

---

## PENINGKATAN PRODUKSI DENGAN PENYEMPURNAAN PERALATAN BIOREAKTOR DAN PERBAIKAN SISTEM MANAJEMEN INTERNAL MELALUI PROGRAM TEKNOLOGI TEPAT TERAPAN (TTT) DI CV.GREEN GARDEN PUPUK ORGANIK FERTILE BOYOLALI

**Paryanto\*,Sunu H Pranolo**

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:** *Poverty and unemployment are the major problems in most developing countries such as Indonesia. As an organic fertilizer producer and marketer, CV Green Garden treats them as a potential support in business improvement. But, the management weaknesses and production process reliability are the constraints in developing it while the demand increases rapidly. This program increases production capacity by applying efficient technology for improving product quality and production process particularly in bioreactor and mixer. A series of experiments by varying circulation pump rotation rate at 200, 400, 600, 800 and 1000 rpm, and raw solid fertilizer feed at 2.5, 5.0, 7.5, 10 and 12.5 kg were executed for designing proper bioreactor. The product quality was analyzed to detect potassium content in the fertilizer. The result shows that the appropriate diameter of bioreactor is 17 cm, the height is 109 cm, the shell thickness is 0.1875", and the suitable material of construction is SA-167 grade 10 type 310. The bioreactor is equipped with a 30 cm diameter of clarifier, a heater tank (11 cm of diameter and 22 cm of height), and a feed tank (40 cm of diameter and 20 cm of height). This bioreactor converts 80% of raw solid fertilizer into liquid organic fertilizer feed. It also reduces the retention time from seven to three days. The capacity building was established by increasing in employees' discipline.*

**Keywords:** *Bioreactors, Liquid Organic Fertilizer, Management*

### PENDAHULUAN

Masalah kemiskinan dan pengangguran tampaknya masih menjadi tantangan berat bagi bangsa Indonesia dalam pembangunan nasional. Kondisi di Boyolali pada tahun 2008 tercatat banyak industri yang melakukan pemutusan hubungan kerja (PHK) terutama industri tekstil dan industri meubel, maka perlu dicarikan jalan keluarnya untuk mengantisipasi jumlah pengangguran yang meningkat. Program TTT perlu diciptakan agar pengangguran di Boyolali khususnya dan Indonesia umumnya bisa teratasi. Produk unggulan Kabupaten Boyolali difokuskan pada produk peternakan terutama sapi, makanan, industri tahu tempe, minyak atseri. Dari data tersebut, tampak bahwa bidang peternakan dan pertanian menunjukkan potensi yang prospektif untuk dipertahankan, termasuk dalam bidang ini adalah dalam hal penyediaan pupuk organik yang memanfaatkan limbah industri yang ada di Kabupaten Boyolali.

CV. Green Garden sebagai perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan pupuk organik "Fertile" dan penjualannya telah mampu

melihat potensi tersebut, dan karena pasar yang dituju oleh CV. Green Garden sangat jelas yaitu para petani yang sampai sekarang masih terpuruk (yang merupakan komposisi terbesar dalam struktur masyarakat), oleh karenanya CV. Green Garden bergerak dalam pembuatan dan penjualan pupuk organik. Namun beberapa kelemahan dalam proses produksinya dan kelemahan manajemen menjadi salah satu kendala pengembangan CV. Green Garden lebih lanjut.

Permasalahan yang dihadapi oleh mitra usaha dalam hal ini adalah CV. Green Garden adalah relatif tingginya permintaan pasar akan produk berupa pupuk organik yang belum diimbangi oleh proses produksi yang tepat, manajemen produksi yang belum tertata sempurna serta manajemen keuangan yang belum tertata dengan baik.

Tujuan yang ingin dicapai sehubungan dengan program TTT ini adalah peningkatan kemampuan industri dan pelaksana dalam bidang usaha pembuatan pupuk organik. Manfaatnya dapat memperbaiki mutu produk pupuk, perbaikan proses produksi terutama

dalam hal pembuatan bioreaktor dan mixer guna memperbaiki kualitas produk, sehingga mempunyai nilai ekonomi yang lebih tinggi.

Biomassa merupakan sumber pupuk dan energi terbarukan sedang jumlahnya yang tidak terbatas. Ada beberapa metode mengolah biomassa menjadi pupuk dan gas energi antara lain gasifikasi termokimia, pirolisis biomassa, konversi syngas dari biomassa, dan konversi mikrobial biomassa. Gasifikasi termokimia, pirolisis, dan konversi syngas membutuhkan panas yang tinggi dan proses yang panjang untuk mendapatkan hasil, serta hasil samping yang tidak diinginkan sehingga tidak efektif. Konversi dengan mikrobial merupakan proses sederhana dan murah (Nath dan Das, 2003).

Fermentasi anaerobik banyak dipelajari. Menurut McCarty (1982), fermentasi anaerobik bahan organik kompleks (karbohidrat, protein, lemak, selulosa dll) melalui 3 langkah proses sehingga terbentuk padatan berupa pupuk, gas hidrogen dan metan.

Dekomposisi anaerobik merupakan rangkaian berbagai reaksi yang berlangsung secara seri dikatalisasi oleh campuran kelompok bakteri. Pada proses ini bahan organik dikonversi menjadi pupuk dan gas bakar. Polimer (selulosa, hemiselulosa, pectin, pati, dll) dihidrolisa menjadi oligomer atau monomer. Kemudian oleh metabolisme bakteri fermentatif akan dihasilkan hidrogen (H<sub>2</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan asam organik volatil seperti asam asetat, propionat, dan butirat. Asam organik volatil selain asetat dikonversi menjadi prekursor metanogenik (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, asetat) oleh bakteri asetogen sintropik. Akhirnya, bakteri metanogenik memproduksi gas metan dari asetat atau dari CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> (Wilkie dan Colleran, 1987).

Proses fermentasi penghasil pupuk dan gas bakar dari limbah organik dapat dilakukan menggunakan kultur mikrobial yang ada di alam. Kultur mikrobial campuran terdapat dalam kompos, *sludge* digester anaerobik, dan tanah pertanian kentang atau kedele. Kultur yang kaya bakteri penghasil hidrogen, seperti *clostridia*, dapat diperoleh melalui perlakuan panas (*heat treatment*), kontrol pH, dan kontrol *hydraulic retention time* (HRT) terhadap kultur tersebut. Populasi dalam bioreaktor didominasi oleh spesies *clostridium* dan *bacillus*. Ada hubungan positif antara jumlah populasi *clostridium* dengan produksi hidrogen (Sung *et al.*, 2002).

Limbah lain yang digunakan sebagai sumber karbon adalah *non fat dry milk* (NFDM) (Sung, 2003), limbah cair tahu (Paryanto, 2001a) dan sampah organik (Paryanto, 2001b).

Pengambilan kandungan N, P, dan K dengan air merupakan proses perpindahan massa zat (N, P, dan K) dari padatan ke fase cairan (air) yang disebut dengan proses ekstraksi padat-cair (*leaching*). Pada percobaan ini dilakukan dengan menggunakan bioreaktor secara batch.

Peristiwa ekstraksi dapat dianggap sebagai peristiwa transfer massa yang meliputi:

1. Difusi zat yang terambil dari dalam padatan ke permukaan padatan.
2. Perpindahan massa zat yang terambil dari permukaan padatan ke cairan.
3. Difusi zat yang terambil di dalam cairan.

Kecepatan ekstraksi padat-cair tergantung pada dua tahapan pokok yaitu difusi dari dalam padatan ke permukaan padatan dan perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan. Jika perbedaan kecepatan kedua tahap hampir sama, maka kecepatan ekstraksi ditentukan oleh kedua proses tersebut, tetapi jika perbedaan kecepatan kedua tahapan cukup besar, maka kecepatan ekstraksi ditentukan oleh kecepatan proses yang paling lambat (Sediawan dan Prasetya, 1997).

Kecepatan transfer massa zat yang terambil (kalium) dari permukaan padatan ke cairan mengikuti persamaan :

$$N_A = k_c (C_A^* - C_A) \quad (1)$$

Karena luas permukaan sulit dievaluasi maka digunakan faktor "a" yang menunjukkan luas muka transfer massa antar permukaan persatuan volum total.

Persamaan menjadi :

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

C<sub>A</sub><sup>\*</sup> adalah konsentrasi zat terambil dalam larutan yang setimbang dengan kadar zat terambil pada permukaan padatan. Hubungan kesetimbangan antara konsentrasi zat terambil dalam padatan dan pada larutan dianggap mengikuti hukum Henry.

$$C_A^* = H.X_A \quad (3)$$

Neraca massa zat yang terambil dalam cairan di dalam bioreaktor adalah sebagai berikut :

$$R_{in} - R_{out} + R_{terlarut} = R_{acc} \quad (4)$$

$$0 - 0 + k_c a (C_A^* - C_A) V = V \frac{dC_A}{dt} \quad (5)$$

Neraca massa total zat yang terambil dalam sistem batch tersebut didapat :

Zat yang terambil dalam pupuk padat mula-mula = Zat yang terambil dalam padatan setelah waktu t + Zat yang terambil dalam cairan

$$X_0 \cdot N = X_A \cdot N + C_A \cdot V_i \quad (6)$$

$$X_A = X_0 - C_A \cdot \frac{V_i}{N} \quad (7)$$

Setelah jenuh,  $C_A = C_A^*$  sehingga persamaan (6) berubah menjadi :

$$X_A = X_0 - C_A^* \cdot \frac{V_i}{N} \quad (8)$$

Persamaan (7) disubstitusikan ke persamaan (3) diperoleh :

$$C_A^* = H \left( X_0 - \left( \frac{V_i}{N} \right) C_A \right) \quad (9)$$

Persamaan (9) disubstitusikan ke persamaan (5) diperoleh :

$$\frac{dC_A}{dt} = k_c a \left( H \left( C_0 - \frac{V_i}{N} C_A \right) - C_A \right) \quad (10)$$

Persamaan (10) dapat disusun ulang menjadi :

$$\frac{dC_A}{dt} + \left( k_c a H \frac{V_i}{N} + k_c a \right) C_A = k_c a H C_0 \quad (11)$$

$$\text{Misal : } m = k_c a H \frac{V_i}{N} + k_c a$$

$$n = k_c a H C_0$$

Sehingga persamaan (11) dapat diubah menjadi :

$$\frac{dC_A}{dt} + m C_A = n \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan persamaan diferensial ordiner orde 1. Penyelesaian secara analitis dengan kondisi batas saat  $t = 0$ ,  $C_A = 0$  dan saat  $t = t$ ,  $C_A = C_A$  diperoleh :

$$C_A = \frac{n}{m} - \frac{n}{m} e^{(-mt)} \quad (13)$$

Dari persamaan (13) dapat dilihat bahwa dibutuhkan data  $C_A$  pada berbagai waktu. Nilai

$k_c a$  tidak dapat diukur langsung dari hubungan  $C_A$  dan  $t$ . Penentuan nilai  $k_c a$  dilakukan dengan mencoba-coba kemudian membandingkan data hasil percobaan laboratorium dengan hasil simulasi model matematis.

Difusivitas solute dalam cairan ( $D_L$ ) dapat diperkirakan dengan menggunakan korelasi empiris, Wilke dan Chang mengajukan korelasi untuk menentukan difusivitas solut dalam cairan sebagai berikut :

$$D_L = \frac{7,4 \times 10^{-8} (\Phi_B M_b) T}{V_A^{0,6}} \quad (14)$$

Besarnya  $\Phi_B$  (parameter asosiasi) untuk air adalah 2,26 dan besarnya volum molar solut ditentukan berdasarkan hukum Kopp (Treyball, 1981).

Analisis dimensional adalah suatu cara untuk menyelesaikan persoalan fisis yang secara keseluruhan tidak dapat diselesaikan secara teoritis, matematis, ataupun empiris. Analisis dimensional sendiri tidak dapat menghasilkan sebuah persamaan yang lengkap, tetapi akan menghasilkan sebuah persamaan fungsional yang masih memerlukan percobaan untuk mendapatkan sebuah persamaan yang lengkap. Dengan analisis dimensional variabel-variabel akan digabungkan menjadi golongan-golongan yang tidak berdimensi. Untuk dapat menggunakan analisis dimensional terhadap suatu persoalan fisis harus diketahui terlebih dahulu variabel-variabel apa saja yang terlibat dalam persoalan tersebut.

Dipilih dimensi besaran primer massa M, panjang L, dan waktu t. Dimensi besaran sekunder selanjutnya didasarkan pada dimensi primer. Jumlah golongan tak berdimensi yang akan diperoleh dengan teorema Buckingham yang mengatakan bahwa jumlah golongan tak berdimensi yang terbentuk dari penggabungan variabel-variabel fisis adalah sama dengan jumlah variabel fisis dikurangi dengan jumlah dimensi primer. Jika ditinjau suatu proses fisis yaitu ekstraksi padat-cair dalam tangki berpengaduk, maka dapat diperkirakan variabel-variabel yang berperan adalah sebagai berikut :

**Tabel 1. Variabel yang digunakan dalam percobaan**

Variabel	Simbol	Dimensi
Rapat fluida	$\rho$	$ML^{-3}$
Viskositas fluida	$\mu$	$ML^{-1}T^{-1}$
Kecepatan pengadukan	$N$	$T^{-1}$
Koef. transfer massa volumetris	$k_c a$	$T^{-1}$
Difusivitas solut dalam solvent	$D_L$	$L^2T^{-1}$
Diameter impeller	$d_i$	$L$
Diameter butir	$d_b$	$L$
Volume fluida	$V_L$	$L^3$
Berat padatan	$W$	$M$

Penentuan golongan - golongan tak berdimensi menggunakan teorema Buckingham diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\left( \frac{k_c a d_i^2}{D_L} \right) = k \left( \frac{N d_i^2}{\mu} \right)^p \left( \frac{\rho}{D_L} \right)^q \left( \frac{d_i}{L} \right)^r \left( \frac{d_i}{d_b} \right)^s \quad (15)$$

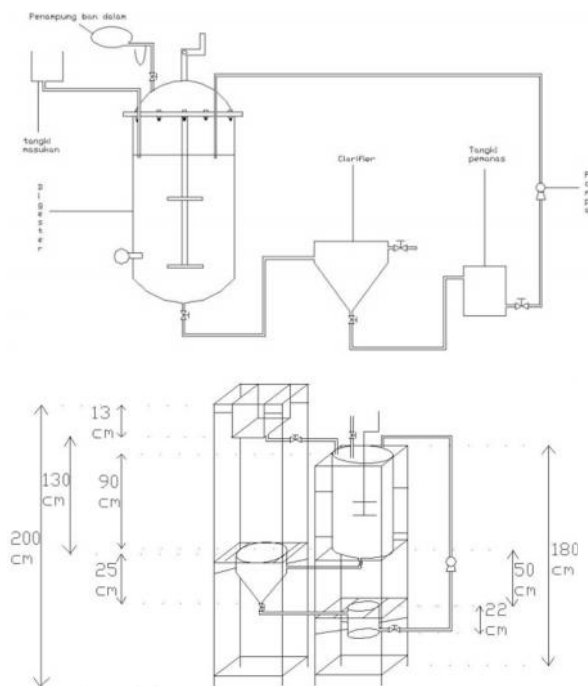
### METODE PENELITIAN

Tahap awal perancangan digester kali ini adalah menentukan kapasitas produksi pupuk organik cair yang akan dihasilkan, dari kapasitas produksi dapat ditentukan volume bioreaktor. Volume bioreaktor dihitung diameter dan ketinggiannya. Tahap selanjutnya menghitung tebal dinding bioreaktor dan menghitung tinggi cairan dalam bioreaktor tersebut. Tekanan hidrostatik dihitung pada tahap selanjutnya. Bioreaktor harus ditutup dengan sebuah *Head* yang berbentuk *Torispherical*, dan dilakukan perhitungannya. Akhirnya didapatkan perhitungan akhir rancangan digester secara detail. Selanjutnya dihitung pula *Nozzle*.

Dilakukan percobaan dengan bervariasi sirkulasi pompa dan jumlah bahan pupuk padat yang akan diekstraksi menjadi pupuk organik cair, percobaan dilakukan pada kecepatan sirkulasi pompa 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm, 800 rpm dan 1000 rpm, serta variabel jumlah pupuk organik padat dari 2,5 kg, 5 kg, 7,5 kg, 10 kg dan 12,5 kg, untuk mengetahui bahwa pupuk telah terekstrak dianalisis kadar kaliumnya (K).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

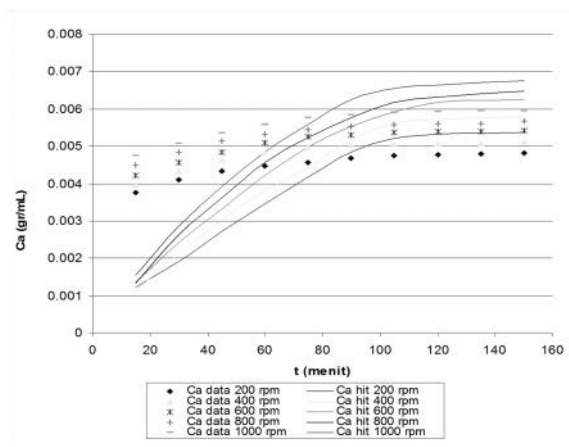
Bioreaktor lama yang dipakai adalah potongan drum minyak tanah yang diisi padatan pupuk organik dan air dengan perbandingan 1 : 1, dengan cara mengaduk secara manual, untuk menghasilkan pupuk organik cair diperlukan waktu sekitar satu minggu hasil yang terekstrak sekitar 60%.



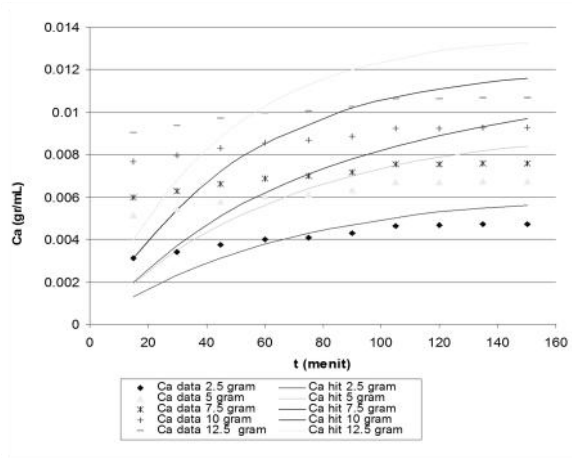
**Gambar 1. Rangkaian Alat Proses**

Sedangkan rancangan bioreaktor yang baru adalah dimensi Bioreaktor (volume 100 liter, diameter 17 cm, tinggi 109 cm, tebal sheel 0,1875 inc), dimensi Tangki Umpan (diameter 40 cm, tinggi 20 cm), diameter Tangki Pengendapan 30 cm

Dari hasil uji coba bioreaktor memerlukan waktu dua hari jadi ada efisiensi hari selama lima hari dan terekstrak lebih banyak sekitar 80%.



**Gambar 1. Grafik hubungan antara Konsentrasi ( $C_A$ ) dengan t (menit) pada Variasi Kecepatan Sirkulasi Pompa**



Gambar 2. Grafik hubungan antara Konsentrasi (Ca) dengan t (menit) pada Variasi Berat Pupuk Padat

Perhitungan secara bilangan tidak berdimensi menghasilkan nilai sebagai berikut:

$$\left[ \frac{kca \times d_i^2}{D_L} \right] = 3.26023 \times \left[ \frac{\dots \times N \times d_i^2}{\sim} \right]^{0.2608}$$

Hasil pupuk organik cair yang telah terekstrak sebanyak 80% kandungan hara.

## KESIMPULAN

Dari hasil yang didapat disimpulkan bahwa Volume bioreaktor yang baru sebesar 100 Liter dengan ukuran diameter 17 cm, tinggi 109 cm termasuk tinggi head, tebal sheel 0,1875 inc, bahan SA 167 grade 10 tipe 310. Clarifier dengan diameter 30 cm, tangki pemanas diameter 11 cm dan tinggi 22 cm, tangki umpan diameter 40 cm dan tinggi 20 cm. Hasil yang pupuk organik cair yang terekstrak sebesar 80% unsur hara ( kadar kalium (K)). Manajemen internal telah dilakukan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana Teknologi Tepat Terpadu (TTT) mengucapkan terimakasih kepada Departemen Pendidikan Nasional Provinsi Jawa Tengah atas kesempatan dan pendanaan yang diberikan melalui program TTT dan Jurusan Teknik Kimia UNS serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNS yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan program ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, L.E, and Young, E.H, 1959, *Process Equipment Design*, 1<sup>st</sup> edition, McGraw Hill International Book Company, New York
- Lee, Jr., J.W., Peterson, D.L., and Stickey, A.R., 1989, "Anaerobic Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater". *Environmental Prog.*, 8, 74
- Logan, B.E., Oh, S.E., Kim, S.K., and Van Ginkel, S., 2002, "Biological Hydrogen Production Measured in Batch Anaerobic Respirometers", *Environ. Sci. Technol.*, 36, 2530-2535.
- Paryanto, 2001b, "Pengolahan Sampah Organik yang Mudah Terurai di dalam Bioreaktor Dua Tahap dengan Teknologi Pengendali Otomatis", *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan Teknik Kimia 2001*
- Paryanto, 2001b, "Pengolahan Sampah Organik yang Mudah Terurai di dalam Bioreaktor Dua Tahap dengan Teknologi Pengendali Otomatis", *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan Teknik Kimia 2001*
- United Nations, 1996. "Guidebook On Biogas Development". Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok, Thailand.
- Wang, C.C., Chang, C.W., Chu, C.P., Lee, D.J. and Chang, B.V., 2003a, "Sequential Production of Hydrogen and Methane from Wastewater Sludge Using Anaerobic Fermentation", 34, 6, pp. 683-687, *J. Chin. Inst. Chem. Engrs*