

KAJIAN MODEL MATEMATIS KOEFSIEN PERPINDAHAN MASSA PADA EKSTRAKSI INAKTIVASI ENZIM GAULTHERASE UNTUK PRODUKSI GAULTHERIN DARI GANDAPURA

M. E. Yulianto

e-mail : endy_y@yahoo.com

F. Arifan

e-mail : fahmiarifan@yahoo.com

Jurusan Teknik Kimia
Program Studi D III
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro Semarang

I. Hartati

e-mail : indah_hartati@yahoo.com

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik
Universitas Wahid Hasyim
Semarang
Jl Menoreh Tengah X/22
Semarang

Gandapura merupakan spesies tanaman yang mengandung total salisilat dengan konsentrasi sangat tinggi. Sebagian besar salisilat yang terdapat pada tanaman gandapura berada dalam bentuk aktif yang disebut gaultherin, merupakan konjugasi metil salisilat dengan disakarida. Ketika jaringan tumbuhan tersebut rusak atau terkoyak, gaultherin akan terhidrolisa secara enzimatis oleh enzim gaultherase menjadi metil salisilat dan terlepas. Gaultherin memiliki sifat-sifat yang menjadikannya sebagai kandidat terbaik natural aspirin, anti kanker, anti inflamatory dan cardiopulmonary. Aktivitas gaultherase diyakini dapat terhambat dengan penambahan senyawa polar. Oleh karenanya, perlu menela'ah produksi gaultherin dari tanaman gandapura melalui teknologi bioekstraksi inaktivasi enzim gaultherase dengan pelarut polar. Pelarut polar ini akan berfungsi ganda, yaitu inaktivasi enzim sekaligus mengekstrak gaultherin. Bioekstraksi ini memiliki keunggulan, karena dapat meringkas tiga tahapan proses sekaligus, yaitu proses inaktivasi enzim gaultherase, proses ekstraksi, dan proses dehidrasi osmosis. Namun demikian, keberhasilan proses ini masih bergantung pada laju perpindahan gaultherin ke fasa etanol. Oleh karenanya, perlu menela'ah penyusunan model empirik perpindahan massa solut ke fasa pelarut proses inaktivasi enzim gaultherin.

Kata Kunci: perpindahan massa, inaktivasi, gaultherase, gaultherin, gandapura.

Pendahuluan

Gandapura (*Gaultheria fragrantissima*) dikenal juga sebagai Indian Wintergreen, mempunyai sinonim *G. punctuate*, termasuk dalam famili *ericeae* merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri. Gandapura merupakan salah satu tanaman yang masuk didalam daftar Komoditi Binaan Direktorat Jenderal Perkebunan berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian nomor 511/kpts/pd.310/9/2006.

Tanaman gandapura dapat tumbuh pada dataran tinggi, 1300-3300 meter dpl (Hernani, 2004). Selama ini tanaman gandapura belum dikembangkan secara ekonomis karena belum tersedia teknologi budidaya yang tepat. Gandapura dipanen dari tanaman yang tumbuh liar didaerah pegunungan diantaranya di Gunung Lawu, tawangmangu dan di Wonosobo, dieng. Salah satu industri penghasil minyak gandapura yang ada di Wonosobo adalah Kelompok Tani Rukun yang berlokasi di Desa Sikunang, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.

Minyak gandapura memiliki kandungan metil salisilat tinggi, mencapai 93-98%. Minyak gandapura yang dihasilkan Kelompok Tani di Indonesia memiliki kandungan metil salisilat 82,23% (Mauludi, 2003). Indonesia setiap bulannya masih mengimpor minyak gandapura sintetik dari RRC untuk memenuhi kebutuhan industri farmasi (Manurung, 2002). Oleh

karenanya, upaya untuk menggali potensi dan pengembangan industri gandapura di Indonesia, perlu menelaah teknologi budidaya, teknologi peningkatan mutu minyak gandapura serta diversifikasi produk.

Gandapura merupakan spesies tanaman yang mengandung total salisilat dengan konsentrasi sangat tinggi. Konsentrasi salisilat pada gandapura 20 kali lebih besar dibanding konsentrasi salisilat yang ditemukan pada Filipendula dan 100 kali lebih besar dari konsentrasi salisilat pada Lemon Thyme. Kandungan total salisilat beberapa tanaman disajikan pada Tabel 1.

Sebagian besar salisilat yang terdapat pada tanaman gandapura berada dalam bentuk aktif yang disebut gaultherin, merupakan konjugasi metil salisilat dengan disakarida. Ketika jaringan tumbuhan tersebut rusak atau terkoyak, gaultherin akan secara enzimatis terhidrolisa menjadi metil salisilat dan terlepas. Proses ini diduga merupakan bagian sistem pertahanan dari tumbuhan gandapura.

Gaultherin memiliki sifat-sifat yang menjadikannya sebagai kandidat terbaik natural aspirin, anti kanker, anti inflamatory dan cardiopulmonary (Ribnicky, 2003). Sebagai natural aspirin, gaultherin memiliki daya sembuh yang sama namun memiliki efek negatif yang minimal dibanding aspirin sintesis. Saat ini, aspirin (Acetylsalicylic acid)

merupakan obat yang paling banyak dikonsumsi oleh penduduk dunia karena sifat dan fungsinya sebagai anti piretic, anti inflamatory dan analgesic. Menurut estimasi, konsumsi aspirin dunia mencapai 20-50 juta

pounds pertahun (Barat, 1998). Oleh karenanya, diperkirakan kebutuhan industri farmasi dunia terhadap gaultherin akan meningkat pada tahun-tahun mendatang.

Tabel 1. Konsentrasi salisilat pada beberapa tanaman

Spesies Tanaman	Salisilat bebas (ug/mg FW)	Salisilat Total (ug/mg FW)
English Thyme	0,81	31,63
Lemon Thyme	1,55	42,32
French Thyme	0,33	13,26
Lavender	0,28	6,14
Rosemary	0,58	3,84
Gandapura	19,0	5770
Rice M 201	1,4	9,5

Namun demikian, sampai saat ini belum ada metode pengambilan gaultherin yang efektif dari tanaman gandapura. Kesulitan yang dialami dalam proses pengambilan gaultherin adalah kenyataan bahwa selama proses ekstraksi, dengan rusaknya jaringan, maka gaultherin akan dengan segera terhidrolisa menjadi komponen-komponen individualnya yaitu metil salisilat dan disakarida. Proses hidrolisa tersebut diyakini dikatalisasi oleh enzim yang terdapat dalam tanaman itu sendiri yaitu gaultherase (Waters, 1931).

Untuk mengatasi hal ini, perlu dicari metode guna mengekstraksi gaultherin dari tanaman pada kondisi dimana aktivitas gaultherase minimal atau bahkan hilang. Dengan demikian reaksi hidrolisa gaultherin menjadi metil salisilat dan disakarida tidak akan terjadi.

Beberapa metode pengambilan gaultherin yang pernah dilakukan antara lain pada tahun 1928, diketahui bahwa gaultherin yang terdapat pada *Gaultheria procumbens* hanya dapat diekstrak menggunakan air panas dan penambahan kalsium karbonat. Proses ini diikuti dengan beberapa rangkaian ekstraksi menggunakan pelarut. Rangkaian ekstraksi tersebut menggunakan pelarut berupa asetik ester hidrat pada suhu 100⁰C. Proses tersebut menghasilkan yield akhir 4 g/kg daun segar (Bridel dan Gillon, 1928). Yield yang kecil terutama disebabkan oleh gaultherin yang terkandung dalam *Gaultheria procumbens* telah terhidrolisa oleh gaultherase.

Polev dkk pada tahun 1998 menyatakan bahwa aktivitas gaultherase terhambat dengan penambahan senyawa polar. Diyakini bahwa alkohol dapat menghambat aktivitas gaultherase. Beberapa jenis senyawa kimia lain juga dapat menimbulkan akibat yang sama seperti halnya alkohol, antara lain methylene clorida, acetonitril maupun air panas.

Alternatif yang ditawarkan pada proses produksi gaultherin dari tanaman gandapura adalah proses produksi gaultherin melalui teknologi penginaktifan enzim gaultherase dan proses ekstraksi menggunakan ekstraktor inaktivasi enzim dengan

pelarut alkohol (*alcoholic solvent extraction*). Pelarut polar akan berfungsi ganda, menginaktivasi enzim sekaligus mengekstrak gaultherin. Pelarut polar yang akan digunakan adalah etanol. Proses inaktivasi enzim menggunakan pelarut beralkohol memiliki keunggulan, karena dapat meringkas tiga tahapan proses sekaligus, yaitu proses inaktivasi enzim gaultherase, proses ekstraksi, dan proses dehidrasi osmosis (Hartati, dkk., 2008; Yuniastuti, dkk., 2008). Oleh karenanya, perolehan yield diharapkan akan meningkat. Studi awal juga telah dilakukan untuk produksi gaultherin melalui proses ekstraksi (Yuniastuti, dkk., 2008). Hasil kajian menunjukkan, bahwa inaktivasi enzim gaultherase dengan pelarut etanol yang berada dalam gandapura sangat potensial dan prospektif. Pengembangan proses bioekstraksi inaktivasi enzim ini mampu meningkatkan perolehan senyawa aktif gaultherin hingga mencapai 14,46% pada pH 8. Hal ini bisa dijelaskan bahwa gaultherase merupakan jenis enzim hydrolase, yang memiliki aktivitas optimum disekitar pH larutan asam lemah. Oleh karenanya, pada kondisi bioekstraksi basa lemah menyebabkan enzim gaultherase mengalami *unfolding*, akibatnya akan mereduksi reaksi hidrolisa gaultherin menjadi metil salisilat yang dikatalisis oleh enzim gaultherase. Selain itu, penggunaan etanol sebagai pelarut polar bersifat ingestible bagi produk-produk nutraceutical sehingga gaultherin yang dihasilkan dapat digunakan dalam bentuk tablet, pil, maupun kapsul.

Tela'ah produktivitas senyawa aktif gaultherin dengan penambahan menggunakan *drying agent* berupa gelatin, kalsium klorida dan sodium sulfat pada berbagai konsentrasi etanol maupun konsentrasi dehidrasi osmosis terhadap kadar gaultherin juga telah dilakukan (Hartati, dkk., 2008; Yuniastuti, dkk., 2008). Peningkatan konsentrasi *drying agent* maupun etanol menyebabkan perolehan gaultherin semakin besar, terutama dengan penambahan kalsium klorida. Hal ini dapat dijelaskan bahwa *drying agent* berfungsi sebagai pengering secara osmosis, yaitu proses pengambilan air dari suatu bahan yang dilakukan dengan menempatkan bahan pada larutan berkonsentrasi tinggi dimana diantara keduanya terdapat membran semipermeabel.

Air dari larutan encer akan mendifusi melalui membran ke larutan yang lebih tinggi konsentrasinya terus - menerus hingga tercapai keadaan setimbang. Mengingat sifat membran semipermeabel yang hanya dapat dilewati air dan senyawa dengan berat molekul kecil maka solut tidak dapat mendifusi melalui membran ke arah sebaliknya. Bilapun ada solut yang mendifusi, perpindahan massa yang terjadi sangat lambat. Sehingga perpindahan massa utama yang terjadi pada proses ini adalah perpindahan massa air ke larutan yang konsentrasinya tinggi (Ponting *et al.*, 1966). Akibatnya kemungkinan terjadinya reaksi hidrolisa gaultherin menjadi metil salisilat relatif rendah.

Perpindahan massa air melalui membran semipermeabel dapat berlangsung karena adanya beda potensial kimia antara kedua larutan tersebut, dimana potensial kimia air di larutan encer lebih tinggi daripada potensial kimia air di larutan dengan konsentrasi tinggi. Fenomena ini dikenal dengan peristiwa osmosis (Cheryan & Nichols, 1992). Potensial kimia merupakan fungsi konsentrasi, temperatur dan tekanan. Jika pada kondisi isothermal, maka potensial kimia hanya dipengaruhi oleh konsentrasi dan tekanan saja. Meningkatkan konsentrasi solut akan menurunkan potensial kimia solven (Lewicki & Lenart, 1995).

Akan tetapi, pencapaian keunggulan proses ini, keberhasilannya masih bergantung pada laju perpindahan gaultherin ke fasa etanol. Oleh karenanya, perlu menela'ah penyusunan model empirik perpindahan massa solut ke fasa pelarut proses inaktivasi enzim gaultherin.

Kajian Perpindahan Massa

Perpindahan massa fasa cair-cair maupun padat-cair merupakan suatu fenomena penting dalam proses ekstraksi. Salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan perpindahan massa adalah koefisien perpindahan massa. Harga koefisien perpindahan massa pada ekstraksi cai-cair dan padat-cair dalam tangki berpengaduk dipengaruhi oleh variabel sifat fisis cairan, difusivitas zat terlarut dalam cairan, bentuk dan ukuran alat, kecepatan putar pengaduk, fraksi volum fasa cair terdispersi (ϕ) dan percepatan gravitasi bumi.

Koefisien perpindahan massa fasa dispersi untuk ekstraksi dapat dikorelasikan dalam bentuk empirik dengan melibatkan bilangan tak berdimensi. Salah satu contoh korelasi ini adalah ekstraksi dalam tangki berpengaduk.

Koefisien perpindahan massa, terutama *interphase mass transfer* sering merupakan faktor yang menentukan proses kecepatan. Koefisien perpindahan massa, k , untuk *large particle regime*, diberikan oleh Miller (1971) dan beberapa peneliti sebelumnya. Korelasi yang menunjukkan adanya pengaruh ukuran diameter partikel, telah diberikan antara lain oleh Miller (1971). Barker dan Treybal

(1960) mendapatkan bahwa koefisien perpindahan massa, k , tidak tergantung ukuran partikel dan bilangan Schmidt ($Sc = 735-62000$), tetapi dipengaruhi oleh Reynolds pengaduk. Pangkat bilangan Reynolds makin besar dengan bertambah besarnya ukuran tangki, tetapi koefisien perpindahan massanya makin kecil (Barker dan Treybal, 1960).

Pengaruh perbandingan (Da/T) tidak berarti terhadap koefisien perpindahan massa pada kisaran nilai (Da/T) antara 0,27 sampai 0,54 untuk diameter tangki 30,5 cm dan kisaran nilai (Da/T) 0,34 sampai 0,70 untuk diameter tangki 45,7 cm. Hasil penelitian yang dilakukan Lewis (1954), menyatakan bahwa koefisien perpindahan massa hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds dan sifat fisis kedua fasa.

Boon-long *et al.* (1978) menyatakan perbedaan hasil penelitiannya dengan peneliti-peneliti sebelumnya, mungkin koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh geometri sistem yang dipelajari. Dari hasil studi pustaka oleh Boon-long *et al.* (1978), terlihat adanya beberapa definisi bilangan Sherwood dan Reynolds. Disamping itu terlihat juga adanya perbedaan pengambilan variabel yang dipakai untuk membuat korelasi yang sesuai dengan hasil penelitian yang bersangkutan.

Secara umum perpindahan pelarut dari *bulk solution* ke permukaan partikel sangat cepat dan kecepatan perpindahan pelarut kedalam partikel dapat cepat atau lambat. Kecepatan perpindahan pelarut ini dalam banyak hal bukan merupakan langkah yang menentukan dalam proses ekstraksi secara keseluruhan (Geankoplis, 1993). Perpindahan pelarut biasanya terjadi saat pertama partikel berkontak dengan pelarut.

Koefisien perpindahan massa volumetrik, $K_{o,a}$, akan menurun dengan peningkatan viskositas salah satu fasa baik dispersi maupun fasa kontinyu. Peningkatan koefisien ini sebanding dengan kecepatan impeller pangkat $\frac{1}{2}$ oleh Rushton-Nagata-Rooney (1964).

Model simulasi yang dikembangkan oleh Skelland dan Kanel (1992) untuk menghitung diameter tetes (*Sauter-mean diameter*) dan perpindahan massa fraksional dalam dispersi cair-cair berpengaduk secara *batch* dengan fasa kontinyu, fasa dispersi, atau kedua fasa memiliki tahanan yang signifikan untuk perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt, geometri sistem yang digunakan dan perbandingan jumlah pelarut dengan solut, Yulianto (2004, 2006).

Koefisien perpindahan massa volumetrik, $k_{L,a}$, dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt, geometri sistem yang digunakan dan perbandingan jumlah umpan dengan pelarut. Dalam bentuk hubungan kelompok tak berdimensi dapat dituliskan :

$$Sh = f$$

(Re, Sc , faktor geometri, L/S) (1)

Model Matematis Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa fasa gaultherin ditentukan dengan persamaan berikut :

$$k_d = \frac{r_t}{a \cdot V \cdot (y^* - y_t)} \quad (2)$$

dimana :

k_d = koefisien perpindahan massa, $kg/m^2 \cdot s$

r_t = laju perpindahan massa pada waktu t , kg/s

A = luas muka antar fasa spesifik, m^2

a = luas muka antar fasa spesifik tiap unit volum, $1/m$

V = volum total, m^3

y_t = fraksi berat gaultherin dalam ekstrak (data terukur) pada waktu t

y^* = fraksi berat gaultherin dalam ekstrak pada saat setimbang.

Laju perpindahan dinyatakan sebagai :

$$r_t = \left. \frac{d(E \cdot y_t)}{dt} \right|_t \quad (3)$$

dengan anggapan bahwa E bernilai tetap (karena diluen dan etanol tidak saling larut) dapat disederhanakan menjadi:

$$r_t = E \left. \frac{dy}{dt} \right|_t \quad (4)$$

R merupakan data pengukuran dan dx/dt pada waktu t dapat diperoleh dari kurva x terhadap t hasil pengukuran.

Luas muka antar fasa spesifik dihitung dari diameter *drop* rata-rata (*Sauter-mean diameter*) sebagai berikut :

$$A = a \cdot V = \frac{6 \cdot \phi}{d_{32}} \cdot V \quad (5)$$

dimana d_{32} (*Sauter-mean diameter*) diprediksi secara empirik dengan korelasi yang diusulkan oleh Mlynek dan Resnick's (1972). Korelasi ini direpresentasikan sebagai berikut :

$$\frac{d_{32}}{d_1} = 0,058 \cdot (1 + 5,4 \cdot \phi) \cdot Nwe^{-0,6} \quad (6)$$

dengan :

d_1 = diameter pengaduk, m

N = kecepatan pengaduk, rpm

Nwe = bilangan Weber pengaduk, didefinisikan sebagai $N^2 \cdot d_1^3 \cdot \rho_c / \sigma$

ρ_c = density fasa kontinyu, kg/m^3

σ = tegangan muka antar fasa, N/m

ϕ = fraksi volum fasa dispersi, tak berdimensi

Korelasi Empirik Dalam Bentuk Bilangan Tak Berdimensi

Data koefisien perpindahan massa fasa gaultherin akan diringkas menjadi sebuah persamaan empirik dalam bentuk bilangan tak berdimensi. Melihat korelasi-korelasi perpindahan massa yang ada di literatur, maka koefisien perpindahan massa akan dinyatakan sebagai bilangan Sherwood dan akan dikorelasikan terhadap bilangan Reynolds dan Schmidt. Ketiga bilangan tak berdimensi ini akan didefinisikan sebagai berikut :

$$Sh = \frac{k_d \cdot a \cdot d_1^2}{Dv}, \quad \text{bilangan Sherwood yaitu}$$

perpindahan masa antara *solute* dan *solvent* dalam *vessel* berpengaduk.

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot d_1^2}{\mu}, \quad \text{bilangan Reynolds pengaduk}$$

meliputi zona laminar, transisi dan turbulen.

$$Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot Dv}, \quad \text{bilangan Schmidt yaitu sifat fluida}$$

untuk korelasi perpindahan massa.

Korelasi bilangan tak berdimensi ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh bilangan Reynolds dan bilangan Schmidt terhadap nilai koefisien perpindahan massa, k gaultherin, dalam bentuk bilangan Sherwood. Korelasi ini tersaji pada Persamaan 7. Hasil persamaan yang diperoleh akan didekati dengan teori lapisan film dan teori penetrasi.

$$Sh = f(Re, Sc, \text{faktor geometri, } L/S) \quad (7)$$

Koefisien difusivitas Dv diperkirakan dari persamaan Wilke dan Chang (Treybal, 1981).

$$Dv = \frac{(117,3 \cdot 10^{-18})(\Phi \cdot M)^{0,5} \cdot T}{\mu \cdot \mathcal{G}^{0,6}} \quad (8)$$

dengan :

Dv = difusivitas, m^2/s

M = berat molekul pelarut, $kg/kmol$

T = Temperatur, K

μ = viskositas, $kg/m \cdot s$

\mathcal{G} = volume molal *solute* pada titik didih normal, $m^3/kmol$

Φ = faktor *association solvent* = **1,9 untuk etanol sebagai pelarut**

Kesimpulan

Laju pindah massa gaultherin ke fasa etanol pada ekstraksi gaultherin dari gandapura melalui proses inaktivasi enzim gaultherase merupakan fungsi koefisien perpindahan massa. Model matematis koefisien pindah massa sangat diperlukan dalam penentuan dimensi bioekstraktor inaktivasi enzimatis maupun scale-up alat proses.

Daftar Pustaka

Anonim, 1997. Wintergreen.

<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/med-aro/factsheet/WINTERGREEN.html>.

<http://www.mship.com/herb/product.htm>

Barat, 1998, « **Use of medications and polypharmacy are increasing among the elderly** », Journal of Clinical Epidemiology, Volume 55, Issue 8, Pages 809-817

Bhirud, P. R., & Sosulski, F. W. 1993. *Thermal inactivation kinetics of wheat germ Lipoxigenase*. Journal of Food Science, 58. 1095-1098.

Bridel. MM, Grillon S, 1928, »Metil Salisilat pada Gaultheria P », Comptes de Rendus pp 609-611

Mauludi, L, 2003, » Kelayakan Usaha Pengolahan Minyak Gandapura di Kabupaten Wonosobo Jawa Tengah » Buletin TRO Vol XIV No 2 , Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat

Miliszkiez, D; P. Wiczorek; B. Lejezak; E. Kowalik and P. Kafarski, 1992. Herbicidal activity of phosphonic and analogues and aspartic acid. Pestic.Sci. 34 : 349 - 354.

Poulev, J. M. O'Neal, S. Logendra, R. B. Pouleva, V. Timeva, A. S. Garvey, D. Gleba, I. S. Jenkins, B. T. Halpern, R. Kneer, G. M. Cragg, and I. Raskin. Elicitation, a new window into plant chemodiversity and phytochemical drug discovery. J. Med. Chem., Vol. 46, 2542 - 2547, 2003.

Skelland, A.H.P., and Kanel, J.S., (1992), "Simulation of Mass Transfer in a Batch Agitated Liquid-Liquid Dispersion", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol.31, p.908-920.

Skelland, A.H.P., and Lee, J.M., (1981), "Drop Size and Continuous-Phase Mass Transfer in Agitated Vessels", *AIChE. J.*, Vol. 27, no. 1, p.99-111.

Skelland, A.H.P., and Moeti, L.T., (1990), "Mechanism of Continuous-Phase Mass Transfer in Agitated Liquid-Liquid Systems", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol.29, p.2258-2267.

Skelland, A.H.P., and Ramsay, G.G., (1987), "Minimum Agitator Speed for Complete Liquid-Liquid Dispersion", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol.26, p.77-81.

Treybal, R.E, (1984), "*Mass-Transfer Operations*", Mc Graw Hill International Book Company.

Yulianto, M.E., (2004), "Perpindahan Massa Fasa Kontinyu Sistem Cair-Cair Dalam Tangki Berpengaduk", *Prosiding Seminar nasional Rekayasa Kimia & Proses* UNDIP Semarang, 21-22 Juli 2004, ISSN : 1411-4216, halaman D-4-1 – D-4-6.

Yulianto, M.E., Paramita, V., dan Arifan, F., (2006), "Koefisien Perpindahan Massa Fasa Dispersi Asam Lemak Bebas Dari Minyak Sawit Dalam Tangki Berpengaduk", *Jurnal Media Teknik UGM*, No. 4, Th. XXVIII, Nopember 2006, ISSN : 0216-3012, **Terakreditasi**, hal. 74 – 79.