

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR YANG
MENGANDUNG LOGAM BESI, TEMBAGA DAN
NIKEL MENGGUNAKAN METODE FLOTASI-
FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG
SEBAGAI BAHAN PENGIKAT**

SKRIPSI

Oleh

ASEP SETIAWAN

04 04 06 011 X



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

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR YANG
MENGANDUNG LOGAM BESI, TEMBAGA DAN
NIKEL MENGGUNAKAN METODE FLOTASI-
FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG
SEBAGAI BAHAN PENGIKAT**

SKRIPSI

Oleh

ASEP SETIAWAN
04 04 06 011 X



**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 CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM BESI,
TEMBAGA DAN NIKEL MENGGUNAKAN METODE FLOTASI-
FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI BAHAN
PENGIKAT**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia 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, 14 Juli 2008

Asep Setiawan

04 04 06 011 X

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM BESI,
TEMBAGA DAN NIKEL MENGGUNAKAN 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 telah 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, 14 Juli 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.



Asep Setiawan

040406011X

Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing:

Ir. Eva Fathul Karamah, MT

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM BESI,
TEMBAGA DAN NIKEL MENGGUNAKAN METODE FLOTASI-
FILTRASI DENGAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI BAHAN
PENGIKAT**

ABSTRAK

Penggabungan metode Flotasi dan Filtrasi dapat menjadi metode alternatif yang efektif untuk mengolah limbah cair yang mengandung logam berat seperti besi, tembaga dan nikel. Partikel-partikel yang tak dapat dipisahkan oleh proses Flotasi dapat dipisahkan melalui proses Filtrasi. Begitu juga dengan masalah *fouling membrane* pada proses Filtrasi dapat diatasi dengan adanya *diffuser* berupa pengaliran campuran udara dan ozon di sekitar membran yang berasal dari proses Flotasi.

Sebagai langkah awal dari penggabungan metode tersebut, akan dibandingkan kinerja dari proses Flotasi-Filtrasi dengan proses Flotasi dan proses Filtrasi saja. Proses ini akan berlangsung secara kontinyu. Untuk membandingkan hasil dari proses ini digunakan limbah sintetik besi sebagai limbah standarnya. Data yang akan dibandingkan berupa konsentrasi akhir dari limbah logam. Persentase pemisahan logam yang besar menunjukkan kinerja proses yang lebih baik.

Setelah teruji metode penggabungan ini lebih efektif maka akan dicari kondisi optimum prosesnya yaitu berupa laju alir udara. Dengan kondisi optimum tersebut dilakukan proses pemisahan untuk limbah logam besi, tembaga dan nikel dengan variasi konsentrasi untuk setiap logam. Masing-masing logam diolah secara tunggal, tidak dalam bentuk campuran logam. Dengan begitu dapat dilihat efektifitas kinerja proses ini dalam memisahkan limbah logam berat.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode Flotasi-Filtrasi lebih baik dibandingkan metode Flotasi atau metode Filtrasi saja. Persentase pemisahan metode Flotasi-Filtrasi, Flotasi dan Filtrasi sebesar 94,736 %; 87,92 % dan 88,106 % . Laju alir udara optimum dari proses ini yaitu pada saat lajunya sebesar 100 L/jam. Dan efektifitas pemisahan logam besi, tembaga dan nikel dicapai pada saat konsentrasinya sebesar 100 mg/L untuk logam Fe dan 50 mg/L untuk logam Cu dan Ni.

Kata kunci : Flotasi, Filtrasi, Flotasi-Filtrasi, *fouling*, *diffuser*

Asep Setiawan

040406011X

Departemen Teknik Kimia

Counsellor:

Ir. Eva Fathul Karamah, MT

THE TREATMENT OF LIQUID WASTE WATER WHICH CONTAINS IRON, COPPER AND NICKEL USING FLOTATION-FILTRATION METHOD WITH ALAM LAMPUNG ZEOLITE AS BONDING AGENT

ABSTRACT

The merging between the Flotation method with Filtration method can be the alternative method which treats the liquid waste—which contains heavy metal such as iron, copper, and nickel—effectively. Some particles cannot be separated on Flotation process. Instead, they can be separated by using the Filtration process. So do with the fouling membrane problems. They can handled with the existence of diffuser which using the flow of mixture air and ozone on the surround of the membrane that comes from Flotation.

For the first step, the performance of the Flotation-Filtration method will be compared with Flotation-only method and Filtration-only method—those methods will occurs continuously. To compare the results of these processes, iron synthetic waste is used as standard waste. The comparison data is the last concentration of the metal waste. The bigger percentage of separation of metal, the better performance of the process.

After being tested, the merging method is proven more effective than the others. Therefore, the optimum processes condition—i.e. air flow rate—will be searched. With this optimum condition, the separation process for heavy metal waste—such as iron, copper, and nickel—with the concentration variation for each metal. Each metal will be treated as singular metal—not as a mixture. Therefore, the affectivity of the process performance to separate heavy metal waste can be seen.

The result of this research shows that the Flotation-Filtration method is better than the Flotation-only method and Filtration-only method. The percentages of separations using the Flotation-Filtration, Flotation-only, and Filtration-only are 94,736 %; 87,92 %; and 88,106 %, respectively. The optimum air flow rate is 100 Littre per Hour, with the affectivity of the separation is 100 mg/L for Fe and 50 mg/L for Cu and Ni.

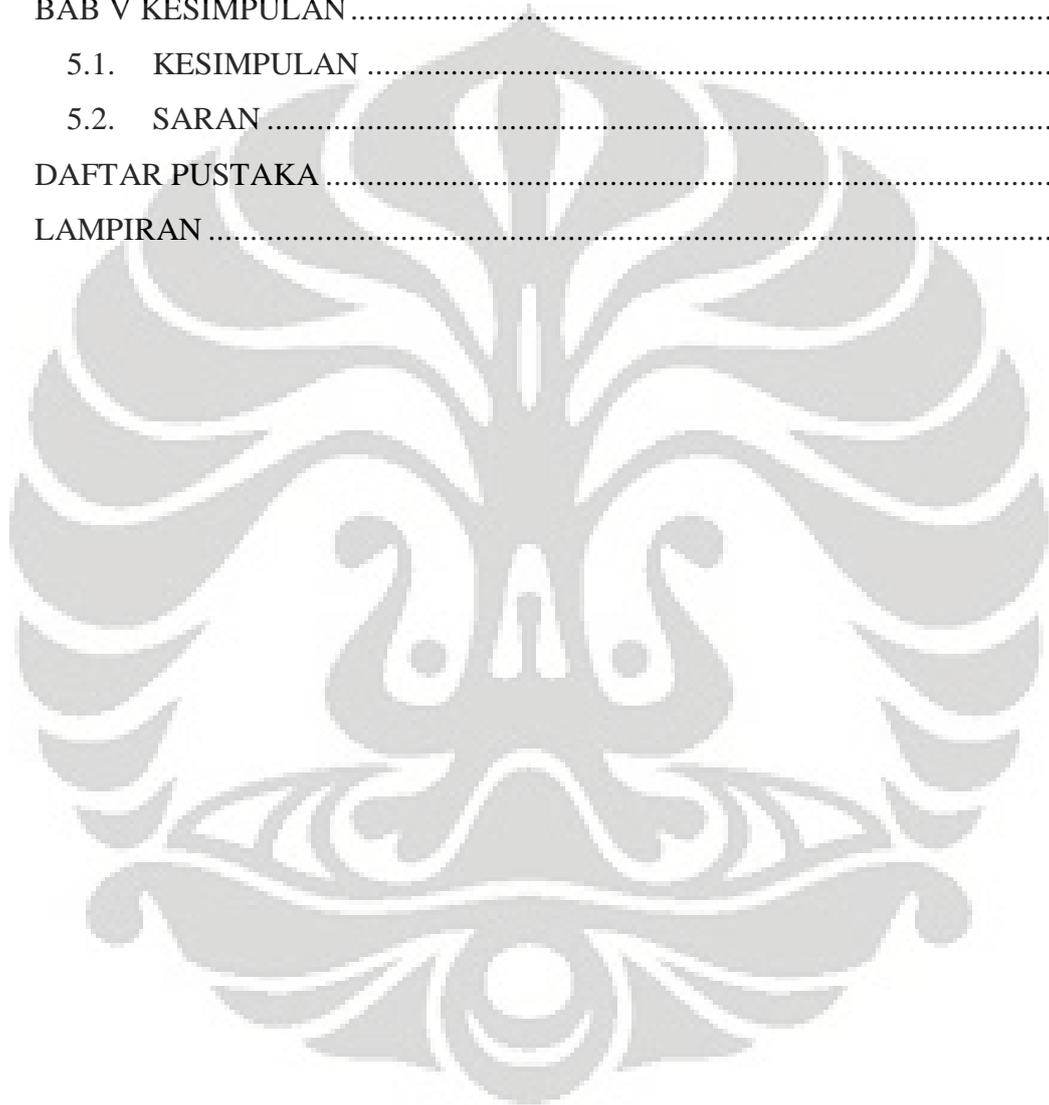
Key word : Flotation, Filtration, Flotation-Filtration, Fouling, Diffuser

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 BATASAN MASALAH.....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 LIMBAH CAIR.....	6
2.2 LOGAM BESI.....	8
2.3 LOGAM TEMBAGA	9
2.4 LOGAM NIKEL.....	10
2.5 METODE FLOTASI	11
2.5.1 Prinsip Dasar Flotasi.....	12
2.5.2 Mekanisme Flotasi.....	13
2.5.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Flotasi	14
2.5.4 Bahan-bahan Kimia Tambahan.....	15
2.5.5 Zeolit.....	16
2.5.5.1 Struktur Zeolit.....	17
2.5.5.2 Sifat-sifat Zeolit	17
2.5.5.3 Jenis-jenis Zeolit.....	19

2.5.5.4 Zeolit Alam Lampung.....	19
2.5.5.5 Metode Preparasi dan Pengaktifan Zeolit Alam	20
2.5.6 Ozon sebagai Difuser.....	22
2.5.7 Kekurangan dan kelebihan Metode Flotasi (Widaningroem, 2004) ...	24
2.6 MEMBRAN	25
2.7 KLASIFIKASI MEMBRAN	26
2.7.1 Membran Keramik.....	28
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	29
3.2 PROSEDUR PENELITIAN.....	30
3.2.1 Rancang Bangun Alat.....	30
3.2.2 Preparasi Bahan-Bahan Proses.....	32
3.2.3 Uji Hidrodinamika dan Kebocoran	32
3.2.4 Pencampuran Bahan-Bahan Proses	33
3.2.5 Proses Flotasi	34
3.2.6 Proses Filtrasi	35
3.2.7 Proses Flotasi-Filtrasi	35
3.2.8 Analisis Sampel.....	37
3.2.9 Pengolahan Data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 MEKANISME PROSES FLOTASI-FILTRASI	40
4.2 HASIL PERBANDINGAN METODE PROSES	43
4.2.1 Perbandingan Proses Flotasi dengan Flotasi-Filtrasi.....	43
4.2.2 Perbandingan Proses Filtrasi dengan Flotasi-Filtrasi	46
4.3 PENGARUH VARIASI LAJU ALIR UDARA TERHADAP KINERJA PROSES FLOTASI-FILTRASI	49
4.3.1 Pengaruh Variasi Laju Alir Udara terhadap Konsentrasi Logam Fe....	49
4.3.2 Pengaruh Variasi Laju Alir Udara terhadap COD Permeate	50
4.3.3 Pengaruh Variasi Laju Alir Udara terhadap Daya Tahan Membran	52
4.4 PENGARUH VARIASI KONSENTRASI AWAL LIMBAH LOGAM TERHADAP KINERJA PROSES FLOTASI-FILTRASI.....	53

4.4.1	Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Logam Fe terhadap Kinerja Proses Flotasi-Filtrasi	53
4.4.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Logam Cu terhadap Kinerja Proses Flotasi-Filtrasi	55
4.4.3	Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Logam Ni terhadap Kinerja Proses Flotasi-Filtrasi	57
BAB V KESIMPULAN		60
5.1.	KESIMPULAN	60
5.2.	SARAN	60
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		63

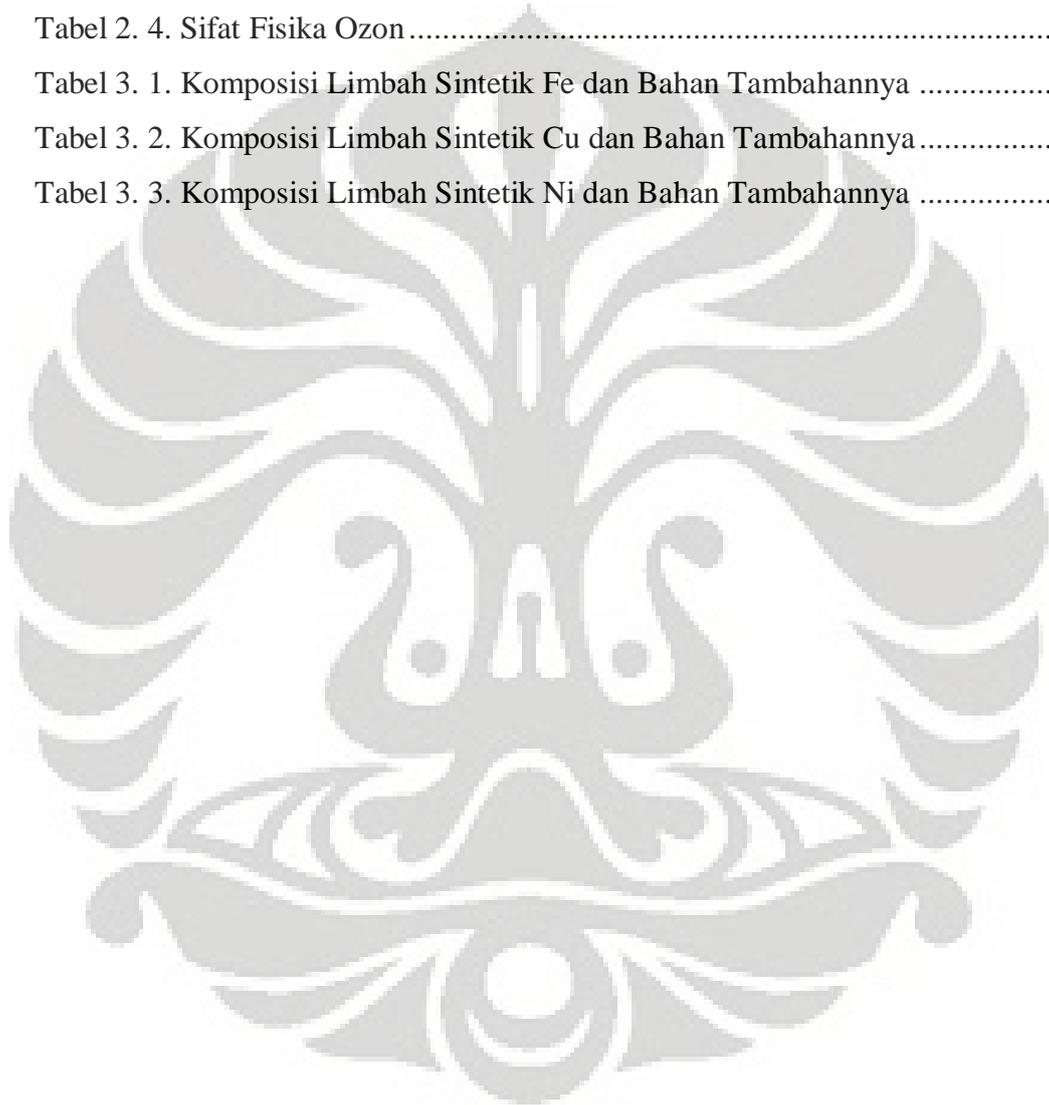


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Ion terperangkap dalam gelembung gas.....	13
Gambar 2. 2. Gelembung gas terperangkap dalam kelompok ion.....	13
Gambar 2. 3. Adsorpsi dan terperangkapnya gelembung gas dalam kelompok ion	14
Gambar 2. 4. Tetrahedra alumina dan silika (TO ₄) pada struktur zeolit.....	17
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian (Untuk perbandingan metode)	29
Gambar 3. 2. Diagram alir penelitian (Untuk penentuan kondisi optimum).....	30
Gambar 3. 3. Skema Alat Flotasi-Filtrasi.....	31
Gambar 4. 1. Pengaruh waktu terhadap pemisahan logam Fe	40
Gambar 4. 2. Perbandingan pemisahan logam Fe pada metode Flotasi dan metode Flotasi-Filtrasi.....	44
Gambar 4. 3. Perbandingan COD pada metode Flotasi dan metode Flotasi-Filtrasi	45
Gambar 4. 4. Perbandingan pemisahan logam Fe pada metode Filtrasi dan metode Flotasi-Filtrasi.....	46
Gambar 4. 5. Perbandingan COD pada metode Filtrasi dan metode Flotasi-Filtrasi	47
Gambar 4. 6. Perbandingan volume permeat pada metode Filtrasi dan metode Flotasi-Filtrasi.....	48
Gambar 4. 7. Pengaruh laju alir udara terhadap pemisahan logam Fe	50
Gambar 4. 8. Pengaruh laju alir udara terhadap COD permeat.....	51
Gambar 4. 9. Pengaruh laju alir udara terhadap volume permeat	52
Gambar 4. 10. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap pemisahan logam Fe	54
Gambar 4. 11. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap COD permeat.....	55
Gambar 4. 12. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap pemisahan logam Cu	56
Gambar 4. 13. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap COD permeat.....	57
Gambar 4. 14. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap pemisahan logam Ni	58
Gambar 4. 15. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap COD permeat.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan Beberapa Metode Pengolahan Limbah Cair (www.milipore.com).....	8
Tabel 2. 2. Komposisi Kimia Zeolit Alam Lampung	20
Tabel 2. 3. Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Beberapa Jenis Zeolit	21
Tabel 2. 4. Sifat Fisika Ozon	23
Tabel 3. 1. Komposisi Limbah Sintetik Fe dan Bahan Tambahannya	33
Tabel 3. 2. Komposisi Limbah Sintetik Cu dan Bahan Tambahannya.....	34
Tabel 3. 3. Komposisi Limbah Sintetik Ni dan Bahan Tambahannya	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Sintetik.....	63
Lampiran 2. Pengolahan Data Konsentrasi Logam dan COD.....	65



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Masalah polusi di Indonesia saat ini semakin mengkhawatirkan. Berbagai polusi seperti polusi air, udara dan tanah semakin meningkat. Salah satu masalah yang sangat penting adalah masalah polusi air, pencemaran badan air saat ini semakin bertambah saja seiring dengan perkembangan industri yang ada. Kebanyakan industri membuang limbahnya langsung melalui sungai. Apabila tidak ada instalasi pengolahan air limbah yang baik maka akan menyebabkan kerusakan lingkungan sungai tersebut bahkan dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup yang ada di sekitarnya.

Limbah cair yang biasanya berasal dari limbah industri merupakan campuran berbagai macam senyawa diantaranya logam. Jenis logam yang banyak terdapat dalam limbah cair antara lain besi, tembaga dan nikel. Contoh nyatanya yaitu di sungai Cisadane, hasil uji laboratorium oleh PT Unilab pada keluaran industri kancing di Tangerang menunjukkan kandungan logam tembaga sebesar 48,91 mg/L dan untuk logam nikel sebesar 310 mg/L. Selain itu logam Fe di daerah tersebut juga sangat mengkhawatirkan seperti, PT Surya Toto memiliki kandungan Fe sebesar 1,21 mg/L, PT Tifico: Fe 0,59 mg/L, PT Sun Kyong Keris: Fe 0,38 mg/L, PT Laksana Kurnia Sejati: Fe 1,07 mg/L, PT Indah Kiat: Fe 0,56 mg/L, Area Gading Serpong: Fe 1,34 mg/L, PT CRC: Fe 0,53 mg/L, PT Yuasa: Fe 1,04 mg/L dan PT Argo Pantes: Fe 0,64 mg/L (www.kompas.com).

Padahal baku mutu limbah Fe, Cu dan Ni berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup tahun 1988 untuk air golongan B atau untuk diolah menjadi air minum dan keperluan rumah tangga sebesar 5 mg/L, 2 mg/L dan 0,2 mg/L (www.lips-online.com).

Pencemaran logam berat sangat berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup karena logam berat sulit diurai sehingga akan terakumulasi dalam tubuh. Besi dalam jumlah besar dapat menyebabkan radang selaput mata (*conjunctivitis*),

choroiditis dan *retinitis*, radang paru-paru, kanker paru-paru, merusak sel-sel jantung, hati, dan organ lainnya. Tembaga dalam jumlah besar dapat menyebabkan iritasi pada hidung, mulut, dan mata, menyebabkan sakit kepala, sakit perut, kejang, muntah-muntah, buang-buang air, kerusakan hati dan ginjal, bahkan dapat menyebabkan kematian. Nikel dengan jumlah besar dalam tubuh dapat menyebabkan kanker, pusing, kegagalan fungsi pernapasan, *lung embolism*, gangguan kehamilan, asma dan bronkitis kronis, reaksi alergi, dan penyakit jantung .

Limbah logam biasanya berasal dari proses industri. Misalnya saja industri pertambangan dan pengolahan logam seringkali menghasilkan limbah besi. Limbah tembaga banyak dihasilkan oleh industri logam (pelapisan) dan industri kimia yang menggunakan garam Cu ataupun katalis Cu. Limbah nikel kerap kali ditemukan pada buangan industri pengolahan logam dan industri kendaraan bermotor.

Limbah logam berat memiliki resiko bahaya yang sangat tinggi. Untuk itu limbah ini harus diolah terlebih dahulu untuk menurunkan konsentrasi logam berat yang terkandung di dalamnya sebelum dibuang ke lingkungan sekitar. Beberapa metode telah dilakukan untuk mengolah limbah tersebut. Misalnya saja metode pertukaran ion, *Reverse Osmosis*, Flotasi dan Filtrasi. Metode pertukaran ion cukup efektif untuk mengolah limbah logam namun membutuhkan biaya operasi yang sangat mahal. Metode *Reverse Osmosis* juga mampu mengurangi limbah logam hingga 90% sampai 99% namun kondisi operasinya sangat terbatas oleh laju alir air (www.milipore.com). Flotasi merupakan metode yang efektif dalam hal biaya pada kontaminan berkonsentrasi tinggi, namun flotasi memiliki kelemahan yaitu tidak semua logam berat pada limbah terbawa secara permanen oleh gelembung (Blocher, 2003). Begitu juga dengan metode Filtrasi, filtrasi merupakan pemisah yang efektif untuk logam berat. Tetapi, filtrasi memiliki kelemahan yaitu adanya pengotor yang akan menyebabkan menurunnya kemampuan membran untuk menyeleksi zat yang akan melewatinya dan memperpendek umur penggunaan membran .

Untuk mendapatkan metode yang lebih efektif, tahan lama dan murah, maka dilakukan penggabungan beberapa metode. Penggabungan yang paling

fleksibel adalah pengabungan antara metode Flotasi dengan Filtrasi. Selain itu kedua metode ini dapat saling melengkapi dan menutupi kekurangan masing-masing. Kelemahan metode Flotasi dalam hal pengangkutan limbah oleh busa dapat teratasi dengan adanya metode Filtrasi. Partikel yang tidak dapat terangkut oleh busa dapat dipisahkan melalui proses filtrasi oleh membran. Begitu juga dengan proses filtrasi, kekotoran yang terjadi pada membran dapat dikurangi dengan pengabungan metode ini. Campuran udara dan ozon dari proses flotasi secara tidak langsung telah menjaga permukaan membran tetap bersih sehingga membran yang digunakan dapat bertahan lebih lama.

Proses flotasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan zeolit alam lampung sebagai bahan pengikat, surfaktan sebagai agen pembuih dan koagulan untuk membuat flok sehingga limbah logam mudah diangkat oleh busa. Kemudian *diffuser* yang digunakan merupakan campuran udara dan ozon. Penggunaan ozon bertujuan untuk mengoksidasi logam sehingga mudah diikat oleh bahan pengikat, selain itu ozon juga dapat menghilangkan warna dan bau yang ditimbulkan oleh limbah serta membasmi mikroorganisme yang tidak aktif dan beberapa virus (Janknecht, 2001).

Proses filtrasi pada penelitian ini menggunakan membran keramik sebagai media filturnya. Membran keramik digunakan karena memiliki daya tahan yang lebih lama dibanding membran polimer, selain itu membran keramik mudah dibersihkan. Proses filtrasi terjadi secara vakum dengan bantuan pompa vakum, jadi *driving force* dari proses ini merupakan perbedaan tekanan antara limbah awal dan permeatannya.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinerja penggabungan metode Flotasi dan Filtrasi dibandingkan dengan metode Flotasi ataupun Filtrasi saja dalam limbah cair yang mengandung logam berat.
2. Bagaimana pengaruh laju alir udara terhadap kinerja proses flotasi-filtrasi.

3. Bagaimana pengaruh konsentrasi awal logam Fe, Cu dan Ni terhadap kinerja proses flotasi-filtrasi.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, tujuan penelitian ini adalah :

1. Membandingkan hasil dari kinerja proses flotasi-filtrasi dengan proses flotasi atau filtrasi saja dalam limbah cair yang mengandung logam berat.
2. Menentukan laju alir udara optimum pada proses flotasi-filtrasi.
3. Menentukan konsentrasi awal Fe, Cu dan Ni optimum pada proses flotasi-filtrasi.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Metode yang digunakan adalah kombinasi metode Flotasi dan Filtrasi
2. Proses flotasi menggunakan :
 - a. Ozon dan udara sebagai *diffuser*
 - b. Zeolit Alam Lampung sebagai *bonding agent*
 - c. *Sodium lauryl sulfat* (SLS) gel sebagai surfaktan
 - d. *Poly aluminium chloride* (PAC) serbuk sebagai koagulan
3. Proses filtrasi menggunakan membran keramik dengan ukuran pori-pori sebesar 0,2 nm.
4. Limbah cair yang diolah adalah limbah sintetik logam tunggal Fe, Cu dan Ni.
5. Variabel- variable proses yang digunakan adalah :

- a. Variabel tetap : Waktu proses dan Konsentrasi PAC, SLS dan Zeolit alam Lampung
- b. Variabel bebas : Metode pengolahan , laju alir udara dan konsentrasi awal logam Fe, Cu dan Ni

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka mengenai limbah cair khususnya limbah Fe, Cu dan Ni. Metode Flotasi mulai dari prinsip dasar, mekanisme, faktor-faktor yang mempengaruhi, bahan-bahan tambahan yang digunakan dan kekurangan dan kelebihan metode ini. Selain itu tinjauan pustaka mengenai membran, khususnya membran keramik juga akan dibahas pada bab ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir penelitian dan juga prosedur penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan percobaan yang diinginkan dalam proses flotasi-filtrasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN

Bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 LIMBAH CAIR

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia organik dan anorganik. Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah.

Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri dapat digolongkan menjadi 4 bagian:

1. Limbah cair
2. Limbah padat
3. Limbah gas dan partikel
4. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Ada beberapa indikasi pencemaran air yang dapat kita ketahui baik secara visual maupun secara pengujian (www.wikipedia.com), antara lain :

1. Perubahan pH (tingkat keasaman atau konsentrasi ion hidrogen)

Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan memiliki pH netral dengan kisaran nilai 6,5 – 7,5. Air limbah industri yang belum terolah dan memiliki pH diluar nilai pH netral, akan mengubah pH air sungai dan dapat mengganggu kehidupan organisme didalamnya. Hal ini akan semakin parah jika daya dukung lingkungan rendah serta debit air sungai rendah. Limbah dengan pH asam bersifat korosif terhadap logam.

2. Perubahan warna, bau dan rasa

Air normal dan air bersih tidak akan berwarna, sehingga tampak bening atau jernih. Bila kondisi air warnanya berubah maka hal tersebut merupakan salah satu indikasi bahwa air telah tercemar. Timbulnya bau pada air lingkungan merupakan indikasi kuat bahwa air telah tercemar. Air yang bau dapat berasal dari limbah industri atau dari hasil degradasi oleh mikroba. Mikroba yang hidup dalam air akan mengubah organik menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau sehingga mengubah rasa.

3. Timbulnya endapan, koloid dan bahan terlarut

Endapan, koloid dan bahan terlarut berasal dari adanya limbah industri yang berbentuk padat. Limbah industri yang berbentuk padat, bila tidak larut sempurna akan mengendap di dasar sungai, dan yang larut sebagian akan menjadi koloid dan akan menghalangi bahan-bahan organik yang sulit diukur melalui uji BOD karena sulit didegradasi melalui reaksi biokimia, namun dapat diukur menjadi uji COD. Adapun komponen pencemaran air pada umumnya terdiri dari :

- Bahan buangan padat
- Bahan buangan organik
- Bahan buangan anorganik

Pada penelitian ini akan difokuskan kepada limbah cair yang mengandung logam berat. Logam berat yang akan dibahas antara lain adalah besi, tembaga dan nikel. Penjelasan masing-masing logam akan dibahas pada sub bab 2.2, 2.3 dan 2.4.

Beberapa metode telah digunakan untuk menyisihkan limbah logam sebelum dibuang ke sungai. Meskipun cukup efektif dalam memisahkan limbah, tetap saja ada kekurangannya. Perbandingan beberapa metode pengolahan limbah cair dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Perbandingan Beberapa Metode Pengolahan Limbah Cair (www.milipore.com)

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Ion exchange	<ul style="list-style-type: none">• Menyisihkan limbah inorganic terlarut dengan efektif• Regenerable	<ul style="list-style-type: none">• Tidak efektif untuk menyisihkan partikel, pirogen dan bakteri• Biaya operasi mahal
Reverse osmosis	<ul style="list-style-type: none">• Efektif untuk menyisihkan semua kontaminan	<ul style="list-style-type: none">• Dibatasi oleh laju alir
Flotasi	<ul style="list-style-type: none">• Efektif menyisihkan limbah logam dengan konsentrasi besar	<ul style="list-style-type: none">• Tidak semua partikel dapat di apungkan
Filtrasi	<ul style="list-style-type: none">• Efektif untuk menyisihkan partikel dan mikroorganisme	<ul style="list-style-type: none">• Biaya operasi mahal

Pada penelitian ini akan digabungkan kedua metode yaitu metode flotasi dan filtrasi. Dengan penggabungan ini diharapkan menghasilkan suatu proses pengolahan limbah efektif dan ekonomis. Penjelasan mengenai metode flotasi dan metode filtrasi dapat dilihat pada sub bab 2.5, 2.6 dan 2.7.

2.2 LOGAM BESI

Besi merupakan salah satu unsur kimia dengan nomor atom 26 dengan berat atom sebesar 56 g/mol. Dalam tabel periodik besi terletak pada golongan 8B dan periode 4. Besi merupakan salah satu unsur utama penyusun kerak bumi yaitu sekitar 5%. Besi dalam bentuk bebas (Fe) sangat jarang ditemukan di alam, biasanya besi berbentuk oksida besi seperti hematit, magnetit dan takonit.

Hematit (Fe_2O_3) dan Magnetit (Fe_3O_4) lebih banyak dimanfaatkan untuk membuat logam besi dibandingkan takonit (www.wikipedia.com).

Besi banyak dimanfaatkan untuk industri alat-alat berat, otomotif, pembangunan dan juga alat-alat rumah tangga. Hampir dimana-mana kita pasti akan melihat material yang terbuat dari besi. Selain itu besi juga dibutuhkan oleh tubuh kita dalam jumlah sedikit. Namun besi dalam jumlah yang melebihi kadar batasnya akan menyebabkan kerusakan lingkungan bahkan mengganggu kesehatan makhluk hidup di sekitarnya. Kebanyakan limbah besi berbentuk limbah cair yang berasal dari industri pertambangan, logam dan otomotif. Kadar

batas untuk logam besi dalam perairan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup tahun 1988 untuk air golongan B atau untuk diolah menjadi air minum dan keperluan rumah tangga sebesar 5 mg/L.

Pada air permukaan umumnya besi ditemukan dalam bentuk endapan besi (III) dan biasanya bergabung dalam padatan tersuspensi. Besi juga ditemukan dalam bentuk besi (II) pada lapisan terdalam beberapa penampungan air yang kekurangan oksigen dan jugsan dalam air tanah. Secara umum besi berada dalam bentuk tereduksi (Fe^{2+}) yang larut dalam air sebagai $\text{Fe}(\text{OH})^+$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ (www.kompas.com). Pada air dengan nilai alkalinitas yang tinggi, ion Fe^{2+} biasanya ditemukan sebagai hidrogen karbonat atau bikarbonat. Besi juga dapat ditemui dalam bentuk besi kompleks yang mengandung Fe^{2+} atau Fe^{3+} dengan silikat, fosfat, polifosfat, sianida, sulfat, dan lain-lain (Metcalf & Eddy, 1991).

Besi bersifat korosif sehingga dapat membuat rusak lingkungan terutama lingkungan air, ekosistem yang ada akan tidak seimbang dikarenakan banyak organisme yang mati. Besi dalam jumlah besar pada tubuh dapat bersifat racun karena besi *ferrous* bebas bereaksi dengan *peroxida* dan membentuk radikal bebas yang sangat reaktif dan dapat merusak DNA, protein, lipid, dan komponen sel lainnya. Keracunan besi terjadi ketika ada besi bebas dalam sel, hal ini mungkin terjadi karena jumlah besi melewati kapasitas *transferrin* yang bertugas mengikat besi. Darah dengan konsentrasi besi yang tinggi dapat merusak sel-sel jantung, hati, dan organ lainnya yang pada jangka panjang dapat menyebabkan kematian. Besi dapat menyebabkan radang selaput mata (*conjunctivitis*), *choroiditis* dan *retinitis*, jika bersentuhan dan tertinggal pada jaringan.

2.3 LOGAM TEMBAGA

Tembaga merupakan salah satu unsur kimia dengan nomor atom 29 dengan berat atom sebesar 63,5 g/mol. Dalam tabel periodik besi terletak pada golongan 1B dan periode 4. Tembaga merupakan logam yang dapat ditempa, logam yang ulet, dan merupakan bahan penghantar panas dan listrik yang sangat baik. Tembaga lebih lunak daripada besi tetapi lebih keras daripada seng dan bisa digosok hingga mengkilap. Tembaga banyak dipakai sebagai konduktor

listrik, konduktor panas, bahan bangunan, dan komponen berbagai logam campuran (www.wikipedia.com).

Tembaga merupakan substansi yang biasa terdapat dalam lingkungan dan penyebarannya terjadi melalui fenomena alam. Tembaga dapat lepas ke lingkungan melalui sumber alami atau karena aktivitas manusia. Contoh sumber alami yaitu pengikisan batuan mineral yang menghasilkan debu yang ditiup angin, kerusakan vegetasi, kebakaran hutan dan *sea spray*. Contoh penyebaran karena aktivitas manusia yaitu pembuangan air limbah yang mengandung tembaga, hasil pembakaran bahan bakar fosil, penambangan, produksi logam, produksi kayu, dan produksi pupuk fosfat. Tembaga umumnya dijumpai dekat daerah penambangan, daerah industri, *landfill*, dan pembuangan limbah. Kebanyakan senyawa tembaga akan mengendap dan berikatan dengan sedimen air atau partikel tanah. Senyawa tembaga terlarut adalah ancaman terbesar bagi kesehatan manusia.

Kontak dengan tembaga dalam jangka panjang dapat menyebabkan iritasi pada hidung, mulut, dan mata, menyebabkan sakit kepala, sakit perut, kejang, muntah-muntah, dan buang-buang air. Konsumsi tembaga dalam jumlah besar dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal, bahkan dapat menyebabkan kematian. Tembaga juga diperkirakan mempunyai pengaruh terhadap kemunduran tingkat kecerdasan remaja.

Kehadiran tembaga pada limbah industri biasanya dalam bentuk ion bivalen Cu(II). Industri yang menghasilkan limbah tembaga adalah : industri logam (pengasaman dan pelapisan), industri pewarnaan, industri kertas, industri minyak, dan berbagai industri kima yang menggunakan garam Cu dan katalis Cu. Kadar batas untuk logam tembaga dalam perairan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup tahun 1988 untuk air golongan B atau untuk diolah menjadi air minum dan keperluan rumah tangga sebesar 2 mg/L.

2.4 LOGAM NIKEL

Nikel adalah unsur kimia dengan nomor atom 28 yang terletak pada golongan 8B tabel periodik unsur kimia. Nikel memiliki berat atom sebesar 59 g/mol. Nikel berwarna putih perak, keras, dapat ditempa, getas, dan merupakan

konduktor panas dan listrik yang baik. Senyawa nikel yang umum ditemui adalah yang bivalen, meskipun nikel dengan bilangan valensi yang lain juga bisa ditemui. Kebanyakan senyawa nikel berwarna biru atau hijau.

Sebagian besar nikel di bumi tidak dapat diakses karena terletak pada bagian inti planet dalam bentuk lelehan besi-nikel (10% nikel). Nikel terdapat di laut dalam bentuk nikel terlarut dan jumlahnya mencapai 8 miliar ton. Bahan organik mempunyai kemampuan yang baik untuk menyerap logam, karena itulah minyak dan batu bara mengandung nikel dalam jumlah yang cukup besar. Nikel bisa ditemukan pada batu tulis, pasir, tanah liat, dan basalt. Pencemaran udara oleh nikel biasanya disebabkan pembangkit listrik, pembakaran sampah, dan industri logam. Nikel ini kemudian akan turun ke tanah bersamaan dengan hujan. Pencemaran air oleh nikel biasanya disebabkan air limbah dari berbagai industri yang mengandung nikel.

Nikel masuk ke tubuh manusia melalui udara, air minum, makanan, rokok, dan kontak kulit. Dalam jumlah kecil, nikel merupakan zat yang dibutuhkan tubuh, tetapi jika terlalu banyak dapat berbahaya bagi kesehatan. Nikel dengan jumlah besar dalam tubuh dapat menyebabkan resiko lebih tinggi terkena kanker paru-paru, kanker hidung, dan kanker prostat, *lung embolism*, gangguan kehamilan, asma dan bronkitis kronis, reaksi alergi, penyakit jantung.

Aplikasi logam nikel di industri adalah sebagai katalis, electroplating, keramik spesial, aditif plastik, kimia pertanian, dan pewarna. Karena aplikasinya sangat banyak maka limbah nikel yang keluar juga cukup banyak yang berasal dari industri-industri yang menggunakan nikel sesuai dengan aplikasinya. Industri yang menghasilkan limbah nikel adalah industri pengolahan logam, peleburan baja, kendaraan bermotor, kapal terbang, percetakan, dan industri kima. Kadar batas untuk logam nikel dalam perairan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup tahun 1988 untuk air golongan B atau untuk diolah menjadi air minum dan keperluan rumah tangga sebesar 0,2 mg/L.

2.5 METODE FLOTASI

Flotasi atau proses mengubah bahan tersuspensi, teremulsi, dan terlarut, serta bahan koloidal menjadi bahan yang mengambang (*floating*), merupakan

salah satu proses pemisahan yang telah digunakan pada pengolahan mineral. Kemudian metode ini diaplikasikan untuk mengolah limbah cair baik limbah logam maupun limbah organik. Proses flotasi ini banyak digunakan karena dapat mengambil kembali (*recovery*) lebih banyak zat terlarut dan tangki yang digunakan untuk flotasi ukurannya kecil karena laju limpanya yang besar sedangkan waktu detensinya lebih singkat (Widaningroem, 2004).

Pada awalnya flotasi hanya digunakan untuk proses pemisahan limbah logam yang terkandung dalam air tersebut namun ternyata pada pemisahan limbah logam itu juga dapat mengurangi kadar limbah organik yang tercampur pada limbah logam. Pada flotasi, terlebih dahulu limbah yang diolah direaksikan dengan bahan pengikat. Setelah itu, limbah yang sudah diikat akan terpisah dan dibawa ke permukaan oleh *diffuser* dalam bentuk gelembung atau buih. Setelah itu buih tersebut dipisahkan dari air yang sudah bersih tersebut.

Flotasi banyak digunakan pada industri mineral, seperti pabrik kertas, tinta, dan pengolahan air. Flotasi juga dapat digunakan pada industri makanan dan batubara. Prinsipnya adalah memisahkan partikel dengan mengangkatnya ke permukaan. Partikel yang diflotasi akan menjadi hidrofobik dengan penambahan bahan pengikat. Gelembung akan membawa partikel ke permukaan dan dikumpulkan menjadi *froth*. Flotasi dikembangkan secara komersial pada awal abad ke 20 dan digunakan secara luas untuk memproses perak.

Flotasi juga digunakan secara luas pada pengolahan air karena dapat memisahkan lemak dan minyak dari limbah. Unit ini disebut *Dissolved Air Flotation* (DAF). Inovator dan supplier teknologi DAF adalah pengolahan air industri aqua, Nijhuis Water dan US Filter. Flotasi juga digunakan pada penambahan material pada lambung kapal untuk menjaga lambung kapal tetap mengambang saat dipenuhi air.

2.5.1 Prinsip Dasar Flotasi

Proses flotasi adalah proses separasi yang berdasarkan pada sifat kimia fisika, yaitu perbedaan kemampuan untuk terbasahi (*wettability*) pada permukaan partikel padatan yang akan dipisahkan. Perbedaan *wettability* permukaan partikel padatan (mineral logam) dapat bersifat alami atau bisa juga dipengaruhi oleh penggunaan adsorbat-adsorbat kimia. Permukaan padatan biasanya secara alamiah

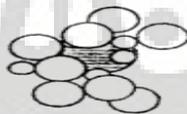
dapat terbasahi (*wettable*) dengan air dan bersifat hidrofilik. Sedangkan jika suatu permukaan tidak *wettable*, maka permukaan tersebut bersifat hidrofobik dan aerofilik dimana permukaan tersebut akan tertarik dengan kuat ke interface udara sehingga dapat menggantikan air pada permukaan padatan.

Prinsip kerjanya pertama-tama butiran kecil dan sulit mengendap dalam suspensi diflokulasikan dan diambangkan ke permukaan oleh gelembung udara yang kecil-kecil, dimana butiran-butiran yang tersuspensi melekat. *Floated agglomerated sludge* dihilangkan dari permukaan secara berkesinambungan dengan cara *skimming*. Padatan mengambang dalam bentuk lumpur yang diperoleh dengan cara *skimming*, dapat ditiriskan dengan mudah. Padatan yang mengambang diterima dalam tangki penerima sebelum ditiriskan beberapa jam, sehingga diperoleh cairan jernih dan lumpur yang memadat (Soemantojo, 2000)

2.5.2 Mekanisme Flotasi

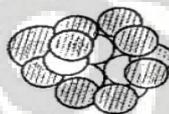
Mekanisme yang terjadi pada proses flotasi merupakan interaksi antara ion dengan gelembung gas. Pada umumnya mekanisme flotasi dibedakan menjadi tiga jenis (Nemerow, 1978), yakni :

- a. Adsorpsi gelembung gas terhadap ion, seperti pada Gambar 2.1



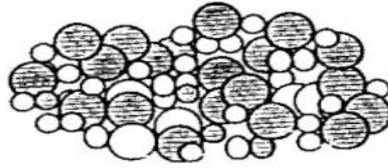
Gambar 2. 1. Ion terperangkap dalam gelembung gas

- b. Terperangkapnya gelembung gas dalam ion, seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2. Gelembung gas terperangkap dalam kelompok ion

- c. Adsorpsi dan terperangkapnya gelembung gas pada ion, seperti Gambar 2.3



Gambar 2. 3. Adsorpsi dan terperangkapnya gelembung gas dalam kelompok ion

Keterangan:

●: Partikel suspensi atau padatan (solid)

○ : Gelembung udara

2.5.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Flotasi

Dalam proses flotasi, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terangkatnya komponen ke permukaan yaitu:

a. Ukuran Partikel

Partikel dengan ukuran yang berbeda mempunyai kemampuan mengapung yang berbeda. Hasil-hasil penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa *recovery* akan mencapai maksimum jika ukuran partikelnya pada range 200 – 300 mesh. Partikel yang paling kasar adalah partikel yang paling mudah mengapung. Maka suatu campuran fasa cair dengan komposisi mineral yang sama, semakin halus ukuran partikel, kemampuan mengapungnya akan semakin kecil. Ketidakmampuan partikel halus untuk mengapung, disebabkan karena :

1. Sudut kontak yang terlalu kecil
2. Agitasi yang terlalu kuat
3. Pemisahan yang tidak sempurna.

Partikel partikel halus tidak hanya lambat mengapung, tetapi dapat dikatakan tidak mengapung, karena kesempatan kontak yang terlalu 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.

b. pH larutan

Pada flotasi, pH merupakan variabel yang harus dikendalikan, karena pH larutan dapat mempengaruhi interaksi antara logam-ligan, sehingga akan mempengaruhi kestabilan ion kompleks yang terbentuk, di samping itu pH larutan

juga mempengaruhi interaksi ion dengan kolektor (Shergold, 1984). *Kolektor* mempunyai titik *isoelektrik*, yakni titik pH dimana *kolektor* yang berada dalam bentuk molekulnya tidak mempunyai muatan. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk *kolektor* yang digunakan harus disesuaikan dengan pH larutan. *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*.

c. Surfaktan

Pada proses flotasi, surfaktan berfungsi sebagai kolektor dan mempertahankan bentuk gelembung dan menjaga agar gelembung tidak pecah selama proses pengangkatan (*Floated*) berlangsung. anionik harus digunakan pada larutan dengan harga pH berada diatas titik *isoelektrik kolektornya*. Jenis surfaktan yang digunakan harus disesuaikan dengan jenis limbah yang akan diolah.

2.5.4 Bahan-bahan Kimia Tambahan

Dalam proses pengolahan limbah dengan metode flotasi, biasanya proses pengolahannya dibantu dengan penambahan beberapa reagent flotasi (Shergold, H.L., 1984), seperti :

a. Bahan pengikat (*Bonding Agent*)

Bahan pengikat ini merupakan aditif kimia yang fungsi utamanya adalah menciptakan permukaan atau struktur yang dapat dengan mudah mengabsorb atau memerangkap gelembung-gelembung udara. Selain zeolit, zat-zat kimia inorganik seperti garam-garam besi dan silika aktif (bentonit) dapat digunakan untuk mengikat partikulat-partikulat, dan selama proses pengikatan tersebut juga membentuk struktur yang dapat memerangkap gelembung-gelembung udara.

b. Kolektor

Kolektor merupakan reagen yang memiliki permukaan selektif, karena mempunyai gugus polar dan non polar sekaligus. Kolektor berfungsi untuk mengubah sifat kompleks ion dari hidrofil menjadi *hidrofob*, disamping itu juga berfungsi sebagai pembuih. Senyawa yang termasuk dalam kolektor adalah xantat, ditiofosfat, tiokarbonilida, dan tiokarbonat.

c. Pembuih (*Frother*)

Reagent ini berfungsi untuk menstabilkan busa yang terbentuk selama proses flotasi. Beberapa senyawa kimia yang termasuk dalam jenis *frother* adalah alkohol, fenol, minyak ekaliptus, asam kresilat, minyak kamper, minyak cemara, alkil eter dan fenil eter.

d. Depresan

Merupakan jenis reagen yang digunakan sebagai masking dan juga sebagai penahan bagi kolektor agar tidak berinteraksi dengan ion logam dalam larutan, yang akan dipisahkan. Senyawa yang termasuk dalam reagent depresan adalah garam-garam anorganik, yang bersaing dengan kolektor untuk mengikat (mengadsorpsi) ion logam.

e. Aktivator

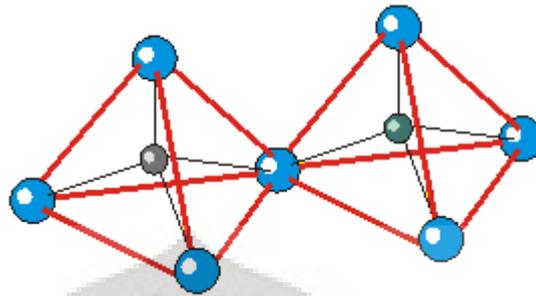
Reagen yang berfungsi sebagai pengaktif ion logam, yang akan dipisahkan, sehingga memungkinkan untuk diflotasi secara maksimal, melalui adanya pertukaran ion. Contoh senyawa aktivator adalah CuSO_4 .

2.5.5 Zeolit

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*.

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $\text{M}_{2/n}\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot a \text{SiO}_2 \cdot b \text{H}_2\text{O}$ atau $\text{M}_{c/n} \{(\text{AlO}_2)_c(\text{SiO}_2)_d\} \cdot b \text{H}_2\text{O}$. Dimana n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio d/c atau $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. Struktur kristal zeolit dimana semua atom Si dan Al dalam bentuk tetrahedra (TO_4) disebut Unit Bangun Primer, zeolit hanya dapat

diidentifikasi berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4 (Thamzil, 2005).



Gambar 2. 4. Tetrahedra alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit

2.5.5.1 Struktur Zeolit

Struktur zeolit mengandung kerangka tiga dimensi tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 , masing-masing mengandung atom silikon atau alumina di pusatnya. Struktur ini kadang-kadang disebut tetrahedral TO_4 dimana T adalah silikon atau alumina. Atom-atom oksigen merupakan bagian bersama diantara tetrahedral, yang dapat hadir dalam beberapa variasi rasio dan terbentuk dalam beberapa macam cara. Zeolit dapat direpresentasikan dengan rumus empiris pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2.



Atau dalam rumus struktural :



Pada rumus empiris diatas, M menunjukkan unsur-unsur alkali atau alkali tanah, n adalah muatan unsur tersebut, x adalah bilangan dari 2 sampai 10, sedangkan y adalah bilangan 2 sampai 7. jika dilihat dari rumus empirisnya, secara garis besar zeolit tersusun dari tiga komponen utama yaitu kerangka kation-kation, aluminasilikat, dan beberapa molekul air.

2.5.5.2 Sifat-sifat Zeolit

Zeolit, dimana memiliki struktur berongga dan biasanya rongga ini berisi air dan kation-kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu.

Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, dan katalisator, sifat-sifat zeolit meliputi:

a. Sifat Dehidrasi Zeolit

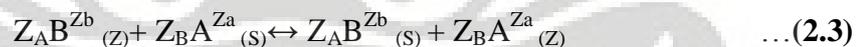
Sifat dehidrasi zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang diadsorp. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori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

b. Sifat Adsorpsi Zeolit

Salah satu aspek kimia yang penting dari zeolit adalah sifat adsorpsi. Sebagai adsorben, zeolit adalah mineral yang unik. Pada kondisi normal pusat rongga yang besar dari pori-porinya terisi oleh molekul-molekul air membentuk bola-bola hidrat disekeliling kation-kation. Dengan pemanasan pada suhu 300 °C-400 °C, air tersebut akan keluar. Setelah air dapat dihilangkan maka molekul-molekul zat dengan diameter tertentu akan dapat melewati dan menempati pori-pori dan rongga dari zeolit. Molekul yang terlalu besar akan ditolak.

c. 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. reaksi perukaran kation pada zeolit akan mencapai kesetimbangan sesuai dengan persamaan 2.4.



Dimana A dan B adalah kation yang dipertukarkan, Zb dan Za adalah muatan masing-masing kation, (Z) adalah zeolit dan (S) adalah larutan.

d. Sifat Katalis

Zeolit merupakan katalis yang aktif. Fenomena sterik sangat penting dalam katalis zeolit, sehingga disebut “*shape selective catalysis*” yang ditemukan untuk menyatakan pengaruh tersebut. Reaksi selektif yang ekstrim dapat dilakukan dengan zeolit ketika suatu produk, reaktan, maupun keadaan dilakukan ditahan pembentukannya dalam pori karena ukuran dan bentuknya.

e. 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.

2.5.5.3 *Jenis-jenis Zeolit*

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

a. 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. Di Indonesia terdapat banyak mineral zeolit karena sebagian besar wilayah Indonesia terdiri dari batuan gunung berapi yang merupakan sumber mineral zeolit.

b. Zeolit sintetik

Karena sifatnya yang unik yaitu susunan atom maupun komposisinya dapat dimodifikasi, maka pada tahun 1948 R.M. Milton bersama rekan dari Union Carbide berhasil mensintesis zeolit yang memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Zeolit ini terbentuk berdasarkan proses termal dari senyawa-senyawa alumina, silika, dan logam alkali.

2.5.5.4 *Zeolit Alam Lampung*

Zeolit alam Lampung memiliki komposisi 78% klinoptilolit, analsim 14% dan modernit 8%. Klinoptilolit memiliki persamaan kimia $(\text{NaK})_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$. Klinoptilolit memiliki bukaan pori-pori rata-rata 4 Å, dengan struktur kristal berbentuk monoklinik yang terdiri dari cincin 8, cincin 10 dan bentuk 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. Pada bagian tengah dari rongga-rongga (cincin) diisi oleh air dan kation-kation dan alkali tanah. Rumus molekul

zeolit alam Lampung adalah $\text{Na}_{2,94}\text{K}_{1,35}\text{Ca}_{0,63}\text{Mg}_{0,21}\text{Al}_{6,25}\text{Si}_{29,74}\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$. Komposisi kimia zeolit alam Lampung dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Komposisi Kimia Zeolit Alam Lampung

Senyawa	Prosentase
SiO_2	72,6
Al_2O_3	12,4
Fe_2O_3	1,19
Na_2O	0,45
TiO_2	0,16
MgO	1,15
K_2O	2,17
CaO	3,56
Lain-lain	6,32

2.5.5.5 Metode Preparasi dan Pengaktifan Zeolit Alam

Pada umumnya zeolit yang didapatkan dari alam masih mengandung banyak zat pengotor dan masih berbentuk batuan yang dapat mengurangi kegunaan dari zeolit itu. Untuk meningkatkan nilai tambah zeolit dan pemanfaatannya untuk proses flotasi dibutuhkan suatu perlakuan awal dan pengaktifan zeolit alam tersebut. Zeolit alam harus dibuat menjadi butiran-butiran agar luas permukaan serapannya lebih besar kemudian dibersihkan dari senyawa pengotornya. Ada beberapa langkah utama untuk pengaktifan zeolit alam antara lain :

a. Pencucian kimia

Pada proses pencucian ini biasanya digunakan larutan asam (H_2SO_4) atau basa (NaOH) yang dicampur dengan zeolit. Tujuannya adalah untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Pereaksi kimia ditambahkan pada

zeolit yang telah disusun dalam suatu tangki dan diaduk selama jangka waktu tertentu. Zeolit kemudian dicuci dengan air sampai netral kemudian dikeringkan.

b. Pertukaran ion

Pertukaran ion adalah proses mempertukarkan kation-kation yang ada dalam sistem pori Kristal zeolit alam dengan kation-kation yang berasal dari larutan. Dalam keadaan setimbang kondisi kation-kation yang berada dalam sistem pori maupun larutan dapat digambarkan dalam persamaan berikut :



dimana P dan Q adalah kation-kation dengan muatan p dan q yang dipertukarkan.

Setiap jenis zeolit memiliki karakteristik pertukaran ion yang berbeda. Perbedaan ini terjadi berdasarkan besar rongga zeolit, pengaruh difusi, mobilitas dan jari-jari kation yang dipertukarkan. Karakteristik pertukaran kation ini berupa urutan selektifitas zeolit terhadap kation. Selektifitas beberapa jenis zeolit alam dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Beberapa Jenis Zeolit

Jenis zeolit	Urutan selektifitas	peneliti
Analcime	K < Li < Na < Ag	Barrer (1950)
Chabazite	Li < Na < K < Cs	Sherry (1969)
Clinoptilolite	Mg < Ca < Na < NH ₄ < K	Ames (1961)
Heulandites	Ca < Ba < Sr < Li < Na < Rb < K	Filizopa (1974)
mordenit	Li < Na < Rb < K < Cs	Ames (1961)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kation-kation yang berada pada bagian kanan urutan tersebut adalah kation-kation yang lebih disukai oleh zeolit. Jika kita ingin mempertukarkan suatu kation dalam zeolit, maka kation penukarnya harus berada di sebelah kanan kation tadi.

c. Kalsinasi

Proses ini merupakan proses perlakuan panas terhadap zeolit pada suhu yang relatif tinggi dalam tungku udara. Hal ini bertujuan untuk menguapkan molekul-molekul air yang berada dalam pori-pori zeolit sehingga memperbesar

luas permukaannya. Selain air kalsinasi juga menguapkan pengotor-pengotor lainnya yang berupa senyawa organik atau gas-gas yang berasal dari sisa asam. Disamping itu, diyakini pula bahwa dalam proses ini dapat terjadi penyusunan kembali senyawa aluminosilikat yang tidak stabil menjadi bentuk yang lebih stabil dan menghasilkan susunan kristal yang lebih baik.

d. Dealuminasi

Dealuminasi dilakukan untuk mengurangi kadar Al dalam struktur zeolit, karena Al yang tinggi akan mengurangi kestabilannya pada suhu tinggi. Proses dealuminasi juga memperbaiki derajat keasaman zeolit sehingga akan meningkatkan efektifitas inti-inti asam Lewis yang ada dalam struktur rangka zeolit.

2.5.6 Ozon sebagai Difuser

Ozon (O_3) merupakan suatu molekul yang terdiri dari tiga buah atom oksigen dan merupakan bentuk alotropik dari oksigen (O_2). Ozon merupakan gas yang tak berwarna pada suhu kamar yang dapat mengembun dan membentuk cairan biru pada suhu $-112^\circ C$ dan membeku pada suhu $-251,4^\circ C$. Pada suhu di atas $0^\circ C$ ozon akan mengalami dekomposisi. Ozon merupakan gas yang berbau pedas (*pungent*), tajam (*acrid*), dan biasa terdeteksi oleh penciuman manusia pada konsentrasi antara 0,01 mg/L dan 0,04 mg/L. Walaupun keberadaannya pada stratosfer melindungi bumi dari radiasi ultraviolet, tetapi pada lapisan troposfer merupakan polutan dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Ozon juga merupakan salah satu komponen penting dari kabut asap yang terjadi di kota-kota besar. Karena toksisitasnya, Occupational Safety and Health Administration (OSHA) telah menetapkan batas paparan maksimum. Untuk manusia terhadap ozon dalam periode delapan jam yaitu 0,3 mg/L dan untuk dosis 15 menit yaitu 0,3 mg/L. Efek racun dari ozon disebabkan kereaktivitasannya yang tinggi dan potensial reduksinya sebesar +2,07 V. Ozon menyerang paru-paru karena dapat menyebabkan edema atau pembengkakan paru-paru bahkan sampai inflamasi saluran pernafasan. Ozon dapat melewati alveolus dan dapat mempengaruhi sel-sel darah merah dan serum protein, bahkan memberikan efek pada mata dan syaraf.

Namun sifat toksisitas dari ozon dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi untuk proses-proses seperti pemusnahan bakteri (*sterilization*), penghilangan warna (*decoloration*), penghilangan bau (*deodorization*), dan penguraian senyawa organik (*degradation*) karena kemampuan oksidasinya yang tinggi karena itu ozon digunakan pada proses pengolahan limbah. Sifat fisika ozon dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Langlais, 1991).

Tabel 2. 4. Sifat Fisika Ozon

Berat Molekul	48
Kecepatan relatif terhadap udara	1,7
Kelarutan Dalam Air	3 mg/L pada 20°C
Berat Jenis pada 0°C dan 1 atm	2,143 kg/m ³

Dalam penelitian ini, jenis flotasi yang akan digunakan adalah *dissolved flotation* dimana ozon sebagai pembangkit gelembung dialirkan kedalam tangki flotasi melalui bagian bawah. Ozon akan terlarut kedalam air, dan karena kelarutannya yang lebih tinggi dalam air dibandingkan dengan oksigen, maka ozon yang terlarut dalam air akan lebih banyak. Dengan demikian, gelembung-gelembung ozon yang kontak dengan partikel logam juga bertambah banyak.

Ketika ozon bertemu dengan partikel logam, kemudian ozon akan mengoksidasi partikel logam tersebut menjadi ion-ionnya sehingga ion logam tersebut akan dapat teradsorpsi oleh *bonding agent*. Dengan sifat oksidatornya yang kuat, maka ozon akan lebih mudah mengoksidasi partikel-partikel logam yang akan dipisahkan tersebut. Selanjutnya, karena densitas gelembung ozon yang lebih rendah daripada densitas air, maka gelembung akan membawa logam yang terikat pada bahan pengikat tersebut ke permukaan sehingga dapat dipisahkan dari air limbah.

Ozon digunakan dengan berbagai tujuan, antara lain :

1. Disinfeksi dan pengontrolan alga
2. *Coagulant aid*
3. Oksidasi dari Polutan organik, seperti besi
4. Oksidasi dari mikropolutan organik
 - Rasa dan bau

- Polutan fenol
 - Senyawa-senyawa organik terhalogenisasi
5. Oksidasi dari makropolutan organik
- Penghilangan warna
 - Meningkatkan biodegradabilitas dari senyawa organik
 - Penghancuran *trihalomethane formation potential* (THMFP), *total organic halide formation potential* (TOXFP), dan klor.

2.5.7 Kekurangan dan kelebihan Metode Flotasi (Widaningroem, 2004)

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

1. Dapat memisahkan partikel-partikel logam yang lebih kecil dan lebih ringan.
2. 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.
3. 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.
4. 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 :

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

2.6 MEMBRAN

Membran merupakan 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).

Membran memiliki keunggulan, seperti :

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

Tetapi, membran juga memiliki beberapa kekurangan, seperti :

1. *Fouling* membran

Fouling membran adalah kotoran mengendap di permukaan permukaan membran yang dapat menurunkan selektifitas dan kinerja membran. *Fouling* membran merupakan kerugian utama dari proses membran akibat penumpukan dari senyawa organik, inorganik, dan mikroorganisme baik pada permukaan dalam maupun luar pori membran. *Fouling* menyebabkan penurunan fluks permeat dan menurunkan efisiensi ekonomi.

Untuk mengurangi *fouling* membran dapat dilakukan *backwashing*/ pencucian balik secara periodik, pembersihan dengan menggunakan bahan kimia, dan *pretreatment* pada membran (Mavrov et al, 2003).

2. Polarisasi konsentrasi yaitu penumpukan komponen-komponen yang memiliki konsentrasi pada permukaan membran
3. Kerusakan membran khususnya membran polimer karena temperatur yang tinggi

4. Kerusakan membran khususnya membran polimer karena keadaan asam atau basa

2.7 KLASIFIKASI MEMBRAN

Membran dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu (Mallevalle, 1996):

A. Berdasarkan struktur

1. Membran Simetrik

Membran simetrik merupakan membran yang memiliki struktur yang homogen. Ketebalan membran antara 10-200 μm . Selektivitas membran ini tinggi tetapi laju permeabilitasnya rendah. Struktur membran ini terdiri dari film homogen, pori silinder, dan struktur spons.

2. Membran Asimetrik

Struktur dari lapisan atas sampai bawah tidak sama. Membran ini tersusun dari lapisan film yang sangat tipis dengan ketebalan 0,1-1 μm pada bagian atas dan pada bagian bawah memiliki ketebalan 100-200 μm . Lapisan bagian atas berfungsi untuk meningkatkan selektivitas membran. Membran ini banyak digunakan untuk pemisahan gas, ultrafiltrasi, dan osmosis balik.

3. Membran komposit

Sama seperti membran asimetrik, membran ini terdiri dari lapisan film yang sangat tipis pada bagian atasnya tetapi film itu tidak berpori.

B. Berdasarkan bahan penyusun

1. Membran biologi yaitu membran yang terbentuk secara alami, mengandung lipida dan protein dan banyak digunakan dalam industri farmasi
2. Membran sintetik yaitu membran yang terbuat dari bahan organik (polimer) dan anorganik (keramik, gelas, atau logam).

C. Berdasarkan prinsip pemisahan

1. Membran berpori

Pemisahan berdasarkan perbedaan ukuran partikel. Selektivitas yang tinggi dapat diperoleh jika ukuran partikel zat terlarut lebih besar dari ukuran pori membran. Ukuran pori berdasarkan IUPAC terbagi menjadi tiga tiga, yaitu:

- Makropori yaitu ukuran partikel lebih besardari 50 nm
- Mesopori yaitu ukuran pori antara 2-50 nm
- Mikropori yaitu ukuran pori lebih kecil dari 2 nm

2. Membran tak berpori

Membran ini memisahkan berdasarkan perbedaan solubilitas dan difusivitas. Banyak digunakan pada pemisahan gas, salah satu contohnya osmosis balik.

3. Membran *carrier*

Perpindahan massa yang terjadi ditentukan oleh suatu molekul pembawa. Molekul pembawa terletak pada bagian dalam pori dari membran berpori. Permeabilitas suatu komponen bergantung pada spesivitas molekul pembawa. Dengan adanya molekul pembawa akan diperoleh selektifitas yang sangat tinggi.

2.7.1 Membran Keramik

Bahan dasar dari membran keramik adalah 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 ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$). Keramik dapat digunakan sebagai karena mempunyai sifat plastis sehingga mudah dibentuk tanpa patah dan bertambah kuat saat air berkurang.

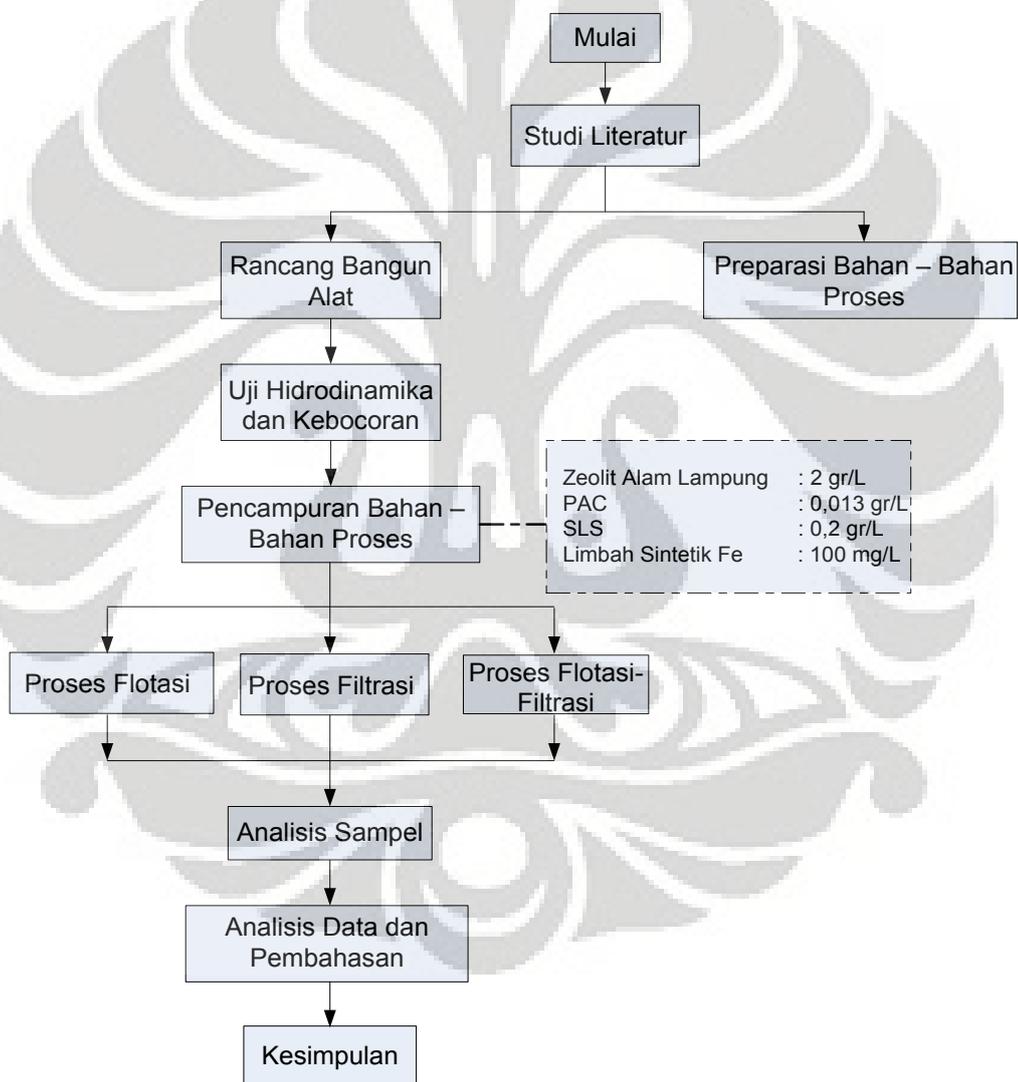
Ukuran pori membran Keramik biasanya berkisar antara 0,1-0,35 μm . Secara umum, membran keramik stabil secara termal, kimiawi ataupun mekanis, sehingga membran keramik merupakan bahan yang ideal untuk berbagai aplikasi dalam industri kimia, farmasi atau pada proses pengolahan limbah. Membran keramik sangat tahan terhadap pada suhu tinggi (± 500 °C) dan perbedaan tekanan hingga 1000 bar dengan struktur yang tidak berubah dan juga kekuatan mekanisnya yang tinggi sehingga tidak mudah rusak. Hal ini berarti membran keramik memiliki *life time* yang lebih lama. Selain itu, membran keramik juga tahan terhadap korosi, stabil pada rentang pH yang luas, ketahanan abrasi yang tinggi, kemampuan melakukan regenerasi 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.

BAB III

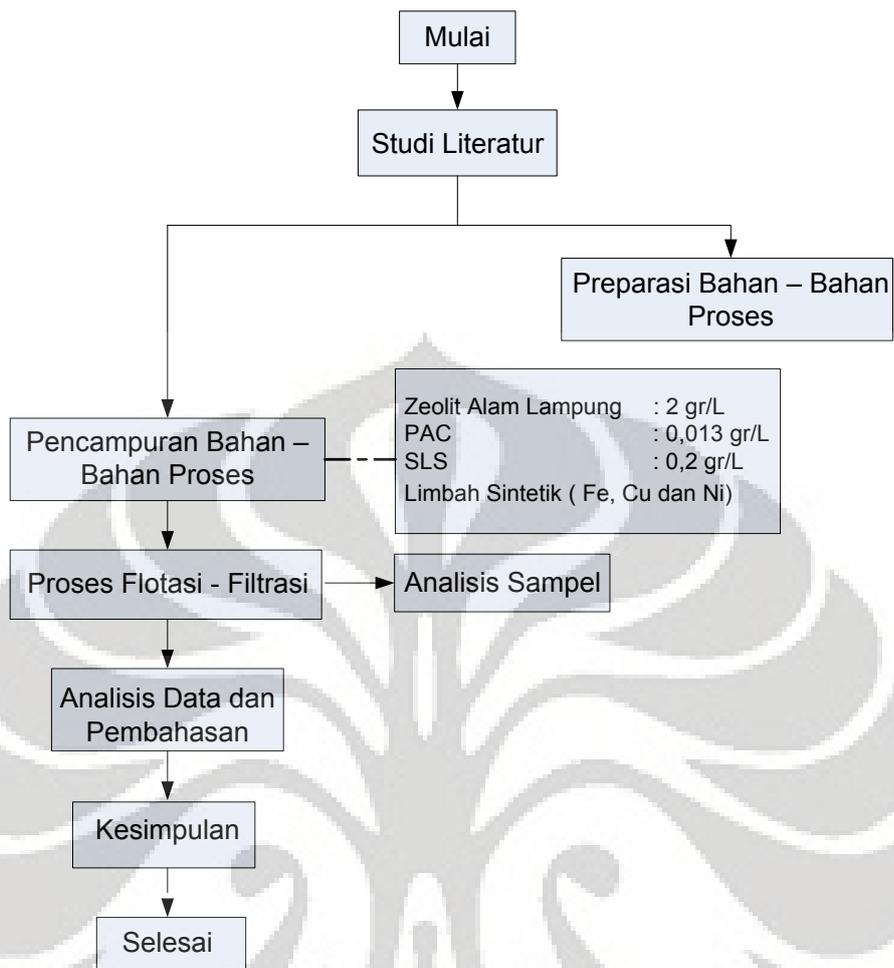
METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Diagram alir penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2 berikut ini :



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian (Untuk perbandingan metode)



Gambar 3. 2. Diagram alir penelitian (Untuk penentuan kondisi optimum)

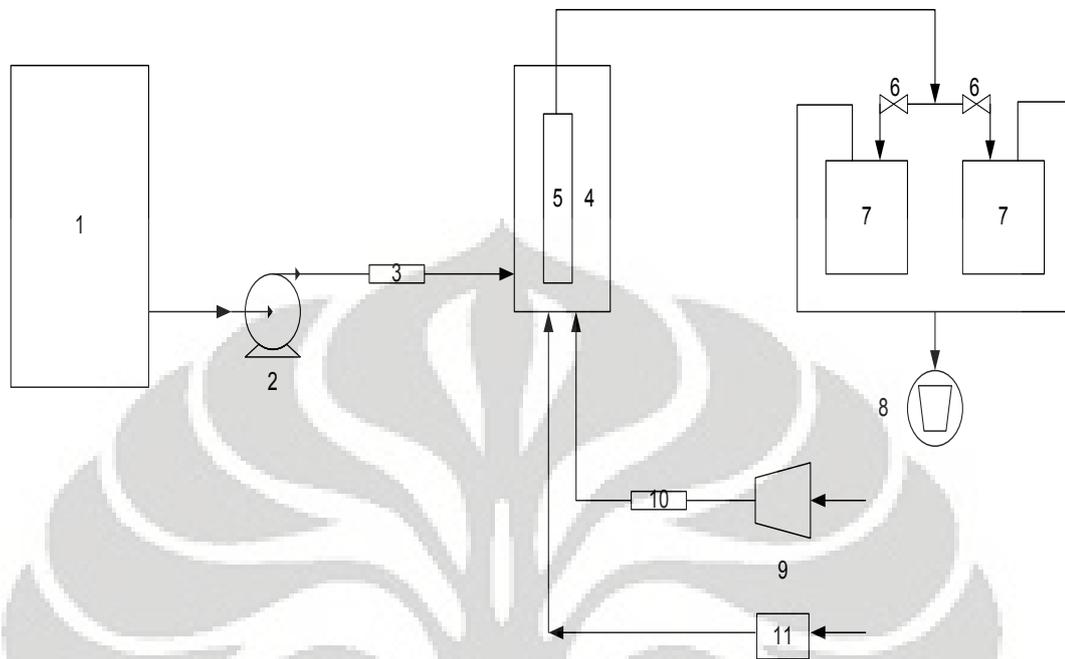
3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Berdasarkan diagram alir diatas prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahap utama:

3.2.1 Rancang Bangun Alat

Pada tahap ini akan dirancang sebuah alat flotasi, filtrasi dan flotasi-filtrasi. Perancangan alat ini akan dijadikan satu alat namun dapat memenuhi ketiga proses tersebut, jadi alat ini dapat dijalankan untuk proses flotasi atau

filtrasi saja maupun proses flotasi-filtrasi. Rangkaian alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 3. Skema Alat Flotasi-Filtrasi

Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 1. Tangki pencampuran | 9. Kompresor |
| 2. Pompa air | 10. Flowmeter udara |
| 3. Flowmeter air | 11. Ozonator |
| 4. Tangki flotasi-filtrasi | |
| 5. Membran keramik | |
| 6. Valve | |
| 7. Tangki permeate | |
| 8. Pompa vakum | |

Alat tersebut dapat digunakan sebagai alat flotasi, filtrasi maupun flotasi-filtrasi. Untuk menjalankan proses flotasi maka alat-alat seperti membran keramik, tangki permeate dan pompa vakum tidak digunakan. Sedangkan untuk menjalankan proses filtrasi, kompressor dan ozonator tidak diaktifkan. Semua alat akan digunakan ketika proses flotasi-filtrasi berlangsung.

3.2.2 Preparasi Bahan-Bahan Proses

Bahan-bahan yang akan dipersiapkan antara lain zeolit alam Lampung, Sodium Lauril Sulfat (SLS), *Poly-Aluminum Chloride* (PAC), limbah sintetik dan air aquades. Untuk zeolit alam Lampung dibutuhkan pre-treatment sebelum digunakan, PAC, SLS dan air aquades dapat langsung digunakan dan untuk limbah sintetik harus dibuat terlebih dahulu dari hidrat logam tersebut.

a. Pre-Treatment zeolit alam Lampung

1. Menumbuk zeolit alam Lampung yang masih berukuran besar
2. Menyaring zeolit alam Lampung dengan ayakan
3. Memisahkan zeolit alam Lampung yang berukuran 0,35-0,4 mm
4. Mencuci zeolit tersebut dengan air aquades
5. Memanaskan zeolit tersebut dalam oven $\pm 250^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam kemudian didinginkan
6. Memasukan zeolit tersebut kedalam desikator.

b. Pembuatan limbah sintetik

Limbah sintetik yang akan dibuat adalah limbah sintetik Fe, Cu dan Ni. Limbah sintetik Fe dibuat dari $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, limbah Cu dibuat dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan limbah Ni dibuat dari $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

3.2.3 Uji Hidrodinamika dan Kebocoran

Pada tahap ini alat yang sudah dibuat akan diuji kinerjanya dengan fluida air. Disini akan dilihat apakah alatnya sudah berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Pertama-tama akan dilihat apakah alatnya bocor atau tidak. Karena

prosesnya berlangsung secara kontinyu maka perlu dilihat hubungan antara laju alir air dengan laju alir permeate yang dihisap oleh pompa vakum. Kedua laju alir ini harus dapat disinkronisasi sehingga fluida yang ada pada tangki flotasi-filtrasi tidak berlebih dan juga tidak kekurangan. Setelah itu dilakukan kalibrasi alat untuk menentukan laju alir air atau udara yang sebenarnya. Alat yang akan dikalibrasi adalah flowmeter liquid dan flowmeter gas.

3.2.4 Pencampuran Bahan-Bahan Proses

Bahan-bahan yang telah dipersiapkan dimasukkan kedalam tangki pencampuran. Tahap-tahap pencampurannya yaitu :

1. Memasukkan limbah sintetik logam, zeolit alam Lampung (2 gr/L) dan SLS (0,2 gr/L)
2. Mengaduk campuran tersebut selama ± 10 menit
3. Mengatur pH campuran tersebut hingga 7 dengan NaOH atau H₂SO₄
4. Memasukan PAC (0,013 gr/L)

Limbah yang dibuat berkapasitas 15 liter dan memiliki konsentrasi yang bervariasi sehingga komposisi setiap bahanpun berbeda-beda. Limbah logam yang akan dibuat adalah limbah Fe, Cu dan Ni dengan variasi konsentrasi masing-masing sebesar 50 mg/L, 100 mg/L dan 150 mg/L.

Komposisi bahan-bahan untuk konsentrasi logam Fe dalam 15 liter air aquades dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Komposisi Limbah Sintetik Fe dan Bahan Tambahannya

Konsentrasi Fe (mg/L)	Zeolit Alam Lampung (gr)	SLS (gr)	PAC (gr)
50	30	3	0,195
100	30	3	0,195
150	30	3	0,195

Komposisi bahan-bahan untuk konsentrasi logam Cu dalam 15 liter air aquades dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2. Komposisi Limbah Sintetik Cu dan Bahan Tambahannya

Konsentrasi Cu (mg/L)	Zeolit Alam Lampung (gr)	SLS (gr)	PAC (gr)
50	30	3	0,195
100	30	3	0,195
150	30	3	0,195

Komposisi bahan-bahan untuk konsentrasi logam Ni dalam 15 liter air aquades dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3. Komposisi Limbah Sintetik Ni dan Bahan Tambahannya

Konsentrasi Ni (mg/L)	Zeolit Alam Lampung (gr)	SLS (gr)	PAC (gr)
50	30	3	0,195
100	30	3	0,195
150	30	3	0,195

3.2.5 Proses Flotasi

Pada proses ini akan dilakukan pengolahan limbah yang mengandung logam Fe dengan kadar 100 mg/L. Proses flotasi akan berlangsung secara kontinyu selama 10 menit dengan pengambilan sampel setiap 2 menit. Pada proses ini tidak dilakukan variasi karena hanya bertujuan untuk melihat hasil dari kinerja proses flotasi yang nantinya akan dibandingkan dengan kinerja proses flotasi-filtrasi.

Prosedur percobaan proses flotasi :

1. Mengalirkan campuran limbah sintetik Fe kedalam tangki flotasi hingga volume tangki 5 liter.
2. Mengaktifkan pompa air, kompresor, dan ozonator secara bersamaan dengan laju alir gas sebesar 100 L/jam.

3. Mengambil sampel tiap 2 menit sekali selama 10 menit.
4. Menonaktifkan pompa air, kompresor dan ozonator.
5. Melakukan uji sampel (COD dan kandungan logam).

3.2.6 Proses Filtrasi

Pada proses ini akan dilakukan pengolahan limbah logam Fe dengan kadar 100 mg/L. Proses filtrasi akan berlangsung secara kontinyu selama selama 10 menit dengan pengambilan sampel setiap 2 menit. Pada proses ini tidak dilakukan variasi karena hanya bertujuan untuk melihat hasil dari kinerja proses filtrasi yang nantinya akan dibandingkan dengan kinerja proses flotasi-filtrasi.

Prosedur percobaan proses flotasi :

1. Mengalirkan campuran limbah sintetik Fe kedalam tangki flotasi hingga permukaan membran keramik terendam seluruhnya.
2. Mengaktifkan pompa air dan pompa vakum secara bersamaan dengan laju alir gas sebesar 100 L/jam.
3. Mengambil sampel tiap 2 menit sekali selama 10 menit.
4. Mengukur volume permeate.
5. Menonaktifkan pompa air dan pompa vakum.
6. Melakukan uji sampel (COD dan kandungan logam).

3.2.7 Proses Flotasi-Filtrasi

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan limbah yang mengandung logam Fe dengan kadar 100 mg/L. Proses flotasi-filtrasi ini akan berlangsung secara kontinyu selama 10 menit dengan pengambilan sampel setiap 2 menit.

Prosedur percobaan proses flotasi-filtrasi (perbandingan metode):

1. Mengalirkan campuran limbah sintetik Fe ke dalam tangki flotasi-filtrasi hingga permukaan membran keramik terendam seluruhnya.

2. Mengaktifkan pompa vakum, kompresor, dan ozonator secara bersamaan (pompa air tetap aktif). Laju alir umpan disesuaikan dengan laju alir pompa permeate dan laju alir udara sebesar 100 L/jam.
3. Mengambil sampel tiap 2 menit sekali selama 10 menit.
4. Mengukur volume permeate.
5. Menonaktifkan pompa air, pompa vakum, kompresor dan ozonator.
6. Melakukan uji sampel (COD dan kandungan logam).

Setelah dilakukan uji sampel maka hasilnya akan dibandingkan dengan hasil dari proses flotasi atau filtrasi saja. Jika hasilnya lebih baik maka langkah berikutnya adalah menentukan kondisi optimum dari proses flotasi-filtrasi yaitu berupa laju alir udara dan juga konsentrasi awal limbah logam. Selanjutnya akan divariasikan jenis logamnya yaitu Fe, Cu dan Ni.

Prosedur percobaan proses flotasi-filtrasi (variasi laju alir udara):

1. Mengalirkan campuran limbah sintetik Fe kedalam tangki flotasi-filtrasi hingga permukaan membran keramik terendam seluruhnya.
2. Mengaktifkan pompa vakum, kompresor, dan ozonator secara bersamaan (pompa air tetap aktif). Laju alir umpan disesuaikan dengan laju alir permeate dan untuk laju udara divariasikan sebesar 100 L/jam, 150 L/jam, 200 L/jam dan 250 L/jam.
3. Mengambil sampel tiap 2 menit sekali selama 10 menit.
4. Mengukur volume permeate.
5. Menonaktifkan pompa air, pompa vakum, kompresor dan ozonator.
6. Melakukan uji sampel (COD dan kandungan logam).

Setelah dilakukan uji sampel, kondisi laju alir udara yang optimal digunakan untuk percobaan berikutnya.

Prosedur percobaan proses flotasi-filtrasi (variasi konsentrasi awal limbah logam)

:

1. Mengalirkan campuran limbah sintetik Fe dengan konsentrasi 50 mg/L kedalam tangki flotasi-filtrasi hingga permukaan membran keramik terendam seluruhnya.
2. Mengaktifkan pompa vakum, kompresor, dan ozonator secara bersamaan (pompa air tetap aktif). Laju alir umpan disesuaikan dengan laju alir pompa vakum dan untuk laju udara diatur sesuai kondisi optimalnya.
3. Mengambil sampel tiap 2 menit sekali selama 10 menit.
4. Mengukur volume permeate.
5. Menonaktifkan pompa air, pompa vakum, kompresor dan ozonator.
6. Melakukan uji sampel (COD dan kandungan logam).
7. Melakukan prosedur 1 sampai 6 untuk konsentrasi Fe sebesar 100 mg/L dan 150 mg/L.
8. Melakukan prosedur 1 sampai 6 untuk logam Cu dan Ni dengan variasi konsentrasi masing-masing sebesar 50 mg/L, 100 mg/L dan 150 mg/L

3.2.8 Analisis Sampel

Umpan dan sampel yang telah diambil dilakukan analisis terhadap parameter-parameter kualitas air, seperti: kandungan logam dan COD, untuk mengetahui kualitas *influent* dan *effluentnya*.

a. Analisis kandungan logam

Untuk menganalisis kandungan logam digunakan metode Spektroskopi dengan menggunakan alat AAS. Analisis ini dilakukan di fakultas MIPA UI.

b. 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 Departemen Teknik Kimia.

3.2.9 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian adalah berupa data konsentrasi limbah logam yang akan diolah. Hasilnya berupa persentase pemisahan logam yang dapat dicari dengan rumus pada persamaan 3.1 :

$$\%Pemisahan = \frac{\text{Konsentrasi awal logam} - \text{Konsentrasi akhir logam}}{\text{Konsentrasi awal logam}} \times 100\% \quad \dots(3.1)$$



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

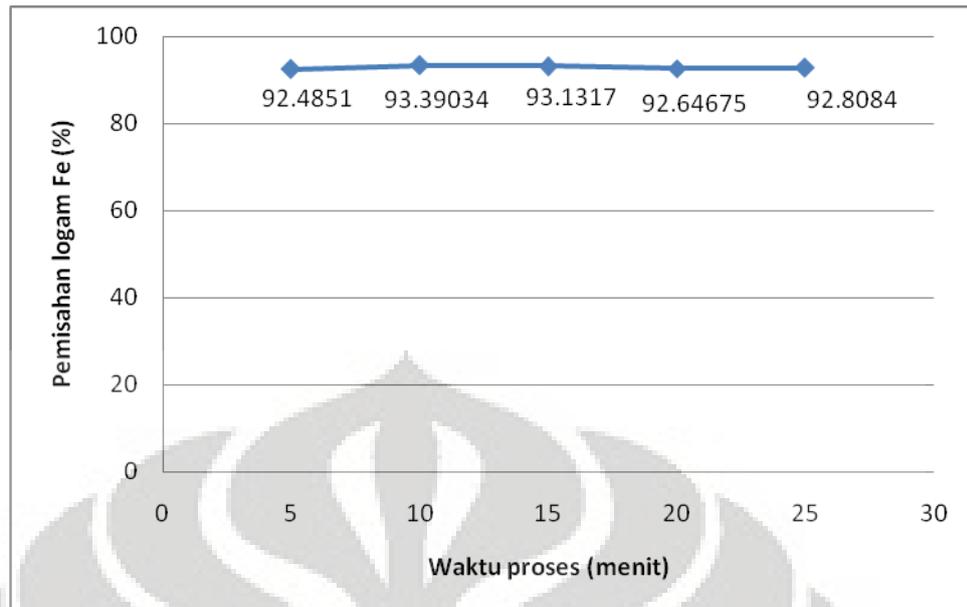
Pada bab ini akan ditampilkan data-data yang didapat dari penelitian yang sesuai dengan BAB III dan juga analisisnya. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja metode Flotasi-Filtrasi dengan metode Flotasi ataupun Filtrasi saja. Setelah itu mencari kondisi optimum dari rangkaian alat tersebut yaitu berupa laju alir udara dan konsentrasi awal limbah logam. Limbah logam yang digunakan disini adalah limbah logam sintetik antara lain adalah limbah Fe, Cu dan Ni dimana masing-masing logam diolah secara terpisah.

Limbah yang digunakan merupakan limbah sintetik dengan variasi logam besi, tembaga, dan nikel. Logam-logam berat yang dilarutkan merupakan senyawa logam dalam bentuk garamnya, yaitu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Hal ini dikarenakan ketiga logam berat ini umumnya terdapat pada air limbah yang mengandung logam berat.

Limbah sintetik yang digunakan untuk membandingkan hasil dari ketiga metode tersebut dan untuk menentukan kondisi optimumnya adalah limbah logam Fe. Hal ini dikarenakan limbah Fe paling sering ditemukan disetiap perairan yang tercemar. Selain itu limbah ini juga tidak membutuhkan perlakuan awal yang rumit sehingga dapat diolah pada kondisi normal atau tanpa mengatur pH awalnya.

Pada penelitian ini hanya dua parameter kualitas air saja yang menjadi patokan kinerja proses yaitu konsentrasi logam akhir dari proses dan COD akhir proses. Parameter pH tidak dilakukan karena pada proses ini pengaruh pH tidak terlalu signifikan antara pH awal dan akhir. Untuk konsentrasi logam akan dianalisa menggunakan alat AAS dan untuk uji COD dengan alat spektrofotometer.

Proses flotasi-filtrasi akan dilakukan secara kontinyu selama 10 menit dengan pengambilan sampel setiap 2 menit sekali. Pemilihan waktu selama 10 menit didasarkan pada efektifitas pemisahan logam Fe yang mana dapat dilihat pada Gambar 4.1.



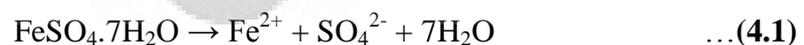
Gambar 4. 1. Pengaruh waktu terhadap pemisahan logam Fe

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat persentase pemisahan logam Fe optimum terjadi pada menit ke-10 yaitu mencapai 93,39 %. Setelah menit ke-10 persentase pemisahan logam Fe kembali menurun dan cenderung konstan. Sehingga dapat dikatakan waktu efektif dari proses flotasi-filtrasi adalah selama 10 menit.

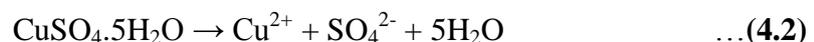
Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah laju alir udara dengan laju sebesar 100, 150, 200 dan 250 L/jam. Selain itu konsentrasi awal limbah baik Fe, Cu maupun Ni juga divariasikan antara lain sebanyak 50, 100 dan 150 mg/L.

4.1 MEKANISME PROSES FLOTASI-FILTRASI

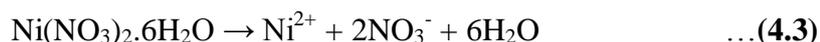
Penelitian ini diawali dengan pembuatan limbah sintetik. Untuk limbah besi, garam yang digunakan untuk membuat sampel limbah adalah $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Dalam air $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ akan terionisasi menjadi Fe^{2+} dan SO_4^{2-} sesuai dengan reaksi:



Untuk limbah yang mengandung tembaga (Cu), digunakan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dalam air akan terpisah menjadi ion Cu^{2+} dan SO_4^{2-} sesuai dengan reaksi:



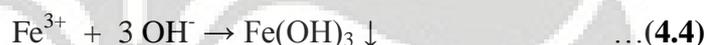
Sedangkan untuk limbah nikel (Ni), digunakan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang dalam air akan terpisah menjadi ion Ni^{2+} dan NO_3^- sesuai dengan reaksi:



Karena sifat Fe yang mudah teroksidasi di udara bebas, maka ion Fe^{2+} akan berubah menjadi Fe^{3+} sedangkan ion Cu^{2+} dan ion Ni^{2+} tidak mengalami oksidasi di udara bebas.

Selanjutnya pada air limbah tersebut ditambahkan zeolit dan SLS. Setelah penambahan zeolit dan SLS tersebut, limbah berubah menjadi lebih keruh. Kemudian untuk mendapatkan hasil flotasi yang baik, pH air limbah dinaikkan sampai pH netral (7) untuk besi, tembaga dan nikel. Proses penaikan pH ini dilakukan dengan cara meneteskan NaOH sedikit demi sedikit sambil di lihat perubahan pHnya dengan pH meter.

Pada saat penambahan NaOH, ion-ion Fe^{3+} akan bereaksi dengan NaOH membentuk hidroksida besi yang akan mengendap. Reaksi yang terjadi antara Fe^{3+} dan NaOH dapat dilihat pada persamaan reaksi dibawah ini:

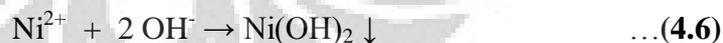


Pembentukan besi (III) hidroksida ini ditandai dengan munculnya warna coklat kemerahan.

Sedangkan bila ion logam Cu^{2+} direaksikan dengan larutan natrium hidroksida akan menghasilkan endapan biru tembaga (II) hidroksida, sesuai dengan reaksi:



Jika ion Ni^{2+} yang beraksi dengan NaOH, maka akan membentuk nikel (II) hidroksida. Akan tetapi Ni(OH)_2 yang akan terbentuk tidak terlalu banyak. Hal ini disebabkan karena sifat Ni yang sulit membentuk hidroksida reaksi pembentukan hidroksida nikel dapat dilihat pada reaksi berikut:



Endapan Ni(OH)_2 yang dihasilkan berwarna hijau. Akan tetapi karena endapan yang terjadi tidak terlalu banyak maka warna hijau yang terbentuk tidak terlalu terlihat.

Hidroksida-hidroksida logam yang terbentuk ini sebagian akan teradsorp ke dalam pori-pori zeolit. Zeolit yang menyerap ini nantinya akan dipisahkan dari air limbah dengan proses flotasi. mekanisme flotasi seperti ini disebut sebagai *sorptive flotation*

Setelah itu, ke dalam limbah yang telah ditambahkan bahan-bahan lain tersebut, ditambahkan lagi PAC yang berfungsi sebagai koagulan. Kemudian dilakukan pengadukan untuk pembentukan flok. Dengan bantuan SLS, flok akan terbentuk di permukaan. Penambahan koagulan ini menyebabkan mekanisme flotasi yang terjadi adalah mekanisme flotasi endapan.

Proses selanjutnya adalah flotasi. Pada proses ini, campuran udara-ozon dialirkan dari dasar tangki flotasi. Campuran udara-ozon tersebut akan memicu terbentuknya gelembung-gelembung udara dan karena keberadaan surfaktan dalam larutan, bentuk gelembung dapat dipertahankan lebih lama sehingga gelembung tidak mudah pecah. Gelembung udara yang terbentuk itu akan naik perlahan-lahan ke permukaan sambil membawa flok yang telah terbentuk sebelumnya. Flok akan terikat pada gelembung dikarenakan adanya gaya adhesi antara flok dan gelembung udara. Gaya adhesi antara flok dan gelembung disebabkan oleh adanya perbedaan muatan antara flok yang bermuatan positif karena mengandung ion logam dan gelembung dari SLS yang bermuatan negatif karena SLS merupakan salah satu jenis surfaktan anionik. Selama proses flotasi, SLS dalam larutan akan semakin berkurang karena berubah menjadi gelembung.

Pada proses flotasi tidak semua flok dapat terangkat ke permukaan, flok yang tidak terangkat tersebut dipisahkan dengan proses filtrasi. Hidroksida logam akan tertahan oleh membran keramik, sehingga konsentrasi logam pada permeat sudah berkurang dan proses pemisahan yang terjadi menjadi optimal. Prinsip dari proses filtrasi ini adalah berdasarkan ukuran partikel. Jika ukuran partikel lebih kecil dibandingkan dengan pori permukaan membran maka partikel tersebut dapat lolos dengan mudah melalui membran keramik. Dan sebaliknya jika ukuran partikel lebih besar dibandingkan ukuran pori permukaan membran maka partikel itu akan tertahan. Selektifitas pada proses filtrasi ini adalah ukuran partikel.

Pada proses filtrasi masalah fouling membran merupakan masalah utama. Fouling biasanya terjadi karena permukaan membran yang kotor karena menahan partikel yang tertolak. Indikasinya adalah penurunan volume permeate yang dihasilkan. Meskipun hasil pemisahannya akan lebih baik karena membrannya semakin selektif tetapi secara kuantitas sangatlah merugikan, bahkan suatu saat membrannya tidak mampu melewatkan permeat.

Untuk mengatasi masalah tersebut biasanya dilakukan penggantian membran atau pencucian membran. Pada proses flotasi-filtrasi, selama membran keramik bekerja campuran udara dan ozon yang menjadi media transport pada proses flotasi, juga berfungsi untuk menjaga agar partikel hidroksida logam atau ion logam tidak menumpuk di sekitar permukaan membran. Hal ini dapat mencegah polarisasi konsentrasi dan menghambat *fouling*.

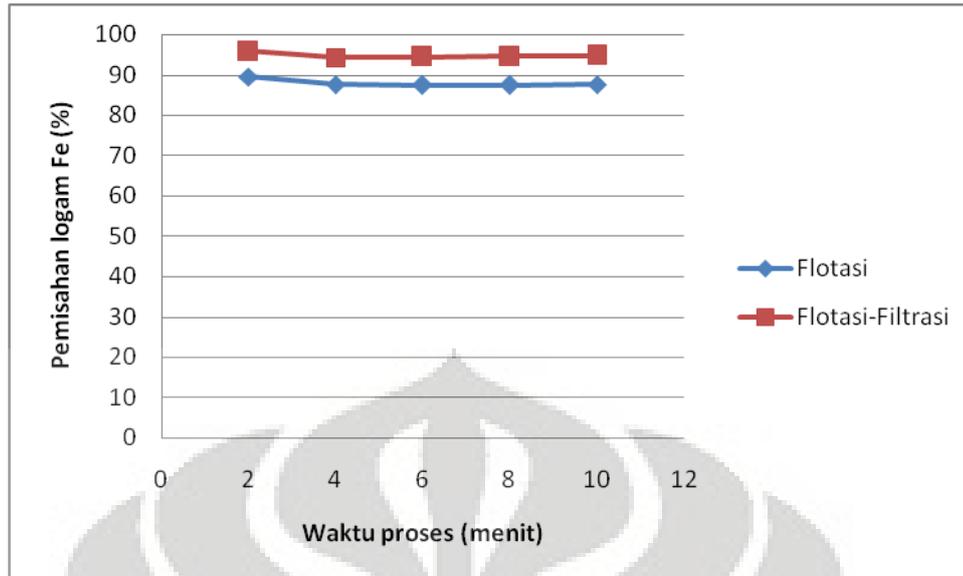
4.2 HASIL PERBANDINGAN METODE PROSES

Pada variasi metode ini akan dibahas perbandingan hasil dari metode Flotasi dan metode Filtrasi dengan metode Flotasi-Filtrasi. Disini digunakan limbah sintetik besi sebagai limbah tetapnya karena limbah besi merupakan limbah yang paling sering berada di perairan dan juga cenderung mudah untuk dipisahkan . Pada perbandingan metode ini semua kondisi proses sama dan berlangsung secara kontinyu selama 10 menit.

Untuk perbandingan proses flotasi dengan proses flotasi-filtrasi akan dibahas dari segi konsentrasi akhir dan COD permeat. Sedangkan untuk perbandingan proses filtrasi dengan proses flotasi-filtrasi ditambah satu parameter lagi yaitu dari segi daya tahan membran. Ketiga metode ini akan dibandingkan dan disimpulkan metode mana yang berlangsung lebih baik.

4.2.1 Perbandingan Proses Flotasi dengan Flotasi-Filtrasi

Perbandingan yang pertama adalah dari segi konsentrasi logam Fe. Hasil dari kedua metode ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



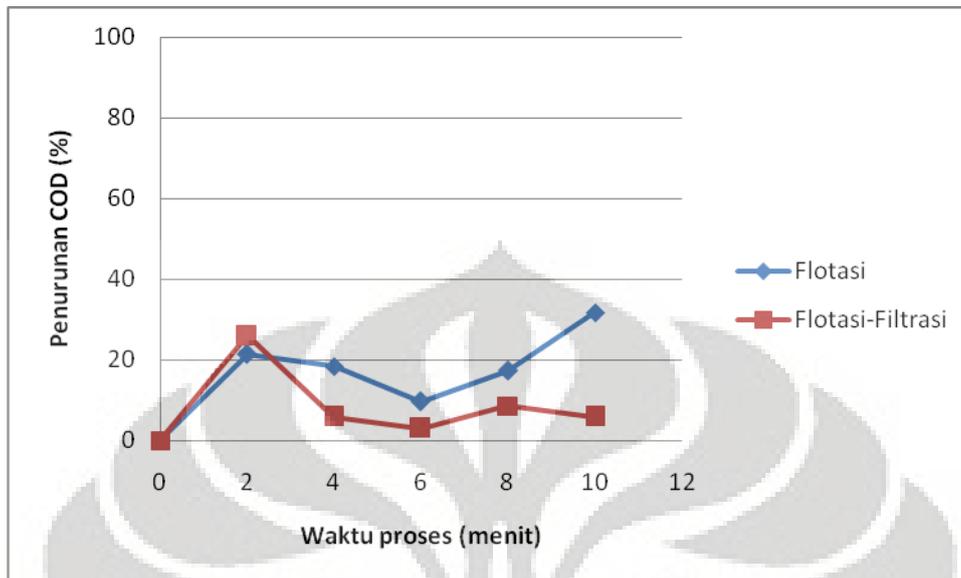
Gambar 4. 2. Perbandingan pemisahan logam Fe pada metode Flotasi dan metode Flotasi-Filtrasi

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat hasil dari kedua proses tersebut. Pada proses flotasi konsentrasi limbah logam Fe dapat dipisahkan hingga konsentrasi akhir rata-rata sebesar 12,08 mg/L atau sebanyak 87,92 % limbah telah terpisahkan. Untuk proses flotasi-filtrasi konsentrasi akhir rata-ratanya sebesar 5,26 mg/L atau 94,74 % limbah telah terpisahkan. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa proses flotasi-filtrasi lebih baik jika dibandingkan dengan metode Flotasi saja. Hal ini dikarenakan pada proses flotasi-filtrasi pada waktu yang bersamaan limbah telah mengalami dua proses yaitu flotasi dan filtrasi.

Pada proses flotasi, gelembung udara sangat berperan penting sebagai agen transfer. Gelembung udara berfungsi untuk mengapungkan flok yang terbentuk agar dapat dipisahkan secara *skimming*, namun proses ini memiliki kelemahan yaitu tidak semua partikel dapat terapungkan. Dengan penggabungan proses flotasi dan filtrasi kelemahan tersebut dapat dihilangkan. Dengan adanya proses filtrasi partikel yang tidak dapat terangkat dipisahkan oleh membran keramik sehingga persentase pemisahan logamnya semakin besar.

Perlu diketahui bahwa metode ini tidak dapat dibandingkan secara parsial. Maksudnya yaitu pada proses flotasi-filtrasi bukan berarti proses utamanya adalah proses flotasi yang dapat memisahkan limbah sebanyak 87,92 % dan filtrasi hanya memisahkan sebanyak 6,82 % karena prosesnya berlangsung secara simultan dan kontinyu.

Berikutnya adalah perbandingan dari COD permeatnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



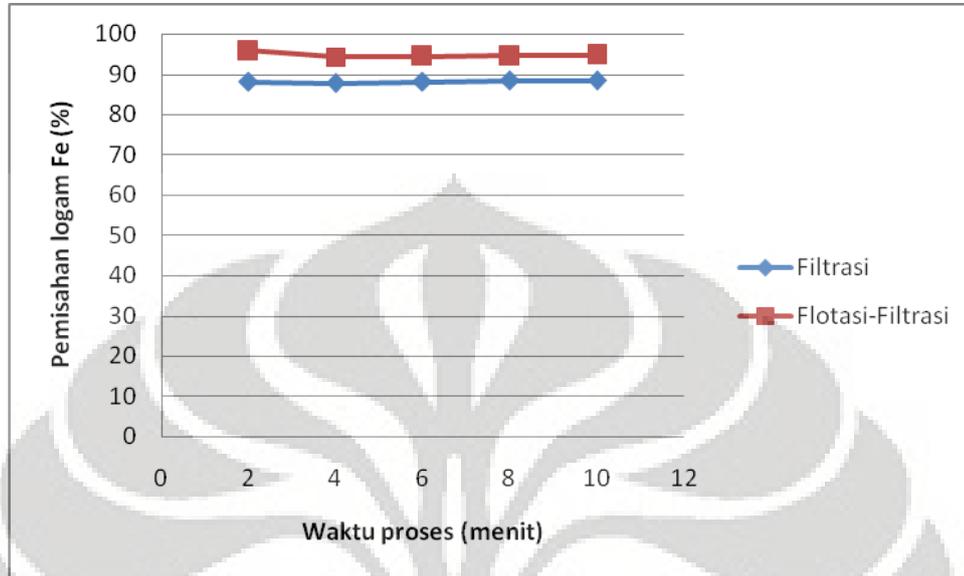
Gambar 4. 3. Perbandingan COD pada metode Flotasi dan metode Flotasi-Filtrasi

Dari Gambar 4.3 terlihat kedua metode tersebut sama-sama dapat menurunkan nilai COD limbah. Kandungan COD sangat dipengaruhi oleh adanya polutan organik yang terkandung dalam larutan, disini adalah ion sulfat yang berasal dari limbah sintetik dan surfaktan. Keberadaan surfaktan sangat berperan penting dalam proses Flotasi karena surfaktan berperan sebagai agen pembuih yang akan mempertahankan bentuk busa agar dapat diapungkan ke atas kemudian dipisahkan, namun surfaktan juga meningkatkan kandungan COD larutan. Penurunan nilai COD disebabkan karena zat organik yang terkandung dalam campuran limbah teroksidasi oleh udara dan ozon, kemudian terpisahkan melalui proses flotasi-filtrasi.

Pada proses flotasi penurunan COD cenderung naik, karena pada proses ini terjadi oksidasi limbah organik oleh udara dan ozon yang kemudian dipisahkan bersama busa pada permukaan air. Sebagian surfaktan telah berubah bentuk menjadi busa dan terangkat oleh gelembung. Sedangkan pada proses flotasi-filtrasi terlihat pada awalnya penurunan COD meningkat kemudian turun kembali dan cenderung konstan. Hal ini terjadi karena peranan campuran udara dan ozon dalam proses flotasi-filtrasi tidak hanya berperan sebagai agen pengoksidasi tetapi juga berperan dalam pembersihan permukaan membran keramik.

4.2.2 Perbandingan Proses Filtrasi dengan Flotasi-Filtrasi

Perbandingan yang pertama adalah dari segi konsentrasi logam Fe. Hasil dari kedua metode ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



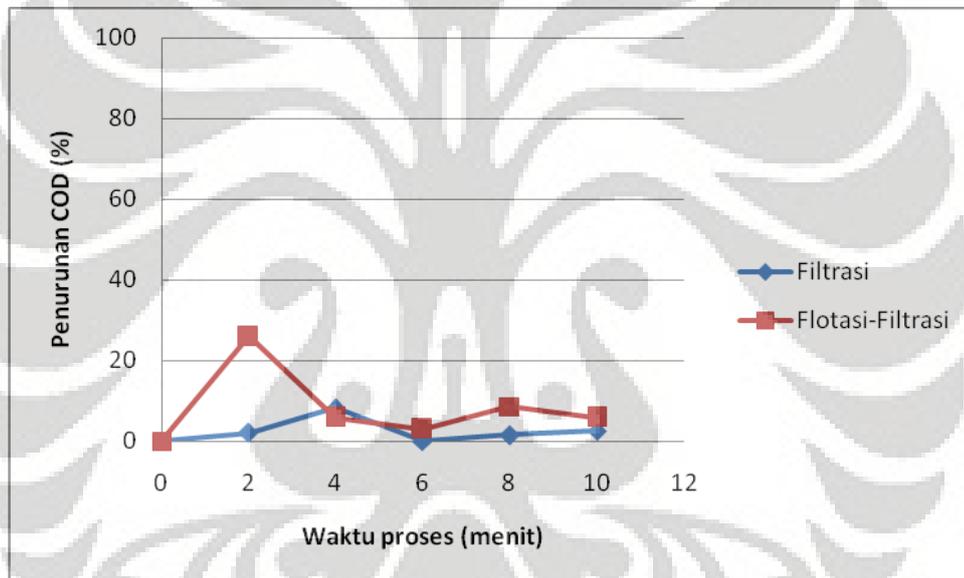
Gambar 4. 4. Perbandingan pemisahan logam Fe pada metode Filtrasi dan metode Flotasi-Filtrasi

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat hasil dari kedua proses tersebut. Pada proses filtrasi konsentrasi limbah logam Fe dapat dipisahkan hingga konsentrasi akhir rata-rata sebesar 11,89 mg/L atau sebanyak 88,11 % limbah telah terpisahkan. Untuk proses flotasi-filtrasi konsentrasi akhir rata-ratanya sebesar 5,26 mg/L atau 94,74 % limbah telah terpisahkan. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa proses flotasi-filtrasi lebih baik jika dibandingkan dengan metode flotasi saja. Hal ini dikarenakan pada proses flotasi-filtrasi pada waktu yang bersamaan limbah telah mengalami dua proses yaitu flotasi dan filtrasi.

Pada proses filtrasi maupun flotasi-filtrasi kandungan limbahnya sama. Pada proses filtrasi campuran limbah juga mengandung zeolit, SLS dan PAC yang mana bahan-bahan tersebut menjadi beban tambahan untuk kinerja membran keramik sehingga persentasenya lebih kecil dibanding proses flotasi-filtrasi. Berbeda halnya pada proses flotasi-filtrasi, keberadaan bahan-bahan kimia seperti zeolit, SLS dan PAC justru memegang peranan penting dalam proses pemisahan secara flotasi.

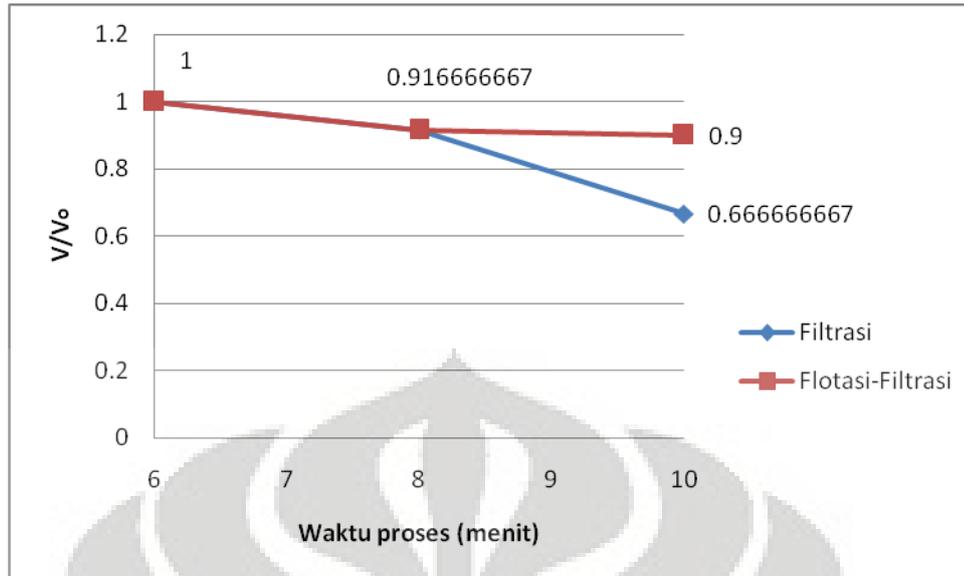
Kualitas COD pada kedua metode ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Untuk metode filtrasi nilai COD-nya cenderung konstan karena kandungan

surfaktannya tetap setiap waktunya, tidak ada yang berubah menjadi busa dan terangkat ke permukaan. Kemudian untuk metode flotasi-filtrasi seperti sebelumnya dimana penurunan COD meningkat hingga titik tertentu kemudian turun kembali dan cenderung konstan. Hal ini berhubungan dengan kinerja dari campuran udara dan ozon. Pada awal proses flotasi-filtrasi permukaan membran masih sangat bersih sehingga beban campuran udara dan ozon selain sebagai agen transport juga sebagai agen pengoksidasi limbah organik sehingga kandungan COD menurun. Namun setelah beberapa menit yaitu ketika permukaan membran mulai kotor maka campuran udara dan ozon memiliki peran tambahan yaitu sebagai agen pencegah *fouling* baik dengan cara membersihkan permukaan membran ataupun dengan mencegah polarisasi konsentrasi di sekitar membran.



Gambar 4. 5. Perbandingan COD pada metode Filtrasi dan metode Flotasi-Filtrasi

Perbandingan berikutnya adalah dari segi volume permeatnya. Hal ini bertujuan untuk menentukan ketahanan dari membran tersebut. Data hasil penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Perbandingan volume permeat pada metode Filtrasi dan metode Flotasi-Filtrasi

Perbandingan volume permeat bertujuan untuk melihat daya tahan membran, dimana semakin banyak volume permeatnya dapat dikatakan semakin lama membran tersebut dapat digunakan. Untuk kedua proses menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan volume permeat yang disebabkan terjadinya penyumbatan pada permukaan membran keramik. Pada proses filtrasi penurunan volume permeat yang terjadi lebih besar dibandingkan proses flotasi-filtrasi. Penyebabnya adalah karena adanya aliran campuran udara dan ozon pada permukaan membran yang membuat permukaan membran lebih bersih dibanding dengan proses Filtrasi saja.

Pada Gambar 4.6 perbandingan volume permeate dikaji dari menit ke-6, karena pada 5 menit pertama daya hisap pompa vakum belum optimum dan tidak stabil, sehingga tidak dapat dibandingkan secara langsung. Hal ini terlihat pada saat penelitian dimana pada awal proses volume permeat mengalami kenaikan. Ketidakstabilan pompa vakum ini menjadi suatu kendala dalam proses ini.

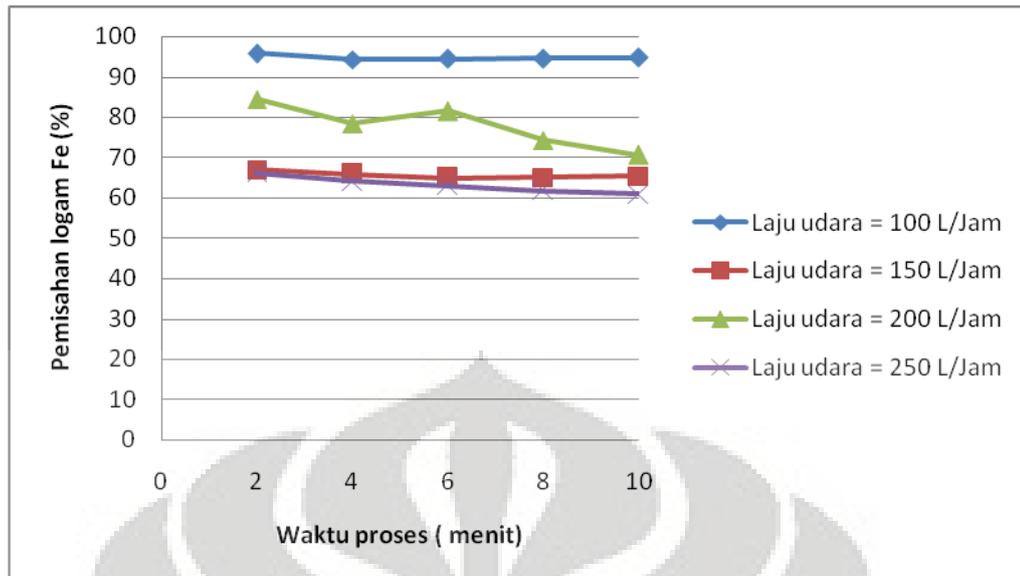
4.3 PENGARUH VARIASI LAJU ALIR UDARA TERHADAP KINERJA PROSES FLOTASI-FILTRASI

Pada variasi laju alir udara ini akan dianalisa pengaruh laju alir udara terhadap konsentrasi akhir dan juga COD. Udara disini digunakan sebagai agen pembuih yaitu membuat gelembung-gelembung udara yang berperan penting baik pada proses flotasi maupun filtrasi. Pada proses flotasi udara berperan untuk mengangkat atau mengapungkan flok limbah logam dalam bentuk buih-buih yang nantinya akan dipisahkan secara *skimming*. Sedangkan pada proses filtrasi udara ini berperan untuk mengurangi *fouling* pada membran. Dengan adanya aliran udara secara tidak langsung telah membersihkan bagian membran keramik yang telah dilaluinya.

Pada proses ini menggunakan konsentrasi awal logam yang tetap yaitu 100 mg/L, zeolit alam lampung sebanyak 2 g/L, PAC sebanyak 0,013 g/L dan SLS sebanyak 0,2 g/L. Selain itu pH awal diatur menjadi kondisi normal (pH = 7) karena pada pH 7 proses flotasi berlangsung secara optimum.

4.3.1 Pengaruh Variasi Laju Alir Udara terhadap Konsentrasi Logam Fe

Laju alir udara merupakan faktor yang penting dalam proses flotasi. Laju alir udara akan mempengaruhi ukuran gelembung udara yang terbentuk. Laju udara yang besar akan menyebabkan bentuk gelembung tidak stabil dan membesar sehingga mengurangi kuantitas pengangkatan logam ke permukaan. Begitu juga jika laju udara terlalu kecil, maka kemampuan untuk mengangkat logam semakin berkurang (www.adt.curtin.edu.au)

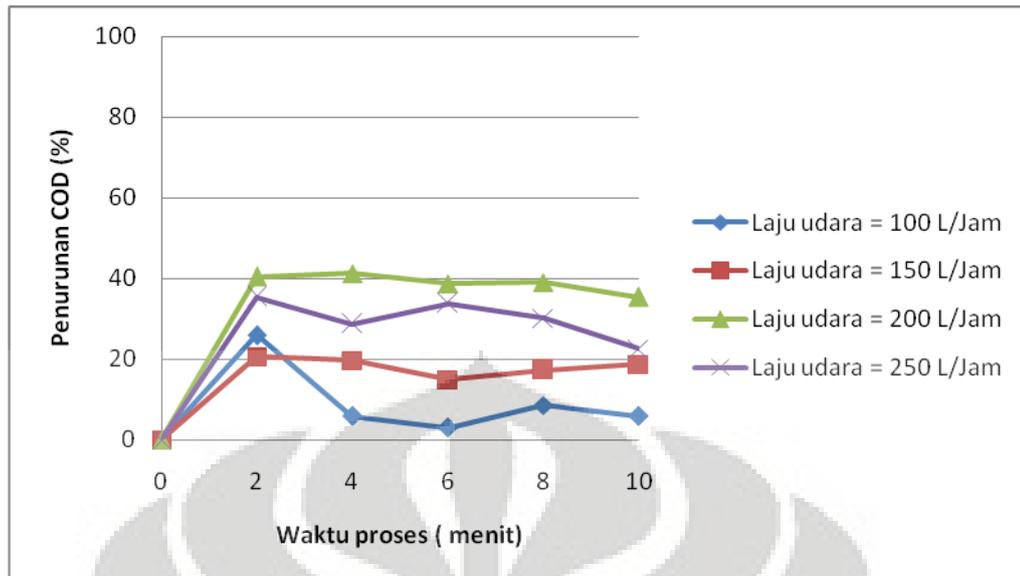


Gambar 4. 7. Pengaruh laju alir udara terhadap pemisahan logam Fe

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat pengaruh laju udara mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap hasil proses. Kondisi optimum laju udara didapat pada saat laju udaranya sebesar 100 L/jam. Semakin besar laju alir udaranya konsentrasi limbahnya cenderung lebih besar. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya laju udara membuat kestabilan dari gelembung berkurang sehingga busa yang terbentuk sedikit dan logam yang dapat diapungkan semakin sedikit. Dengan demikian konsentrasi logam di sekitar membran menjadi lebih besar karena semakin banyak limbah logam yang tak terangkat oleh gelembung. Kondisi tersebut menyebabkan beban membran keramik sebagai media pemisah semakin besar sehingga pemisahan dengan filtrasi makin tidak efektif untuk laju alir yang semakin besar. Pada saat laju udara sebesar 100 L/jam persentase pemisahan logam Fe dapat mencapai 94,74 % dan menurun untuk laju alir yang lebih besar.

4.3.2 Pengaruh Variasi Laju Alir Udara terhadap COD Permeate

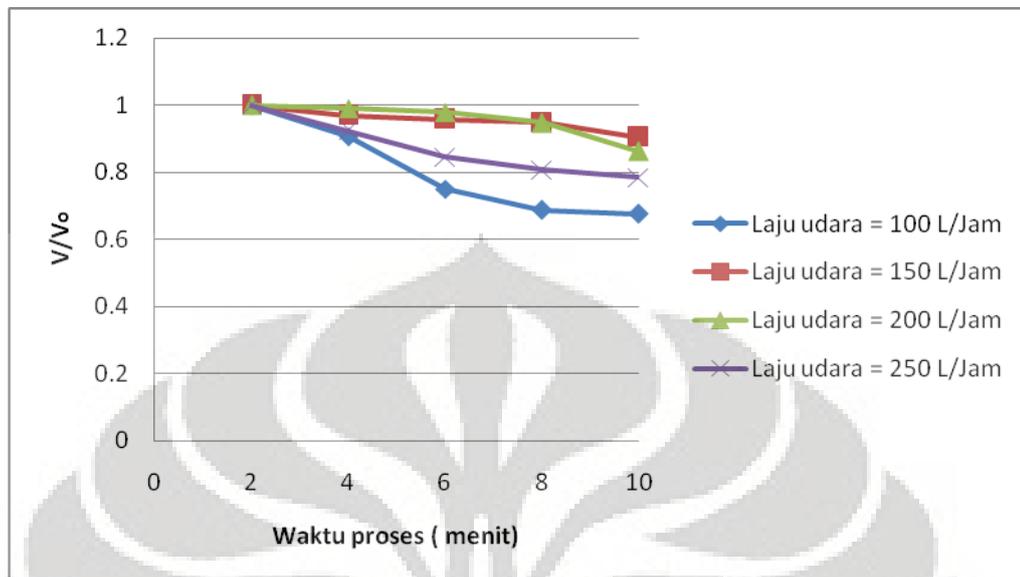
Data pengaruh laju alir udara terhadap COD permeate dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Pengaruh laju alir udara terhadap COD permeat

Parameter berikutnya adalah COD, dari Gambar 4.8 terlihat untuk setiap laju udara memiliki kecenderungan penurunan COD yang sama, awalnya meningkat kemudian turun dan cenderung konstan karena campuran udara dan ozon juga berperan sebagai agen pencegah *fouling*. Selanjutnya jika dilihat dari peningkatan laju alir udara, maka akan terlihat bahwa semakin besar laju udara kecenderungan penurunan COD menjadi lebih besar. Karena kandungan oksigen terlarut dalam campuran limbah semakin meningkat, maka akan menurunkan kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi secara kimia dan menjaga permukaan membran tetap bersih dengan lebih baik. Namun pada saat laju udara 250 L/jam penurunan COD kembali berkurang. Hal ini disebabkan karena pada laju udara tertentu yang sangat besar justru membuat kontak antara udara dan air menjadi tidak maksimal dan jumlah udara terlarut menjadi lebih sedikit.

4.3.3 Pengaruh Variasi Laju Alir Udara terhadap Daya Tahan Membran



Gambar 4. 9. Pengaruh laju alir udara terhadap volume permeat

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa laju alir udara yang semakin besar akan menyebabkan volume permeate menjadi semakin besar pula hingga pada laju alir udara tertentu. Peningkatan volume permeat disebabkan oleh semakin besarnya intensitas pembersihan permukaan membran keramik oleh campuran udara dan ozon sehingga campuran limbah yang dapat dihisap oleh pompa vakum cenderung konstan. Namun jika laju alir udara terlalu tinggi waktu kontak udara dengan permukaan membran juga semakin kecil sehingga pembersihan permukaan membran semakin menurun. Selain itu semakin banyaknya udara yang lewat permukaan membran, kemungkinan udara yang terhisap oleh pompa vakum lebih besar.

Laju alir udara optimum untuk menghasilkan permeat dalam jumlah paling besar didapat pada saat 200 L/jam. Namun untuk menentukan kondisi operasi proses ini tidak hanya didasarkan pada pertimbangan volume permeatnya saja, faktor penurunan COD dan terutama pemisahan logam juga dipertimbangkan.

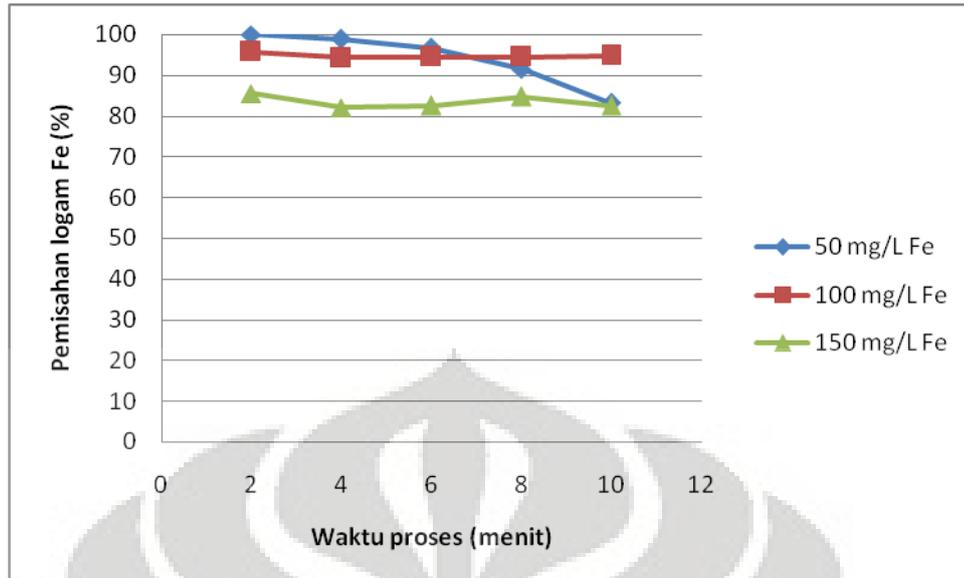
4.4 PENGARUH VARIASI KONSENTRASI AWAL LIMBAH LOGAM TERHADAP KINERJA PROSES FLOTASI-FILTRASI

Pada penelitian ini akan dilakukan pemisahan limbah cair yang mengandung logam Fe, Cu dan Ni. Masing-masing logam dipisahkan secara terpisah dan akan divariasikan konsentrasi awalnya mulai dari 50 mg/L sampai 150 mg/L. Hal ini bertujuan untuk melihat seberapa efektif penggabungan metode Flotasi dan Filtrasi dalam hal pemisahan logam. Disini akan terlihat apakah proses ini efektif untuk mengolah limbah dengan berbagai konsentrasi atau memiliki batasan konsentrasi tertentu.

Bahan-bahan kimia yang digunakan masih sama seperti sebelumnya, untuk zeolit alam lampung sebanyak 2 g/L, SLS sebanyak 0,2 g/L dan PAC sebanyak 0,013 g/L. Untuk pH awalnya diatur menjadi pH normal karena pada pH tersebut proses flotasi berlangsung secara optimum. Selanjutnya laju alir udara yang digunakan sebesar 100 L/jam, karena pada laju ini dari segi pemisahan logam merupakan laju optimum.

4.4.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Logam Fe terhadap Kinerja Proses Flotasi-Filtrasi

Pada variasi konsentrasi logam Fe ini sebenarnya akan dilihat kemampuan alat yang telah dirancang apakah mampu mengolah limbah tersebut dengan berbagai konsentrasi secara maksimal atau memiliki batasan konsentrasi logam. Variasi konsentrasi yang dilakukan antara lain 50, 100 dan 150 mg/L. Hasil pengamatan data variasi konsentrasi logam Fe dapat dilihat pada Gambar 4.10.

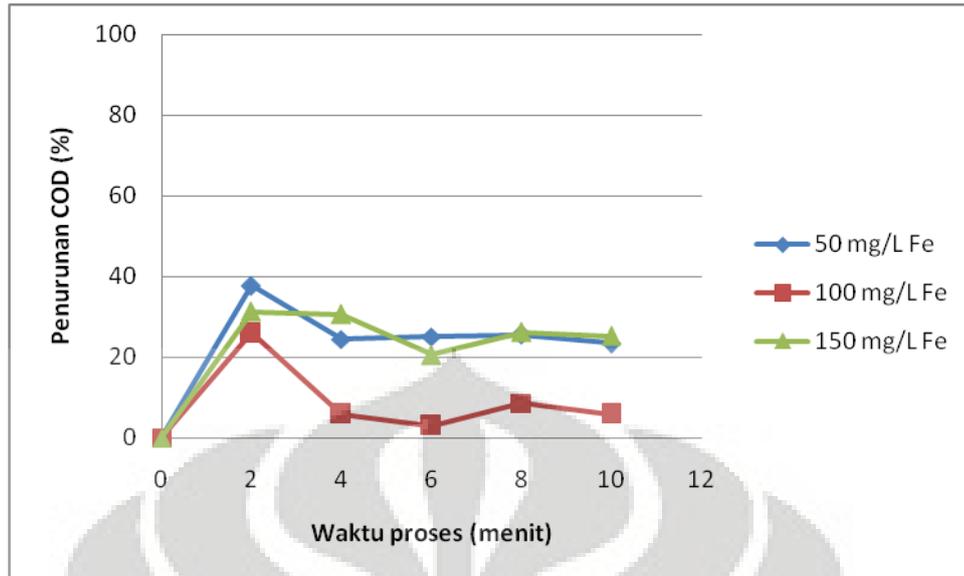


Gambar 4. 10. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap pemisahan logam Fe

Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa untuk semua konsentrasi awal yang berbeda-beda tetap ada pengurangan konsentrasi. Semakin besar konsentrasi awal limbah persentase pemisahan logam semakin menurun. Semakin besar konsentrasi awal limbah maka kebutuhan bahan-bahan kimia tambahan juga seharusnya semakin bertambah, dengan konsentrasi bahan kimia yang tetap maka seiring peningkatan konsentrasi awal persentase pemisahan logam akan berkurang.

Dari hasil pengolahan limbah tersebut ternyata ketika konsentrasi awal logam Fe 50 mg/L hasil permeate rata-ratanya sebesar 2,97 mg/L atau persentase pemisahannya sebesar 94,05%. Untuk konsentrasi awal 100 dan 150 mg/L persentase pemisahannya mencapai 94,74% dan 83,45%. Berdasarkan persentase pemisahan logam, alat ini memiliki kinerja yang cukup baik untuk mengolah logam Fe hingga konsentrasi 100 mg/L.

Analisa selanjutnya dilihat dari kualitas COD permeatannya. Pengaruh konsentrasi awal logam Fe terhadap COD permeate dapat dilihat pada Gambar 4.11.

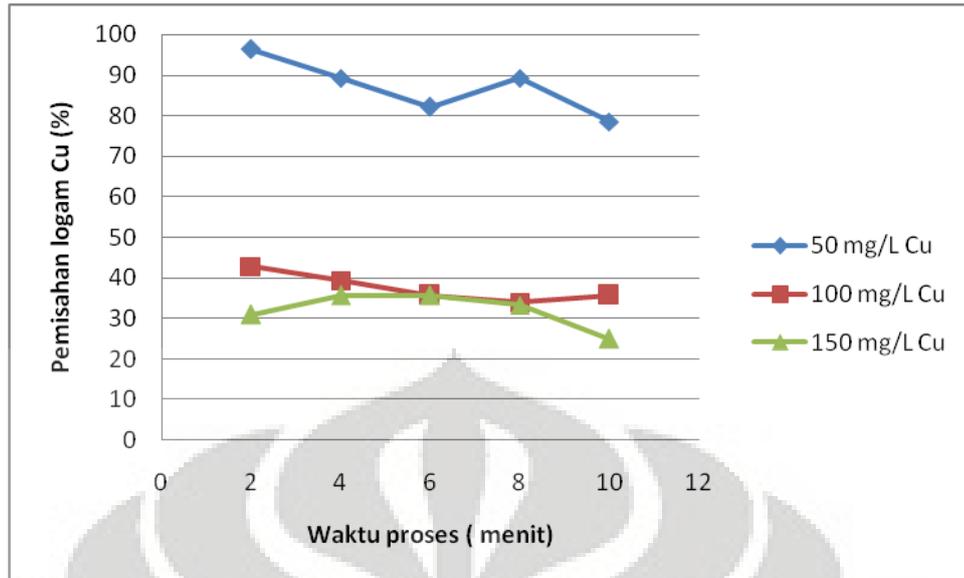


Gambar 4. 11. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap COD permeat

Dari parameter COD terlihat dengan konsentrasi berapapun ternyata COD akan akan mengalami penurunan kemudian naik kembali dan cenderung konstan. Fenomena ini disebabkan oleh terjadinya pengotoran pada membran keramik sehingga campuran udara dan ozon tidak hanya menjadi agen pengoksidasi tetapi juga sebagai agen pencegah *fouling*.

4.4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Logam Cu terhadap Kinerja Proses Flotasi-Filtrasi

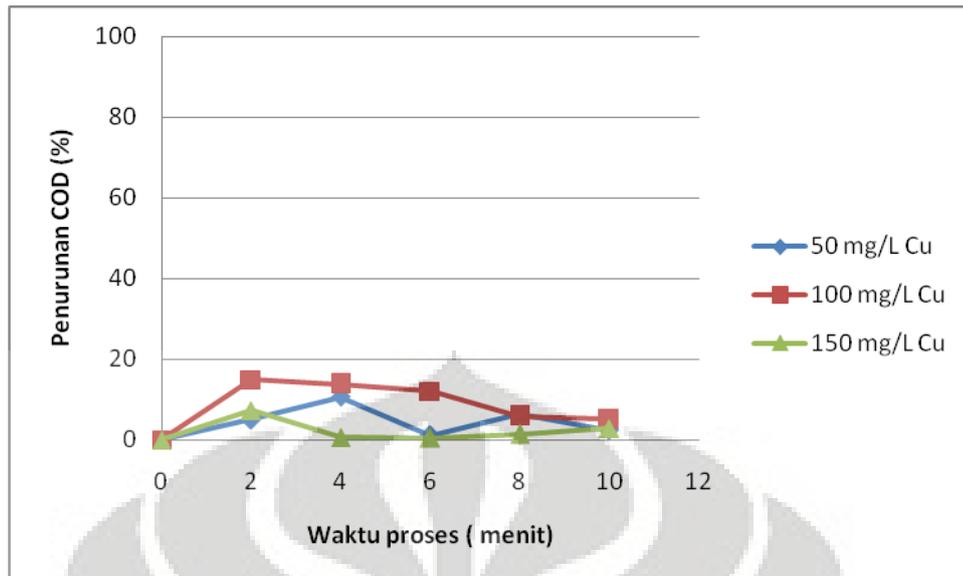
Setelah dilakukan pengolahan limbah untuk logam Fe, berikutnya adalah logam Cu. Untuk logam Cu kondisi operasi dari proses flotasi-filtrasi mengikuti kondisi pada pengolahan limbah logam Fe. Logam Cu akan divariasikan konsentrasinya sebanyak empat kali yaitu 50, 100 dan 150 mg/L. Hasil pengamatan data variasi konsentrasi logam Cu dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap pemisahan logam Cu

Dari Gambar 4.12 Untuk konsentrasi 50 mg/L limbah Cu yang dipisahkan mencapai 87,10 % atau konsentrasi akhir rata-ratanya sebesar 6,45 mg/L. Selanjutnya persentase pemisahan untuk konsentrasi 100 dan 150mg/L adalah 37,66 % dan 32,33 %. Dari hasil yang didapat pada penelitian ini proses flotasi-filtrasi dapat mengolah limbah logam Cu dengan cukup baik untuk konsentrasi limbah sampai 50 mg/L. Untuk konsentrasi di atas 100 mg/L pemisahan limbah logam Cu relatif sulit dilakukan.

Parameter yang dianalisa berikutnya COD permeat. Hasil analisa COD permeate dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.13.

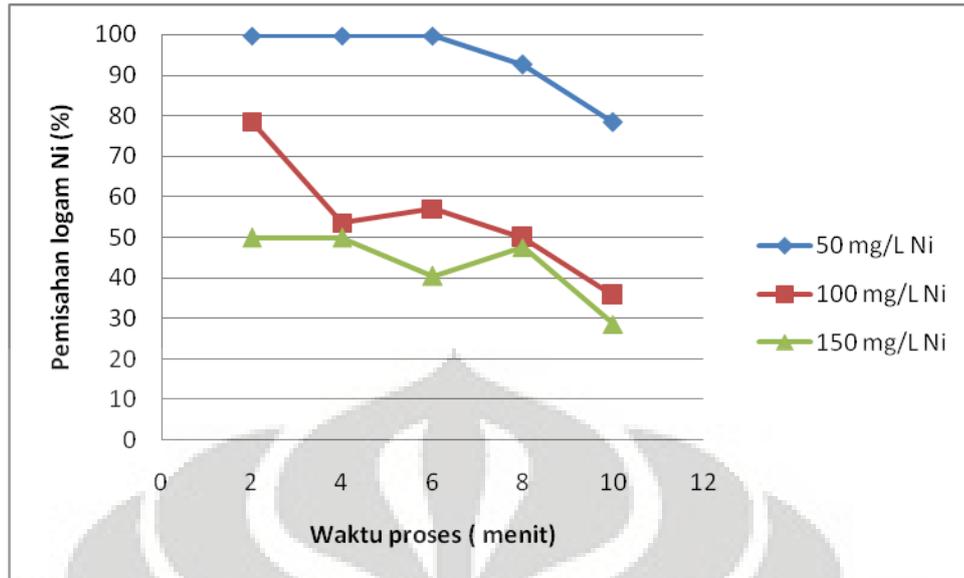


Gambar 4. 13. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap COD permeal

Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa penurunan COD pada tiap konsentrasi cenderung konstan untuk masing-masing konsentrasi. Hal ini dikarenakan jumlah pasokan udara dan ozon yang selalu tetap sehingga kemampuan untuk mengoksidasi limbah organik yang terkandung juga cenderung tetap.

4.4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Limbah Logam Ni terhadap Kinerja Proses Flotasi-Filtrasi

Setelah dilakukan pengolahan limbah untuk logam Fe dan Cu, berikutnya adalah logam Ni. Untuk logam Ni kondisi operasi dari proses flotasi-filtrasi mengikuti kondisi pada pengolahan limbah logam Fe. Logam Ni akan divariasikan konsentrasinya sebanyak empat kali yaitu 50, 100 dan 150 mg/L. Hasil pengamatan data variasi konsentrasi logam Ni dapat dilihat pada Gambar 4.14.

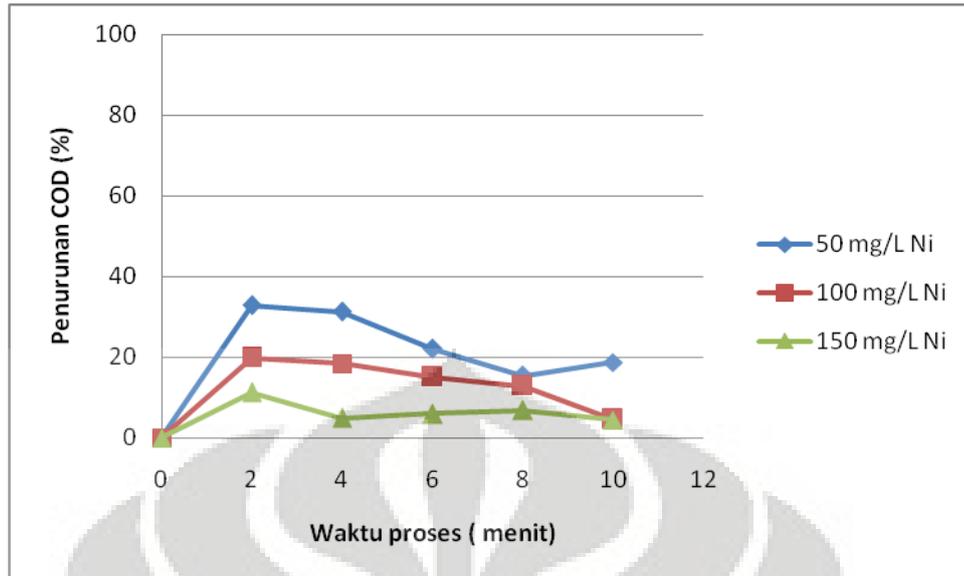


Gambar 4. 14. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap pemisahan logam Ni

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat metode flotasi-filtrasi mampu mengurangi kadar logam Ni, namun masih memiliki keterbatasan kondisi konsentrasi, semakin kecil konsentrasinya maka semakin mudah limbah tersebut diolah. Pada saat konsentrasi awal Ni 50 mg/L persentase pemisahan rata-ratanya 94,14% atau konsentrasi rata-ratanya sebesar 2,93 mg/L. Untuk konsentrasi awal 100 dan 150 mg/L persentase pemisahannya mencapai 53,75% dan 42,35%.

Pada proses ini terlihat fenomena yang unik untuk penyisihan logam Ni. Semakin lama semakin menurun secara drastis berbeda dengan penyisihan Fe dan Cu yang cenderung konstan. Hal ini disebabkan oleh kondisi awal pH yang diatur pada pH normal. Untuk nikel proses flotasi akan optimal pada pH 9,2 jadi pada pH 7 nikel hidroksida yang terbentuk belum optimum. Kemudian pada saat proses flotasi-filtrasi terjadi pengaliran udara dan ozon yang menyebabkan penurunan pH sehingga menurunkan jumlah nikel hidroksida yang terbentuk.

Berikutnya dari segi COD, hasil perbandingan COD pada proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15. Pengaruh konsentrasi awal limbah terhadap COD permeat

Kecenderungan COD untuk masing-masing konsentrasi masih sama seperti kecenderungan COD pada proses flotasi-filtrasi pada umumnya. Pertama-tama penurunan COD meningkat kemudian turun kembali dan cenderung konstan. Penurunan tersebut disebabkan oleh kondisi permukaan membran keramik yang mulai terkotori.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses penyisihan logam dengan metode Flotasi-Filtrasi lebih baik dibandingkan dengan metode Flotasi atau metode Filtrasi saja.
2. Persentase penyisihan logam dengan metode Flotasi-Filtrasi, Flotasi, dan Filtrasi berturut-turut yaitu 94,74 %, 87,92 %, dan 88,11%.
3. Laju alir udara optimum untuk proses flotasi-filtrasi adalah 100 L/jam.
4. Proses flotasi-filtrasi dapat menyisihkan logam Fe dengan baik sampai konsentrasi awal limbah sebesar 100 mg/L dengan persentase penyisihan 94,74 %.
5. Proses flotasi-filtrasi dapat menyisihkan logam Cu dengan baik sampai konsentrasi awal limbah sebesar 50 mg/L dengan persentase penyisihan 87,10 %.
6. Proses flotasi-filtrasi dapat menyisihkan logam Ni dengan baik sampai konsentrasi awal limbah sebesar 50 mg/L dengan persentase penyisihan 94,14 %.

5.2. SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya pada proses filtrasi tidak diberikan bahan-bahan kimia tambahan, sehingga perbandingan kinerja ketiga metode dapat dilihat dengan lebih proporsional.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Janknecht, P, P.A. Wilderer, C. Picard, A. Larbot. "*Ozone–water contacting by ceramic membranes*", Elsevier Science B.V, 2001.
- Langlais, Bruno. Reckhow, David. Brink, Deborah. "*Ozone in water treatment, Application and Engineering*", Lewis Publisher, Washington D.C, 1991.
- Mallevalle, J. Odendal, P.E. Wiesner, M.R. "*Ozone in Water Treatment, Application and Engineering*", Lewis Publisher, Washington D.C, 1996.
- Mavrov, V. Erwe, T. Blocher, C. Chmiel, H. "*Study of new integrated processes combining adsorption, membrane separation and flotation for heavy metal removal from wastewater*", Department of Process Technology, Saarland University, Saarbrucken, Germany, 2003.
- Metlcalfe & Eddy, "*Wastewater Engineering Treatment, Disposal, And Reuse Third Edition*", Mcgraw-Hills, Inc, 1991.
- Nemerow, Nelson L, "*Industrial Water Pollution Origins Characteristic and Treatment, 2nd edition*", Addison Wesley, Massachusetts, 1978.
- Puget, F. P, M. V. Melo and G. Massarani, "*Modelling of the Dispersed Air Flotation Process Applied to Dairy Wastewater Treatment*", Brazilian Journal of Chemical Engineering Vol. 21, No. 02 pp. 229 – 237, April - June 2004.
- Shergold, H.L, "*The Scientific Basis of Flotation*", NATO ASI Series, K.J. Ivesed, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, 1984.
- Soemantojo, R W, "*Pemanfaatan zeolit alam Indonesia sebagai adsorben ammonia dan turunannya dalam limbah cair*", Laporan riset, Kantor menteri negara riset dan teknologi dewan riset nasional, 1998.
- Soemantojo, R W, "*Makalah Pencegahan dan Pengendalian Pencemaran dalam Industri*", Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Depok, 2000.

Thamzil (2005), “Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif”. <http://www.batan.go.id/ptlr/index.php>

Triardianto, Hari F, “Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam Besi (Fe), Tembaga (Cu), dan Nikel (Ni) Dengan Flotasi Ozon Studi Kasus Pengaruh Dosis Koagulan PAC dan Surfaktan SLS Terhadap Kinerja Proses”, Skripsi, Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2006.

Widaningroem, Roekmijati, “Diktat Kuliah Pengolahan Limbah dan Pencegahan Pencemaran”, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Depok, 2004.

Wilkinson, Angus P, “Zeolitic Materials: Ion Exchange and Shape Selective Catalysis”, School of Chemistry and Biochemistry Georgia Institute of Technology, 2003.

_____, <http://www.lips-online.com>

_____, <http://www.milipore.com>

_____, <http://www.wikipedia.com>

_____, <http://www2.kompas.com/kompas-cetak/0405/19/utama/1035094.htm>

_____, <http://adt.curtin.edu.au/theses/available/adt-WCU20051116.112938/unrestricted/03Chapter2.pdf>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Sintetik

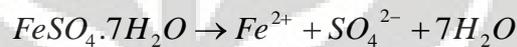
1. Contoh Perhitungan pembuatan larutan logam yang mengandung $Fe^{2+} = 100$ mg/L.

Bahan $Fe(SO_4) \cdot 7H_2O$

Fe^{2+} yang dibutuhkan = 100 mg/L = 100 mg Fe^{2+} /L H_2O .

BM $Fe(SO_4) \cdot 7H_2O = 278$ g/gmol.

BM Fe = 56 g/gmol.



100 mg/L Fe = $100/56 = 1.78$ mmol = 0.00178 gmol

Maka $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ yang dibutuhkan = $278 \times 0.00178 = 0.49$ gr/L

Karena tangki flotasi mempunyai volum sebesar 15 L, maka:

Massa garam Fe yang ditimbang = 0,49 gr/L x 15 L
= 7,35 gr

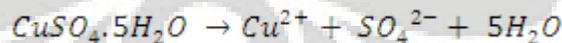
2. Contoh Perhitungan pembuatan larutan logam yang mengandung $Cu^{2+} = 100$ mg/L.

Bahan $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Cu^{2+} yang dibutuhkan = 100 mg/L = 100 mg Cu^{2+} /L H_2O .

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

BM Cu = 63,5 g/gmol.



100 mg/L Cu = $100/63,5 = 1,57$ mmol = 0,00157 gmol

Maka $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ yang dibutuhkan = $249,5 \times 0,00157 = 0,39$ gr/L

Karena tangki flotasi mempunyai volum sebesar 15 L, maka:

Massa garam Cu yang ditimbang = 0,39 g/L x 15 L
= 5,85 gr

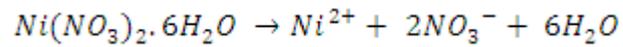
3. Contoh Perhitungan pembuatan larutan logam yang mengandung $Ni^{2+} = 100$ mg/L.

Bahan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Ni^{2+} yang dibutuhkan = 100 mg/L = 100 mg Ni^{2+} /L H_2O .

BM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ = 291 g/gmol.

BM Ni = 59 g/gmol.



100 mg/L Ni = $100/59 = 1,7 \text{ mmol} = 0,0017 \text{ gmol}$

Maka $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang dibutuhkan = $291 \times 0,0017 = 0,49 \text{ gr/L}$

Karena tangki flotasi mempunyai volum sebesar 15 L, maka:

Massa garam yang ditimbang = $0,49 \text{ g/L} \times 15 \text{ L}$
= 7,35 gr



Lampiran 2. Pengolahan Data Konsentrasi Logam dan COD

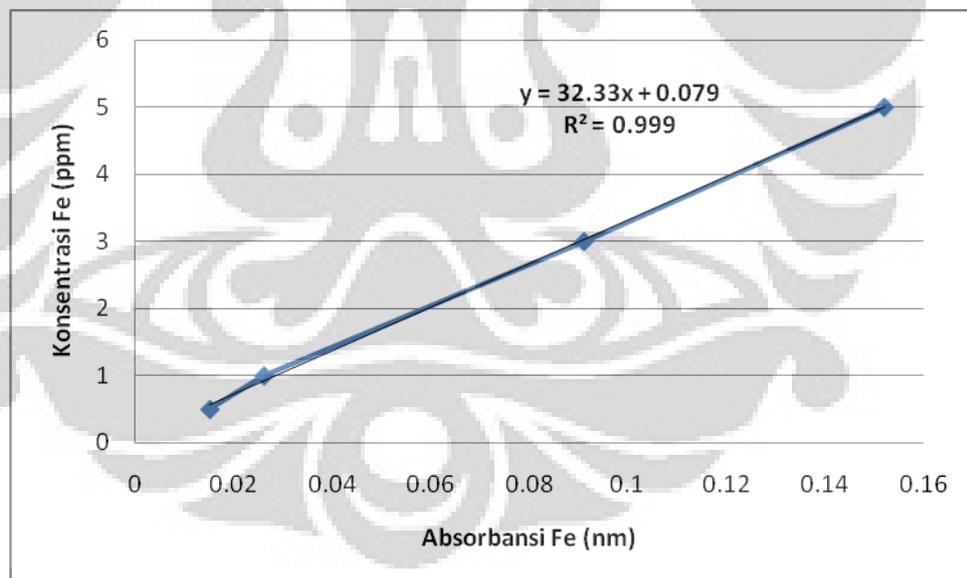
Kondisi umum :

- Volume tangki pencampuran : 15 L
- Zeolit alam Lampung : 2 gr/L
- SLS : 0,2 gr/L
- PAC : 0,013 gr/L

1. Kurva kalibrasi AAS dan COD

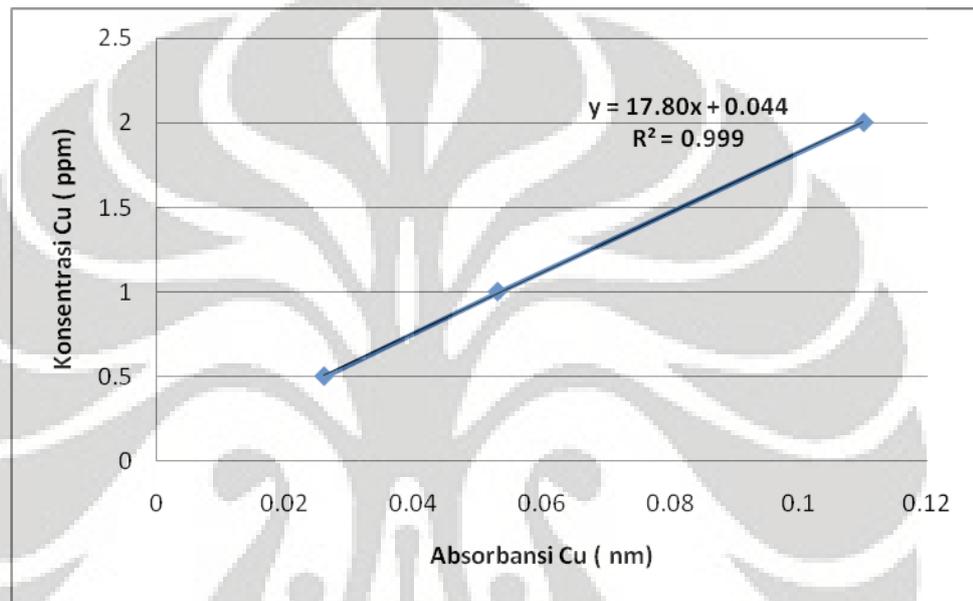
- Kalibrasi konsentrasi Fe

Kalibrasi AAS	
Lar. Standar Fe (mg/L)	Absorbansi (nm)
0.5	0.015
1	0.026
3	0.091
5	0.152



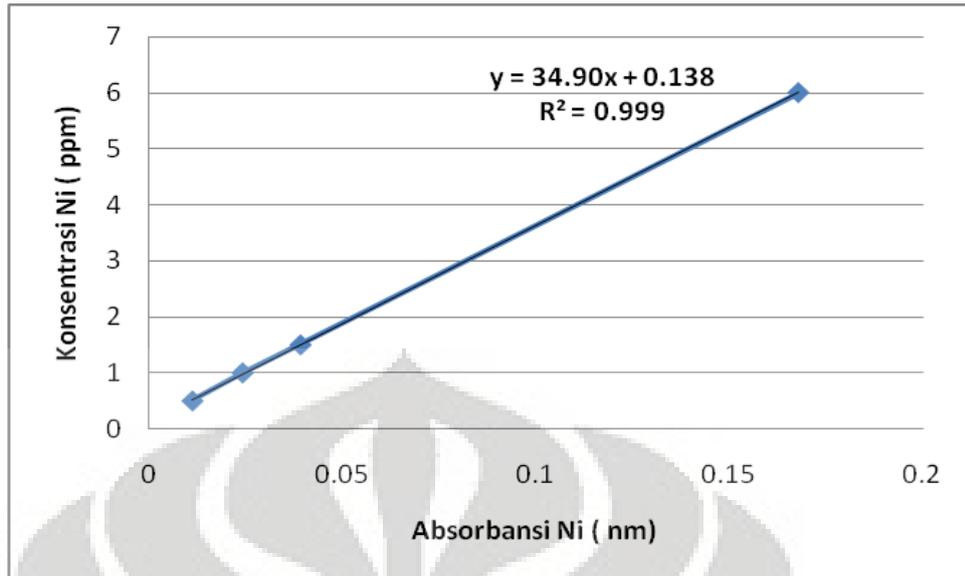
- Kalibrasi konsentrasi Cu

Kalibrasi AAS	
Lar. Standar Cu (mg/L)	Absorbansi (nm)
0.5	0.026
1	0.053
2	0.110



- Kalibrasi konsentrasi Ni

Kalibrasi AAS	
Lar. Standar Ni (mg/L)	Absorbansi (nm)
0.5	0.011
1	0.024
1.5	0.039
6	0.168



- Kalibrasi konsentrasi COD

Kalibrasi COD

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = (1.008 - \text{Absorbansi}) \times 207.77$$

2. Parameter waktu (Flotasi-Filtrasi)

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Fe	Fe (mg/L)	% Pemisahan Logam
0	0.182	171.618	0.031	100	0
5	0.321	142.738	0.230	7.5149	92.4851
10	0.292	148.763	0.202	6.60966	93.39034
15	0.297	147.724	0.210	6.8683	93.1317
20	0.296	147.932	0.225	7.35325	92.64675
25	0.314	144.192	0.220	7.1916	92.8084

3. Variasi metode

Metode Flotasi						
Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% pemisahan COD
0		0.164	175.358	100	0	0
2	550	0.345	137.752	10.55	89.45	21.44549763
4	420	0.319	143.154	12.37	87.63	18.36492891
6	330	0.245	158.529	12.53	87.47	9.597156398
8	340	0.310	145.023	12.57	87.43	17.2985782
10	410	0.432	119.676	12.37	87.63	31.7535545

Metode Filtrasi						
Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% pemisahan COD
0		0.334	140.037	100	0	0
2	700	0.348	137.128	11.97	88.03	2.077151335
4	1300	0.389	128.610	12.26	87.74	8.160237389
6	1800	0.331	140.660	11.99	88.01	0
8	1650	0.344	137.959	11.69	88.31	1.483679525
10	1200	0.351	136.505	11.56	88.44	2.522255193

Metode Flotasi-Filtrasi						
Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% pemisahan COD
0		0.314	144.192	100	0	0
2	1600	0.494	106.794	4.23	95.77	25.93659942
4	1450	0.355	135.674	5.77	94.23	5.90778098
6	1200	0.335	139.829	5.58	94.42	3.025936599
8	1100	0.373	131.934	5.51	94.49	8.501440922
10	1080	0.355	135.674	5.23	94.77	5.90778098

4. Variasi laju alir

Laju alir udara = 100 L/hr						
Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0		0.314	144.192	100	0	0
2	1600	0.494	106.794	4.23	95.77	25.93659942
4	1450	0.355	135.674	5.77	94.23	5.90778098
6	1200	0.335	139.829	5.58	94.42	3.025936599
8	1100	0.373	131.934	5.51	94.49	8.501440922
10	1080	0.355	135.674	5.23	94.77	5.90778098

Laju alir udara = 150 L/hr						
Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0		0.397	126.947	100	0	0
2	950	0.523	100.768	33.05	66.95	20.62193126
4	920	0.517	102.015	34.12	65.88	19.63993453
6	910	0.488	108.040	35.08	64.92	14.89361702
8	900	0.503	104.924	34.89	65.11	17.34860884
10	860	0.511	103.262	34.65	65.35	18.65793781

Laju alir udara = 200 L/hr						
Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0		0.204	167.047	100	0	0
2	950	0.529	99.522	15.53	84.47	40.42288557
4	940	0.536	98.067	21.62	78.38	41.29353234
6	930	0.515	102.431	18.51	81.49	38.68159204
8	900	0.518	101.807	25.71	74.29	39.05472637
10	820	0.488	108.040	29.40	70.60	35.32338308

Laju alir udara = 250 L/hr

Waktu (menit ke)	Vol Permeate	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0		0.234	160.814	100	0	0
2	1300	0.508	103.885	33.79	66.21	35.4005168
4	1200	0.456	114.689	35.89	64.11	28.68217054
6	1100	0.496	106.378	37.09	62.91	33.8501292
8	1050	0.467	112.404	38.22	61.78	30.10335917
10	1020	0.408	124.662	39.05	60.95	22.48062016

5. Variasi konsentrasi

- Logam Fe

Konsentrasi Fe = 50 mg/L

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.281	151.049	50	0	0
2	0.555	94.120	0	100	37.68913343
4	0.459	114.066	0.56	98.88	24.48418157
6	0.463	113.235	1.65	96.7	25.0343879
8	0.467	112.404	4.26	91.48	25.58459422
10	0.451	115.728	8.40	83.2	23.38376891

Konsentrasi Fe = 100 mg/L

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.314	144.192	100	0	0
2	0.494	106.794	4.23	95.77	25.93659942
4	0.355	135.674	5.77	94.23	5.90778098
6	0.335	139.829	5.58	94.42	3.025936599
8	0.373	131.934	5.51	94.49	8.501440922
10	0.355	135.674	5.23	94.77	5.90778098

Konsentrasi Fe = 150 mg/L					
Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.297	147.724	150	0	0
2	0.519	101.600	21.72	85.52	31.22362869
4	0.515	102.431	26.93	82.04666667	30.66104079
6	0.443	117.390	26.21	82.52666667	20.53445851
8	0.483	109.079	22.96	84.69333333	26.16033755
10	0.476	110.534	26.28	82.48	25.17580872

Konsentrasi Fe = 200 mg/L					
Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Fe (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.397	126.947	200		0
2	0.505	104.508	29.96	85.02	17.67594108
4	0.507	104.093	34.34	82.83	18.00327332
6	0.479	109.910	33.49	83.255	13.42062193
8	0.488	108.040	32.51	83.745	14.89361702
10	0.475	110.741	32.13	83.935	12.76595745

- Logam Cu

Konsentrasi Cu = 50 mg/L						
Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Cu	Cu (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.287	149.802	0.028	49.884	0	0
2	0.323	142.322	0.001	1.824	96.34351696	4.993065187
4	0.364	133.804	0.003	5.384	89.20696015	10.67961165
6	0.295	148.140	0.005	8.944	82.07040334	1.109570042
8	0.333	140.245	0.003	5.384	89.20696015	6.380027739
10	0.304	146.270	0.006	10.724	78.50212493	2.357836338

Konsentrasi Cu = 100 mg/L						
Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Cu	Cu (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.144	179.513	0.056	99.724	0	0
2	0.273	152.711	0.032	57.004	42.83823352	14.93055556
4	0.263	154.789	0.034	60.564	39.26838073	13.77314815
6	0.248	157.905	0.036	64.124	35.69852794	12.03703704
8	0.194	169.125	0.037	65.904	33.91360154	5.787037037
10	0.187	170.579	0.036	64.124	35.69852794	4.976851852

Konsentrasi Cu = 150 mg/L						
Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Cu	Cu (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.124	183.669	0.084	149.564	0	0
2	0.188	170.371	0.058	103.284	30.94327512	7.239819005
4	0.130	182.422	0.054	96.164	35.70377898	0.678733032
6	0.128	182.838	0.054	96.164	35.70377898	0.452488688
8	0.137	180.968	0.056	99.724	33.32352705	1.470588235
10	0.149	178.474	0.063	112.184	24.99264529	2.828054299

Konsentrasi Cu = 200 mg/L						
Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Cu	Cu (mg/L)	% Pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.127	183.045	0.112	199.404	0	0
2	0.259	155.620	0.051	90.824	54.45226776	14.98297389
4	0.246	158.321	0.059	105.064	47.31098674	13.50737798
6	0.208	166.216	0.056	99.724	49.98896712	9.194097616
8	0.247	158.113	0.056	99.724	49.98896712	13.62088536
10	0.253	156.866	0.057	101.504	49.09630699	14.30192963

- Logam Ni

50 mg/L

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Ni	Ni (mg/L)	% pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.228	162.061	0.014	48.998	0	0
2	0.484	108.871	0.000	0.138	99.71835585	32.82051282
4	0.472	111.365	0.000	0.138	99.71835585	31.28205128
6	0.400	126.324	0.000	0.138	99.71835585	22.05128205
8	0.348	137.128	0.001	3.628	92.59561615	15.38461538
10	0.374	131.726	0.003	10.608	78.35013674	18.71794872

100 mg/L

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Ni	Ni (mg/L)	% pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.208	166.216	0.028	97.858	0	0
2	0.366	133.388	0.006	21.078	78.46062662	19.75
4	0.355	135.674	0.013	45.508	53.49588179	18.375
6	0.329	141.076	0.012	42.018	57.06227391	15.125
8	0.310	145.023	0.014	48.998	49.92948967	12.75
10	0.245	158.529	0.018	62.958	35.66392119	4.625

150 mg/L

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Ni	Ni (mg/L)	% pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.181	171.826	0.042	146.718	0	0
2	0.274	152.503	0.021	73.428	49.95297101	11.24546554
4	0.221	163.515	0.021	73.428	49.95297101	4.836759371
6	0.230	161.645	0.025	87.388	40.43811939	5.92503023
8	0.237	160.191	0.022	76.918	47.5742581	6.77146312
10	0.218	164.138	0.030	104.838	28.54455486	4.474002418

200 mg/L

Waktu (menit ke)	Absorbansi COD	COD (mg/L)	Absorbansi Ni	Ni (mg/L)	% pemisahan logam	% Pemisahan COD
0	0.213	165.177	0.057	199.068	0	0
2	0.312	144.608	0.024	83.898	57.85460245	12.45283019
4	0.271	153.126	0.025	87.388	56.10143268	7.295597484
6	0.235	160.606	0.039	136.248	31.55705588	2.767295597
8	0.225	162.684	0.028	97.858	50.84192336	1.509433962
10	0.214	164.969	0.049	171.148	14.02535817	0.125786164

