



DISTRIBUSI EFLUEN PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH PABRIK AMONIAK DENGAN MODEL MATEMATIKA

Ellina S. Pandebesie¹⁾, Renanto¹⁾, J.C. Liu²⁾ dan Tri Widjaja¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia, ITS, Indonesia

²⁾ Department of Chemical Engineering, NTUST, Taiwan
email: ellina@its.ac.id

Abstrak

Peraturan pembuangan air limbah ke badan air di Indonesia semakin diperketat. Untuk mencapai baku mutu yang disyaratkan, industri harus meningkatkan kinerja unit pengolahannya yang berarti menaikkan biaya operasi pengolahan air limbahnya. Semakin besar kapasitas pengolahan semakin besar pula biaya operasi yang harus dikeluarkan. Padahal, mungkin saja, salah satu aliran air limbah, karena konsentrasi kontaminan atau kapasitasnya rendah, dapat dibuang langsung, kemudian dicampurkan kembali dengan efluen hasil pengolahan dan konsentrasi campurannya masih memenuhi baku mutu. Jika hal ini dapat dicapai, maka kapasitas pengolahan dapat diminimasi sebesar kapasitas yang dapat dibuang langsung.

Penelitian ini menyajikan aplikasi model matematik untuk menganalisis kapasitas pengolahan air limbah minimum dengan cara pendistribusian aliran air limbah, aliran mana yang harus diolah dan aliran mana yang langsung dapat dibuang ke badan air. NLP diaplikasikan untuk menganalisis satu kontaminan dominan yang terkandung dalam air limbah dan satu unit pengolahan dengan menggunakan Program Lingo.

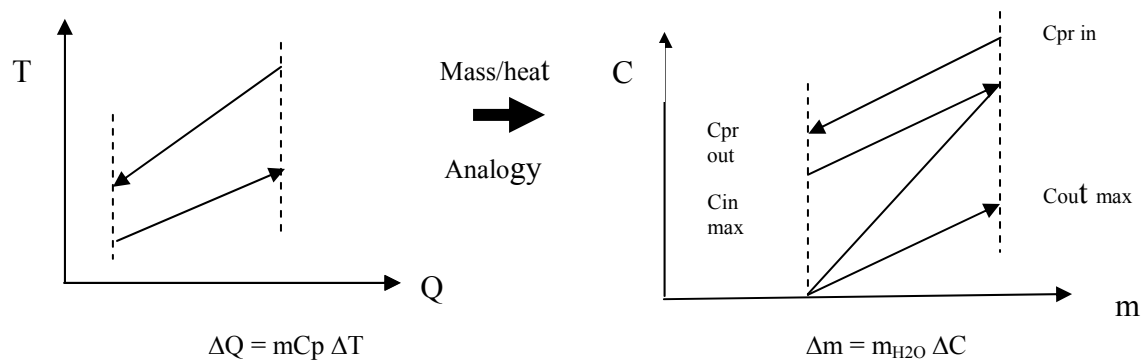
Hasil penelitian satu unit pengolahan dengan efisiensi removal 0,8 dapat meminimisasi kapasitas pengolahan dari 52 ton/jam menjadi 47,9 ton/jam atau reduksi sebesar 9%. Hasil ini hanya sedikit memperbaiki perhitungan yang dilakukan dengan metoda water pinch, di mana reduksi yang dihasilkan sebesar 5,5%. Efluen hasil pengolahan dicampur kembali dengan aliran air limbah yang dibypass, dapat dibuang ke badan air karena sudah memenuhi baku mutu pembuangan air limbah.

Kata kunci: distribusi air limbah, minimasi, optimasi, pengolahan air limbah

PENDAHULUAN

Sintesa amoniak secara pabrikasi, di samping membutuhkan air baku dalam prosesnya, juga menghasilkan limbah cair, dari buangan proses yang menghasilkan berbagai kualitas air limbah, kebocoran-kebocoran yang terjadi *cooling tower* dan *boiler*. Air limbah dari sintesa amoniak yang terbuang ke dalam badan air mengandung bahan-bahan; amoniak, methanol, seng dan mangan (NPI, 1999). Pada pengolahan limbah secara konvensional, seluruh air limbah dari berbagai sumber tersebut dialirkan ke sumur pengumpul. Dari sumur pengumpul dialirkan ke bak ekualisasi, kemudian dipompakan secara kontinyu ke unit pengolahan yang telah ditentukan. Sistem ini harus menyediakan kapasitas pengolahan setiap unit cukup untuk kapasitas disain total dari seluruh sumber air limbah. Padahal, bisa jadi suatu sumber air limbah tidak perlu diolah di suatu unit pengolahan tertentu, karena kandungan parameter pencemarnya memang tidak bisa diolah secara efektif di unit pengolahan tersebut. Artinya, untuk sumber air limbah tersebut dapat dibypass langsung menuju unit pengolahan selanjutnya. Atau bisa jadi konsentrasi suatu sumber sangat rendah, sehingga tidak perlu melalui suatu unit pengolahan, tapi setelah dicampurkan kembali dengan air limbah dari sumber-sumber lain, kandungan pencemarnya memenuhi baku mutu yang berlaku.

Pada tahun 1994 Wang dan Smith mengembangkan metoda untuk mengoptimalkan pemakaian air kembali/*reuse* berdasarkan analogi *mass/heat pinch analysis* yang dikembangkan telah dikembangkan oleh Linhoff sejak tahun 1987, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pendekatan yang digunakannya adalah teknologi *pinch*. Pada tahun 1996 Dhole et. al. mempopulerkan metoda ini dengan sebutan *water pinch* (Bagajewicz, 2000). *Water Pinch analysis* (WPA) dapat ditujukan untuk kontaminan tunggal maupun multi kontaminan dan termasuk kemungkinan untuk penggunaan air limbah kembali, dan pendekatan regenerasi dan penggunaan kembali, serta regenerasi dan *recycle*. Tujuannya untuk menetapkan target air limbah minimum yang harus masuk ke suatu unit pengolahan, agar minimasi kapasitas pengolahan air limbah minimal dapat tercapai (Ujang, Wong dan Manan, 2002).



$$\Delta Q = mC_p \Delta T$$

$$\Delta m = m_{H_2O} \Delta C$$

Gambar 2: Analogi *mass/heat pinch analysis* dengan *water pinch Analysis*

Sumber: Wang dan Smith (1994)

Keterangan gambar:

- ΔQ = laju aliran energi/panas (MW)
- mC_p = Heat capacity flowrate (MW/K)
- ΔT = beda suhu ($^{\circ}C$)
- ΔC = beda konsentrasi (ppm)
- Δm (mc) = mass pickup of contaminant (g/jam)
- m_{H_2O} = flowrate (ton/jam)

Karena kapasitas pengolahan sangat berpengaruh pada biaya investasi, operasi dan pemeliharaan, maka metodologi yang dikembangkan pada umumnya, bagaimana cara meminimasi kapasitas efluen yang harus diolah (Kuo dan Smith, 2000).

Pada tahun 1998 metoda untuk meminimasi air proses dan air limbah industri dikembangkan dengan mengintegrasikan pendekatan *water pinch* dan superstruktur dengan model matematik. Pendekatan yang dilakukan mencakup kemungkinan untuk *reuse*, *regeneration*, *recycling* dan *sequence* pengolahannya. Hasil penelitian mendapat solusi bahwa penggunaan nonconvex MINLP dapat diterapkan untuk mengoptimasi persoalan tersebut (Alva-Argaez, 1998). Huang, Yang dan Lou (2000) menggunakan pendekatan NLP untuk sintesa integrasi jaringan pemakaian air dan pengolahan limbah. Model yang dikembangkan Huang ini dapat menyelesaikan metoda *water pinch* yang diintegrasikan dengan pendekatan matematik.

Ujang, Wong dan Manan (2002), melakukan penelitian untuk meminimasi kebutuhan air industri dengan menggunakan metoda *Water Pinch Analysis*. Studi ini menunjukkan bahwa pendekatan regenerasi dan reuse dapat efektif meminimumkan konsumsi air baku dan memaksimalkan pemakaian kembali air limbah sebesar 50%. Suarez et al. (2004) mengembangkan metoda superstruktur distribusi pengolahan air limbah dengan pendekatan matematik yaitu optimasi global. Hasilnya menunjukkan pendekatan ini sangat robust dan bermanfaat dalam perancangan jaringan. Karuppiah dan Grossmann (2005) mengaplikasikan model matematik untuk distribusi air limbah di mana seluruh alternatif aliran air limbah turut dipertimbangkan. Objektif optimasi di sini adalah untuk meminimasi jumlah air limbah yang masuk ke dalam kedua unit pengolahan, yang berarti meminimasi kapasitas pengolahan air limbah. Gambar 5 menunjukkan superstruktur jaringan yang telah dioptimasi.

Tujuan penelitian ini adalah mengoptimasi struktur jaringan pendistribusian air limbah pada instalasi pengolahan air limbah. Batasan yang dibuat dalam penelitian ini adalah pendistribusian air limbah dengan satu parameter pencemar dan satu unit pengolahan.

2 METODA PELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan data sekunder maupun data primer. Seluruh data yang diperlukan antara lain, *flowrate* masing-masing sumber air limbah, konsentrasi parameter pencemar di mana dalam penelitian ini ditentukan COD, unit pengolahan dan efisiensi *removal* unit pengolahan. Identifikasi konstrain dilakukan untuk semua unit pengolahan dan konsentrasi maksimum yang diijinkan dibuang ke badan air akan memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Pada penelitian ini, baku mutu efluen ditetapkan 50 ppm. Karakteristik air limbah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Karakteristik air limbah

Aliran	Cin (ppm)	Cout (ppm)	Flowrates (ton/jam)
1	400	50	10
2	250	50	5
3	210	50	10
4	180	50	12
5	120	50	5
6	100	50	10

Sumber : Hasil Pengamatan, 2007

2.2 Optimasi superstruktur distribusi air limbah.

Superstruktur adalah salah satu metoda optimasi di mana seluruh alternatif rancangan struktur ikut dipertimbangkan, seperti yang dapat dilihat pada gambar 5. Model matematika Non Linier Program (NLP) diaplikasikan dengan menggunakan Program Lingo. Untuk permasalahan dengan beberapa sumber efluen dan satu parameter pencemar dan satu unit pengolahan, maka salah satu model matematika yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

Perumusan Masalah:

Aliran air limbah:

$$i \in I \rightarrow S_i \tag{1}$$

Kontaminan yang terkandung dalam air limbah:

$$j \in J \rightarrow C_{i,j} \quad j \in J \tag{2}$$

Jumlah Unit Pengolahan:

$$k \in K \rightarrow R_{j,k} \quad j \in J \quad k \in K \tag{3}$$

Konsentrasi efluen harus memenuhi baku mutu:

$$C_{j,e} \leq C_{j,e}^U \quad j \in J \tag{4}$$

Batasan untuk laju alir:

$$t_k^L \leq t_k \leq t_k^U \tag{5}$$

Maksimum konsentrasi inlet dan outlet unit pengolahan:

$$C_{in,j,k} \leq C_{in,j,k}^U \quad C_{out,j,k} \leq C_{out,j,k}^U \tag{6}$$

Maksimum konsentrasi sesuai baku mutu:

$$C_{e,k} \leq C_{e,k}^T \tag{7}$$

Objective Function: Min = t

$$t = F_{11} + F_{21} + F_{31} + F_{41} + F_{51} + F_{61} \tag{8}$$

Material balance untuk kontaminan:

$$\sum f_i = t \tag{9}$$

$$f_i + f_{i,e} = S_i \quad i \in I \tag{10}$$

$$\sum_{i \in I} f_{i,e} + t = F_e \tag{11}$$

$$0 \leq f_i, f_{i,e} \leq S_i \quad i \in I \tag{12}$$

$$0 \leq t \leq F_e \tag{13}$$

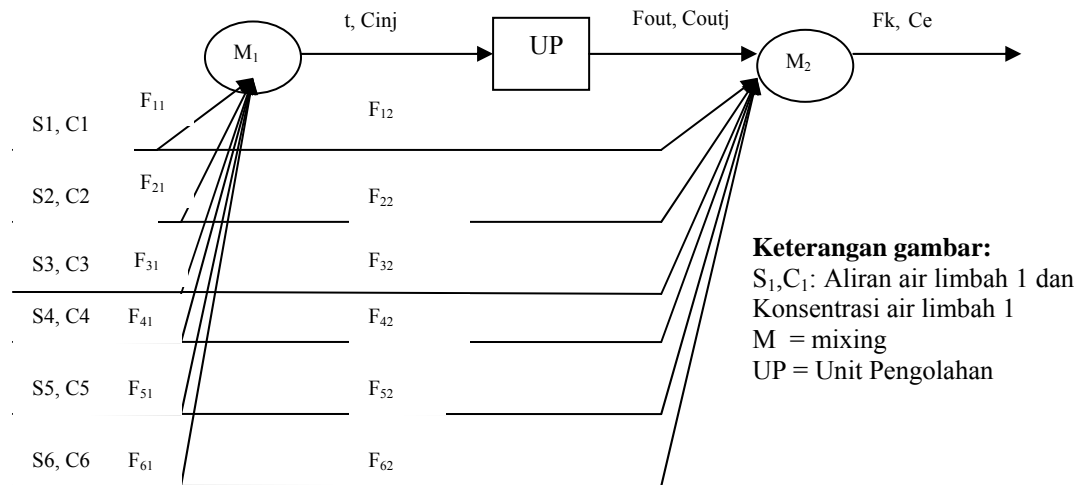
$$F_e = \sum S_i \tag{14}$$

$$\sum_{i \in I} f_i C_{i,j} = t \text{ cin}_j \quad j \in J \tag{15}$$

$$t \text{ cout}_j = t \text{ cin}_j (1 - R_j) \quad j \in J \tag{16}$$

$$\sum_{i \in I} f_{i,e} C_{i,j} + t \text{ cout}_j = F_k C_{j,e} \quad j \in J \tag{17}$$

$$\sum_{i \in I} f_{i,e} C_{i,j} + t \text{ cin}_j (1 - R_j) = F_k C_{j,e} \quad j \in J \tag{18}$$

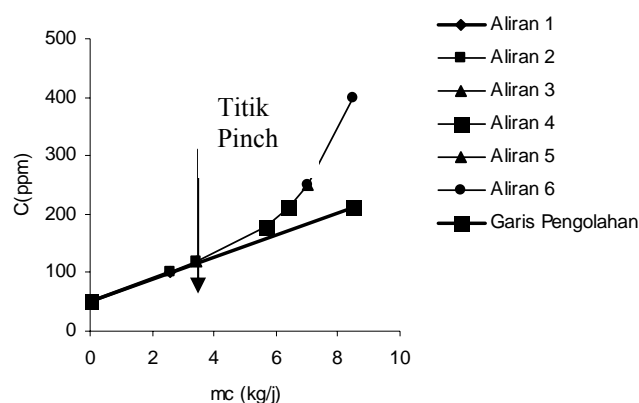


Gambar 5: Aliran Pengolahan Air Limbah Satu Kontaminan dan Satu Unit Pengolahan

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Satu Kontaminan dan Satu Unit Pengolahan dengan Metoda Water Pinch

Pada penelitian terdahulu (Pandebesie, Renanto dan Tri Widjaja, 2007), telah dilakukan penentuan *flowrate* minimum pengolahan air limbah dengan metoda *water pinch*. Pada metoda tersebut digunakan strategi, seluruh aliran air limbah yang konsentrasinya di atas titik pinch dialirkan masuk ke unit pengolahan dan aliran air limbah yang konsentrasinya sama dengan titik pinch sebagian diolah dan sebagian dapat dibypass, sedangkan aliran air limbah yang konsentrasinya di bawah titik pinch dapat langsung dibypass (Kuo dan Smith, 1998). Kurva komposit dibentuk dari kurva aliran individual masing-masing aliran air limbah, di mana jika terbentuk titik pinch, maka titik pinch merupakan titik terendah dari konfak yang terbentuk. Jika ditarik garis singgung melalui titik pinch, maka daerah kapasitas pengolahan yang *feasible* adalah seluruh area di bawah garis singgung tersebut. Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya titik pinch seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 dan hasil perhitungan menunjukkan *flowrate* pengolahan dapat direduksi, yang berarti juga mereduksi kapasitas pengolahan..



Gambar 6: Kurva Komposit Pengolahan Air Limbah

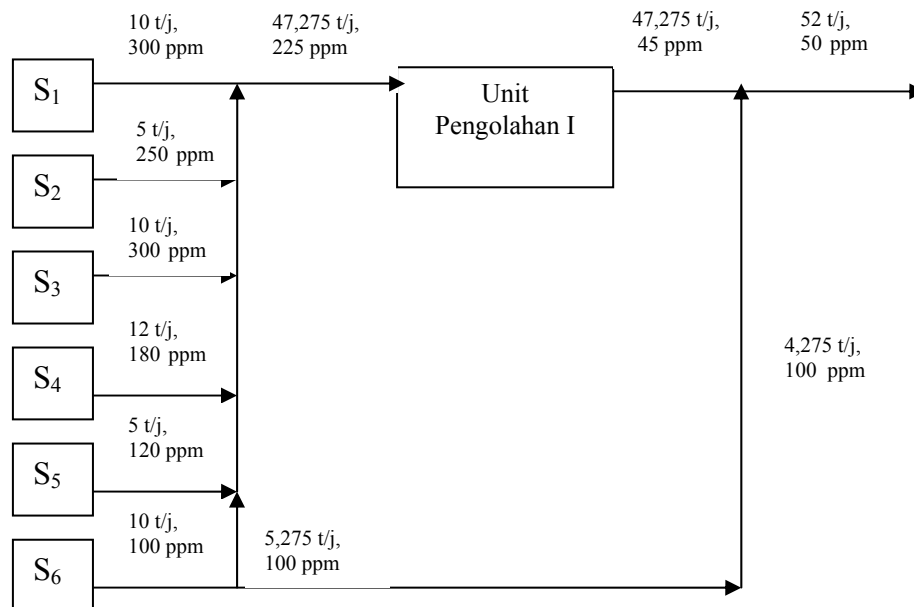
Dari Gambar 6 dapat dilihat titik pinch berada pada mc sebesar 3,44 kg/jam dan konsentrasi sebesar 120 ppm. Hasil perhitungan diperoleh kapasitas pengolahan 49,1 ton/jam, atau reduksi sebesar 5,5%.

Hasil perhitungan menunjukkan konsentrasi masuk unit pengolahan sebesar 220,36 ppm, konsentrasi ke luar dengan efisiensi pengolahan sebesar 0,8 menjadi 44,07 ppm. Setelah dicampurkan kembali dengan aliran yang dibypass, maka konsentrasi efluen yang dibuang ke badan air menjadi sebesar 47,19 ppm. Pada analisis *water pinch* diperlukan empat langkah untuk menyelesaikan masalah distribusi air

limbah: (1) Pentargetan: pada langkah ini dilakukan perhitungan minimum laju alir air limbah yang masuk ke unit pengolahan. Pada masalah di atas, diperoleh nilai 49,1 ton/jam. (2) Perancangan sub jaringan, di mana jika kontaminan lebih dari satu, maka dilakukan pentargetan untuk masing-masing kontaminan. Kemudian dipilih kapasitas terbesar, agar besar penyisihan yang dirancang untuk setiap kontaminan dapat tercapai. (3) pemilihan sub jaringan, dipilih sub jaringan yang menghasilkan kehilangan energi yang terkecil yang sehubungan dengan pencampuran, kemudian dimasukkan ke dalam rancangan jaringan secara keseluruhan. (4) Pentargetan kembali, dilakukan perhitungan kembali untuk rancangan jaringan yang telah dipilih.

3.2 Satu Kontaminan dan Satu Unit Pengolahan dengan Optimasi Model Matematika

Pada optimasi superstruktur diasumsikan tidak ada kehilangan air selama proses pengolahan air limbah. Optimasi superstruktur menunjukkan hasil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7. Kapasitas pengolahan dapat direduksi menjadi 47,275 ton/jam atau reduksi sebesar 9%. Hasil optimasi menunjukkan konsentrasi masuk unit pengolahan sebesar 225 ppm, konsentrasi ke luar dengan efisiensi pengolahan sebesar 0,8 menjadi 45 ppm. Setelah dicampurkan kembali dengan aliran yang dibypass, maka konsentrasi efluen yang dibuang ke badan air menjadi sebesar 50 ppm. Perbedaan hasil ini karena pada metoda grafis sulit untuk memasukkan nilai batasannya. Sebagai contoh, pada optimasi model matematika dapat dimasukkan nilai batasan untuk konsentrasi efluen yang akan dibuang ke badan air sesuai dengan batasan yang diijinkan. Keuntungan aplikasi model matematik, hasil yang diperoleh langsung memperoleh struktur distribusi air limbah. Pada metoda *water pinch*, setelah penentuan kapasitas minimum, masih harus dilakukan optimasi superstruktur untuk distribusi air limbahnya.



Gambar 7: Rancangan Struktur Untuk Mencapai Kapasitas Pengolahan Minimum

KESIMPULAN

Aplikasi model matematika yang dibuat dengan menggunakan Lingo, menghasilkan reduksi kapasitas pengolahan efluen lebih besar 3,5% dari hasil perhitungan dengan metoda *water pinch*. Namun demikian aplikasi model matematika memerlukan langkah dan waktu yang lebih singkat dan lebih tepat dibandingkan dengan penggunaan metoda *water pinch*.

Aplikasi model matematika Non Linier Program dalam penelitian ini memberikan hasil lokal optimum, sehingga perlu dicari metoda matematika yang dapat menghasilkan global optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada DIKTI Departemen Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini dengan No. Kontrak: 037/SP2H/PP/DP2M/2007, tanggal 29 Maret 2007.



DAFTAR PUSTAKA

- Alva-Argaez, A. (2004). “Process Integration: A system approach to optimal water management”, Natural Resources Canada
- Bagajewicz, M. and Savelski, M. (2001). “On The Use Of Linear Models For The Design of Water Utilization Systems In Process Plants With A Single Contaminant”, *Trans. IChemE*, Vol. 79, hal. 600-610.
- Bagajewicz M J, Koppol , A. P.R., Dericks , B. J. dan Savelski, M. J., (2005). “On zero water discharge solutions in the process industry”, *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 29, hal. 1631–1646
- Huang, Y.L., Yang, Y.H., dan Lou, H.H., (2000). “Synthesis of An Optimal Wastewater Reuse Network”, *Waste Management*, Vol. 20, hal. 311-319
- Karrupiah, R dan Grossman, I.E. (2005). “Global Optimization For The Synthesis Of Integrated Water System In Chemical Processes”, Department of Chemical Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213.
- Kuo, W.C.J dan Smith, R. (1997). “Effluent Treatment System Design”, *Chemical Engineering Science*, Vol. 52, hal. 4273-4290
- Huang, Y. L, Zhou, Q dan Lou, H.H. (2001). “Design of a Switchable Water Allocation Network Based on Process Dynamics”, *Ind.Eng. Chem.Res*, Vol. 40, hal. 4866-4873
- National Pollutant Inventory (NPI) (1999). “Emission Estimation Technique Manual for Synthetic Ammonia Manufacturing”, Queensland Departement of Environment and Heritage
- Pandebesie E.S., Renanto dan Tri Widjaya (2007). “Penentuan Kapasitas Air Limbah Minimum dengan Metoda *Water Pinch Analysis*”, *Proseeding Seminar Nasional Teknik Lingkungan, 21 Juni Jakarta 2007*
- Suarez, R. H, J.C. Fernandez, dan J.M. Zamora (2004). “Superstructure Decomposition and Parametric Optimization Approach For The Synthesis Of Distributed Wastewater Treatment Networks”,
- Smith, R. (2005). “Chemical Process Design And Integration”, McGraw-Hill, Inc, New York, Ch.26.
- Ujang, Z., C.L Wong dan Z.A. Manan, (2002). “Industrial wastewater minimization using water pinch analysis: a case study on an old textile plant”, *Water Science and Technology*, **46**, hal. 77-84
- Wang Y.P. dan Smith R. (1994). ”Design of Distributed Effluent Treatment System”, *Chem. Eng. Sci.*, 49 (18), hal. 3127-3145