

PEMBUATAN PUPUK ORGANIK CAIR DARI KOTORAN SAPI MENGGUNAKAN KOLOM *FIXED BED* SECARA KONTINYU

Paryanto^{*}, Fawaidzdrahman, Utus Mustaqim

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta 57126 Telp/fax: 0271-632112

*Email: paryanto_ftuns@yahoo.com

Abstract: Nowadays, organic fertilizer is more interesting than anorganic fertilizer, because it doesn't cause soil degradation and the crops are healthier to be consumed. Manure is the most familiar as an organic fertilizer. This study dealt with producing of liquid organic fertilizer from cow manure in fixed bed column reactor. The reactor operated at 30 °C, 40 cmHg and 19.2 mL/s of solvent flowrate. The aim of this study was to find correlation between bed height of manure in column, particle size of manure, concentration of fertilizer and volumetric mass transfer coefficient ($k_c a$). The highest of $k_c a$ value was obtained at 25 cm of bed height, it was 0.0014 s⁻¹. The result shows that bed height of manure is linier to $k_c a$. On the other hand, particle size of manure doesn't give much influence of $k_c a$.

Keywords: extraction, fixed bed, cow manure, liquid organic fertilizer, volumetric mass transfer coefficient

PENDAHULUAN

Pertanian masa sekarang ini sudah banyak yang beralih ke pupuk organik, karena pupuk organik tidak memiliki dampak pencemaran lingkungan serta hasil pertanian lebih sehat dikonsumsi. Akan tetapi dalam produksinya terdapat kendala. Salah satu kendala produksi pupuk organik adalah tingginya harga pokok produksi jika di produksi dalam jumlah besar. Pos biaya ini terutama pada biaya transportasi bahan baku ke tempat pengolahan. Selain itu, untuk produksi pupuk organik, umumnya memerlukan waktu tinggal (proses pembuatan) yang lama setidaknya satu sampai tiga bulan. Hal ini menyebabkan biaya produksi menjadi besar terutama jika proses produksi dilakukan secara terpusat. Dengan demikian, harga jualnya menjadi tinggi dan pupuk organik yang notabene memiliki dampak tidak langsung (perlu jangka waktu lama) kalah berkompetisi dengan pupuk anorganik yang mendapatkan subsidi dari pemerintah. Apalagi dosis pemakaian pupuk organik juga jauh lebih besar dibandingkan dengan pupuk anorganik.

Pemanfaatan kotoran ternak untuk menyuburkan lahan pertanian telah lama dilakukan oleh petani/peternak, tetapi diperlukan proses yang cukup lama sehingga diperlukan cara yang lebih cepat dibandingkan dengan cara konvensional. Penelitian ini mempelajari ekstraksi pada pembuatan pupuk organik cair dari kotoran sapi menggunakan menggunakan

kolom *fixed bed*. Tujuan penelitian ini ialah mendapatkan koefisien transfer massa untuk perancangan alat kolom *fixed bed* dan mengkaji pembuatan pupuk organik cair dari kotoran sapi dengan variabel tinggi tumpukan kotoran sapi dan ukuran partikel kotoran sapi.

LANDASAN TEORI

Limbah ternak merupakan sisa buangan dari suatu kegiatan usaha peternakan termasuk usaha pemeliharaan ternak, dalam hal ini kotoran sapi. Semakin besar usaha peternakan sapi, maka semakin banyak pula kotoran yang dihasilkan. Hal ini tentu dapat menjadi penyebab gangguan pada lingkungan sekitar serta dapat menimbulkan masalah bagi peternak. Untunglah kotoran sapi merupakan limbah organik yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme.

Menurut Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bali (2008), kotoran sapi masih mengandung senyawa yang dibutuhkan oleh tanaman, yaitu nitrogen 5 – 7 %, fosfor 3 – 6 %, dan kalium 1 – 6 %. Seekor sapi dapat menghasilkan kotoran sapi yang merupakan limbah peternakan tersebut menjadi produk yang berguna dan bernilai ekonomi tinggi, yaitu sebagai pupuk organik.

Wirililik Gundoyo (2010), telah melakukan pembuatan pupuk organik cair dari bahan organik basah seperti sisa buah-buahan dan sisa sayuran dengan bantuan bakteri EM-4 yang dibiakkan selama 1 minggu. Proses pembuatan

pupuk organik cair berlangsung secara anaerob atau secara fermentasi tanpa bantuan sinar matahari dan secara *batch* dalam ember selama 7 – 10 hari.

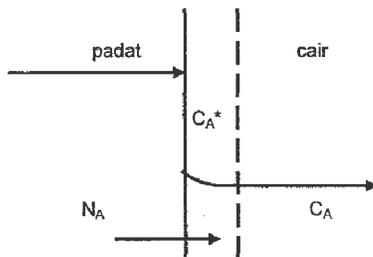
Dewi dan Paradita (2010) melakukan percobaan pembuatan pupuk organik cair menggunakan labu leher tiga dengan variasi perbandingan kotoran sapi dengan air. Perbandingan kotoran sapi dengan air sebesar 1:2 mempunyai pengaruh yang paling baik pada tanaman.

Secara umum kolom *fixed bed* terdiri dari pipa berisi tumpukan padatan atau bahan isian yang stasioner. Kolom *fixed bed* dioperasikan secara vertikal. Padatan dalam kolom dapat berbentuk butiran, pellet, silinder, maupun bola. Kolom *fixed bed* dapat digunakan untuk berbagai operasi transfer massa secara kontinyu, seperti absorpsi, adsorpsi, dan ekstraksi padat-cair. Selain itu, *fixed bed* juga dapat digunakan sebagai reaktor. Reaktor *fixed bed* umumnya digunakan untuk reaksi fase gas dengan katalisnya berupa padatan.

Kolom *fixed bed* pernah digunakan pada penelitian Angger dan M. Irfan (2010) untuk ekstraksi kandungan zat warna alami dalam kunyit. Pada penelitian tersebut kunyit diletakkan dalam kolom *fixed bed* kemudian dialirkan pelarut air pada suhu tertentu ke dalam kolom tersebut. Irianty (2011) pun telah meneliti perpindahan massa pada proses ekstraksi oleoresin cengkeh menggunakan kolom *fixed bed*. Pelarut yang digunakan adalah etanol.

Ekstraksi padat-cair banyak dipergunakan dalam industri dengan menggunakan kolom *fixed bed*, yaitu kolom yang diisi dengan butiran-butiran padatan dan dialiri pelarut tertentu yang dapat melarutkan komponen yang diinginkan dari dalam padatan tersebut (Brown, 1978).

Proses ekstraksi dapat dianggap sebagai peristiwa transfer massa yang meliputi difusi zat terlarut (*solute*) dari dalam padatan ke permukaan padatan, perpindahan massa *solute* dari permukaan padatan ke badan cairan dan difusi *solute* di dalam cairan



Gambar 1. Profil konsentrasi transfer massa antar fase padat-cair

Kecepatan ekstraksi padat-cair tergantung pada dua tahapan pokok yaitu difusi dari dalam padatan ke permukaan padatan (tahap 1) dan perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan (tahap 2). Hal ini karena difusi *solute* di dalam cairan (tahap 3) umumnya berlangsung sangat cepat. Jika perbedaan kecepatan kedua tahap hampir sama, maka kecepatan ekstraksi ditentukan oleh kecepatan proses yang paling lambat. Jika padatan sangat kecil (seperti serbuk) maka difusi dari dalam padatan ke permukaan padatan (tahap 1) berlangsung relatif sangat cepat sehingga tidak mengontrol. Akibatnya yang mengontrol adalah perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan (tahap 2). Sebaliknya, jika butir-butir berukuran besar, difusi relatif sangat lambat, sehingga yang mengontrol adalah proses difusinya (Sediawan, 1997).

Pada pembuatan pupuk organik cair ini, *solute* yang akan diekstrak adalah senyawa kalium, yaitu K_2O . Pada ekstraksi K_2O dari butiran kotoran sapi ke air, ukuran padatan dibuat sangat kecil, sehingga proses difusi K_2O dari dalam ke permukaan padatan sangat cepat dan proses transfer massa dari permukaan padatan ke cairan menjadi proses yang menentukan.

Kecepatan transfer massa K_2O dari permukaan padatan ke cairan mengikuti persamaan :

$$N_A = K_C (C_A^* - C_A) \dots \dots \dots (1)$$

Karena luas permukaan sulit dievaluasi maka digunakan faktor *a* yang menunjukkan luas muka transfer massa antar permukaan per satuan volum total. Persamaan (1) menjadi :

$$N_{AV} = k_c a (C_A^* - C_A) \dots \dots \dots (2)$$

C_A^* adalah konsentrasi K_2O dalam larutan yang setimbang dengan kadar K_2O pada permukaan padatan. Hubungan kesetimbangan antara konsentrasi K_2O dalam padatan dan pada larutan mengikuti hukum Henry, maka didekati dengan persamaan yang mirip hukum Henry.

$$C_A^* = H \cdot X_A \dots \dots \dots (3)$$

Proses ekstraksi dilakukan pada kolom *fixed bed*. Transfer massa arah aksial berlangsung dengan dua mekanisme, yaitu difusi dan dibawa oleh aliran. Jika disusun neraca massa *solute* dalam sistem, didapat bahwa:

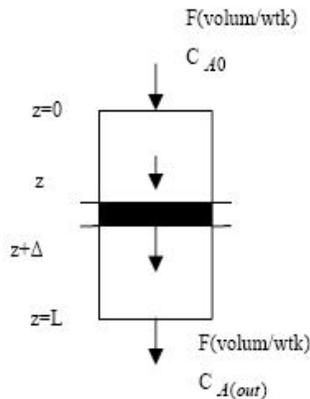
K_2O dalam butiran padatan mula-mula = K_2O dalam padatan setelah waktu *t* + K_2O dalam cairan.

$$X_{A0} W = X_A W + C_A V \dots \dots \dots (4)$$

$$X_A = X_{A0} - C_A \frac{V}{W} \dots \dots \dots (5)$$

Setelah jenuh $C_A = C_A^*$, sehingga persamaan (5) berubah menjadi:

$$X_A = X_{A0} - C_A^* \frac{V}{W} \dots (6)$$



Gambar 2. Transfer massa A pada elemen volume

Neraca massa A pada fasa cair dalam elemen volum setebal Δz:

Rate of input – rate of output = rate of accumulation

$$\begin{aligned} & \left(-D_e \cdot A \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_z + F \cdot C_A \Big|_z \right) - \\ & \left(-D_e \cdot A \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z+\Delta z} + F \cdot C_A \Big|_{z+\Delta z} \right) - \\ & k_r \cdot a (C_A^* - C_A) \cdot A \cdot \Delta z = A \cdot \Delta z \cdot \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \end{aligned} \dots (7)$$

Jika perpindahan massa difusi aksial diabaikan, maka persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} & F \cdot C_A \Big|_z - F \cdot C_A \Big|_{z+\Delta z} - k_r \cdot a (C_A^* - C_A) \cdot A \cdot \Delta z = \\ & A \cdot \Delta z \cdot \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \end{aligned} \dots (8)$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{F \cdot C_A \Big|_z - F \cdot C_A \Big|_{z+\Delta z}}{\Delta z} - k_r \cdot a (C_A^* - C_A) = \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \dots (9)$$

$$\frac{F}{A \cdot \varepsilon} \frac{\partial C_A}{\partial z} - k_r \cdot a (C_A^* - C_A) = \frac{\partial C_A}{\partial t} \dots (10)$$

Dimana

$$z = \frac{F \cdot t}{A} \dots (11)$$

Substitusi persamaan (3) dan (11) ke persamaan (10) menjadi

$$\frac{1}{z} \frac{\partial C_A}{\partial t} - k_r \cdot a (H X_A - C_A) = \frac{\partial C_A}{\partial t} \dots (12)$$

$$\left(\frac{1}{z} - 1 \right) \frac{\partial C_A}{\partial t} = k_r \cdot a (H X_A - C_A) \dots (13)$$

$$\left(\frac{1}{z} - 1 \right) \frac{\partial C_A}{H X_A - C_A} = k_r \cdot a \partial t \dots (14)$$

Batas: $t = 0, C_A = 0$

$t = t, C_A = C_A$

$$\left(\frac{1}{z} - 1 \right) \int_0^{C_A} \frac{\partial C_A}{H X_A - C_A} = k_r \cdot a \int_0^t \partial t \dots (15)$$

$$\left(\frac{1}{z} - 1 \right) \ln \frac{\partial C_A}{H X_A - C_A} = k_r \cdot a \cdot t \dots (16)$$

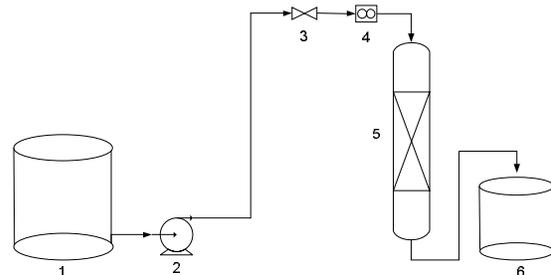
$$\ln \left(1 - \frac{C_A}{H X_A} \right) = \frac{k_r \cdot a \cdot t}{1 - \frac{1}{z}} \dots (17)$$

$$C_A = \left(1 - e^{\frac{k_r \cdot a \cdot t}{1 - \frac{1}{z}}} \right) H X_A \dots (18)$$

METODE PENELITIAN

Kotoran Sapi sebagai bahan dasar diperoleh dari peternakan sapi di eks-Karesidenan Surakarta dan sekitarnya dengan sifat fisis: kandungan nitrogen (N) 5-7%, kandungan fosfor (P) 3-6%, kandungan kalium (K) 1-6%, kandungan air 60% dan rasio C/N sebesar 18. Air sebagai pelarut diperoleh dari Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Rangkaian alat untuk penelitian merupakan suatu alat ekstraksi yang terdiri dari sebuah kolom *fixed bed* yang berisi bahan dilengkapi dengan *flowmeter* untuk mengukur laju alir pelarut dalam proses ekstraksi (Gambar 3). Spesifikasi kolom *fixed bed* yang digunakan adalah sebagai berikut: diameter 2,54 cm, tinggi 150 cm, material bahan PVC. Kolom beroperasi pada suhu 30 °C dan tekanan 40 cmHg.



Keterangan :

1. Tangki pelarut
2. Pompa
3. Valve

4. Flowmeter
5. Kolom *fixed bed*
6. Tangki produk

Gambar 3. Rangkaian alat pembuatan pupuk organik cair secara kontinyu

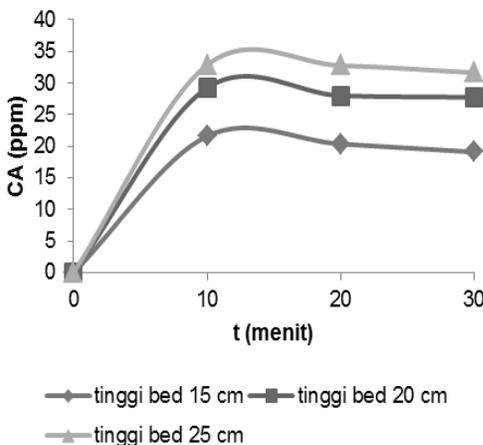
Pada penelitian ini variabel yang digunakan yakni variasi tinggi *bed* dan ukuran partikel kotoran sapi. Untuk mengetahui konsentrasi kotoran sapi, maka dilakukan ekstraksi menggunakan *soxhlet*, kemudian dianalisis kandungannya dengan *flamephotometer*. Alat penelitian dirangkai seperti Gambar 3. Pelarut air dari tangki pelarut dialirkan menuju kolom *fixed bed* dengan kecepatan 19,2 ml/detik. Hasil keluaran kolom *fixed bed* diambil setiap 10 menit, kemudian dilakukan analisis kandungan K_2O menggunakan *flamephotometer* dengan metode ekstraksi HNO_3 dan $HClO_4$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses ekstraksi adalah pupuk organik cair dengan berbagai konsentrasi dan waktu. Sampel dianalisis kandungan K_2O menggunakan *flamephotometer*. Untuk sampel kontrol diperoleh kandungan K_2O mula-mula (C_{A0}) adalah 81,42 ppm. Hasil analisis sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis K_2O pada variabel tinggi tumpukan

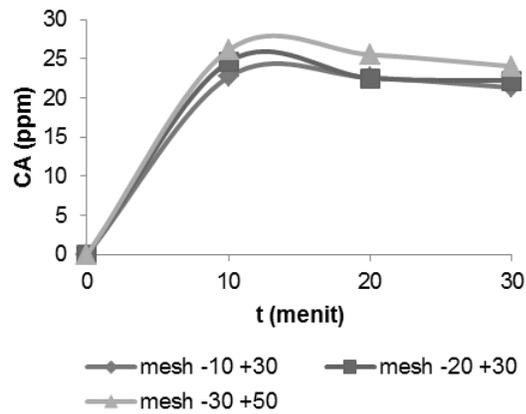
z (cm)	t (menit)	C_A (ppm)
15	10 menit pertama	21,60
	10 menit kedua	20,35
	10 menit ketiga	19,09
20	10 menit pertama	29,25
	10 menit kedua	28,00
	10 menit ketiga	27,75
25	10 menit pertama	32,89
	10 menit kedua	32,77
	10 menit ketiga	31,64



Gambar 4. Grafik hubungan C_A dengan waktu ekstraksi pada variabel tinggi bed

Tabel 2. Analisis pada variabel distribusi ukuran partikel

Ukuran (mesh)	t (menit)	C_A (ppm)
-10 +16	10 menit pertama	22,70
	10 menit kedua	22,58
	10 menit ketiga	21,32
-20 +30	10 menit pertama	24,63
	10 menit kedua	22,52
	10 menit ketiga	22,22
-30 +50	10 menit pertama	26,13
	10 menit kedua	25,53
	10 menit ketiga	24,03



Gambar 5. Grafik hubungan C_A dengan waktu ekstraksi pada variabel ukuran partikel

Dari pengolahan data dengan program Matlab diperoleh berbagai harga k_{ca} sebagai berikut:

Tabel 3. Harga k_{ca} rata-rata pada setiap variabel tinggi tumpukan

Tinggi Tumpukan (cm)	k_{ca} (s^{-1})
15	0,0009
20	0,0011
25	0,0014

Tabel 4. Harga k_{ca} rata-rata pada setiap variabel distribusi ukuran partikel

Ukuran partikel (mesh)	k_{ca} (s^{-1})
-10 +16	0,0014
-20 +30	0,0014
-30 +50	0,0014

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi pupuk cair pada berbagai sampel jauh lebih rendah dibandingkan sampel kontrol yang dapat mencapai 81,42 ppm. Hal ini karena suhu pelarut yang digunakan pada kolom *fixed bed* adalah suhu lingkungan, yaitu sekitar 30 °C. Sedangkan sampel kontrol diperoleh dengan cara ekstraksi dengan *soxhlet* sehingga suhu pelarut jauh lebih tinggi, yaitu sekitar 100 °C. Semakin tinggi suhu pelarut yang digunakan, maka semakin banyak jumlah *solute* yang berpindah dari padatan ke dalam cairan pelarut. Selain itu, aliran pelarut yang digunakan hanya *once trough*, artinya hasil ekstraksi langsung diambil dan tidak ada *recycle*. Jadi, pelarut tidak sampai jenuh, berbeda dengan ekstraksi menggunakan *soxhlet* dan proses ekstraksi *batch*.

Pada variasi tinggi tumpukan, diperoleh bahwa konsentrasi pupuk cair yang dihasilkan paling besar pada tinggi tumpukan 25 cm. Selain itu juga terdapat kecenderungan bahwa semakin tinggi tumpukan padatan dalam *fixed bed*, maka konsentrasi pupuk cair yang dihasilkan semakin besar. Hal ini karena semakin tinggi tumpukan, waktu tinggal pun semakin lama sehingga kontak transfer massa lebih efisien. Nilai $k_{c,a}$ pun semakin besar dengan meningkatnya tinggi tumpukan. Walaupun peningkatan nilai $k_{c,a}$ tersebut sangat kecil.

Pada variasi ukuran partikel padatan, diperoleh konsentrasi pupuk cair tertinggi pada ukuran padatan yang lolos 30 mesh dan tertahan 50 mesh. Ini menunjukkan bahwa ukuran butiran kotoran sapi yang semakin kecil akan meningkatkan luas permukaan transfer massa Kalium serta unsur hara lain dari butiran kotoran sapi ke dalam pelarut. Akan tetapi, perbedaan konsentrasi yang diperoleh pada masing-masing ukuran mesh tidak terlalu signifikan. Sehingga nilai $k_{c,a}$ relatif sama.

Dari grafik hubungan antara konsentrasi dengan waktu baik pada variasi tinggi tumpukan *bed* maupun variasi ukuran partikel, dapat terlihat bahwa semakin lama waktu ekstraksi, maka konsentrasi pupuk cair semakin berkurang. Ini berarti jumlah kalium yang berpindah dari padatan ke cairan semakin berkurang. Hal ini terjadi karena *driving force* pada proses transfer massa termasuk ekstraksi adalah perbedaan konsentrasi. Transfer massa semakin besar jika perbedaan konsentrasi antara pelarut dengan padatan yang akan diekstrak semakin besar. Saat pelarut dan padatan kontak untuk pertama kalinya, diperoleh beda konsentrasi tertinggi. Namun, setelah padatan terekstrak, maka konsentrasinya turun sehingga beda konsentrasi antara padatan dengan pelarut semakin rendah. Hal ini mengakibatkan kecepatan transfer massa semakin berkurang sehingga jumlah *solute* yang berpindah pun semakin berkurang menurut fungsi waktu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan nilai $k_{c,a}$ pada tinggi tumpukan 15; 20 dan 25 cm berturut-turut adalah 0,0009; 0,0011 dan 0,0014 s^{-1} . Sedangkan nilai $k_{c,a}$ pada semua ukuran mesh adalah 0,0014 s^{-1} .

Hasil konsentrasi kalium pupuk organik cair paling baik dalam penelitian ini adalah saat menggunakan tinggi tumpukan 25 cm dan ukuran partikel kotoran sapi lolos 30 mesh tertahan 50 mesh.

Pengaruh variabel tinggi tumpukan berbanding lurus terhadap koefisien transfer massa volumetris ($k_{c,a}$). Sedangkan variabel ukuran partikel tidak mempengaruhi $k_{c,a}$.

DAFTAR LAMBANG

N_A	=	Kecepatan transfer massa ($g/s.cm^2$)
N_{AV}	=	Kecepatan transfer massa volumetris ($g/s.cm^3$)
k_C	=	Koefisien transfer massa (cm/s)
$k_{c,a}$	=	Koefisien transfer massa volumetric ($1/s$)
C_A	=	Konsentrasi K_2O dalam larutan (ppm) (g/ml)
C_{A^*}	=	Konsentrasi K_2O dalam larutan yang setimbang (ppm) (g/ml)
H	=	Konstanta Difusifitas Henry (g/ml)
x_A	=	Konsentrasi K_2O dalam padatan ($g K_2O/g$ padatan)
W	=	Berat kotoran sapi (g)
V	=	Volume bed (cm^3)
ε	=	Porositas
De	=	Difusivitas (cm^2/s)
F	=	Laju alir pelarut (ml/s)
z	=	Tinggi bed (cm)
t	=	Waktu ekstraksi (s)
A	=	Luas penampang kolom <i>fixed bed</i> (cm^2)

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bali, 2008a, "Membuat Pupuk Cair Bermutu dari Limbah Kambing", www.pustaka-deptan.go.id
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Barat, 2005b, "Membuat Kompos Kotoran Sapi Lebih Berkualitas", www.pustaka-deptan.go.id
- Badan Pusat Statistik, 2011, "Penduduk Indonesia Menurut Provinsi". www.bps.go.id
- Bilad, M. R., 2009, "Ramai-ramai Bangun Pabrik Pupuk Organik: Siapa Yang Diuntungkan?", www.sasak.org
- Brown, G.G., 1978, "Unit Operations", John Wiley & Sons Inc., New York
- Dewi, P.R. dan Paradita K.O., 2010, "Laporan Tugas Akhir Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Kotoran Hewan (Sapi)", Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Gundoyo, W, 2010, "Pembuatan Pupuk Organik Cair", www.warsitotti.files.wordpress.com
- Irianty, R.S., 2011, "Estimasi Parameter Perpindahan Massa Pada Ekstraksi Oleoresin Cengkeh Dalam Kolom Fixed Bed", Jurnal Sains dan Teknologi 10 (1), Universitas Riau, Pekanbaru

-
- Lingga, Pinus., Marsono, 2002, "Petunjuk Penggunaan Pupuk", PT Penebar Swadaya, Jakarta
- Sediawan, W.B. dan Prasetya, A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia dengan Pemrograman Bahasa Basic dan Fortran", edisi I, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta