

EKSTRAKSI ECENG GONDOK DENGAN PELARUT KARBONDIOKSIDA SUPERKRITIS

Agus Purwanto

Endang Mastuti

Jurusan Teknik Kimia – Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret - Surakarta

Abstract: *It have been done water hyacinth extraction using supercritical fluid. On getting optimal condition extraction condition, temperature and presurè supercritical fluid extractor have been adjusted. Shrinking core leaching model was proved fit well on supercritical extraction by a lot authors and in this work it's used to calculate mass transfer coefficient of the process. Dry water hyacinth roots grinded and screened with the size 20 mesh and put it in extractor apparatus. Extraction processes done on the pressure 120 atm and 140 atm. Temperature control set on 50 °C and 60 °C. CO₂ and flowrate set on 0,002 m³/min, 0,0025 m³/min, 0,003 m³/min, 0,0035 m³/min and 0,004 m³/min. Pressure on 140 atm show higher yield than 120 atm on any temperature. Temperature 50 °C show higher yield than 60 °C and optimal flowrate for 120 atm presure and 50 °C temperature is 0,003 m³/min.*

Keywords: *Extraction, Shrinking Core Model, Supercritical fluid, Yield*

PENDAHULUAN

Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (mart.) Solms) masuk ke Indonesia pada tahun 1894 dan ditanam di Kebun Raya Bogor sebagai tanaman hias karena bunganya yang sangat menarik. Eceng gondok mempunyai kemampuan berkembang biak dengan cepat pada daerah tropik dan subtropik sehingga dalam waktu singkat berubah menjadi gulma. Tanaman ini menutupi permukaan perairan dan akan mendesak tanaman air lainnya.

Penelitian yang dilakukan Sircar dan Kundu pada 1960 menunjukkan akar eceng gondok mempunyai kandungan hormon giberelin. Hormon ini akan memberikan rangsangan pada pemanjangan batang dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan termasuk daun dan akar. Saat ini indonesia mengimpor zat pengatur tumbuh termasuk hormon giberelin dalam jumlah yang cukup tinggi.

Pada penelitian sebelumnya telah digunakan ekstraksi sebagai metode pemisahan giberelin dengan menggunakan pelarut etanol, metanol dan aseton (Musbakri, 1999). Dari hasil penelitian didapat bahwa konsentrasi giberelin tertinggi dengan nilai rendemen 0,18 %.

Metode pemisahan dengan ekstraksi pada saat ini telah mengalami kemajuan dengan dimanfaatkannya ekstraksi fluida superkritis (SCF). Kelebihan yang dimiliki oleh SCF ini antara lain :

- Dengan mengatur tekanan dan suhu maka kemampuan pelarutan dapat diatur dengan mudah.

- Pemisahan solute yang terekstrak dengan solvent lebih mudah daripada ekstraksi liquid normal.

Sedang penggunaan karbon dioksida sebagai fluida superkritis mempunyai keuntungan :

- Tidak ada residu membahayakan (karbon dioksida tidak berbau, tidak berasa, inert dan tidak beracun).
- Proses pada temperatur rendah, sehingga tidak menimbulkan degradasi material yang sensitif karena suhu.
- Kualitas hasil yang tinggi.
- Selektivitas fluida superkritis bisa diatur pada kondisi operasi dan prosedur sebenarnya.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Eceng Gondok

Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (mart.) Solms) merupakan jenis tumbuhan air yang termasuk genus *Eichhornia*, famili *Pontederiaceae*, kelas *monocotyledonae* dan divisi *Phanerogamae*[20]. Tanaman ini memiliki tinggi antara 0,3 – 0,5 m dan umumnya hidup terapung diperairan. Bunga yang dihasilkan berwarna ungu biru atau putih dengan bagian menggelembung seperti gondok pada tangkai daunnya. Daun eceng gondok panjangnya antara 5 – 15 cm dan berwarna hijau. Akarnya berwarna hitam dan coklat dengan sedikit warna merah muda atau biru bagian samping akar dan panjang akar bisa mencapai 1 m [20]

Sircar dan Kundu telah melakukan studi tentang pertumbuhan zat-zat dalam ekstrak akar eceng gondok. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa ekstrak akar eceng gondok

Korespondensi : Jurusan Teknik Kimia-FT-UNS, Surakarta E-mail: AgusPur@yahoo.com

dapat mempercepat pertumbuhan akar padi, gandum, jagung, buncis dan kacang. Analisa kromatografi menunjukkan bahwa kemampuan zat ekstrak untuk mengatur pertumbuhan disebabkan adanya aktifitas hormon pertumbuhan yang selanjutnya dikenal sebagai hormon giberelin.[9]

2. Hormon Giberelin.

Hormon tanaman adalah suatu senyawa organik yang disintesis pada tanaman dan kemudian diangkut ketanaman lain, dimana pada konsentrasi yang sangat rendah akan menyebabkan suatu dampak fisiologis.[14] Sedang menurut Hartmann dan Kester (1983) hormon pertumbuhan adalah bahan organik selain nutrien yang dihasilkan oleh tumbuhan yang dalam konsentrasi rendah dapat mengatur proses fisiologis. Zat pengatur tumbuh atau hormon dalam tanaman dapat dikelompokkan menjadi lima kelompok yang telah dikenal umum yaitu auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat dan etilen.[1]

Diantara hormon yang dikenal, giberelin mempunyai kemampuan khusus memacu pertumbuhan tanaman terutama pada tumbuhan kerdil atau tumbuhan dwi tahunan yang berada pada fase roseta (mempunyai ruas pendek). Sebagian besar tumbuhan dikotil dan beberapa monokotil memberikan respon dengan cara tumbuh lebih cepat ketika diberi perlakuan giberelin. Kubis dan spesies lainnya yang berbentuk roseta (mempunyai ruas pendek) kadang tumbuh sampai 2 meter dan kemudian berbunga setelah diberi GA_3 sedang tumbuhan yang tidak diberi perlakuan GA_3 tetap pendek dan vegetatif. Tumbuhan kacang yang pendek bisa menjadi tinggi menjalar ke atas dan mutan genetik kerdil pada padi, jagung dan kapri menjadi berfenotipe tinggi seperti ciri varietas yang normal bila diberi GA_3 . Semangka, mentimun air, dan mentimun memanjang paling cepat dalam responnya terhadap giberelin tanpa gugus hidroksil karbon 13 (GA_4 , GA_7 , GA_9)

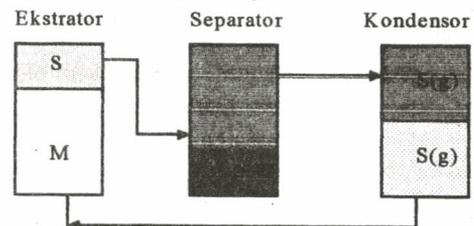
3. Ekstraksi Fluida Super Kritis

Ekstraksi adalah proses pemisahan dengan hasil berupa padatan atau cairan sesuai dengan tujuan ekstraksi. Ekstraksi dengan menggunakan pelarut menguap merupakan suatu fenomena perpindahan pembentuk bahan kedalam cairan lain (pelarut). Metode paling sederhana untuk mengesktrak padatan adalah dengan mencampurkan seluruh bahan dengan pelarut, lalu memisahkan padatan dengan padatan tidak terlarut.

Ekstraksi super kritis adalah suatu metode ekstraksi dengan prinsip pemisahan

komponen diatas titik kritis tekanan dan suhu suatu fluida pelarut[15]. Pelarutan solute dalam media fluida superkritis (SCF) telah dikenalkan oleh Hannay dan Hogarth's pada tahun 1879. Namun baru pada tahun 1960 aplikasi komersial dari ekstraksi fluida superkritis diteliti secara mendalam.

Penggambaran umum proses ekstraksi solvent modern (menggunakan medium solvent liquid dan superkritis) digambarkan secara sistematis pada gambar 1.



Gambar 1. Skema proses ekstraksi (S = Solvent, M = Material yang diekstraksi, E = Ekstrak)

4. Pemodelan Matematika.

Ekstraksi solute dari material padat merupakan sebuah proses perpindahan massa pada matriks padat. Pada saat kandungan solute pada material padat cukup besar dibandingkan kelarutannya pada phase cair, proses ini akan sama dengan desorpsi irreversible. *Shrinking core-model* telah digunakan pada modeling proses-proses ekstraksi. Model termasuk dispersi aksial pada kolom ekstraktor dan diselesaikan secara numeris. Model ini memberikan kesesuaian yang baik dengan kurva ekstraksi secara eksperimen yang pernah dilaporkan.[16]

Shrinking-core leaching model akan digunakan pada penelitian ini dengan dilandaskan pada asumsi-asumsi :

1. Giberelin terdistribusi secara merata pada partikel.
2. Partikel berbentuk bola berpori dan tidak mempunyai afinitas dengan giberelin.
3. Giberelin terekstrak dari akar eceng gondok seperti peristiwa desorpsi irreversible.
4. Giberelin terlarut dalam fluida super kritis berdiffusi menuju permukaan luar dan kemudian terbawa dalam aliran bulk.

Asumsi-asumsi telah diambil untuk penyusunan model dasar. Solvent mengalir secara aksial dengan kecepatan interstitial (v) melalui 'packed bed' pada silinder ekstraktor dengan tinggi L . Solvent murni masuk bed. Serta proses berlangsung isothermal. Dengan memperhatikan dispersi aksial, neraca massa pada badan phase fluida dalam ekstraktor adalah :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial z} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{3k_f}{R} [C - C_i(R)] \quad (1)$$

Variasi konsentrasi phase solid dipersamakan dengan kecepatan transfer massa solute melalui film eksternal sekeliling partikel :

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = \frac{3k_f}{R} [C - C_i(R)] \quad (2)$$

Diffusi pada bagian luar diberikan oleh

$$\frac{D_e}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C_i}{\partial r} \right) = 0 \quad (3)$$

Solute phase padat berada pada inti, nilai rata-rata konsentrasi phase solid \bar{q} diberikan oleh

$$\frac{\bar{q}}{q_0} = \left(\frac{r_c}{R} \right)^3 \quad (4)$$

Kondisi batas diberikan sebagai berikut. Pada batas inti, konsentrasi pada phase fluida adalah nilainya pada kondisi jenuh.

$$C_i = C_{\text{sat}} \text{ pada } r = r_c \quad (5)$$

Fluks diffusi pada permukaan luar partikel sama dengan transfer massa melalui film eksternal.

$$\left(D_e \frac{\partial C_i}{\partial r} \right)_{r=R} = k_f [C - C_i(R)] \quad (6)$$

Kondisi awal :

$$R_c = R \text{ pada } t = 0 \quad (7)$$

$$C = 0 \text{ pada } t = 0 \quad (8)$$

Kondisi batas danckwert pada bagian inlet dan bagian outlet kolom :

$$vC - D_L \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ pada } z = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ pada } z = L \quad (10)$$

Untuk menyusun persamaan dimensionless maka digunakan kelompok dimensionless:

$$x = C / C_{\text{sat}} ; x_i = C_i / C_{\text{sat}} ; \xi = r/R ; Z = z/L ;$$

$$a = v R^2 / D_e L ; \theta = (D_e / R^2) t ;$$

$$y = q / q_0 ; b = C_{\text{sat}} / q_0 ; Pe = Lv/D_L ; Bi = k_f R / D_e$$

Dengan kelompok dimensionless, persamaan 1 – 3 menjadi :

$$\frac{\partial x}{\partial \theta} + a \frac{\partial x}{\partial Z} = \frac{a}{Pe} \frac{\partial^2 x}{\partial Z^2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} 3Bi[x - x_i(1)] \quad (11)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \theta} = 3Bi b [x - x_i(1)] \quad (12)$$

$$\frac{1}{\xi^2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\xi^2 \frac{\partial x_i}{\partial \xi} \right) = 0 \quad (13)$$

Kondisi batas dan kondisi awal dimensionless adalah

$$x_i = 1 \text{ pada } \xi = \xi_c \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial x_i}{\partial \xi} \right)_{\xi=1} = Bi [x - x_i(1)] \quad (15)$$

$$\bar{y} = \xi_c^3 \quad (16)$$

$$\xi_c = 1 \text{ pada } \theta = 0 \quad (17)$$

$$x = 0 \text{ pada } \theta = 0 \quad (18)$$

$$x - \frac{1}{Pe} \frac{\partial x}{\partial Z} = 0 \text{ pada } Z = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial x}{\partial Z} = 0 \text{ pada } Z = 1 \quad (20)$$

Persamaan berikut disusun dengan menyusun ulang persamaan-persamaan ini menjadi :

$$\frac{\partial x}{\partial \theta} + a \frac{\partial x}{\partial Z} = \frac{a}{Pe} \frac{\partial^2 x}{\partial Z^2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{3Bi(x-1)}{1-Bi(1-1/\xi_c)} \quad (21)$$

$$\frac{\partial \xi_c}{\partial \theta} = \frac{b Bi (x-1)}{\xi_c^2 [1 - Bi(1-1/\xi_c)]} \quad (22)$$

Persamaan ini digabungkan dengan kondisi batas dan kondisi awal dan diselesaikan secara numerik dengan metode Crank Nicholson. Yield yang merupakan jumlah kumulatif ekstrak selama waktu θ adalah

$$yield = \frac{\varepsilon a b}{1-\varepsilon} \int_0^\theta x d\theta \quad (23)$$

METODE PENELITIAN.

Bahan baku yang digunakan adalah akar eceng gondok yang diperoleh dari sungai di wilayah surakarta. Untuk keperluan analisa digunakan KCKT (Kromatografi Cair Kinerja Tinggi) dengan bahan yang digunakan standar grade HPLC (98 %), water HPLC dan standar giberelin. Bahan yang digunakan untuk peralatan ekstraktor superkritis adalah CO₂.

Peralatan yang dibutuhkan adalah *Thermo Separation Product*, dimana alat ini sudah terintegrasi ekstraktor dan separator. Alat ini mampu bekerja pada tekanan sampai 70 Mpa. Alat ini juga dilengkapi dengan chiller CF 600 untuk mendinginkan solvent. Sebagai media pendingin digunakan methanol 20 %. Hasil ekstraksi ditampung diseparator. Untuk mengetahui yieldnya produk yang terjadi ditimbang.

Akar eceng gondok dicuci dan dikeringkan pada suhu kamar, setelah itu dipotong kecil-kecil berukuran 2 – 3 cm lalu dihaluskan. Akar eceng gondok dimasukkan kedalam ekstraktor. Kemudian CO₂ dialirkan dengan rate tertentu. Dengan mengatur temperatur dan tekanan operasi dan selang waktu tertentu

ekstraksi dilakukan. Adapun variabel yang diteliti adalah :

1. Temperatur 50 °C dan 60 °C.
2. Tekanan yang akan diteliti 120 Atm dan 140 atm.
3. Flowrate CO₂ sebesar 0,002 m³/mnt, 0,0025 m³/mnt, 0,003 m³/mnt, 0,0035 m³/mnt, 0,004 m³/mnt.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data peralatan ekstraksi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

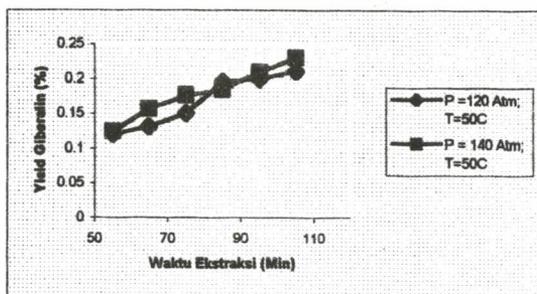
Panjang kolom (L) : 12 cm
Diameter : 2,5 cm

Dengan properti CO₂ yang digunakan :

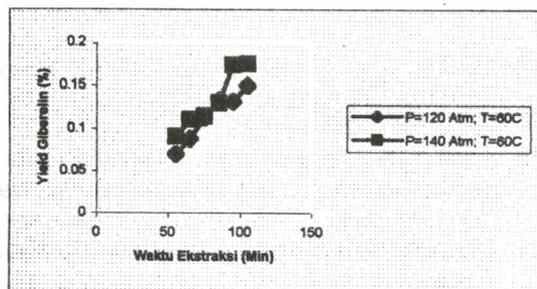
M : 44,01
T_c : 304,2 K
P_c : 73,8 atm
V_c : 94,04 cm³.mol⁻¹
ρ_c : 468 kgm⁻³

1. Pengaruh Tekanan.

Telah dilakukan ekstraksi pada suhu 50 °C dan 60 °C dengan tekanan 120 atm dan 140 atm.



(a)



(b)

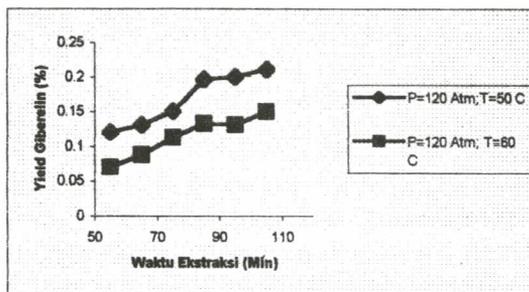
Gambar 2. Hubungan antara yield giberelin dan waktu ekstraksi pada suhu 50°C dan 60°C

Dari gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa semakin lama waktu ekstraksi yield yang diperoleh semakin besar. Giberelin yang dapat diekstraksi akan semakin banyak dan kemudian akan menunjukkan nilai yang semakin konstan dengan semakin lamanya waktu ekstraksi. Dari gambar dapat dilihat bahwa penambahan masih menunjukkan kenaikan yang tajam, sehingga menunjukkan

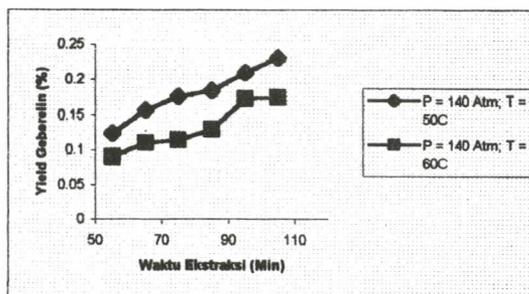
waktu ekstraksi bisa diperlama lagi untuk memberikan yield yang lebih besar.

Bila dibandingkan yield yang dihasilkan antara tekanan 120 atm dan 140 atm menunjukkan bahwa pada tekanan 140 atm memberikan yield yang lebih besar dari pada 120 atm. Pada tekanan yang lebih besar akan memberikan kemampuan yang lebih besar pada CO₂ untuk menembus ke tumpukan bahan dan akan memberikan hasil ekstraksi yang lebih besar. Selain itu menurut Mira et.al (1999) dengan adanya peningkatan tekanan akan menambah solubilitasnya.

2. Pengaruh Suhu.



(a)

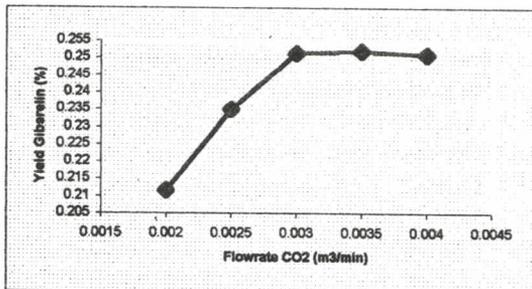


(b)

Gambar 3. Hubungan antara yield dan waktu ekstraksi pada tekanan 120 Atm dan 140 Atm

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya suhu yield yang diperoleh semakin kecil. Secara umum penambahan suhu akan meningkatkan solubilitas bahan, tetapi untuk kasus fluida superkritis perlu diperhatikan juga densitasnya. Semakin besar temperatur maka densitas CO₂ akan semakin kecil. Dari gambar dapat diartikan bahwa solubilitas bahan menurun karena pertambahan temperatur. Hal ini karena pengaruh densitas yang menurunkan solubilitas lebih dominan daripada pengaruh penambahan suhu yang memperbesar solubilitas.

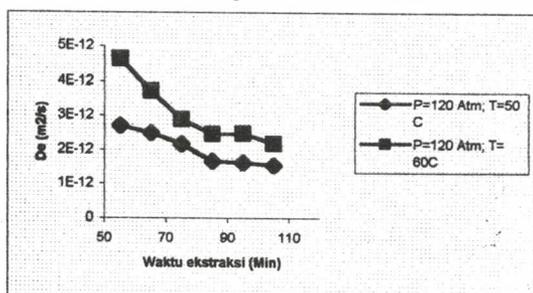
3. Pengaruh Flowrate CO₂



Gambar 4. Hubungan antara yield dan flowrate CO₂ pada tekanan 120 Atm dan suhu 50 °C

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa dengan pemanjangan flowrate akan memperbesar yield giberelin. Penambahan kemudian menjadi konstan pada rate yang lebih tinggi. Kekonstanan ini karena pada flowrate yang lebih tinggi giberelin yang ada sudah terekstrak semua dan dengan penambahan flowrate tidak akan memberikan arti pada yield.

4. Diffusivitas intrapartikel efektif.



Gambar 5. Hubungan antara De dengan waktu ekstraksi pada tekanan 120 Atm.

Diffusivitas intra partikel menunjukkan kemampuan bahan untuk berdifusi dalam partikel. Dari gambar 5 menunjukkan bahwa diffusivitas intrapartikel pada suhu 50 °C lebih kecil dari pada pada 60 °C. Nilai diffusivitas ini tergantung pada material dan lingkungannya (Motonobu, 1996). Pada temperatur yang lebih tinggi, pori-pori bahan akan semakin besar sehingga diffusivitas akan semakin besar pula.

KESIMPULAN

1. Semakin lama waktu ekstraksi akan memberikan yield yang semakin besar dan kemudian akan menjadi konstan.
2. Tekanan operasi 140 Atm memberikan yield giberelin yang lebih besar daripada tekanan 120 Atm.
3. Suhu operasi 50 °C memberikan yield giberelin yang lebih besar daripada suhu 60 °C.
4. Semakin besar flowrate yield yang diberikan semakin besar dan pada nilai

tertentu menjadi konstan. Nilai optimal flowrate pada tekanan 120 atm dan suhu 50 °C adalah 0.003 m³/min.

5. Pada suhu 50°C memberikan diffusivitas intrapartikel yang lebih besar dari pada suhu 60°C.

SARAN

Perlu dicoba ekstraksi pada flowrate 0,003 m³/min pada tekanan dan temperatur yang lain untuk dapat operasi optimalnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh proyek peningkatan kualitas SDM Ditjen Dikti Depdiknas dengan kontrak Nomor 022/LIT/BPPK-SDM/IV/2002. Atas dukungan dan bantuan pendanaannya disampaikan penghargaan dan terimakasih. Begitu pula kepada rekan-rekan yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR NOTASI.

- Bi : Biot Number ($K_f R/D_e$)
 C : Konsentrasi bulk phase fluid (M)
 Ci : Konsentrasi pada pori-pori (M)
 C sat : Konsentrasi saturasi (M)
 De : Diffusivitas efektif intrapartikel ($m^2 \cdot s^{-1}$)
 L : Panjang ekstraktor (m)
 Pe : Peclet Number ($L \cdot v/D_L$)
 q : Konsentrasi phase solid (M)
 R : Jari-jari partikel.
 t : Waktu (s).
 v : Kecepatan interstitial partikel ($m \cdot s^{-1}$)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abidin, Z., "Dasar-Dasar Pengetahuan Tentang Zat Pengatur Tumbuh", Angkasa, Bandung, 1983
- [2] Arigayo, S., "Penelusuran Giberelin dalam Leguminosae Analisis Giberelin Bebas dan Terkonyugasi dalam Biji *Leucaena leucocephala* (Lmk) De Wit Pada Berbagai Tahap Perkembangan", Tesis, Universitas Pajajaran, Bandung, 1984
- [3] B.Mira, M. Blasco, A. Berna, S. Subirats, "Supercritical CO₂ extraction of essential oil from orange peel, effect of operation conditions on the extract composition", *Journal of Supercritical Fluids*, Elsevier Science Ltd., 1999, pp 95-104.
- [4] Day, R.A. dan A.L. Underwood, "Analisis Kimia Kuantitatif", Terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1983.

- [5] Dileep K. Dandge, John P. Heiler, and Kennard V. Wilson, "Structure Solubility Correlations: Organic Compound and Dense Carbon Dioxide Binary Systems", Ind. Eng. Chem. Res. Dev.-24, 1985, pp 162-166
- [6] Ernest Guenther, "The Essential Oil", Volume I-IV, Robert E. Krieger Publishing Co., New York, 1972
- [7] Garry D. Christian, "Analytical Chemistry", 4-th ed., John Wiley and Sons, 1986, pp 354-398
- [8] Gasparic, J. dan J. Churacek, "Laboratory Handbook of Paper and Thin Layer Chromatography", John Wiley and Son, New York., 1987
- [9] Gopal, B. dan K.P. Sharma, "Water Hyacinth: The Most Troublesome Weed of The World", Hindasia, Jaipur., 1981
- [10] Gritter, R.J., J.M. Bobbit, dan A.E. Schwarting, "Pengantar Kromatografi", Terjemahan, Edisi kedua, Penerbit ITB, Bandung, 1991
- [11] Guenther, E., "Minyak Atsiri Jilid I (Terjemahan) S. Katerer", Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1987
- [12] Ketaren, S., "Pengantar Teknologi Minyak Atsir", Balai Pustaka, Jakarta, 1985
- [13] King, M.B., Bott T.R., "Extraction of Natural Product using Near-Critical Solvent", Blakie Academic & Professional, 1993
- [14] Lakitan, B., "Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman", PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, 1996
- [15] McHugh Mark A, Krukonis Val J., "Supercritical Fluid Extraction Principles and Practices", Butterworth-Heinemann, 1994
- [16] Motonobu Goto, Bhupesh C. Roy and Tsutomu Hirose, "Shrinking-Core Leaching Model For Supercritical-Fluid Extraction", J. Supercrit. Fluids, PRA Press, 1996
- [17] Penninger J.M.L., Radosz M., McHugh M.A., Krukonis V.J., "Supercritical Fluid Technology", Elsevier, New York, 1995
- [18] Rebers, M., "Giberellins an f The Cold Requirement of Tulip", Den Haag, Belanda, 1994
- [19] Sabel, W. dan Warren, "Theory and Practice of Oleoresin Extraction", Proceeding of Conference oc Spice, Tropical Product Institute, London, 1973
- [20] Stodola, J., "Encyclopedia of Water Plants", TFH Publications Inc. Neptune City, New York, 1976
- [21] S. Espinosa, S. Diaz, E.A. Brignole, "Optimal Design of Supercritical Fluids Processes", Computers and Chemical Engineering-24, Elsevier Science Ltd., 2000, pp. 1301 – 1307.