



PENENTUAN KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA DEKAFEINASI KOPI DENGAN PELARUT METHYLENE CHLORIDE

Jono Suhartono, Dyah Setyo Pertiwi, Andry Faslah, Yuan F. Saputra

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Jl. P.K.H Hasan Mustafa No. 23 Bandung – 40124 Telp: 022-7272215 ext 141-143
Email : jonosuhartono@yahoo.com

Abstrak

Proses ekstraksi memiliki peranan yang penting dalam industri kimia. Salah satunya dalam industri kopi yaitu untuk memperkecil kadar kafein di dalam kopi dengan semaksimal mungkin sehingga kopi yang akan dikonsumsi sesuai standar baku mutu kopi non kafein.

Pada prinsipnya di dalam alat ekstraksi terjadi peristiwa perpindahan massa, sehingga alat ekstraksi yang dipilih untuk kasus ini tidak lain merupakan alat perpindahan massa. Alat ekstraksi yang dipilih yaitu bejana berpengaduk, karena lebih ekonomis, lebih mudah pengoperasiannya serta sesuai dengan operasi yang akan dijalankan. Proses ekstraksi yang dilakukan menggunakan solvent methylene chloride sebagai media pemisahan zat terlarut yang terkandung di dalam kopi, dalam hal ini zat terlarut tersebut berupa kafein dengan variabel operasi ukuran butiran kopi dan kecepatan pengadukan.

Pada penelitian ini ditentukan nilai koefisien perpindahan massa. Nilai koefisien tersebut diperoleh dari data perubahan konsentrasi solut terhadap waktu dengan analisis spektrofotometri. Nilai koefisien perpindahan massa yang diperoleh berdasarkan penelitian adalah pada rentang nilai $1,4566E-05$ cm/detik – $1,5663E-05$ cm/detik untuk rentang kecepatan pengadukan 175 – 333 rpm dan rentang ukuran partikel mesh 10/20 – 30/40. Pada penelitian ini ditentukan juga korelasi antara koefisien perpindahan massa dengan faktor-faktor yang mempengaruhi proses ekstraksi antara lain difusitas, diameter partikel, diameter impeler, massa jenis, viskositas, dan laju pengadukan dalam bentuk persamaan empiris. Bentuk persamaan empiris yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

$$N_{sh} = 0,0595 \left(\frac{D_i}{D_p} \right)^{-0.0065} (N_{Re})^{0.0794}$$

Kata kunci : proses dekafeinasi, methylene chloride, koefisien perpindahan massa

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara agraris di mana komoditi pertanian menjadi salah satu tulang punggung perekonomian. Salah satu komoditi perekonomian di Indonesia yang terkenal adalah kopi. Menurut FAO Indonesia pada tahun 1997 merupakan negara ke-4 penghasil kopi terbesar di dunia dengan luas areal tanam dan hasil produksi yang cukup besar. Areal perkebunan kopi di Indonesia sebagian besar terletak di sebelah selatan khatulistiwa, seperti Sumatera bagian selatan, Jawa, Sulawesi bagian Selatan, Bali, dan Nusa Tenggara.

Tanaman kopi merupakan salah satu tanaman yang memiliki potensi ekonomi tinggi karena permintaan bij kopi di pasaran dunia cukup tinggi, yaitu sekitar 5,5 juta ton per tahun^[13]. Kopi arabika selain banyak diminta pasaran luar negeri, juga haraganya lebih tinggi dari kopi robusta. Perkembangan realisasi ekspor kopi dari Indonesia ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Perkembangan Realisasi Ekspor Kopi dari Indonesia^[11]

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Volume (ton)	442.161	380.656	259.349	349.916	289.303	230.199	366.602	372.958
Nilai (ribu US\$)	377.201	372.416	236.775	344.208	745.803	606.469	595.268	577.914

Sumber : BPS

Sebagian besar produksi kopi mentah (*green Coffee*) di Indonesia diolah menjadi kopi masak (*Roasted Coffee*) yang kemudian diolah menjadi bubuk kopi tanpa penghilangan kafein terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan kondisi psikologis masyarakat yang lebih menyukai kopi tanpa dihilangkan kafeinnya. Walaupun tidak ditemukan efek langsung terhadap kesehatan namun menurut berbagai penelitian, kafein mempunyai efek samping terhadap tubuh. Pada dosis 100 – 200 mg/hari kafein dapat meningkatkan kewaspadaan, menghilangkan kantuk, dan meningkatkan kemampuan berpikir, pada dosis 250 – 700 mg/hari, kafein dapat menyebabkan insomnia, keresahan, dan hipertensi. Lebih dari 1000 mg/hari dapat menyebabkan kematian. Di samping efek negatif tersebut kafein juga digunakan pada industri farmasi sebagai *decongestant*, *analgesic*, *stimulan*, dan *apetite suppressant*^[16].

Adanya kopi non-kafein merupakan pilihan bagi masyarakat seiring meningkatnya kesadaran akan efek samping dari kafein. Hal ini membuka peluang bisnis bagi produsen kopi lokal untuk memenuhi kebutuhan kopi

non-kafein, selain efek yang telah disebutkan di atas kebutuhan kafein bagi industri farmasi cukup penting sehingga perlu dipikirkan suatu metode operasi yang tepat dan murah untuk memenuhi permintaan tersebut.

Salah satu metode operasi yang biasa digunakan untuk menghilangkan kafein adalah ekstraksi dengan menggunakan pelarut kimia. Salah satu kelebihan pelarut kimia adalah memiliki selektifitas yang tinggi sehingga aroma dan rasa yang khas dari kopi dapat dipertahankan. Peristiwa yang terjadi pada proses dekafeinasi adalah peristiwa perpindahan massa yang berlangsung secara difusi dari fasa padat ke fasa cair dengan menggunakan ekstraksi sebagai operasi perpindahan massa.

Perpindahan massa pada proses ekstraksi dipengaruhi kondisi operasi. Untuk itu diperlukan suatu koefisien perpindahan massa untuk memudahkan perhitungan laju perpindahan massa yang didasarkan pada perubahan konsentrasi untuk keperluan lebih lanjut misalnya untuk scale-up alat.

Tinjauan Pustaka

Kopi merupakan salah satu komoditi pertanian yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, dibudidayakan di seluruh dunia yang terpusat di kawasan tropik yaitu di Benua Afrika, Amerika Latin, Amerika Selatan dan Asia Pasifik. Tanaman kopi merupakan salah satu genus dari famili *Rubiaceae*. Genus kopi ini memiliki sekitar 100 spesies, namun dari 100 spesies itu hanya dua jenis yang memiliki nilai ekonomis, yaitu Robusta dan Arabika. Hampir 75 % produksi kopi dunia merupakan kopi jenis Arabika (Indonesia menyumbang 10 % dari jumlah tersebut), sedangkan sisanya adalah kopi jenis robusta (Indonesia menyumbang 90 % dari jumlah tersebut)^[10]. Biji kopi banyak mengandung senyawa kimia yang menghasilkan perpaduan rasa dan aroma yang khas. Beberapa grup riset telah mengidentifikasi adanya 150 senyawa alifatik, 20 senyawa siklik, dan 300 senyawa heterosiklik termasuk kafein dalam biji kopi^[11].

Kafein merupakan senyawa alkaloid yang mempunyai efek psikologis karena bersifat stimulan di mana kafein dapat meningkatkan detak jantung, tekanan darah serta dapat mengurangi rasa lapar dan kelelahan. Tetapi apabila dikonsumsi berlebihan dapat menyebabkan insomnia pada individu tertentu. Nama lain dari kafein adalah *1,3,7-Trimethylxantine* dengan rumus molekul $C_8H_{10}N_4O_2$. Kafein tidak hanya terdapat dalam biji kopi. Beberapa jenis tumbuhan lain juga mempunyai kandungan kafein. Kafein juga ditambahkan pada produk makanan dan minuman tertentu dan obat-obatan

Dekafeinasi adalah proses untuk mengurangi kadar kafein dalam kopi. Dekafeinasi biasanya dilakukan pada Green Coffee sebelum disangrai. Ekstraksi kafein dari kopi pertama kali dilakukan oleh ahli kimia Jerman, pada tahun 1820. Tetapi terobosan secara teknik tidak pernah ada sampai satu abad kemudian ketika Ludwig Roselius memutuskan untuk melakukan pengolahan awal biji kopi dengan kukus sebelum mengontakkannya dengan pelarut penghilang kafein. Proses Steaming dapat meningkatkan area permukaan biji dan membuat kafein lebih mudah dihilangkan. Penemuannya membuat kopi bebas kafein dapat diproduksi secara skala komersial untuk pertama kalinya.

Perpindahan massa pada ekstraksi padat cair terjadi secara difusi. Difusi yaitu gerakan suatu komponen melalui suatu campuran karena suatu rangsangan fisika yang berlangsung dengan suatu kecepatan tertentu. Pada awal proses konsentrasi umpan dan pelarut berada pada keadaan tidak setimbang yang mengakibatkan gaya dorong (*driving force*) terjadinya difusi hingga keduanya mencapai keadaan setimbang. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi laju ekstraksi yaitu ukuran padatan, pelarut, temperatur, dan waktu kontak.

Perpindahan massa secara difusi bergantung pada besarnya gradien konsentrasi. Gradien konsentrasi cenderung menyebabkan terjadinya gerakan komponen itu ke arah yang menyamakan konsentrasi dan menghapuskan gradien. Bila gradien itu dipertahankan dengan menambahkan komponen yang terdifusi secara terus-menerus ke ujung yang berkonsentrasi tinggi pada gradien itu, aliran komponen yang terdifusi akan berlangsung secara kontinyu (sinambung). Gerakan inilah yang dimanfaatkan dalam operasi perpindahan massa.

Koefisien perpindahan-massa (k'_c) didefinisikan sebagai laju perpindahan massa per satuan luas per satuan beda konsentrasi^[3]. Kebanyakan operasi perpindahan massa memerlukan aliran turbulen untuk meningkatkan laju perpindahan massa. Perpindahan massa ke antarmuka fluida sering bersifat tak tunak dengan gradien konsentrasi yang selalu berubah dan demikian pula laju perpindahan massanya. Dengan mengintegrasikan persamaan 2.1.

$$J_{AZ} = -(D_{AB} + \epsilon_M) \frac{dc_A}{dz} \quad (2.1)$$

didapat persamaan berikut :

$$J_A = \frac{D_{AB} + \epsilon_M}{z_2 - z_1} (C_{A1} - C_{A2}) \quad (2.2)$$

Persamaan (2.15) dapat dituliskan secara sederhana dengan menggunakan suatu koefisien perpindahan massa (k'_c)

$$J_A = k'_c (C_{A1} - C_{A2}) \quad (2.3)$$

Dimana $k'_c = \frac{D_{AB} + \epsilon_M}{z_2 - z_1}$.

Pada proses ekstraksi padat-cair laju perpindahan massa zat terlarut ke pelarut dengan volume V dengan menggunakan suatu koefisien perpindahan massa yang serupa dengan persamaan (2.3) di mana C_{A1} adalah konsentrasi jenuh dan C_{A2} adalah konsentrasi pada waktu tertentu dapat ditentukan dengan persamaan :

Penentuan Koefisien Perpindahan Massa Pada Dekafeinasi Kopi Dengan Pelarut Methylene Chloride

$$\frac{\bar{N}_A}{A} = K_c (C_{AS} - C_A) \quad (2.4)$$

Persamaan diatas dapat ditulis :

$$\frac{V d(C_A)}{dt} = \bar{N}_A = A K_c (C_{AS} - C_A) \quad (2.5)$$

dengan mengintegrasikan dari $t = 0$ dan $C_A = 0$ sampai $t = t$ dan $C_A = C_A$,

$$\int_{C_{Ao}}^{C_A} \frac{d(C_A)}{C_{AS} - C_A} = \frac{A K_c}{V} \int_0^t dt \quad (2.6)$$

diperoleh :

$$\ln \frac{C_{AS} - C_A}{C_{AS} - C_{Ao}} = - \left(\frac{K_c A}{V} \right) t \quad (2.7)$$

Dengan mengalirkan $\ln \frac{C_{AS} - C_A}{C_{AS} - C_{Ao}}$ pada sumbu y dan t pada sumbu x, maka K_c sebagai koefisien perpindahan massa zat terlarut (A) ke pelarut (B) yang diam dapat ditentukan.

Pada persamaan di atas diasumsikan bahwa luas perpindahan massa dari partikel selama percobaan adalah tetap dan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$A = \frac{6m}{\phi_s D_p \rho_p} \quad (2.8)$$

Penggunaan analisis dimensional memungkinkan untuk memprediksi berbagai kelompok dimensional dimana sangat menolong dalam menghubungkan data percobaan perpindahan massa. Seperti yang terjadi dalam perpindahan momentum dan perpindahan panas, Reynold number, Schmidt number dan Sherwood number sering dipakai dalam menghubungkan data percobaan perpindahan massa. Data percobaan koefisien perpindahan massa yang didapat dengan menggunakan banyak variasi seperti jenis fluida, perbedaan kecepatan, dan perbedaan geometri dapat dihubungkan dengan menggunakan dimensional number.

Diperkirakan bahwa koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh berbagai faktor operasi perpindahan massa.

$$K_c = f(D_{AB}, \rho, \mu, D_i, D_p, N) \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan metoda Buckingham^[2], analisa dimensional untuk persamaan pada sistem ini adalah sebagai berikut :

$$N_{sh} = f \left(\left(\frac{D_i}{D_p} \right), N_{re} \right) \quad (2.10)$$

Persamaan diatas dengan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan Richard R.G., Tetiyadi, Ira I., dan Linda W^[7] dapat dikorelasikan sebagai berikut :

$$N_{sh} = \alpha \left(\frac{D_i}{D_p} \right)^\beta (N_{Re})^\gamma \quad (2.11)$$

di mana korelasi difusitas di dalam fasa liquid yang dibuktikan oleh Wilke dan Chang (1955) adalah sebagai berikut:

$$D_{AB} = 7.4 \times 10^{-12} \frac{(\phi M_B)^{1/2} T}{\mu_c V_A^{0.6}} \quad (2.12)$$

Metode Penelitian

Laju perpindahan massa secara difusi pada proses ekstraksi padat-cair dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kecepatan pengaduk dan diameter partikel. Pada percobaan ini akan diteliti pengaruh faktor tersebut terhadap koefisien perpindahan massanya. Penentuan koefisien perpindahan massa pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) sedangkan korelasi koefisien perpindahan massa dengan variabel-variabel operasi digunakan persamaan (2.7)

Percobaan ini menggunakan asumsi :

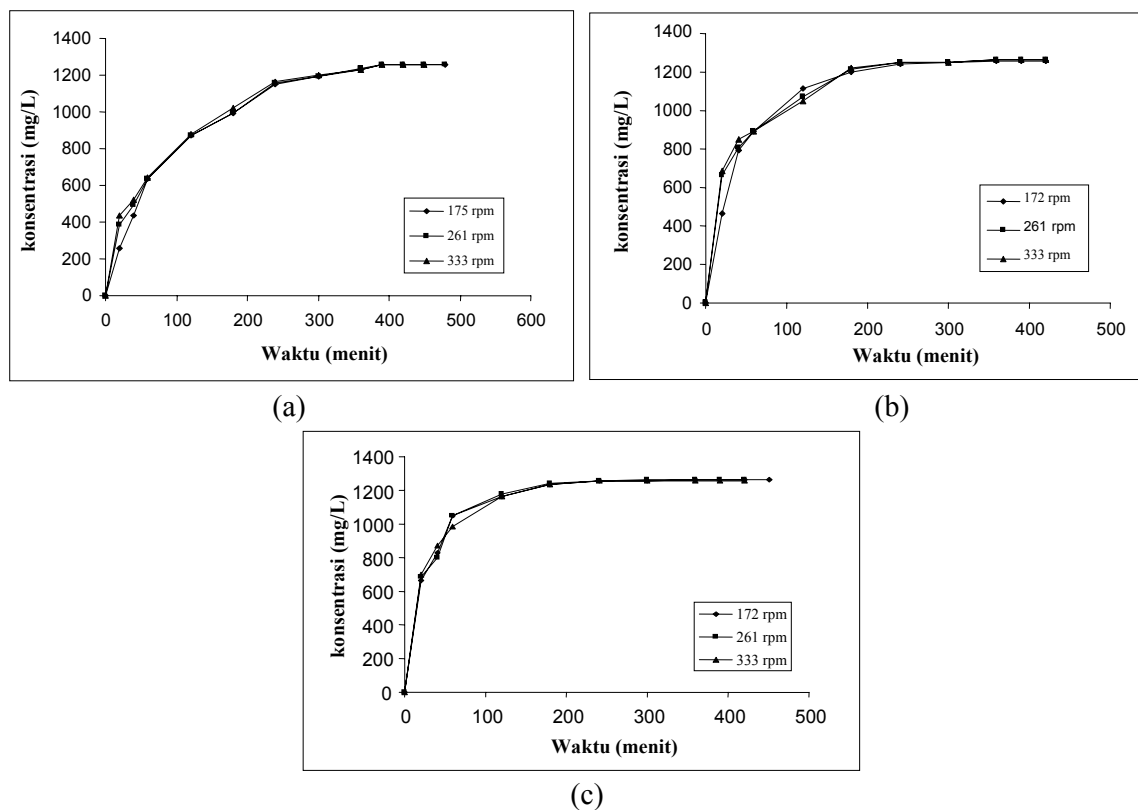
1. Tidak ada perubahan fasa yang terjadi pada fluida dalam bejana
2. Penyebaran Konsentrasi campuran di setiap titik sama
3. Free inert basis (hanya kafein yang menyerap panjang gelombang cahaya pada analisis spektrofotometri)
4. Partikel dianggap bola dengan faktor kebolaaan = 1

Alat ekstraksi padat-cair yang akan didesain dalam percobaan ini berupa bejana berpengaduk, dalam hal ini jenis pengaduk yang akan dipilih yaitu jenis pengaduk yang dapat menghomogenitaskan larutan, menturbuliskan aliran dalam waktu yang optimum, karena itu dalam percobaan ini digunakan pengaduk jenis propeler.

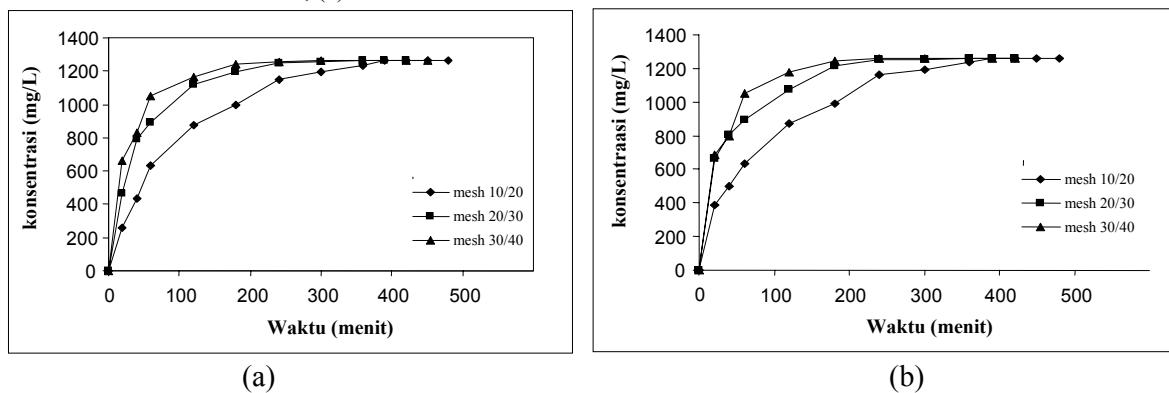
Pembahasan dan Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mencari koefisien perpindahan massa (k_c) dengan variasi percobaan yaitu kecepatan pengadukan dan diameter partikel pada proses ekstraksi kafein dari biji kopi, serta menentukan koefisien korelasi (α, β, γ) dengan cara grafik dari persamaan (2.11). Pada penelitian ini harga koefisien perpindahan massa (k_c) dihitung berdasarkan perubahan konsentrasi zat terlarut di pelarut. Perpindahan massa zat terlarut ke dalam badan pelarut disebabkan oleh adanya gradien konsentrasi. Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan perolehan konsentrasi kafein setiap waktunya di mana semakin lama waktu ekstraksi diperoleh beda konsentrasi yang semakin kecil hingga tidak ada lagi kafein yang berpindah.

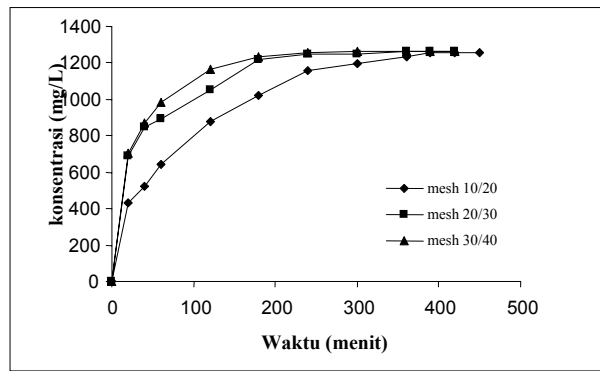
Berdasarkan percobaan yang dilakukan, diperoleh harga koefisien perpindahan massa (k_c) yang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan pengaduk dan semakin kecilnya ukuran partikel, dengan rentang nilai $1,4566E-05$ cm/detik- $1,5663E-05$ cm/detik untuk variasi percobaan yang dilakukan. Peningkatan harga k_c pada variasi kecepatan pengadukan dan variasi ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 4.3 (a) dan 4.3 (b). Nilai k_c yang diperoleh dipengaruhi oleh tahanan-tahanan perpindahan massa yang terdapat pada sistem. Nilai koefisien perpindahan massa (k_c) berdasarkan percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.2 di mana harga koefisien perpindahan massa dari hasil percobaan tidak berubah secara signifikan.



Gambar 4.1 Kurva konsentrasi terhadap waktu untuk berbagai kecepatan pengadukan (a) mesh 10/20, (b) mesh 20/30, (c) mesh 30/40.



Penentuan Koefisien Perpindahan Massa Pada Dekafeinasi Kopi Dengan Pelarut Methylene Chloride

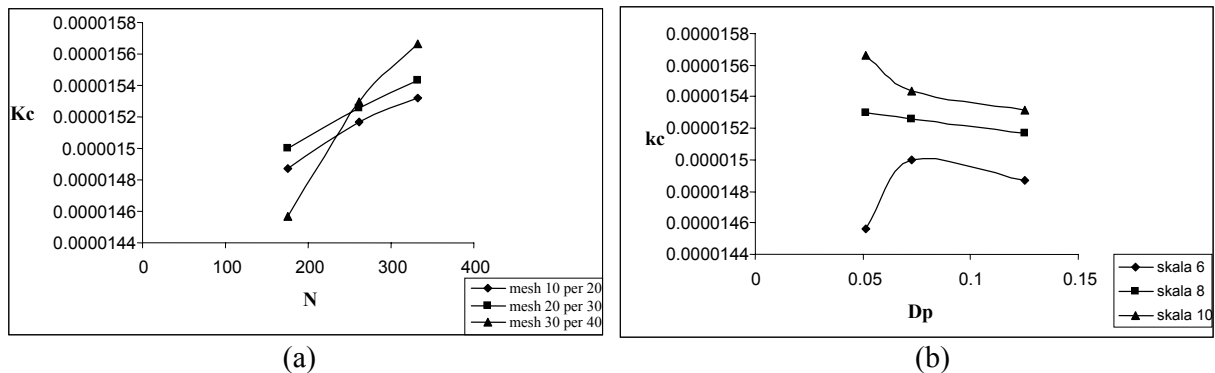


(c)

Gambar 4.2. Kurva konsentrasi terhadap waktu untuk berbagai ukuran partikel pada (a) 175 rpm, (b) 261 rpm, (c) 333 rpm

Variasi kecepatan pengadukan mempengaruhi laju perpindahan zat terlarut ke dalam pelarut karena adanya difusi paksa zat terlarut ke badan pelarut, di mana besarnya zat terlarut yang berpindah ke pelarut semakin besar pada rentang waktu yang sama tetapi tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk mengurangi nilai tahanan perpindahan massa sehingga harga koefisien perpindahan massa cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan, dapat dilihat pada Gambar 4.1 yang menerangkan pengaruh kecepatan pengadukan terhadap perolehan konsentrasi pada rentang waktu yang sama cukup berhimpit, hal ini menjelaskan bahwa pada variasi kecepatan pengadukan pada percobaan tidak memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap nilai k_c . Adanya variasi kecepatan pengadukan yang bertujuan untuk memperkecil tahanan pada lapisan film ternyata tidak memberikan pengaruh pada perolehan nilai k_c karena tebal lapisan film sudah mencapai harga minimum sehingga nilai tahanannya hampir sama.

Pada variasi ukuran partikel, nilai k_c yang diperoleh dari percobaan juga tidak berubah secara signifikan, pengaruh ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 4.2 yang juga menunjukkan meski terdapat rentang perolehan konsentrasi yang berbeda pada variasi ukuran partikel namun seiring dengan waktu ekstraksi ternyata banyaknya perolehan kafein pada waktu akhir proses ekstraksi yang sama memiliki nilai yang cukup mendekati pada titik asimtot yang sama. Sehingga variasi ukuran partikel tidak memberikan pengaruh terhadap tahanan perpindahan massa karena ukuran partikel hanya mempengaruhi luas permukaan perpindahan massa di mana semakin kecil ukuran partikel kopi maka permukaan perpindahan massa akan semakin luas dan mempengaruhi laju perpindahan massa.



(a)

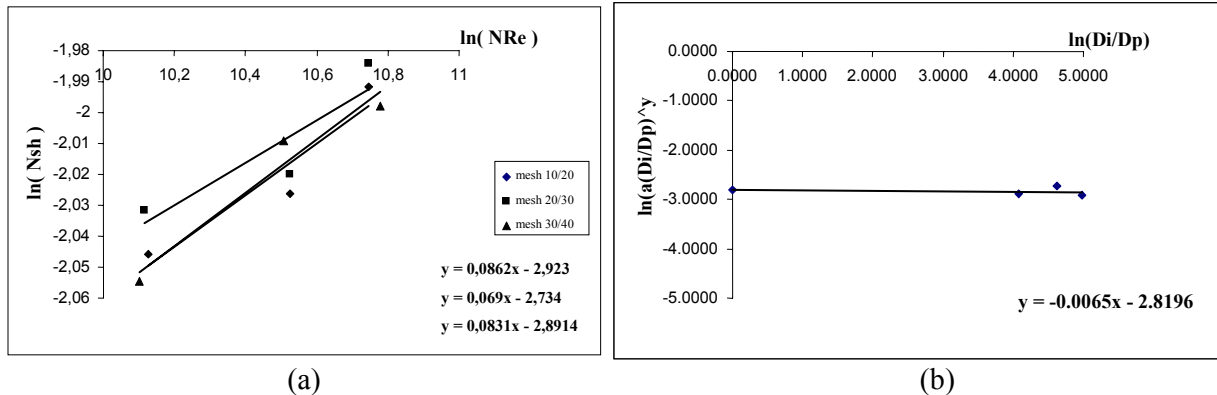
(b)

Gambar 4.3 Kurva hubungan koefisien perpindahan massa (k_c), (a) terhadap kecepatan pengadukan, (b) terhadap ukuran partikel

Proses ekstraksi biji kopi ini memerlukan waktu 5 sampai 7 jam sampai tidak ada lagi kafein yang berpindah ke dalam pelarut. Walaupun diperoleh nilai k_c yang cenderung meningkat terhadap ukuran partikel yang semakin halus dan kecepatan pengadukan yang semakin besar, tetapi peningkatan nilai k_c tidak cukup signifikan sehingga pada penerapannya dapat digunakan harga k_c pada rentang nilai $1,4871E-05$ cm/detik - $1,5663E-05$ cm/detik untuk rentang kecepatan pengadukan 175-333 rpm dan rentang ukuran partikel mesh 10/20 - 30/40.

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai-nilai koefisien korelasi perpindahan massa dalam hal ini adalah kafein sebagai zat terlarut ke pelarut methylene chloride. Nilai koefisien korelasi α , β , γ diperoleh secara grafik, yaitu dengan mensubstitusikan nilai k_c , D_i , D_p , N , D_{AB} , ρ , μ ke persamaan bilangan-bilangan tak berdimensi yang kemudian memplotkan bilangan-bilangan tak berdimensi sehingga membentuk garis yang linier yang mengikuti persamaan (2.11) yang telah diturunkan. Berdasarkan Gambar 4.4 (a) dapat ditentukan nilai β

pada berbagai ukuran partikel sebagai slope sedangkan $\ln(\alpha (D_i/D_p)^\gamma)$ sebagai intersept, sedangkan berdasarkan Gambar 4.4 (b) dapat ditentukan α dan γ di mana α sebagai intersept dan γ sebagai slope.



Gambar 4.4 Kurva bilangan tak berdimensi bilangan (a) bilangan sherwood terhadap bilangan reynolds, (b)

$$\ln \left[\alpha \left(\frac{D_i}{D_p} \right)^\gamma \right] \text{ terhadap } \ln (D_i/D_p)$$

Berdasarkan Gambar 4.3 (a) dan (b) diperoleh nilai koefisien korelasi perpindahan massa $\alpha = 0,0596$; $\beta = 0,0794$; dan $\gamma = -0,0065$

Berdasarkan Tabel 2. terdapat perbedaan nilai k_c yang didapatkan dari percobaan dengan k_c yang didapatkan dengan menggunakan persamaan empiris. Perbedaan nilai k_c berdasarkan percobaan dengan berdasarkan persamaan empiris karena nilai-nilai koefisien korelasi α , β , γ didapatkan dari penglinieran bilangan-bilangan tak berdimensi dari persamaan (2.11), di mana nilai bilangan tak berdimensi ini dipengaruhi oleh perubahan nilai-nilai k_c , D_p , N , D_{AB} , ρ , μ yang berbeda untuk setiap runnya dalam percobaan.

Tabel 4.2 Perbandingan harga k_c berdasarkan percobaan dan berdasarkan rumus empiris.

	Mesh	Kecepatan pengadukan		
		175 rpm	261 rpm	333 rpm
k_c berdasarkan percobaan	10/20	1,4871E-05	1,5168E-05	1,5317E-05
	20/30	1,5001E-05	1,5260E-05	1,5432E-05
	30/40	1,4566E-05	1,5297E-05	1,5663E-05
k_c berdasarkan korelasi	10/20	1,4884E-05	1,5366E-05	1,5252E-05
	20/30	1,4799E-05	1,5364E-05	1,5254E-05
	30/40	1,4678E-05	1,5211E-05	1,5696E-05

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini antara lain.

- Nilai k_c yang diperoleh adalah pada rentang nilai 1,4871E-05 cm/detik - 1,5663E-05 cm/detik untuk rentang kecepatan pengadukan 175-333 rpm dan rentang ukuran partikel mesh 10/20 – 30/40.
- Nilai koefisien perpindahan massa (k_c) dari persamaan empiris perbedaannya cenderung tidak terlalu signifikan terhadap nilai k_c yang diperoleh dari percobaan.

- Persamaan empiris pada percobaan ini adalah : $N_{sh} = 0,0595 \left(\frac{D_i}{D_p} \right)^{-0,0065} (N_{Re})^{0,0794}$

Daftar Pustaka

Clarke, R.J., "The Flavour of Coffee", In Dev., Food Science., 3rd ed., 1986
 Geankoplis, Christie J., "Transport Processes and Unit Operations", 2nd edition., 1956.
 King, C.J., "Separation Processes", 2nd Edition, McGraw Hill Inc, New York, 1982.
 McCabe, W.L, Smith, J.C, dan Harriot, P., "Operasi Teknik Kimia", Edisi ke-4 jilid 1-2, Erlangga, Jakarta, 1986.
 Pintauro, N.D., "Coffe Solubilization Comercial Process and Technology", Park Ridge : Noyes Data Corporation, 1975.

Penentuan Koefisien Perpindahan Massa Pada Dekafeinasi Kopi Dengan Pelarut Methylene Chloride

Richard R.G., Tetiyadi, Ira I., dan Linda W., "*Koefisien Perpindahan Massa Ekstraksi Padat Cair*", Prosiding Seminar Kejuangan, Yogyakarta, 2002.
Tjipto Utomo, "*Teori Dasar Fenomena Transpor*", Bina Cipta, Jakarta, 1984.
Treybal, R.E., "*Mass Transfer Operation*", 3rd Edition, McGraw Hill International, 1980.
www.agronesia.com/BBJ/profil_komoditi_kopi.html
www.cast.ilstu.edu/micke/390/lectures/14_decaf.ppt
www.sweetmarias.com/health.eco.html