059	34,39	
	5			84,58
Akhir		0,012	5,30	
Awal		0,032	40,30	
	7			99,74
Akhir		0,002	0,10	
Awal		0,057	33,15	
	9			98,94
Akhir		0,004	0,34	

## LAMPIRAN 5 HASIL PENYISIHAN LOGAM NIKEL

Tabel F. 1 Larutan standar Ni

Kons. (ppm)	Abs.
0,5	0,012
1	0,028
3	0,067



Gambar F. 1 Kurva kalibrasi Ni

### 5.1 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Fe, Cu dan Ni Dengan Variasi pH.

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	PH	Absorbansi Ni	Konsentrasi Ni	% Penyisihan
Awal		0,046	39,61	
	<b>5</b>			<b>21,14</b>
Akhir		0,037	31,24	
Awal		0,048	41,48	
	<b>7</b>			<b>55,83</b>
Akhir		0,024	19,14	
Awal		0,048	41,48	
	<b>8</b>			<b>78,54</b>
Akhir		0,013	8,90	
Awal		0,048	41,48	
	<b>9</b>			<b>62,83</b>
Akhir		0,02	15,41	

## 5.2 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam dan Amonia Dengan Variasi Konsentrasi Amonia.

### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	Konsentrasi Amonia (mg/L)	Absorbansi Fe	Konsentrasi Ni (ppm)	% Penyisihan
Awal		0,105	42,63	
	<b>40</b>			<b>38,63</b>
Akhir		0,088	26,16	
Awal		0,094	31,97	
	<b>60</b>			<b>24,23</b>
Akhir		0,086	24,22	
Awal		0,095	32,94	
	<b>120</b>			<b>20,58</b>
Akhir		0,088	26,16	

### 5.3 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam Dan Amonia Dengan Variasi pH.

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	pH Awal	Absorbansi Ni	Konsentrasi Ni (mg/L)	% Penyisihan
Awal		0,087	38,50	
	5			51,31
Akhir		0,073	50,11	
Awal		0,048	41,48	
	7			55,84
Akhir		0,024	19,14	
Awal		0,088	38,77	
	9			58,86
Akhir		0,068	16,15	

## LAMPIRAN 6 HASIL PENYISIHAN AMONIA

### 6.1 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam dan Amonia Dengan Variasi Konsentrasi Amonia.

**Kondisi Operasi :**

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

Kondisi	Konsentrasi Amonia (mg/L)	Konsentrasi Amonia (mg/L)	% Penyisihan
Awal		37,1	
	40		11,77898
Akhir		32,73	
Awal		61,42	
	60		0,73266
Akhir		60,97	
Awal		74,63	
	120		0
Akhir		74,63	

### 6.2 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam Dan Amonia Dengan Variasi pH.

**Kondisi Operasi :**

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

<b>Kondisi</b>	<b>pH Awal</b>	<b>Konsentrasi Amonia (mg/L)</b>	<b>% Penyisihan</b>
<b>Awal</b>		35,97	
	<b>5</b>		40,7
<b>Akhir</b>		33,54	
<b>Awal</b>		37,1	
	<b>7</b>		11,78
<b>Akhir</b>		32,73	
<b>Awal</b>		36,73	
	<b>9</b>		9,21
<b>Akhir</b>		36,11	

## LAMPIRAN 7 PARAMETER KUALITAS AIR YANG TERUKUR

### 7.1 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Fe, Cu dan Ni Dengan Variasi pH.

#### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

- **Kandungan COD**

Kondisi	PH	Absorbansi COD	Konsentrasi COD (ppm)	% Penyisihan
Awal	5	0,125	274,69	65,39
Akhir		0,041	95,05	
Awal	7	0,074	165,62	40,02
Akhir		0,043	99,32	
Awal	8	0,088	195,56	49,20
Akhir		0,043	99,32	
Awal	9	0,108	238,33	63,70
Akhir		0,037	86,49	

- **pH Akhir Effluent**

Menit ke-	pH = 5	pH = 7	pH = 8	pH = 9
2	4,08	6,9	6,62	7,05
4	4,98	6,9	6,67	7,08
6	4,97	6,4	6,72	7,07
8	4,97	6,2	6,74	7,04
10	4,97	6,2	6,76	7,01

- **Volume Effluent**

Menit ke-	pH = 5	pH = 7	pH = 8	pH = 9
2	510	720	450	420
4	520	740	450	410
6	500	710	430	400
8	460	670	420	390
10	430	630	400	380

## 7.2 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam dan Amonia Dengan Variasi Konsentrasi Amonia.

### Kondisi Operasi :

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

- **Kandungan COD**

Kondisi	Konsentrasi Amonia (ppm)	Absorbansi COD	Konsentrasi COD (ppm)	% Penyisihan
Awal		0.098	216.95	
	<b>40</b>			51.26
Akhir		0.046	105.74	
Awal		0.103	227.64	
	<b>60</b>			72.33
Akhir		0.026	62.97	
Awal		0.127	278.97	
	<b>120</b>			77.42
Akhir		0.026	62.97	

- **pH Akhir Effluent**

Menit ke-	Kons. Amonia = 40 mg/L	Kons. Amonia = 60 mg/L	Kons. Amonia = 120 mg/L
2	6,31	6,76	6,475
4	6,54	6,525	6,555
6	6,525	6,56	6,615
8	6,49	6,56	6,61
10	6,445	6,45	6,57

- **Volume Effluent**

Menit ke-	Kons. Amonia = 40 mg/L	Kons. Amonia = 60 mg/L	Kons. Amonia = 120 mg/L
2	1210	1300	1350
4	1160	1010	1300
6	1170	1200	1300
8	1000	950	1150
10	830	940	1100

### 7.3 Flotasi-Filtrasi Campuran Limbah Logam Dan Amonia Dengan Variasi pH.

**Kondisi Operasi :**

Sistem operasi kontinyu selama 25 menit.

PAC (gr/L) : 0,013

SLS (gr/L) : 0,2

Zeolit (gr/L) : 2

Konsentrasi Limbah Fe : Cu : Ni = 1 : 1 : 1 = 40 : 40 : 40 mg/L

- **Kandungan COD**

Kondisi	pH		Absorbansi COD	Konsentrasi COD (mg/L)	% Penyisihan
	Awal	Akhir			
Awal			0,062	294,83	
	5	4,39			36,99
Akhir			0,412	185,75	
Awal			0,098	216,95	
	7	6,52			51,26
Akhir			0,046	105,74	
Awal			0,127	277,37	
	9	7,4			35,05
Akhir			0,026	180,14	

- **pH Akhir Effluent**

Menit ke-	pH = 5	pH = 7	pH = 9
2	4,93	6,9	7,39
4	4,41	6,9	7,4
6	4,34	6,4	7,4
8	4,14	6,2	7,32
10	4,23	6,2	7,4

- **Volume Effluent**

<b>Menit ke-</b>	<b>pH = 5</b>	<b>pH = 7</b>	<b>pH = 9</b>
2	600	720	700
4	650	740	750
6	600	710	720
8	550	670	730
10	500	630	700



## LAMPIRAN 8 HASIL UJI PRODUKTIVITAS OZONATOR

Data percobaan :

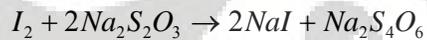
Volume Hulu (mL)	Volume Hilir (mL)	Volume Total (mL)	Waktu (s)
157,7	2,45	160,15	900
152,05	5,90	157,95	900

Contoh Perhitungan :

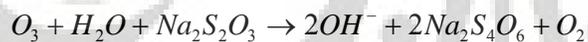
Reaksi ozon dengan KI :



Reaksi reduksi iodium melalui titrasi dengan Natrium Thiosulfat :



Total reaksi :



$$\text{Molaritas } Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O = \frac{\text{gram} / B_m}{L} = \frac{0,638 / 248}{1} = 0,0026M = 0,0026N$$

$$\text{mmol } Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O = \frac{(V_{hulu} + V_{hilir}) * M}{1000} = \frac{(2,45 + 157,7) * 0,0026}{1000} = 0,412 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Mol  $I_2$  yang bereaksi dengan  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  = mol  $O_3$  yang dibutuhkan.

Mol  $O_3$  yang dibutuhkan =  $\frac{1}{2}$  \* mol  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$

$$= \frac{1}{2} (0,412 * 10^{-3}) = 0,206 * 10^{-3} \text{ mol}$$

Berat  $O_3$  yang bereaksi =  $(0,206 \times 10^{-3}) \times 48 = 9,88 \times 10^{-3}$  gram

$$\text{Produktivitas ozon} = \frac{\text{berat } O_3}{t} \times \frac{3600s}{1Jam}$$

$$= \frac{9,88 \times 10^{-3}}{900} \times 3600 = 0,0396 \text{ g / jam}$$

### Hasil Perhitungan

<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O yang bereaksi dengan iodida (mol)</b>	<b>Mol O<sub>3</sub> yang dibutuhkan (mol)</b>	<b>Produktivitas ozon (g/jam)</b>
0,412 x 10 <sup>-3</sup>	0,206 x 10 <sup>-3</sup>	0,0396
0,406 x 10 <sup>-3</sup>	0,203 x 10 <sup>-3</sup>	0,039
<b>Rata-rata</b>		0,0393

### Konsentrasi ozon yang dihasilkan selama 10 menit :

$$\text{Produktivitas ozon dalam 10 menit} = \frac{0,0393}{60} \times 10 = 0,0066 \text{ g / 10menit}$$

$$\text{Mol ozon yang dihasilkan selama 10 menit} = \frac{0,0066}{48} = 1,375 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Dengan asumsi kandungan ozon sebesar 2,5% berat dari umpan udara, maka faktor konversi untuk mendapatkan volume ozon adalah 30,22 mg/L.

$$\text{Maka, volume ozon} = \frac{0,0066 \times 10^3 \text{ mg}}{30,22 \text{ mg / L}} = 0,218 \text{ L}$$

$$\text{Konsentrasi ozon} = \frac{\text{Mol ozon}}{\text{Volume ozon}} = \frac{1,375 \times 10^{-4} \text{ gmol}}{0,218 \text{ L}} = 6,31 \times 10^{-4} \text{ gmol / L}$$