ISBN: 979 - 96137 - 1 - X

2002

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL "KEJUANGAN" TEKNIK KIMIA 2002

Pengembangan Teknologi Pengelolaan Sumber Daya Alam Indonesia

29 - 30 Januari 2002

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"

C-16. Kesetimbangan Adsorbsi Surfaktan ABS pada *Artificial Reservoir Core* Jenis Batuan Pasir
I Gusti S Budiaman, Bardi Murachman, Estiko Ari Wibowo, Jurusan Teknik Kimia , FT, UGM, Yogyakarta

C-17. Modifikasi Tungku Bak Terbuka Sebagai Upaya Meningkatkan Suhu Bakar dan Efisiensi Panas
Tjukup Marnoto, Gogot Haryono, Jurusan Teknik Kimia FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta

C-18. Pesawat Pengering Serba Guna dengan Pompa Kalor
Tjukup Marnoto, Christyadi, Suprapto, Jurusan Teknik Kimia FTI , UPN "Veteran" Yogyakarta, Program Studi Teknik Elektro, UNY, Yogyakarta**

C-19 Desorption Phenomena in Solid-Liquid System Using Solar Energy
Ramli Sitanggang, Supranto, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri , UPN "Veteran" Yogyakarta

C-20 Phenomena Distilasi Campuran Biner Menggunakan Energi Solar
Ramli Sitanggang, Wasir Nuri, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri , UPN "Veteran" Yogyakarta

C-21 Phenomena Pembersihan Udara di Bawah Suhu Kamar dalam Fixed Bed
Ramli Sitanggang, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri , UPN "Veteran" Yogyakarta

C-22. Pengaruh Tinggi Bed, Ukuran Mesh dan Draining Time Terhadap Solution Holdup pada Ekstraksi Minyak kedelai
Muharto, Sulung Cayadi, Magdalena Kristiawan, Jur. Teknik Kimia , ITS, Surabaya

C-23. Kajian Terhadap Dua Kelompok Metode Perhitungan Kinerja Bejana Penguapan Quadruple Efek Standar Di Industri Gula
Bambang Eddy Santoso, Sunantyo, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, Pasuruan

C-24. Perhitungan dalam Bejana Penguapan Quadruple Efek : Penyadapan Penuh, Kebutuhan Uap Pemanas, Luas Permukaan Pemanas dan Ekonomi Uap
Bambang Eddy Santoso dan Sunantyo, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, Pasuruan

D. TEKNOLOGI PENGELOLAAN DAN PRODUK BERWAWASAN LINGKUNGAN

D-01. Penanggulangan Gulma Air Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart.)Solms) Untuk Produksi Biogas
Sriharti, UPT Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna, Subang

D-02. Pengolahan Limbah Minyak Goreng Bekas Menjadi Gliserol dan Minyak Diesel Melalui Proses Trans-Esterifikasi
Moh. Djaeni, Fifi Krishartanti, Ratna Linawati dan Imamul Hakim, Jurusan Teknik kimia, Fakultas Teknik, UNDIP, Semarang

D-03. *Recovery* Pati Terlarut dari Limbah Cair Industri Tapioka dengan Reverse Osmosis
H. Susanto, Budiyono dan I N. Widiasa, Jurusan Teknik Kimia UNDIP, Semarang

D-04. Pengujian Penyulingan Nilam dengan Kapasitas Ketel Bahan 200 kg
Halomoan P. Siregar, Takiyah Salim, UPT-Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna-LIPI, Subang

Prosiding Seminar Nasional "Kejuangan" Teknik Kimia
Pengembangan Teknologi Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia
Yogyakarta, 29-30 Januari 2002
ISBN 979-96137-1-X

PHENOMENA DISTILASI CAMPURAN BINER MENGGUNAKAN ENERGI SOLAR

Ramli Sitanggang[1], Wasir Nuri[2]
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri
UPN "Veteran" Yogyakarta

Abstrak

Pemisahan cara distilasi baik larutan ideal maupun tidak ideal dari campuran biner sangat banyak diketemukan dan sudah ada ribuan dilaporkan termasuk campuran biner azeotrope. Dasar pemilihannya sangat tergantung dari beban biaya panas pemisahan yang diperlukan dan sifat fisis serta kimia larutan.

Dalam peper ini ditinjau suatu penomena pemisahan larutan ideal campuran biner menggunakan energi solar. Dalam penomena, pemisahan capuran biner terjadi dengan cara olakan natural. Bila larutan biner berada pada dua kawasan suhu yang berbeda maka komponen campuran akan mengalir dari kawasan suhu yang rendah kepada kawasan suhu yang lebih tinggi karena difusiviti dan mobilitas masing komponen meningkat dan memiliki flux massa yang berbeda.

Dari analisis phenomena, karakter hubungan peubah fraksi fasa uap dan cair pada distilasi menggunakan tenaga sinaran suria sesuai dengan persamaan (10) dan nilai koefisien pemisahan k_{X1}, k_{X2}, k_2 dan k_4 dapat diperoleh dari pada persamaan (13) dan (14).

Pengenalan

Teknologi pemisahan adalah salah satu teknologi yang banyak digunakan pada industri kimia untuk menghasilkan bahan kimia murni yang akan digunakan untuk bahan analisis dan proses kimia. Berkaitan dengan itu penyelidik berusaha meneliti berbagai bentuk pemisahan yang diperkirakan ekonomis dan dapat dipraktekkan untuk menghasilkan bahan tersebut. Setiap bentuk pemisahaan mempunyai biaya operasi dan biaya pemasangan alat yang berbeda yang sangat tergantung pada jumlah dan jenis sumber tenaga. Apabila teknologi hemat tenaga dan desainnya sederhana juga menghasilkan bahan yang sesuai dengan keperluan maka teknologi tersebut dapat berkompetisi dipasaran.

Sampai saat ini sumber tenaga yang digunakan dalam pemisahan komponen campuran biner cara distilasi adalah stim yang memerlukan bahan bakar fosil dan batubara. Akan tetapi bahan bakar ini tidak terbaharukan dan mahal, tidak sehat bagi generasi yang akan datang. Oleh sebab itu perlu dipikirkan sumber tenaga alternatif untuk generasi yang akan datang. Alternatif yang murah, mudah diperolehi dimana-mana dan tidak habis sepanjang masa adalah tenaga sinaran suria (Shary *et al*, 2000) dan sudah banyak dilaporkan bahwa tenaga sinar surya ini dapat diterima karena hemat tenaga. Sebagai contoh hemat tenaga adalah distilasi sinaran surya yang langsung menimpa permukaan air garam (Yeh's,1999) selain itu, pemanas air yang mana sinaran surya menimpa plat hitam sebagai penukar (Midlemen,1998). Dalam penyelidikan ini dikaji cara sinaran surya menimpa langsung bahan penukar panas yaitu partikel yang kemudian menaikkan suhu fluida dalam rongga partikel dan menghasilkan pemisahan campuran biner.

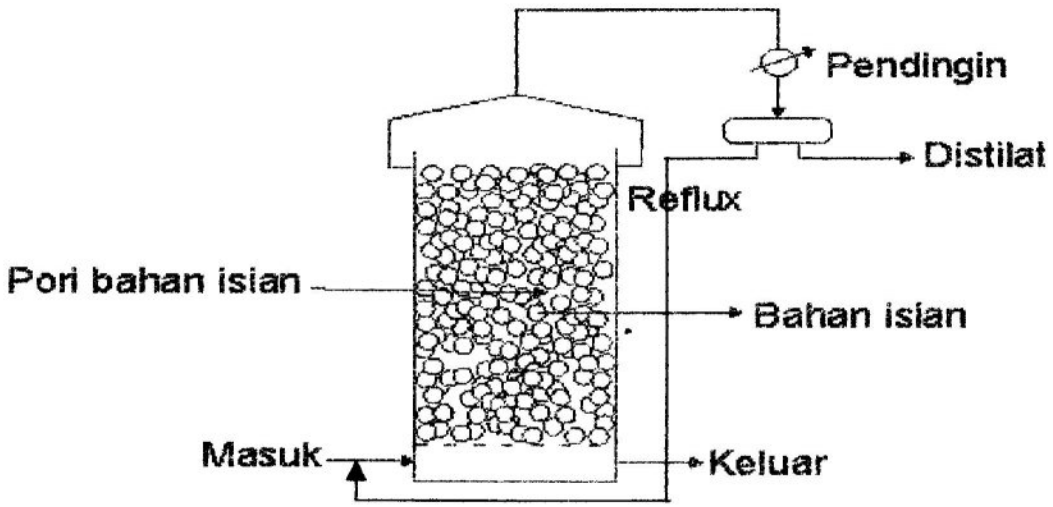
Ditinjau dari perpindahan massa suatu campuran biner, jika memiliki tekanan keseluruhan lebih besar dibanding dari tekanan ideal atau tekanan parsial lebih besar dari tekanan idealnya maka menurut kaedah Roult dapat dipisahkan dengan cara destilasi (Treybal"s,1980). Akan tetapi jika tekanan uap masing-masing massa campuran berdekatan maka larutan adalah ideal yang memiliki titik didih azeotrope yang sulit dipisahkan dengan cara distilasi (Smith,1996). Dalam industri kondisi larutan ideal yang demikian ini sangat banyak diketemukan dan sudah ada ribuan dilaporkan. Walau demikian ada beberapa campuran biner azeotrope yang masih dapat dipisah dengan beberapa cara yaitu mengubah tekanan pada suhu sama, ekstraksi-distilasi, menambahkan bahan-bahan pemecah titik azeotrope (Treybal,1980). Akan tetapi hal yang demikian ini memerlukan alat yang khusus dan biaya operasinya tinggi. Dalam penyelidikan ini dikemukakan suatu penomena pemisahan capuran biner dengan cara olakan natural. Bilamana massa

campuran biner berada pada dua kawasan suhu yang berbeda maka setiap komponen akan mengalir dari kawasan suhu yang rendah kepada kawasan suhu yang lebih tinggi (Midlemen,1998) karana difusiviti dan mobilitinya naik dan masing komponen memiliki flux yang berbeda (Sridhar,1983). Penomena ini yang menjadi dasar pikiran pemisahan campuran biner pada suhu remdah.

Adapun tujuan penyelidikan ini adalah untuk merumuskan persamaan hubungan peubah fraksi fasa uap dan cair dalam distilasi menggunakan tenaga sinaran surya. Sementara manfaat penyelidikan ini pada teknologi distilasi yang akan datang adalah metode ini dapat dikembangkan untuk teknologi alternatif pemisahaan campuran biner, multi komponen untuk membuat bahan-bahan murni yang sapai sekarang ini masih banyak diimport.

Distilasi

Bentuk alat ditunjukkan gambar 1. Bahan isian distilasi bentuk partikel yang memiliki porositas. Partikel menukar tenaga sinaran surya menjadi panas dan panas merambat kecampuran biner yang akan dipisahkan. Bagian atas distilasi ditutup dengan kaca tembus cahaya atau benda hitam sementara pada bagian bawah distilasi disediakan ruangan masuk campuran biner. Distilasi diperlengkapi dengan pendingin untuk mengembunkan uap dari distilasi menjadi distilat dan reflux ke dalam distilasi.



Gambar 1. Skema Distilasi

Dalam gambar 1, mekanisme pemisahan komponen campuran biner adalah sinaran surya menimpa benda padat dan berubah menjadi panas. Panas akan mengalir dari bagian atas menuju bagian yang lebih dingin. Sementara sebagian dari fluida yang masuk dari bagian bawah distilasi masuk kerongga partikel menuju bagian atas dan yang sebagian lagi keluar sebagai residu dari bahagian bawah. Ketika fluida campuran biner mengalir diantara rongga partikel, beda suhu bagian atas dan bagian bawah akan menyebabkan difusiviti dan olakan setiap komponen meningkat dan berbeda satu dengan yang lain. Beda ini, akan mengakibatkan perbedaan flux masing-masim komponen campuran biner menuju ke arah fasa uap dan kemudian dimbunkan.

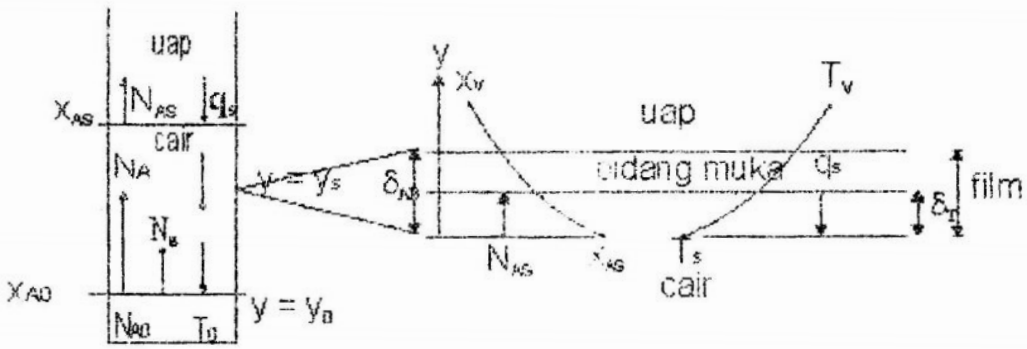
Pembahasan

Diperkirakan perpindahan massa komponen distilasi yang ditunjukkan gambar 1 seperti pada gambar 2 yang mana sebelah kiri untuk perpindahan massa pada fasa cair dan sebelah kanan perpindahan massa pada film dan uap.

Untuk menentukan persamaan keadaan distilasi pada gambar 1, diperlukan lima langkah yaitu penentuan flux massa A pada kawasan fasa cair, penentuan flux massa pada lapisan film, penentuan

hubungan A dalam uap dengan A dalam fasa cair, penentuan distribusi pada fasa cair dan fasa uap selanjutnya penentuan nilai-nilai koefisien. Seluruh langkah dianalisis berdasarkan gambar 2 yang mana sebelah kiri untuk menganalisis perpindahan massa pada fasa cair sementara sebelah kanan menganalisis perpindahan massa pada film dan uap.

Andaikan campuran biner itu adalah A dan B, yang mengalir menuju arah vertikal maka flux massa setiap komponen dalam campuran akan beda seperti yang ditunjukkan gambar 2 sebela kiri



Gambar 2. Skema Perpindahan Massa

Andaikan diketahui flux masing-masing komponen adalah N_A dan N_B yang dipengaruhi oleh difusiviti dan olakan molekul dan apabila jaraknya y maka flux A menurut kaidah Ficks seperti pada persamaan (1)

$$N_A = -cD_A \frac{dx_A}{dy} + x_A(N_A + N_B) \quad \text{.....(1)}$$

Dalam volume elemen, flux N_A dipandang berbanding lurus terhadap N_B sehingga $N_B = k_1 N_A$ dan $k_2 = 1 + k_1$. Jika aliran A menuju arah kawasan atas pada keadaan mantap, maka neraca bagian A pada elemen seperti persamaan (2).

$$\frac{d}{dy}\left(-(1-\varepsilon_A)\frac{cD_A}{1-k_2x_A}\frac{dx_A}{dy}\right) = 0 \quad \text{.....(2)}$$

bagian isi partikel dianggap sama dengan bagian luas muka partikel sehingga difusiviti efektif adalah $1 - \varepsilon_A = D_{eff}$ dan oleh sebab itu persamaan flux A pada fasa cair seperti pada persamaan (3).

$$N_A = \frac{D_{eff}}{k_2 y}\ln\left(\frac{1-k_2x_{AS}}{1-k_2x_{A0}}\right) \quad \text{.....(3)}$$

dalam pendekatan ini, koefisien perpindahan massa A yaitu k_x dianggap sama dengan $\frac{D_{eff}}{y}$ sehingga flux massa A sama seperti persamaan (4)

$$N_A = \frac{k_{x1}}{k_2}\ln\left(\frac{1-k_2x_{AS}}{1-k_2x_{A0}}\right) \quad \text{.....(4)}$$

Selanjutnya massa A dalam film seperti pada gambar 2 sebelah kanan, andaikan flux A adalah N_{AS} kemudian $N_{AS} = k_3 N_{BS}$ dimanan $k_4 = k_3 + 1$ dengan analisis yang sama seperti persamaan (2) maka berdasarkan kaedah Ficks flux A dalam lapisan film sebagai seperti persamaan (5)

$$N_{AS} = -\frac{cD_{AB}}{1-k_4 x_{AS}} \frac{dx_{AS}}{dy} \quad \text{.....(5)}$$

flux A ini dalam praktek pada keadaan berterusan sehingga neraca A pada elemen lapisan film adalah persamaan (6)

$$\frac{d}{dy}(N_{AS}) = 0 \quad \text{.....(6)}$$

Selanjutnya bilamana persamaan (6) diselesaikan dengan cara integral dan disebut koefisien perpindahaan A pada elemen sama dengan difusi A pada lapisan film maka koefisien perpindahan massa $k_X^0 = \frac{cD_{AB}}{\delta_{AB}}$ dengan demikian ini dari persamaan (5) dan (6) flux A pada lapisan film sebagai berikut :

$$N_{AS} = \frac{k_x^0}{k_4} \ln\left(\frac{1-x_{AV}}{1-x_{AS}}\right) \quad \text{.....(7)}$$

Distilasi dalam keadaan mantap dan berterusan, sehingga flux A pada lapisan film sebagaimana dalam persamaan (7) adalah sama dengan flux molar dalam fasa cair seperti pada persamaan (4). Oleh sebab itu dari persamaan (4) dan persamaan (7) yang dipadu akan menghasilkan hubungan bagian A fasa uap dengan bagian A dalam fasa cair seperti diterangkan dalam persamaan (8)

$$x_{AV} = \frac{1}{k_4}\left(1-(1-k_4 x_{AS})\left(\frac{1-k_2 x_{AS}}{1-k_2 x_{A0}} - \beta\right)\right) \quad \text{.....(8)}$$

Dalam persamaan (8) ini, bila campuran biner mengalami peristiwa azoetrope maka bahagian A fasa uap sama dengan bagian A fasa cair atau ditetapkan $x_{AV} = x_{AS}$ sebagai mana berdasarkan kaedah Roult yaitu $\alpha = 1$. Untuk kondisi yang demikian itu maka perlu mengira nilai baik x_{AS} maupun x_{AV} yaitu persamaan (8) berubah menjadi persamaan (9). Dari persamaan ini dapat diketahui peubah yang mempengaruhi kondisi azeotrop

$$x_{AS} = \frac{1}{k_2}\left(1-(1+\beta)(1-k_2 x_{A0})\right) \quad \text{.....(9)}$$

Selain dari pada itu, perlu juga dianalisis nilai k_2 sebagai tetapan penentu peristiwa azeotrope pada distilasi ini. Nilai k_2 diterangkan pada persamaan (10).

$$k_2 = \frac{\beta}{(1+\beta)\, x_{A0} - x_{AS}} \quad \text{.....(10)}$$

Dalam persamaan (10) nilai k_2 dipengaruhi oleh nilai x_{AS} , β dan x_{A0}. Bilamana pada persamaan (9) terdapat $k_2 = 2$ menurut anggapan di atas, $N_A = (k_2 - 1) N_B$ maka tidak dapat dikembangkan untuk pemisahaan campuran azeotrope karena bersama-sama mengalir menuju kearah fasa uap. Kondisi ini ditunjukkan nilai $x_{AS} = 1 - (1+\beta)(1-2x_{A0})$ atau dengan sebutan yang lain hanya boleh dikembangkan untuk campuran biner yang tidak mengalami azeotrope. Untuk menghindari terjadinya azeotrope dapat dilakukan dengan mengendalikan persamaan (10) yaitu dengan mengalirkan reflux ke dalam distilasi dari bahagian atas atau bahagian bawah distilasi. Dengan demikian ini bagian baik x_{AS} maupun k_2 akan berubah dan

kemudian bilamana k_2 sudah berubah lebih dari 2 akan dapat dipisahkan. Dari analisis ini nilai 2 penting diketahui sebagai penentu keberhasilan sistim destilasi ini.

Selanjutnya untuk mengkaji ketepatan analisis sebagaimana disebut di atas, perlu mengira nilai-nilai k_2, k_4, k_{X1} dan k_{X2} dari neraca panas pada distilasi. Dalam gambar 2, panas mengalir dari kawasan ujung atas ke kawasan ujung bawah yang mana flux panas dipengaruhi oleh flux aliran dan flux olakan. Flux panas dalam fasa cair seperti persamaan (11).

$$q = (1-\varepsilon)k_T \frac{dT}{dx} - \rho v\, c_p T \quad \text{.....(11)}$$

Bilamana q_s merupakan flux sinaran surya yang menimpa permukaan partikel dan persamaan (11) diselesaikan dengan integral maka distribusi suhu pada fasa cair berdasarkan neraca panas dalam elemen seperti persamaan (12)

$$-k_{Teff} \frac{dT}{dy} + k_2 N_A c_p (T - T_0) = q_S \quad \text{.....(12)}$$

Bilamana koefisien perpindahan olakan h_0 dihitung sama dengan $\frac{k_{Teff}}{y}$ maupun $\frac{q_S}{T - T_0}$ dan persamaan diselesaikan dengan integral maka akan menghasilkan distribusi suhu seperti yang diterangkan pada persamaan (13)

$$1 - \frac{k_{X2}}{h_0} c_p \ln\left(\frac{1 - k_4 x_{AV}}{1 - k_4 x_{AS}}\right) = \exp\left(\frac{k_{X2}}{h_0} c_p \ln\left(\frac{1 - k_4 x_{AV}}{1 - k_4 x_{AS}}\right)\right) \quad \text{.....(13)}$$

Dalam analisis persamaan (13) ini, $\frac{k_{X2}}{h_0}$ dan k_4 dioptimasi sampai diperolehi kuantitas kelompok bagian kiri sama dengan kelompok bagian kanan. Selanjutnya untuk mengetahui nilai k_2 dan k_{X1} perlu persamaan distribusi suhu pada lapisan film. Dengan cara yang sama pula seperti disebut diawal diperoleh persamaan distribusi suhu pada lapisan film seperti pada persamaan (14).

$$1 - \frac{k_{X1}}{h_0^1} c_p \ln\left(\frac{1 - k_2 x_{AS}}{1 - k_2 x_{A0}}\right) = \exp\left(\frac{k_{X1}}{h_0^1} c_p \ln\left(\frac{1 - k_2 x_{AS}}{1 - k_2 x_{A0}}\right)\right) \quad \text{.....(14)}$$

Dari persamaan ini, $\frac{k_{X1}}{h_0^1}$ dan k_2 dioptimasi sampai diperoleh kuantitas kelompok bagian kiri sama dengan bagian kanan. Nilai koefisien dari persamaan yang disebutkan digunakan untuk persamaan (10). Dengan demikian itu dapat dibuat gambar yang memaparkan karakteristik campuran azeotrope dan flux penguapan dalam distilasi menggunakan tenaga sinaran surya.

Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa dalam penomena ini, hubungan bagian x_{AV} dengan x_{AS} sesuai dengan persamaan (10) yang mana nilai koefisiennya adalah k_{X1}, k_{X2}, k_2 dan k_4 yang dapat dihitung dari persamaan (13) dan (14).

Notasi

x_A	fraksi mol komponen A
c	molar cair, gmol cm^{-3}
N_A	flux molar komponen A, gmol cm^{-2} sec
k_{X1}	koefisien perpindahan massa A dalam cair, gmol cm^{-2}sec
k_{X2}	koefisien perpindahan massa A dalam fasa cair uap, gmol cm^{-2}sec
c_p	panas dalam, cal g^{-1} °K
h_0	koefisien perpindahan panas olakan, cal sec^{-1} m^{-1} °K
D_{AB}	difusivitas, cm^2 sec^{-1}
k_{eff}	konduktivitas efektif, cal sec^{-1} m^{-1} °K
T	suhu, °K
k_1	tetapan flux relative B terhadap flux A dalam fasa cair
k_3	tetapan flux relative B terhadap flux A dalam fasa cair-uap
k_2	faktor olakan molekuler A dalam fasa cair
k_4	faktor olakan molekuler A dalam fasa cair-uap
β	tetapan iteraksi perpindahan massa A dan B pada sistim distilasi

Rujukan

1. Bird, R., B., Stewart, W.,E., and Lightfoot, E.,N.,1962,"Transport Phenomena ", Willey, New York
2. Cheremisinoff, P.,1986,"Handbook of Head and Mass Transfer", p.299-330, Houston, London, Paris.
3. Do, D., D., and Wang, K.,1998," Dual Diffusion and Finite Mass Exchange Mode for Adsorbtion kinetik in Activated Carbon", AIChEj.,44,68.
4. Jamaliah, I., Yahya, M.,F.,1999,"A Study of Performance of Black Chromium Coating Material for Solar Thermal Energy Aplication", Faculty of Mechanical Engineering, Untiversity Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia.
5. Middleman, S.,1997,"An Introduction to Mass and Heat Transfer", Willey, New York.
6. Safdari, Y,B., 1999, "Finit Element Analysis of Heat a Non mixed liguid with Non-Uniform Sinar surya Flux Throught Semi-lutsinart Modern", Department of Mechanical engineering Brodley Untivercity
7. Smith M., C., 1996, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", McGraw-Hill International Editions
8. Supranto, Sopian, K., Daud, W.R.W., Othman, M.,Y., and Yatim, B., 1999, "Performance Characteristic Curve of The Double Pass Solar Colector with Porous Media", Department of Physic, University Kebangsaan Malaysia, Bangi, Slangor, Malaysia.
9. Treybal E., R., 1981," Mass-Transfer Operations", McGraw-Hill International Editions.