

PROCEEDINGS BOOK

save the earth!

www.bss-ub.com



th BASIC SCIENCE NATIONAL SEMINAR

basic science's role in saving the earth

February 21st, 2009

PPI Building, 2nd Floor, Brawijaya University

Kimia Lingkungan
Ruang : M 3

No.	KM	Nama Pendaftar	Instansi	Judul	Moderator
1	BSS_120_1	Surjani Wonorahardjo, Ph.D.	Kimia FMIPA	Dinamika Di Permukaan Adsorbent, Beberapa Konsep Untuk Memahami Adsorptivitas Partikel Kecil	Dr. Ir. G.P. Ganda Putra, MP
2	BSS_144_1	Hermawan Candra, S.Si	Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN	PENGUJIAN KANDUNGAN RADIOAKTIVITAS ALAM PADA BAHAN BANGUNAN GYPSUM	
3	BSS_152_1	Wijono, ST	Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN	SISTEM PROTEKSI RADIASI PADA PROSES STANDARISASI RADIONUKLIDA BERBENTUK GAS (Ar-41)	
4	BSS_177_1	Dr. Ir. G.P. Ganda Putra, MP	Fakultas Teknologi Pertanian, UNUD, Denpasar	Penggunaan Indeks Efektivitas Untuk Penentuan Kondisi Optimum Depolimerisasi Pulp Biji Kakao	Bambang Poerwadi. Ir. MS
5	BSS_202_1	A. Sabarudin, Dr.Sc.	Kimia, FMIPA, UB	Development of Novel Chitosan-Based Chelating Resins and Their Applications	
6	BSS_190_1	Waluyo Eko Cahyono. MSc	LAPAN	Penyebaran Emisi SO ₂ dan NO ₂ dari Industri di Bandung	
7	BSS_202_2	A. Sabarudin, Dr.Sc.	Kimia, FMIPA, UB	Automated Pretreatment System Untuk Pemekatan Ion Tembaga (II) Dalam Perairan Menggunakan Kitosan Berikatan Silang (CCTS)	Wayan Budiarsa Suyasa, Dr.
8	BSS_202_3	A.Sabarudin, Dr.Sc.	Kimia, FMIPA, UB	Ekstraksi Fase Padat Perak (I) menggunakan Kitosan Berikatan Silang	
9	BSS_218_1	Bambang Poerwadi. Ir. MS	Kimia-FMIPA, UB Malang	SLOW RELEASE PUPUK CAIR NPK DENGAN MEMBRAN KOMPOSIT SELULOSA-KITOSAN	
10	BSS_230_1	Wayan Budiarsa Suyasa, Dr.	Kimia FMIPA UNUD	PENGOLAHAN LIMBAH YANG MENGANDUNG DODESIL BENZENA SULFONAT (DBS) DALAM SEPTIK TERAERASI YANG DINOKULASIKAN KONSORSIUM MIKROBA	Adhi Kusumastuti, S.T., M.T.
11	BSS_238_2	Ir. Giatmi.MSi	STTN -BATAN	STUDI PENDAHULUAN PENGARUH PENCEMARAN NITROGEN OKSIDA (NO _x) TERHADAP LINGKUNGAN	
12	BSS_241_1	Drs Wagini R.,M.Eng	UGM	STUDI MENENTUKAN EFEKTIVITAS PENYARINGAN LOGAM KROM (Cr) DAN LOGAM NIKEL (Ni) PADA SISTEM PENYARING ELEKTROMAGNETIK	
13	BSS_272_1	Adhi Kusumastuti, S.T., M.T.	Fakultas Teknik UNS	Studi Komparasi Metode Ekstraksi Cair-cair dengan Metode Membran Cair Emulsi pada Pemulihan Fenol dari Air Limbah	Fahrudin Nugroho, M.Si
14	BSS_286_1	Drs.Siswanto,M.Si	Fisika, Unair Surabaya	PEMBERIAN MALEIC ANHIDRIDA (MA) PADA BLENDING POLIPROPILEN-PATI TAPIOKA	
15	BSS_328_1	Denny Vitasari, MEngSc	Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta	Sorption Isotherm of Remazol Yellow RNL Adsorption Using Bagasse	
16	BSS_334_1	Fahrudin Nugroho, M.Si	FMIPA, UGM	Effect of Specimen Size to Surface Nucleation of Rectangle Superconductor Slab	Hermin Sulistiyarti, Dr.
17	BSS_336_1	Kunti Sri Panca Dewi, Ir. MSi	FMIPA UNUD	Kandungan Pb,Cd dan Cr air sungai Badung	
18	BSS_367_1	Atikah, Chasan Bisri,	Kimia UB	CONSTRUCTION and CHARACTERIZATION of SULPHIDE ION SELECTIVE ELECTRODE BASED ON Ag/Ag ₂ S	
19	BSS_367_2	Atikah	Kimia UB	SENSOR KIMIA MIKROELEKTRODA BERBASIS Ag/Ag ₂ S UNTUK PENENTUAN ION SULFIDA DALAM AIR	Surjani Wonorahardjo, Ph.D.
20	BSS_370_1	Ulfa Andayani	Kimia UB	PENGARUH KOMPOSISI FASA GERAK PADA PEMISAHAN MINERAL LOGAM MENGGUNAKAN FASA DIAM ZEOLIT TERAKTIVASI	
21	BSS_371_1	Hermin Sulistiyarti, Dr.	Kimia UB	Pembuatan Sensor Nitrat Tipe Kawat Terlapis Untuk Penentuan Nitrat Secara Cepat, Mudah dan Murah	

Prosiding "6th Basic Science National Seminar"

Reviewer :

Dr. -Ing. Setiawan P.S., M.Eng.

Dr. Sri Rahayu, M.Kes

Barlah Rumhayati, Ph.D

Dr. Abdul Rouf Alghofari

Dr. Eng. Agus Naba, S.Si., MT

Dr. Sukir Maryanto

Widodo, PhD MED Sc.

ISBN : 978 - 979 - 19450 - 0 - 4

Penerbit :

Jurusan Fisika, FMIPA, UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Jl. Veteran, Malang 65145

Telp./Fax: 0341-575833/575834

Site: www.fisika.brawijaya.ac.id

COPYRIGHT©2009 Jurusan Fisika, FMIPA, UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Studi Komparasi Metode Ekstraksi Cair-cair dengan Metode Membran Cair Emulsi pada Pemulihan Fenol dari Air Limbah

Adhi Kusumastuti

Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
adhi_kusumastuti@staff.unnes.ac.id

Abstrak. Fenol merupakan salah satu komponen dalam air limbah yang sangat berbahaya. Disamping kerugian yang ditimbulkan, fenol merupakan senyawa yang memiliki banyak kegunaan, sehingga pemulihan fenol dari air limbah merupakan hal yang menarik. Membran cair emulsi adalah metode yang menjanjikan untuk memisahkan dan memekatkan beberapa spesi dari aliran dalam air, karena merupakan kombinasi proses ekstraksi dan stripping.

Penelitian ini dilakukan untuk perhitungan tahapan proses dan dibandingkan dengan metode ekstraksi cair-cair. Penelitian diawali dengan serangkaian percobaan untuk melihat secara langsung pengaruh kondisi operasi yaitu rasio volume air limbah dengan volume emulsi, konsentrasi awal fenol, dan kecepatan putaran pengaduk terhadap koefisien perpindahan massa fenol. Sebagai membran cair digunakan kerosene, dan sebagai pelucut digunakan NaOH 0.1 M.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa lebih dari 90% fenol dapat dipulihkan dari air limbah. Pemulihan berlangsung sangat cepat yaitu 0 hingga 60 detik yang ditunjukkan dengan penurunan nilai koefisien perpindahan massa fenol yang besar. Setelah 60 detik, konsentrasi fenol cenderung konstan bahkan naik, karena emulsi mulai rusak. Proses ini memungkinkan perolehan effluent fenol 1 ppm hanya dalam 2 tahap proses.

Kata kunci: membrane cair emulsi, ekstraksi cair-cair, fenol

1. Pendahuluan/Pengantar

Pencemaran air oleh fenol disadari menjadi isu yang penting belakangan ini. Fenol bersifat karsinogen pada tubuh manusia bahkan pada konsentrasi rendah. Fenol sangat korosif dan diserap cepat melalui kulit. Kontak luar di daerah kecil pada tubuh dapat berakibat pada kematian. Gejala pertama pada kontak luar adalah pemutihan kulit. Fenol bersifat korosif dan kontak dengan kulit akan menyebabkan kulit terbakar, collapse, hipotensi, koma, diare, mual, dan muntah.

Disamping kerugian yang ditimbulkan, fenol merupakan senyawa yang memiliki banyak kegunaan. Penggunaan utama fenol adalah pada industri resin fenolik dan plastik. Penggunaan lain meliputi pembuatan bahan peledak, pupuk, cat, karet, tekstil, bahan perekat, obat, kertas, sabun, dan bahan pengawet kayu. Fenol juga merupakan desinfektan yang efektif untuk toilet, kandang, tangki septik, dan lantai. Selain itu fenol adalah salah satu produk antiseptik yang penting (www.atsdr.cdc.gov). Berdasarkan kebutuhan tersebut, selama kurun waktu 5 tahun (1998-2002), Indonesia mengimpor fenol rata-rata 32.090 ton/tahun senilai US \$ 24,55 juta dan resin fenolik rata-rata 20.570 ton/tahun atau senilai US \$ 16,71 juta (Biro Pusat Statistik, 2002).

Penanganan fenol dalam air limbah dapat dilakukan melalui metode penghilangan (*removal*) dan pemulihan (*recovery*). Metode penghilangan fenol dari air limbah bisa dilakukan dengan proses biologi. Metode *recovery* terdiri dari adsorpsi dengan karbon aktif, ekstraksi cair/cair, dan *steam stripping*. Kelemahan adsorpsi dengan karbon adalah mudah teracuni dan susahnya pengambilan fenol dalam karbon setelah diadsorpsi. Sedangkan kelemahan proses ekstraksi cair/cair adalah tidak ekonomis untuk kadar *solute* rendah. Selain itu, ekstraksi cair/cair jarang digunakan sebagai treatment tunggal, sering digunakan dengan teknologi lain untuk memperoleh solusi optimal. Penggunaan proses ekstraksi cair/cair untuk pemulihan fenol dari air limbah selama ini telah banyak dikaji. Steam stripping membutuhkan

biaya modal yang tinggi karena berhubungan dengan fasa gas yang memerlukan penanganan lebih kompleks dibandingkan dengan padatan atau cairan.

Mengingat kelemahan metode-metode di atas, maka dikembangkan suatu metode pemulihan fenol dari air limbah yang dikenal dengan metode membran cair emulsi. Metode ini merupakan metode yang menjanjikan untuk memisahkan dan memekatkan beberapa spesi dari aliran dalam air, karena merupakan kombinasi proses ekstraksi dan *stripping*.

Berbagai penelitian mengenai pemulihan fenol dari air limbah berbantuan membran cair emulsi telah dilakukan. Pemulihan fenol dari air limbah bisa dilakukan secara batch seperti yang pernah dilakukan oleh Li (1974), Arsa (1999), dan Kawasaki (2005) maupun secara kontinyu oleh Watanabe (1995), Kataoka (1997), dan Habaki (2002). Penggunaan teknologi membran cair emulsi dalam tangki berpengaduk sudah dikaji oleh Li (1974) dan Arsa (1999). Sedangkan Watanabe (1995), Mok (1996), Kataoka (1997), Habaki (2002) dan Kawasaki (2005) memulihkan fenol dalam sebuah kolom permeasi. Berdasar umpan yang digunakan, penelitian telah dilakukan dengan umpan sintetik oleh Watanabe (1995), Kataoka (1997), dan Kawasaki (2005), dan umpan sesungguhnya oleh Li (1974), Wan (1997), Correia (2003), dan Luan (2004). Model perpindahan massa fenol telah dikaji oleh Terry (1982), Chan (1987), Park (2000), dan Lin (2002). Model lain yang telah dikaji yaitu *shrinking core* (Watanabe, 1995 dan Datta, 2003) dan *multiple layer* (Egashira, 1995 dan Habaki, 2002). Teknologi membran cair emulsi juga sering digunakan untuk memulihkan komponen logam dari air limbah (Hattu; Leon; Kralj, 1998; dan Dalea). Penelitian-penelitian yang dilakukan di atas, belum mengkaji nilai ekonomis dari keseluruhan proses pengolahan limbah dengan teknologi membran cair emulsi, khususnya pemulihan fenol dari air limbah.

2. Tinjauan Pustaka

a. Fenol

Fenol merupakan komponen dengan formula C_6H_5O . Gugus hidroksil terikat secara langsung dengan cincin aromatik. Ikatan dengan cincin aromatik berhubungan dengan sifat kimia dan reaktivitas fenol. (www.geo.utexas.edu)



Gambar 1. Struktur molekul fenol

Fenol berwujud kristal putih yang akan berubah menjadi merah atau merah muda jika terkena udara atau cahaya, sangat larut dalam sulfur dioksida cair, asam asetat, karbon tetraklorida, dan alkohol, larut dalam kloroform, ether, gliserol, petroleum, karbon disulfida, minyak yang volatile, aqueous alkali hidroxide, dan aseton. Fenol agak larut dalam minyak mineral, hampir tidak larut dalam petroleum ether. Satu gram fenol larut dalam 15 ml air dan 12 ml benzen. Fenol dapat terbakar jika terkena panas, api, oksidizer dan emits toxic fumes ketika dipanaskan (www.arb.gov)

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, kadar maksimum fenol dalam limbah adalah 0,5 – 1 mg/l. (www.menlh.go.id)

b. Teknologi Pemulihan Fenol

Proses pemulihan fenol dari air limbah dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain adsorpsi dengan karbon aktif, *liquid/liquid extraction* (LLE), dan *steam stripping*.

1) Adsorpsi karbon aktif

Adsorpsi karbon aktif (*activated carbon adsorption*) dapat digunakan untuk mengambil berbagai kontaminan dari aliran berupa cairan maupun gas. Proses ini biasa digunakan pada komponen organik, walaupun bisa juga untuk komponen anorganik. Sebagian besar proses menggunakan karbon aktif *granular* dalam reaktor kolom. Karbon dapat diperoleh dari batubara atau kayu yang telah melalui proses dehidrasi, karbonisasi sehingga menghasilkan bahan dengan adsorbansi tinggi karena luas permukaannya

luas dan jumlah pori meningkat. Keberhasilan proses adsorpsi karbon tergantung pada suhu, pH, waktu kontak, dan jumlah kolom karbon. Kapasitas proses ditentukan oleh karakteristik kontaminan dan karakteristik karbon itu sendiri. Karbon umumnya diregenerasi dengan mengeluarkan komponen teradsorpsi menggunakan kukus dan thermal. Metode ini akan menguapkan komponen organik yang telah teradsorpsi ke dalam karbon. Pemulihan fenol dengan karbon aktif sering digunakan sebagai perlakuan akhir pada proses pengolahan limbah atau bisa juga dilakukan jika konsentrasi fenol dalam limbah relatif rendah.

Riaz Qadeer (2002) melakukan pemulihan fenol dengan menggunakan karbon aktif. Karbon aktif komersial diuji sebagai adsorben untuk memulihkan fenol dari larutan *aqueous*. Kondisi optimum untuk adsorpsi maksimum yang diidentifikasi meliputi waktu pengadukan, jumlah adsorben, dan konsentrasi adsorbate. Data adsorpsi didasarkan pada persamaan Langmuir pada rentang konsentrasi yang diuji. Pemulihan fenol yang teradsorpsi dalam karbon aktif dilakukan dengan air suling, NaOH, dan larutan HCl. Berdasar percobaan dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dapat digunakan untuk memulihkan fenol dari air limbah. Fenol yang teradsorpsi dapat diambil untuk dimanfaatkan kembali di industri.

Ozkaya (2005) juga melakukan kajian mengenai pemulihan fenol dari air limbah. Dalam kajian tersebut, telah diuji potensi karbon aktif untuk adsorpsi fenol. Kinetika *batch* dan kajian isotermis dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh waktu kontak, konsentrasi awal, dan karakteristik desorpsi karbon aktif. Data kesetimbangan dalam larutan *aqueous* disajikan dengan model isotermis. Proses *recover* fenol dari karbon aktif dilakukan dengan larutan NaOH.

2) Ekstraksi cair/cair

Ekstraksi cair/cair (LLE) merupakan proses pemisahan fisika, yang memisahkan konstituen larutan melalui kontak dengan cairan lain yang tidak saling larut. Konstituen tersebut tidak akan berubah secara kimiawi. Penerapan ekstraksi cair/cair terutama dilakukan untuk mengolah fenol dari air limbah seperti pada industri pengilangan minyak, *coke-oven*, dan resin fenolik. Pelarut yang biasa digunakan antara lain benzen, toluen, *isopropyl ether*, dan *methyl isobutyl ketone*. Fenol yang telah berpindah ke fase pelarut dapat diambil lagi dengan menggunakan kostik soda.

Greninger (1988) memulihkan fenol dari air limbah dengan konsentrasi 15.800 ppm dengan kapasitas 115.000 kg/jam. Greninger membandingkan penggunaan *methyl isobutyl ketone* (MIBK) dan *diisopropyl ether* (DIPE) sebagai pelarut, dan menyimpulkan bahwa MIBK merupakan pelarut yang lebih baik karena koefisien distribusinya tinggi dan sifat fisiknya sesuai untuk *re-cover* pelarut sisa dari *raffinate* melalui *vacuum steam stripping*.

Cusack (1996) juga melakukan pemulihan fenol dari air limbah dengan ekstraksi cair/cair. Cusack membandingkan berbagai pelarut yang mungkin digunakan dan menyimpulkan bahwa MIBK merupakan pelarut yang terbaik karena koefisien distribusinya yang terbesar dengan pemakaian yang paling minimum. Berdasar koefisien distribusi dan perbandingan laju alir umpan dan pelarut, dihitung jumlah tahapan yang dibutuhkan dengan persamaan Kremser.

3) *Steam stripping*

Steam stripping merupakan suatu proses fisika dimana molekul terlarut berpindah dari cairan menuju gas atau uap yang mengalir. Gaya dorong perpindahan massa adalah gradien konsentrasi antara fasa cairan dan gas, dengan molekul terlarut yang berpindah dari cairan menuju gas hingga kesetimbangan tercapai. *Steam stripping* menggunakan kukus sebagai fasa gas. Dalam kasus ini, kesetimbangan uap-cair antara air dan komponen organik merupakan kunci hubungan kesetimbangan. Proses ini telah berhasil diterapkan untuk menghilangkan komponen organik berbahaya dari air limbah.

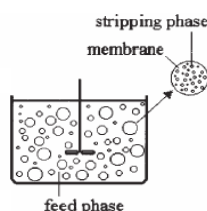
Kajian mengenai pemulihan fenol dari air limbah dengan *steam stripping* telah dilakukan oleh Minhalma (2002). Dalam kajian tersebut proses nanofiltrasi dirangkaikan dengan *steam stripping*. Mula-mula air

limbah dipecah dengan nanofiltrasi menjadi konsentrat ammonium dan ion yang mengandung aliran *solute*. Selanjutnya konsentrat tersebut dipecah lagi dalam kolom *steam stripping*.

4) Membran cair emulsi

Membran cair emulsi biasanya berupa emulsi ganda air/minyak/air. Hasil emulsi tersebut disebar dengan pengadukan perlahan dalam larutan umpan untuk memperoleh emulsi ganda. Jadi, proses perpindahan massa dipercepat dengan adanya area permukaan yang luas antara larutan umpan dan butiran emulsi.

Masalah utama yang dihadapi dalam penggunaan teknologi membran cair emulsi adalah mengenai stabilitas emulsi. Emulsi harus diformulasikan agar dapat bertahan terhadap gangguan yang ditimbulkan oleh pengadukan. Namun di sisi lain emulsi juga harus mudah dipecah untuk mengambil kembali zat terlarut serta *me-recycle* dan memformulasi ulang emulsi. Kedua faktor tersebut harus seimbang. Perbedaan tekanan osmotik juga terjadi apabila terdapat ion logam berkonsentrasi tinggi di dalam emulsi. Hal ini dapat menyebabkan air dari fase umpan melarut menuju fase internal atau biasa disebut *osmotic swelling*. *Osmotic swelling* dapat menyebabkan butiran emulsi pecah dan proses pemisahan gagal.

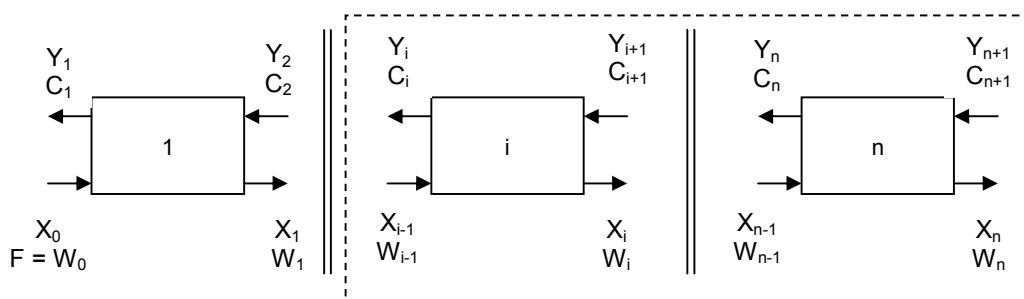


Gambar 2. Membran cair emulsi

5) Garis operasi

Gambar 3 menunjukkan *countercurrent cascade*, yang terdiri serangkaian unit/tahap yang saling berhubungan. Tahap diberi nomor sesuai dengan arah aliran umpan. Tahap terakhir merupakan fasa keluaran umpan. Persamaan garis operasi diperoleh dengan menurunkan neraca massa berdasar gambar 3, sehingga diperoleh (McCabbe, 1993):

$$\begin{aligned} Y_{n+1} \cdot C_{n+1} + W_{i-1} \cdot X_{i-1} &= W_n \cdot X_n + Y_i \cdot C_i \\ 0 + F \cdot X_{i-1} &= F \cdot X_n + Y_i \cdot C \\ F(X_{i-1} - X_n) &= Y_i \cdot C \\ Y_i &= \frac{F(X_{i-1} - X_n)}{C} \end{aligned} \quad (3)$$



Gambar 3. *Countercurrent cascade*

6) Jumlah Tahap Pemisahan

Tujuan utama perhitungan jumlah tahap teoritis adalah untuk mengevaluasi kesesuaian antara ukuran peralatan, atau jumlah *contactor* yang dibutuhkan, dan rasio laju alir umpan terhadap pelarut yang dibutuhkan untuk mencapai perpindahan massa yang diinginkan dari satu fase ke fase yang lain. Pada berbagai proses perpindahan massa, terdapat sejumlah kombinasi laju alir, jumlah tahap, dan derajat perpindahan *solute*. Hasil optimum dipilih berdasar pertimbangan ekonomis. Jumlah tahap yang dibutuhkan dapat diusahakan seminimum mungkin dengan memilih pelarut dengan rasio partisi yang

tinggi atau mengoperasikan pelarut dan umpan dengan rasio tinggi. Jumlah tahap pemisahan dapat dihitung dengan persamaan Kremser sebagai berikut :

$$N = \frac{\log \left[\left(\frac{X_f}{X_n} \right) \left(1 - \frac{1}{E} \right) + \frac{1}{E} \right]}{\log E} \quad (4)$$

dimana : N adalah jumlah tahap pemisahan; X_f adalah konsentrasi *solute* dalam umpan; X_n adalah konsentrasi *solute* dalam *raffinate*; E adalah faktor ekstraksi

3. Metode Penelitian

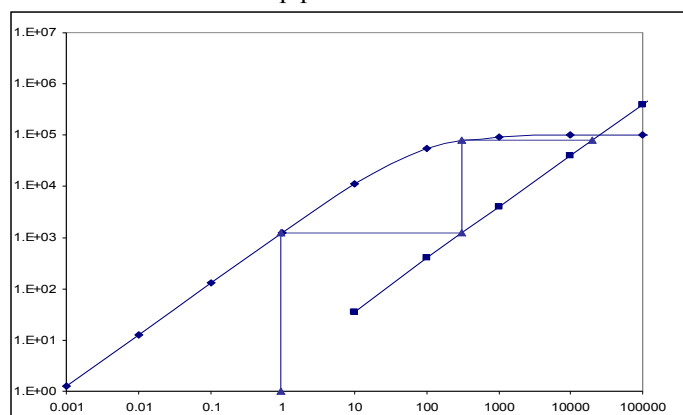
Emulsi terbuat dari NaOH 0,1 M yang dilarutkan dalam larutan membran cair dan diaduk dengan kecepatan pencampuran 1200 rpm. Rasio berat akhir NaOH terhadap larutan membran sekitar 1:1. Pemulihan fenol dilakukan dalam permeator dengan mencampurkan umpan yang mengandung kontaminan berupa fenol dengan emulsi tersebut. Konsentrasi fenol dalam umpan divariasikan dari 250 – 1000 ppm. Disperse emulsi di dalam air dipertahankan dengan pengadukan dengan variasi kecepatan 375 – 650 rpm dalam waktu 0 – 10 menit. Pengadukan dapat dihentikan sesekali, sehingga sampel umpan dapat diambil untuk pengukuran konsentrasi kontaminan. Rasio volume air limbah terhadap emulsi divariasikan antara 2 – 4. Setelah proses tersebut, dilakukan pengukuran konsentrasi fenol dalam umpan dengan menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 270 nm.

4. Hasil dan Pembahasan

Jumlah tahap pemisahan ditunjukkan dalam gambar 4. Berdasar gambar tersebut, dapat diketahui bahwa pada satu tahap proses, konsentrasi dapat berkurang dari 20.000 ppm dalam umpan menjadi mencapai 306 ppm dalam *effluent*. Proses tahap kedua menghasilkan konsentrasi fenol dalam *effluent* sebesar 1 ppm. Pada percobaan dengan konsentrasi awal fenol dalam air limbah sebanyak 20.000 ppm, dengan larutan NaOH 0,1 M sebagai pelucut, diharapkan dapat mencapai konsentrasi fenol dalam *effluent* sebesar 1 ppm. Hasil percobaan pada 1 tahap proses diperoleh konsentrasi fenol dalam *effluent* sebesar 328 ppm. Jadi, dapat dihitung efisiensi proses tersebut sebesar :

$$\begin{aligned} \text{efisiensi} &= \frac{\Delta C_{\text{experiment}}}{\Delta C_{\text{prediction}}} \times 100\% \\ &= \frac{20000 - 328}{20000 - 306} \times 100\% \\ &= 99,89\% \end{aligned}$$

Berdasar perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa proses mencapai 99,89% mendekati kesetimbangan dalam waktu yang relatif cepat yaitu 60 detik. Sehingga untuk memperoleh konsentrasi fenol 1 ppm dalam *effluent* dapat dilakukan melalui 2 tahap proses.



Gambar 4 Jumlah tahap pemisahan

Berdasar percobaan dengan masing-masing perlakuan, diperoleh beberapa rentang efisiensi proses. Pada variasi konsentrasi awal, diperoleh efisiensi sebesar 90%-94%, berarti proses mencapai 90%-94% mendekati kesetimbangan. Pada variasi kecepatan putar diperoleh efisiensi sebesar 93%-95%, berarti proses mencapai 93%-95% mendekati kesetimbangan. Sedang pada variasi rasio volume diperoleh efisiensi sebesar 89%-93%, yang menunjukkan proses mencapai 89%-93% mendekati kesetimbangan. Konsentrasi tersebut diambil pada rentang waktu 60 detik pertama, yang diasumsikan sudah mendekati kesetimbangan. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan konsentrasi yang sudah tidak signifikan, bahkan mulai terjadi peningkatan konsentrasi yang disebabkan oleh kerusakan emulsi.

Berdasar hasil percobaan menggunakan larutan NaOH 0,1 M, dengan konsentrasi awal 1.000 ppm dicapai konsentrasi keluaran 64 ppm dalam rentang waktu 1 menit. Efisiensi proses yang diperoleh sebesar 94%, menunjukkan proses mencapai 94% mendekati kesetimbangan. Sebagai perbandingan, dengan basis perhitungan yang sama, Greminger, et.al (1988) melakukan pemulihan fenol dari air limbah dengan metode LLE. Konsentrasi fenol dalam umpan sebesar 15.800 ppm. Jika diasumsikan persentase pemulihan 99,99%, maka jumlah tahap proses yang dibutuhkan dapat diperoleh sesuai dengan persamaan Kremser adalah sebanyak 5,65 atau mendekati 6 tahap proses. Hasil ini jauh lebih besar dibandingkan jumlah tahap yang dibutuhkan pada proses pemulihan fenol dengan membran cair emulsi, yaitu 2 tahap.

5. Kesimpulan

Pemulihan fenol dengan membran cair emulsi lebih efisien dibandingkan dengan ekstraksi cair/cair karena hanya membutuhkan 2 tahap proses, sedangkan dengan metode LLE membutuhkan 6 tahap proses.

6. Daftar Pustaka

- [1] NN., 2008, *Toxicological Profile For Phenol*, www.atsdr.cdc.gov
- [2] NN., 2006, *Phenol*, www.geo.utexas.edu
- [3] NN., 2006, *Phenol*, www.arb.gov
- [4] NN., 1995, *Keputusan menteri negara lingkungan hidup no 51 tahun 1995*, www.menlh.go.id
- [5] Qadeer, Riaz. (2002), *A study of the adsorption of phenol by activated carbon from aqueous solutions*, Turk J Chem, 26, 357-361.
- [6] Ozkaya, Bestamin. (2006), *Adsorption and desorption of phenol on activated carbon and a comparison of isotherm models*, Journal of Hazardous Materials, 129, 158-163.
- [7] Freeman, Harry M. (1988), *Standard handbook of hazardous waste water treatment and disposal*, New York and London, McGraw-Hill Book Company.
- [8] Cusack, Roger W. (1996), *Solve wastewater problems with liquid/liquid extraction*, Chemical Engineering Progress, 56-63.
- [9] Minhalma, Miguel. (2002), *Development of nanofiltration/steam stripping sequence for coke plant wastewater treatment*, Desalination, 149, 95-100.
- [10] Cahn, R.P. and Li, N.N. (1974), *Separation of phenol from waste water by the liquid membrane technique*, Separation Science, 9 (6), 505-519.
- [11] Draxler, J and Marr, R. (1992), *Emulsion liquid membranes for wastewater treatment*, Solvent Extraction, 37-49.
- [12] McCabe, Warren L. (1993), *Unit operations of chemical engineering*, Singapore, McGraw-Hill Book Company.
- [13] Egashira, Ryuichi. (2002), *Mass transfer rate of hydrocarbon permeation through an (o/w)/o emulsion liquid membrane in a packed column*, Journal of Chemical Engineering of Japan, 35, 94-99.