

PENGARUH OZON DAN KONSENTRASI ZEOLIT TERHADAP KINERJA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM DENGAN PROSES FLOTASI

Eva Fathul Karamah, Setijo Bismo, dan Hotdi M. Simbolon

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: eva@che.ui.edu; bismo@che.ui.edu; hasian_21@yahoo.com

Abstrak

Limbah industri yang mengandung logam berat tidak dapat dibuang langsung ke perairan, karena berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup dan lingkungannya. Dalam penelitian ini, untuk memisahkan logam dari limbah cair digunakan metode flotasi dengan dibantu bahan pengikat zeolit alam Lampung. *Diffuser* yang biasa digunakan dalam proses flotasi adalah udara atau oksigen. Dalam penelitian ini, ozon dipilih sebagai *diffuser*, karena sifat oksidasi dan kelarutannya dalam air lebih besar dari udara. Keuntungan lain adalah ozon merupakan *coagulant aid* dan berfungsi sebagai disinfektan. Dengan ozon sebagai *diffuser* diharapkan pemisahannya berlangsung lebih cepat dengan lebih efisien. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan efektivitas ozon sebagai *diffuser*, membandingkan ozon dengan *diffuser* yang lain, serta menentukan efektivitas dan konsentrasi optimum zeolit sebagai bahan pengikat dalam flotasi logam besi, tembaga dan nikel. Dari penelitian diperoleh pemisahan besi dengan *diffuser* udara sebesar 90,8%, *diffuser* udara-oksigen 95,7%, *diffuser* udara-ozon dari udara 99,7%, serta *diffuser* udara-ozon dari oksigen adalah 99,7%. Sedangkan zeolit efektif digunakan sebagai *bonding agent* pada proses flotasi, dengan konsentrasi optimum sebesar 2 gr/L, menghasilkan persentase pemisahan untuk logam besi sebesar 99,70%, logam tembaga sebesar 88,98% dan logam nikel sebesar 98,46%.

Abstract

The Effect of Ozone and Zeolite Concentration to the Performance of the Treatment of Wastewater Containing Heavy Metal Using Flotation Process. Industrial wastewater which contains heavy metal cannot be disposed to the environment directly, due to its toxicity. In this research, separation of metal from wastewater was conducted by sorptive flotation method, using Lampung natural zeolite as bonding agent. The most common diffuser used in the flotation process is air or oxygen. In this research, ozone is used as diffuser because it is a stronger oxidant and more dissolvable in water than oxygen. Besides, ozone is a coagulant aid and disinfectant. With ozone as diffuser, it is expected that the process become faster with higher efficiency. This research was conducted to determine ozone effectiveness as diffuser, compared with other diffuser, and also to determine optimum concentration and effectiveness of zeolite in flotation of iron, nickel and copper. The research result shows that separation of iron with air diffuser is 90.8%, air-oxygen diffuser is 95.7%, air-ozone (from air) diffuser is 99.7%, and air-ozone (from oxygen) diffuser is 99.7%. Natural zeolite is effective as bonding agent with optimum concentration equal to 2 gram/liter, producing separation percentage for iron equal to 99.70%, copper equal to 88.98% and Nickel equal to 98.46%.

Keywords: flotation, ozone, zeolite, heavy metal

1. Pendahuluan

Limbah-limbah industri dengan kandungan logam-logam berat tidak dapat dibuang langsung ke sungai, waduk atau laut, karena keberadaan logam berat sangat berbahaya bagi kehidupan manusia, hewan dan lingkungan.

Salah satu cara yang dikembangkan untuk mengolah limbah cair yang mengandung logam berat adalah flotasi. Proses flotasi lebih mampu memisahkan partikel-partikel yang berukuran kecil secara sempurna dan lebih selektif dibandingkan proses-proses pengolahan limbah lain [1,2]. Di samping itu flotasi

juga lebih menguntungkan karena pemisahannya lebih cepat dan biaya operasinya relatif lebih murah.

Pada flotasi, separasi dihasilkan oleh gelembung-gelembung gas (*diffuser*) yang digunakan [3]. Gas yang ditambahkan ke dalam larutan air limbah akan mengalami kontak dengan partikel-partikel kandungan air limbah, sehingga menghasilkan gaya apung yang cukup besar, yang menyebabkan partikel-partikel tersebut mengapung ke permukaan. *Diffuser* yang umum digunakan dalam proses flotasi adalah udara atau oksigen. Pada penelitian ini, digunakan ozon sebagai *diffuser* karena mempunyai kemiripan sifat dengan oksigen dengan beberapa kelebihan diantaranya: merupakan oksidator yang lebih kuat dan lebih mudah larut dalam air dibandingkan dengan oksigen, merupakan bahan bantu koagulan dan *disinfektan* [4].

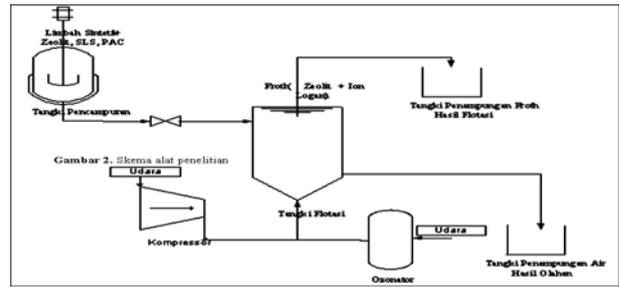
Flotasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sorptive flotation* karena separasi flotasi dibantu oleh suatu bahan pengikat (*bonding agent*). Penelitian ini memilih zeolite alam sebagai *bonding agent*, karena ketersediaannya cukup banyak di Indonesia, sedangkan penggunaannya masih sangat minim. Tujuan dari kajian ini adalah untuk: 1) Menentukan efektivitas ozon sebagai *diffuser* pada proses flotasi; 2) Membandingkan ozon dengan jenis *diffuser* lain, serta pengaruhnya terhadap kualitas hasil olahan; 3) Menentukan konsentrasi optimum zeolit sebagai bahan pengikat dalam flotasi logam besi, tembaga dan nikel.

2. Metode Penelitian

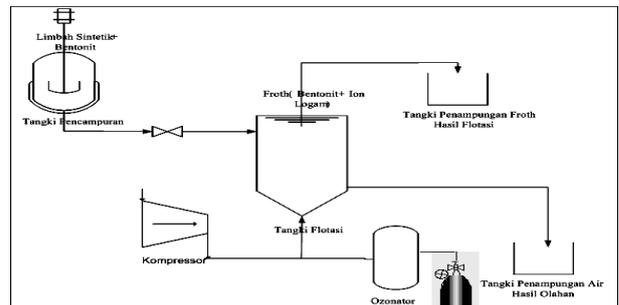
Secara umum penelitian terbagi menjadi preparasi dan karakterisasi zeolit alam Lampung, uji produktivitas ozonator, preparasi sampel, proses flotasi, analisis sampel sebelum dan setelah proses, serta pengolahan data.

Preparasi zeolit alam lampung dimulai dengan pengayakan zeolit untuk mendapatkan zeolit berbentuk granular dengan ukuran partikel antara 0,3-0,4 mm. Dilanjutkan dengan pencucian dengan aquades selama 30 menit dengan pengadukan berulang-ulang dan pengeringan pada suhu ± 180°C selama 2 jam. Karakterisasi zeolit dilakukan sebelum dan sesudah proses preparasi untuk mengetahui luas permukaan dan volume porinya menggunakan alat BET Autosorb. Uji produktivitas ozonator dilakukan dengan metode Iodometri.

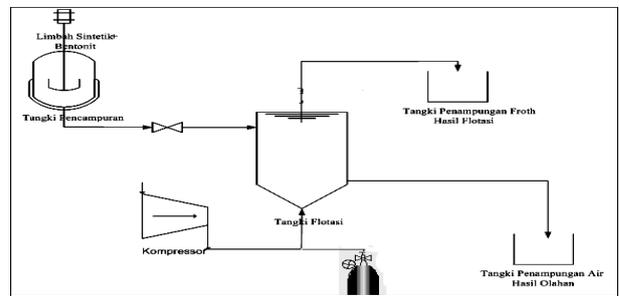
Sampel yang digunakan adalah limbah sintetik yang mengandung logam tunggal Fe, Cu dan Ni dengan konsentrasi masing-masing 100 mg/L. L. pH tangki pencampuran diatur pada pH 7, 8, 9 dan ditambahkan PAC sebagai koagulan sebanyak 0,133 g/L, serta Sodium Lauryl Sulfate (SLS) sebagai surfaktan sebanyak 0,4 g/L.



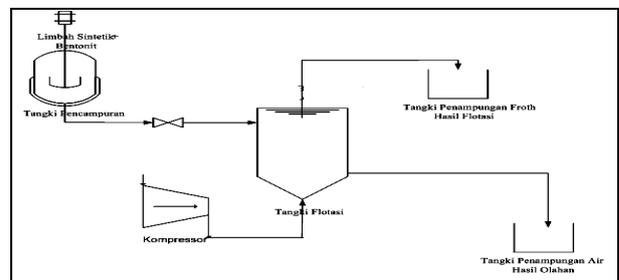
Gambar 1. Skema alat untuk flotasi dengan diffuser udara-ozon dari udara



Gambar 2. Skema alat untuk flotasi dengan diffuser udara-ozon dari oksigen



Gambar 3. Skema alat untuk flotasi dengan diffuser udara-oksigen



Gambar 4. Skema alat untuk flotasi dengan diffuser udara

Proses flotasi dilakukan dengan dua variasi, yaitu variasi jenis diffuser dan variasi konsentrasi zeolit alam. Variasi jenis diffuser dilakukan untuk larutan cair besi

sintetik. Variasi jenis diffuser dilakukan dengan memvariasikan konfigurasi alat seperti terlihat pada Gambar 1 sampai Gambar 4.

Untuk variasi konsentrasi zeolit, flotasi dilakukan untuk larutan tunggal besi, tembaga dan nikel dengan dosis zeolit, sebesar 0; 1,0; 1,5; 2,0 gr/liter. Diffuser yang digunakan adalah campuran udara-ozon (dari udara).

Larutan sampel sebelum dan setelah proses flotasi dianalisis kandungan logamnya dengan AAS selain itu juga dianalisis parameter kualitas air lainnya yaitu pH, DO, dan COD.

Hasil pemisahan logam berat dari limbah sintetik ini diperoleh dengan cara mengukur konsentrasi logam berat awal dan akhir pada air hasil olahan, dengan persamaan % pemisahan berikut:

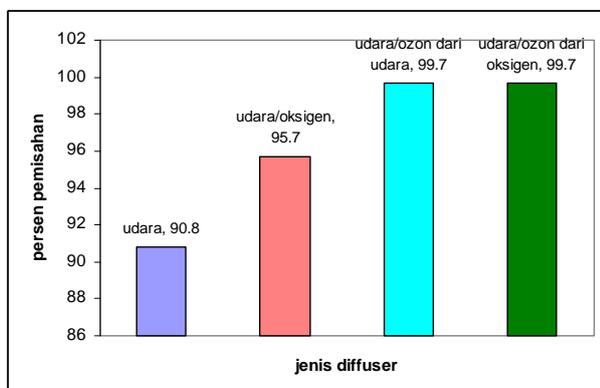
$$\% \text{Pemisahan Logam} = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

dengan: C_o = konsentrasi logam awal.

C_a = konsentrasi logam akhir.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Variasi Jenis Diffuser Terhadap Pemisahan Logam Besi. Pengaruh jenis diffuser ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar tersebut menunjukkan bahwa persentase pemisahan logam besi dengan berbagai jenis diffuser yang dibandingkan, tidak berbeda secara signifikan. Semua jenis diffuser memberikan persentase pemisahan di atas 90%. Hal ini karena sifat besi yang sangat mudah teroksidasi, bahkan dengan oksidator yang paling lemah sekalipun seperti udara, dan oksidasi besi makin dipercepat dengan adanya pengadukan. Namun secara umum terlihat bahwa diffuser udara/ozon menunjukkan kinerja terbaik dengan persentase pemisahan sebesar 99,7%; baik untuk ozon yang berasal dari udara maupun dari oksigen.



Gambar 5. Perbandingan Persentase Pemisahan antar Diffuser

Gambar 5 menunjukkan bahwa pemisahan besi dengan *diffuser* udara lebih kecil dibandingkan pemisahan dengan *diffuser* oksigen. Perbedaan ini dikarenakan oksigen disamping sebagai pendorong juga mampu mengoksidasi besi di tangki flotasi sehingga persen pemisahannya akan meningkat sekitar 5%.

Flotasi dengan diffuser udara-ozon, baik ozon yang berasal dari udara maupun dari oksigen memiliki persen pemisahan yang lebih tinggi dari diffuser oksigen, hanya saja perbedaannya tidak begitu signifikan. Perbedaan ini dikarenakan ozon lebih bersifat oksidator dari oksigen, artinya kemampuan ozon untuk mengoksidasi besi lebih tinggi dari oksigen, sehingga oksidasi besi oleh ozon di tangki flotasi lebih besar dari oksidasi besi oleh oksigen. Keunggulan penggunaan ozon sebagai diffuser perlu juga dievaluasi dalam hal fungsinya sebagai disinfektan yang pada penelitian ini belum dilakukan.

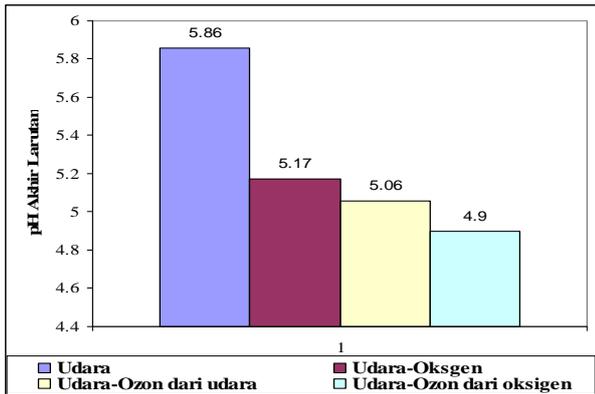
Pengaruh jenis diffuser juga terlihat pada parameter kualitas air seperti pH dan oksigen terlarut (DO) seperti terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa dengan menggunakan diffuser yang berbeda maka pH larutan keluaran tangki flotasi juga akan berbeda, hanya saja range pH yang dihasilkan masih berada dibawah pH normal (pH=7), hal ini menandakan bahwa larutan keluaran tangki flotasi untuk semua jenis diffuser bersifat asam. Sifat keasaman ini disebabkan, senyawa besi yang teroksidasi dalam air akan menghasilkan ion asam, baik tunggal (H^+) maupun bersenyawa dengan sisa asam. Pada penelitian ini, oksidasi besi akan menghasilkan ion asam yang bersenyawa dengan Sulfat (SO_4^{2-}).

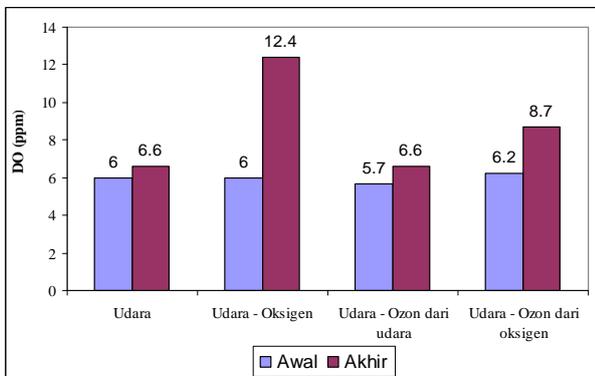
Dari grafik juga terlihat bahwa semakin besar atau kuat kadar oksidator (oksigen atau ozon), nilai pH larutan semakin kecil. Semakin banyak atau semakin kuat oksidator yang terlarut dalam air, semakin banyak senyawa besi yang teroksidasi dan semakin banyak ion asam yang dihasilkan. Akibatnya, pH larutan semakin kecil.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa untuk semua jenis diffuser, jumlah oksigen terlarut sebelum dan sesudah flotasi cenderung meningkat dan peningkatannya cukup tajam, yakni berkisar antara 0,6 ppm sampai 6,4 ppm. Peningkatan yang cukup tajam ini, disebabkan oleh adanya udara, oksigen dan ozon yang terurai atau terlarut dalam air dan menghasilkan oksigen, sehingga jumlah oksigen yang terlarut dalam larutan akan meningkat setelah flotasi dilakukan.

Dari grafik, peningkatan jumlah oksigen terlarut untuk diffuser udara-oksigen memiliki nilai peningkatan paling besar, hal ini karena oksigen yang dibutuhkan



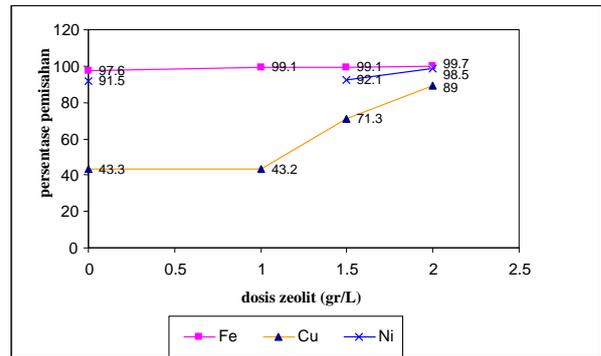
Gambar 6. Perbandingan Nilai pH Larutan Akhir Flotasi Antar Diffuser



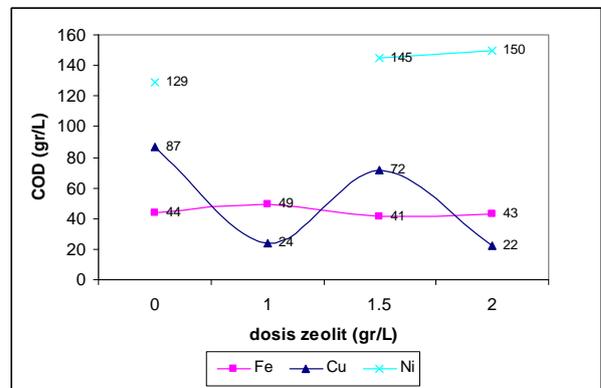
Gambar 7. Perbandingan Nilai DO Larutan Akhir Flotasi Antar Diffuser

untuk mengoksidasi besi di tangki flotasi jumlahnya sangat kecil, sehingga sebagian besar oksigen yang dialirkan ke tangki flotasi digunakan untuk mendorong flok besi. Kelarutan ozon yang lebih besar serta sifat oksidasinya yang lebih kuat dari oksigen membuat ozon lebih mudah mengoksidasi besi, terlihat dari persentase pemisahan yang lebih besar daripada oksigen. Dengan demikian, ozon (yang segera akan terurai menjadi oksigen) yang tertinggal di dalam larutan menjadi lebih kecil.

Pengaruh Variasi Konsentrasi Zeolit Terhadap Persentase Pemisahan Logam. Untuk melihat pengaruh konsentrasi zeolit terhadap persentase pemisahan logam, sampel masing masing logam diperlakukan pada kondisi yang sama. Surfaktan yang digunakan adalah Sodium Lauryl Sulfat dengan dosis 0,4 gr/L. Dosis koagulan Poly Aluminum Chloride (PAC) sebesar 0,133 gr/L. pH larutan umpam dikontrol dan dijaga dengan penambahan larutan NaOH 3 M, yaitu 7 untuk logam Fe dan Cu serta 9 untuk Ni. Sedangkan dosis zeolit divariasikan 0; 1; 1,5 dan 2 gr per liter larutan limbah sintetik. Flotasi berlangsung selama 25 menit.



Gambar 8. Pengaruh konsentrasi zeolit terhadap persentase pemisahan logam



Gambar 9. Pengaruh konsentrasi zeolit terhadap kadar COD akhir

Gambar 8 menunjukkan bahwa secara umum, makin besar konsentrasi zeolit, persentase pemisahan logam makin besar. Makin besar dosis zeolit, semakin banyak ion yang dapat dipertukarkan, dan semakin besar luas permukaan zeolit yang dapat mengadsorpsi partikel-partikel flok yang terbentuk.

Pengaruh dosis zeolit juga dapat diamati terhadap beberapa parameter kualitas air, seperti kadar oksigen terlarut (DO) dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar oksigen terlarut relatif tidak dipengaruhi oleh konsentrasi zeolit. Sedangkan pengaruh dosis zeolit terhadap COD dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa keberadaan zeolit memberikan pengaruh yang berbeda-beda untuk setiap jenis logam. Untuk logam besi yang sangat mudah teroksidasi, kadar COD relatif tidak terpengaruh oleh perubahan kadar zeolit di dalam larutan dan kadarnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan logam lainnya. Sementara untuk logam-logam lainnya memberikan pengaruh yang berlawanan. Pada logam tembaga, makin besar dosis zeolit, kadar COD semakin kecil sementara untuk logam nikel justru sebaliknya.

Kadar COD di dalam larutan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi surfaktan yang merupakan senyawa organik. Pada suasana netral zeolit dapat berfungsi sebagai katalis bagi reaksi penguraian senyawa pembantu COD. Untuk logam besi yang sangat mudah teroksidasi, surfaktan di dalam larutan sangat berperan dalam mengikat dan mengambangkan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang terbentuk sehingga kadar COD akhir relatif lebih kecil dibandingkan dengan COD akhir untuk logam lainnya.

Untuk logam tembaga, penurunan nilai COD cukup signifikan. Hal ini karena zeolit lebih banyak berperan sebagai katalis bagi reaksi penyisihan senyawa pembentuk COD, ketimbang berperan dalam pemisahan logam tembaga. Fenomena ini didukung dari hasil persentase pemisahan logam tembaga, yang relatif lebih kecil dibandingkan persentase pemisahan logam lain.

Proses flotasi nikel berlangsung pada pH basa ($\text{pH}=9$). Pada kondisi ini zeolit tidak berfungsi sebagai katalis bagi reaksi penguraian senyawa pembantu COD, sehingga penambahan zeolit pada flotasi nikel tidak dapat menurunkan nilai COD.

4. Kesimpulan

Ozon efektif digunakan sebagai *diffuser* untuk proses flotasi. Pemisahan logam besi dipengaruhi oleh jenis *diffuser* yang digunakan, dengan persentase pemisahan:

- Dengan *diffuser* udara sebesar 90,8%
- Dengan *diffuser* udara-oksigen sebesar 95,7%

- Dengan *diffuser* udara-ozon (dari udara) sebesar 99,7%
- Pemisahan besi dengan *diffuser* udara-ozon (dari oksigen) sebesar 99,7%

Zeolit efektif digunakan untuk proses flotasi logam besi, tembaga dan nikel, dengan konsentrasi optimum sebesar 2 gr/liter, dengan persentase pemisahan:

- Logam besi sebesar 99,70%
- Logam tembaga sebesar 88,98%
- Logam nikel sebesar 98,46%

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dengan dukungan finansial dari RUUI (Riset Unggulan Universitas Indonesia) tahun anggaran 2006.

Daftar Acuan

- [1] B.A. Wills, Mineral Processing Technology, 4th ed., Pergamon Press, 1988.
- [2] L. Nelson, Nemerow, Industrial Water Pollution Origins Characteristic and Treatment, 2nd edition, Massachusetts: Addison Wesley, 1978.
- [3] H.L. Shergold, The Scientific Basis of Flotation, NATO ASI Series, K.J. Ivesed, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, 1984.
- [4] Langlais, Bruno., D.A. Recklew, D.R. Brink, Ozone in Water Treatment: Application & Engineering, Lewis Publisher, 1991.