

PERURAIAN LIMBAH MAKANAN MENGGUNAKAN BIOREAKTOR AEROBIK DALAM FASA SUSPENSI

APPLICATION OF AEROBIC BIOREACTOR FOR DEGRADATION OF FOOD WASTES IN SUSPENSION PHASE

Soeprijanto

Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS

e-mail: soeprijanto@chem-eng.its.ac.id

Abstract

The purpose of this study was to degrade food wastes to simple compounds. The experiments were conducted using a slurry aerobic bioreactor with a working volume of 25 L. The bioreactor was aerated with an air flow rate of 12 L/min and an organic loading rate of 2 g/L.day. Parameters determined during operations were total solids, COD, dissolved oxygen, pH, total nitrogen and total phosphorous. The results showed that during operation time of 90 days, the oxygen requirement for degradation of food waste was 0.35 g O₂/g dry weight. The degradation of solid waste was 79.60% and the removal efficiency of total COD was 79.40%. Dissolution and mineralization of food wastes achieved maximum nitrogen concentration of 123.3 mg NH₄-N/L and that of phosphorus of 32.2 mg PO₄-P/L. It concluded that the aerobic bioreactor could decompose fresh food wastes during a time period of 90 days without intermittent removal of suspended solids in the system.

Keywords: food wastes, dissolved oxygen, slurry-aerobic bioreactor

1. PENDAHULUAN

Perkembangan jumlah rumah makan di kota besar seperti Surabaya sangat mempengaruhi peningkatan jumlah dari timbulan sampah. Sampah ini biasanya hanya ditumpuk dalam suatu tempat tertentu dan dibiarkan terurai dengan sendirinya. Selain itu ada sampah yang dibakar, namun dalam jumlah yang terbatas. Banyak terjadinya penumpukan sampah organik karena pemanfaatannya belum maksimal. Hal tersebut menjadi persoalan yang harus segera diatasi. Sampah mempunyai beberapa dampak yang negatif, seperti: (1) mengganggu kesehatan, karena merupakan tempat sarang berbagai sumber bibit penyakit, (2) mengganggu lingkungan sosial, karena mengeluarkan bau yang kurang sedap dan merupakan pemandangan yang tidak sedap, (3) mencemari air di daerah sekitar sampah yang ditumpuk.

Limbah makanan sebagian besar berupa sisa sayuran, buah-buahan, daging atau ikan, dan

bahan pokok lainnya. Secara umum, limbah organik tersebut mengandung air lebih dari 80% dan mengandung minyak serta bahan organik yang mudah diuraikan secara biologi (Gonzales *et al.*, 2005; Yun *et al.*, 2000). Sangat sulit untuk menyimpan limbah makanan dalam waktu yang cukup lama sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir (Park *et al.*, 2002). Hal ini disebabkan oleh alasan sanitasi, misalnya pertumbuhan lalat, pertumbuhan bakteri patogen, dan bau tak sedap yang terkait dengan peruraian secara anaerobik.

Limbah makanan yang berasal dari sisa makanan biasanya banyak berasal dari restoran, kafetaria, universitas, dan industri yang bergerak dalam bidang makanan. Karakteristik limbah makanan tersebut banyak mengandung unsur karbon (C), nitrogen (N), dan fosfat (P). Unsur-unsur tersebut merupakan sumber unsur utama untuk pertumbuhan mikroorganisme. Unsur-unsur C dan N merupakan elemen penting yang mempunyai

pengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme di dalam proses fermentasi. Karbon merupakan sumber energi dan nitrogen diperlukan dalam pembentukan sel baru mikroba (Shuler dan Kargi, 1992). Rentang rasio C dan N yang disarankan cukup luas, yaitu 15-40. Rasio C dan N yang terlalu tinggi menyebabkan kecepatan pertumbuhan yang meningkat dan menghasilkan biomassa yang cukup banyak. Pada rasio C dan N yang rendah, banyak nitrogen yang berubah menjadi ammonia. Tipikal komposisi limbah makanan di Jepang mempunyai rasio C dan N sekitar 20 (Gonzales *et al.*, 2005; Aoshima *et al.*, 2001) dan di Korea mempunyai rasio C dan N lebih kurang 7 (Yun *et al.*, 2000).

Banyak teknologi yang digunakan untuk mengolah limbah makanan antara lain: (1) peruraian dalam reaktor tersuspensi (Gonzales *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2002; Yun *et al.*, 2000), (2) peruraian secara anaerobik (Shin *et al.*, 2001), (3) peruraian secara aerobik dengan kandungan padatan cukup tinggi (Walker *et al.*, 1999; Vander Gheynst *et al.*, 1997), (4) *landfill* dan/atau insinerasi adalah teknologi yang digunakan untuk menangani limbah makanan (Liu *et al.*, 2002; Han dan Shin, 2002; Shin *et al.*, 2001; Imai *et al.*, 2000; Tsukahara *et al.*, 1999). *Landfill* membutuhkan lahan yang luas. Insinerasi membutuhkan jumlah energi yang cukup besar untuk menghilangkan kandungan air. Hal ini disebabkan limbah makanan mengandung kadar air yang tinggi. Daur ulang limbah makanan sebagai kompos atau makanan hewan sudah banyak dilakukan secara intensif dengan kecepatan proses yang cukup tinggi (Yun *et al.*, 1994; Kubota dan Nakasaki, 1991; Matthur *et al.*, 1986). Proses komposting kurang cocok karena kandungan garam di dalam limbah makanan cukup tinggi (Park *et al.*, 2002; Yun *et al.*, 2000).

Proses pengolahan limbah dapat memanfaatkan mikroorganisme yang berasal dari air limbah, udara, tanah ataupun kotoran hewan yang hidup di pengolahan limbah. Proses seleksi bagi tiap individu dalam proses

pengolahan limbah adalah merupakan bagian yang terpenting. Pada pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif (*activated sludge*), mikroorganisme tersebar secara merata di dalam reaktor pengolahan dan spesiesnya tidak beragam. Faktor lingkungan mempunyai peranan yang penting dalam penguraian limbah makanan. Lingkungan pada proses komposting secara aerobik dalam fasa padat berbeda dengan lingkungan pada bioreaktor yang mempunyai fasa suspensi. Mikroorganisme yang digunakan dalam bioreaktor adalah mikroba untuk proses komposting aerobik (Yun *et al.*, 2000) atau mikroba dari lumpur aktif (Gonzales *et al.*, 2005) yang diinkubasi. Proses degradasi limbah makanan sebesar 91 % berat kering diperoleh dengan waktu operasi selama lebih dari 90 hari (Park *et al.*, 2002). Yun *et al.* (2000) menyatakan bahwa hasil peruraian limbah makanan sebesar 85,7% berat kering selama 5 hari dengan menggunakan jenis bioreaktor aerobik.

Bioreaktor aerobik tersuspensi dapat digunakan atau dikembangkan untuk menguraikan limbah makanan dengan kecepatan yang cukup tinggi. Bioreaktor ini dioperasikan seperti pada proses penguraian secara aerobik dengan menggunakan substrat dalam fasa padat (Shuler dan Kargi, 1992). Air ditambahkan ke dalam bioreaktor untuk membentuk fasa suspensi. Bioreaktor dilengkapi dengan pengaduk untuk meningkatkan proses pencampuran. Peningkatan pencampuran dimaksudkan untuk meningkatkan kecepatan transfer oksigen sehingga menaikkan kecepatan proses peruraian limbah makanan dalam bioreaktor. Proses dalam fasa suspensi diharapkan dapat memberikan lingkungan yang lebih baik bagi mikroorganisme aerobik bila dibandingkan dengan proses dalam fasa padat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan peruraian limbah makanan di dalam bioreaktor aerobik dalam fasa suspensi. Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengestimasi kebutuhan oksigen pada pengoperasian bioreaktor untuk perancangan dalam skala besar.

2. METODOLOGI

Limbah Makanan

Limbah makanan sintetis yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 1. Komposisi limbah makanan sintesis mendekati komposisi limbah makanan yang berasal dari limbah restoran. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan kesalahan dalam melakukan sampling. Limbah makanan yang digunakan pada penelitian ini dalam kondisi basah, tetapi berat bahan dinyatakan sebagai berat kering.

Tabel 1. Komposisi Limbah Makanan

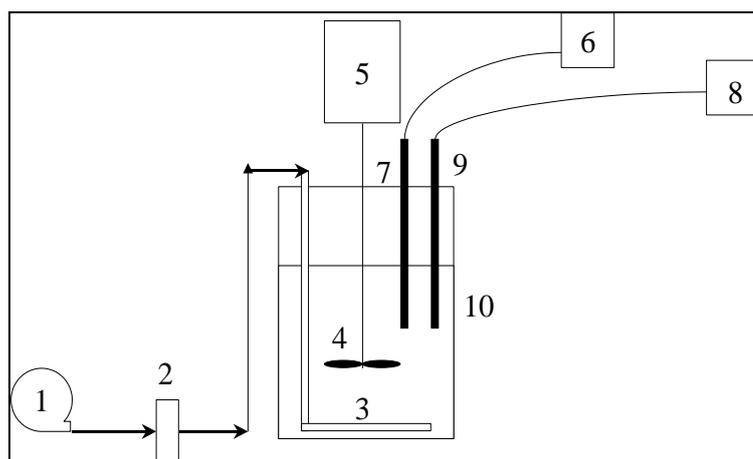
Tipe Makanan	Komposisi (% berat)
Cereals	16
Buah-buahan	14
Sayur-sayuran	51
Ikan	19

Mikroorganisme

Mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian adalah *Green Phoskko Activator* untuk proses komposting. *Green Phoskko Activator* diambil sebanyak 12,5 g dimasukkan ke dalam gelas erlenmeyer 500 mL yang berisi 25 g berat kering limbah makanan yang digunakan sebagai substrat. Selanjutnya suspensi ini ditambah air hingga volumenya menjadi 250 mL, diaerasi, dan diinkubasi selama 10 hari.

Persiapan Eksperimen

Bioreaktor aerobik yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk tanki berpengaduk seperti pada Gambar 1. Bioreaktor terbuat dari bahan plastik dengan volume kerja 25 L. Bioreaktor ini dilengkapi dengan *impeller* bertipe turbine dan difuser untuk pengadukan serta aerasi.



Gambar 1. Diagram Skema Bioreaktor Aerobik untuk Menguraikan Limbah Makanan dalam Fasa Suspensi. (1: Pompa Udara; 2: Flow Meter; 3: Distributor Udara; 4: Impeller; 5: Motor Pengaduk; 6 DO Meter; 7: DO Elektroda; 8: pH Meter; 9: pH Elektroda; 10: Bioreaktor).

Bioreaktor diisi dengan air PDAM sampai volume kerja reaktor dan mikroba campuran yang sudah tersedia dari hasil inkubasi sebanyak 250 mL. Kemudian umpan limbah organik dimasukkan ke dalam bioreaktor sebanyak 167 g berat basah/hari, atau setara dengan 2 g berat kering/L.hari dengan kadar air bahan $\pm 70\%$. Bioreaktor dioperasikan dengan melakukan pengadukan dan pengaliran udara untuk proses aerasi dengan

kecepatan 12 L/menit. Difusi gelembung udara yang halus disuplai menggunakan *rotary displacement air blowers*. Bioreaktor dioperasikan pada suhu kamar ($\pm 30^\circ\text{C}$).

Analisis Sampel

Pengambilan sampel dilakukan setiap hari setelah dan sebelum pemberian umpan. Volume cairan dalam bioreaktor dijaga agar selalu konstan sesuai dengan keadaan awal

dengan menambahkan air pada setiap sampling. Perubahan volume selama proses berlangsung disebabkan karena penguapan dan padatan tersuspensi menempel pada dinding bioreaktor. Padatan yang menempel pada dinding dapat dikembalikan lagi ke dalam sistem dengan pengerukan untuk mendapatkan kondisi suspensi yang lengkap.

Sampel diambil sebanyak 25 mL, kemudian *dicentrifuge* pada 3000 rpm selama 10 menit. Supernatan disaring melalui filter membran Whatman dengan diameter pori-pori 0,45 μm untuk menganalisis $\text{NH}_4\text{-N}$, dan $\text{PO}_4\text{-P}$. Suspensi sebanyak 2 mL diambil untuk analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*). Total padatan diukur dengan mengeringkan sampel sebanyak 25 mL ke dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Metoda analisis COD menggunakan *Spectroquant Nova COD 60 A methods*. Sebelumnya 2 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung yang berisi reagen dari Merck dan direaksikan menggunakan thermoreaktor TR 420 pada suhu 120°C selama 2 jam. Amonium dan fosfat dianalisis menggunakan *ion chromatography* (APHA, AWWA, dan WEF, 1995).

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) dan pH diukur menggunakan elektroda tercelup

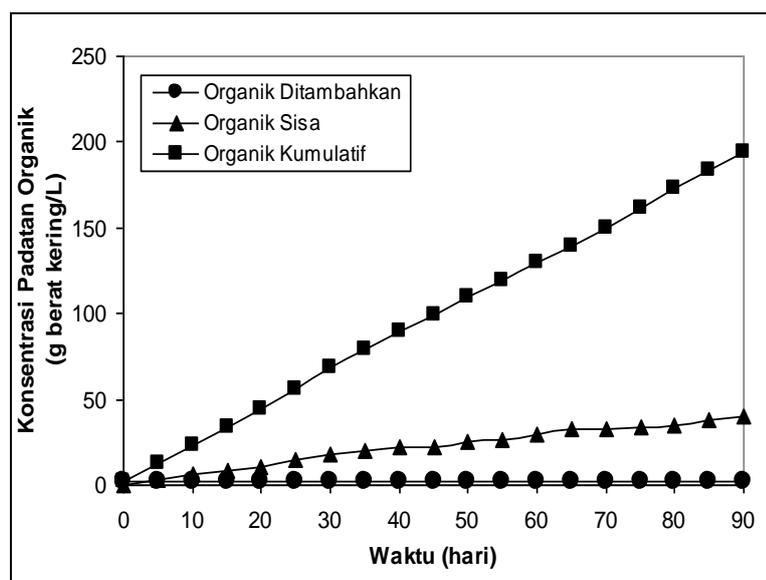
(Hana, USA). Pengukuran DO dilakukan sebelum dan sesudah setiap pengumpanan limbah makanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Limbah Padat Organik

Profil kandungan padatan organik selama periode operasi 90 hari ditunjukkan dalam Gambar 2. Bioreaktor juga dilengkapi dengan pengaduk. Aerator dioperasikan dengan menambahkan limbah makanan sebanyak kurang lebih 2 g berat kering/L.hari selama periode operasi ini. Total konsentrasi padatan organik yang ditambahkan ke dalam bioreaktor sebesar 194,36 g/L, dengan kecepatan peruraian sebesar 1,7 g/L.hari. Konsentrasi padatan yang tidak dapat diuraikan sebesar 39,65 g/L (nilai ini merupakan terakumulasinya bahan padatan yang tidak dapat diuraikan sebesar 0,47 g/L.hari selama periode operasi 90 hari).

Bioreaktor dialiri udara dengan laju alir 12 L/menit agar mikroorganisme dapat melakukan proses metabolisme selama periode operasi 90 hari. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kebutuhan oksigen volumetris sebesar 0,69 g O_2 /L.hari. Kebutuhan oksigen untuk menguraikan limbah makanan adalah 0,35 g O_2 /g berat kering limbah makanan.



Gambar 2. Profil Padatan Organik Selama Periode Operasi

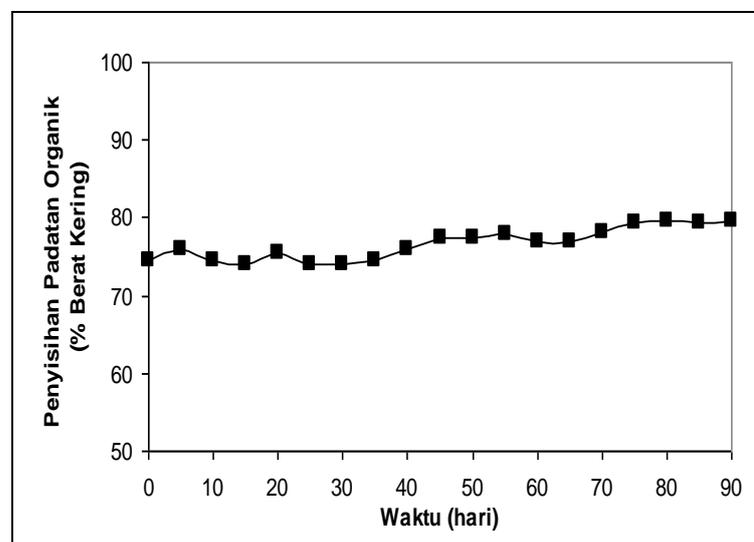
Profil Efisiensi Penyisihan Limbah Padat Organik

Gambar 3 menunjukkan profil penyisihan padatan organik selama periode operasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penyisihan limbah padat organik yang konstan dari awal operasi sampai hari ke 35, yaitu sebesar 75%. Kemudian terjadi sedikit kenaikan penyisihan padatan sampai hari ke-55 dan mencapai keadaan yang konstan sampai akhir periode operasi dengan penyisihan limbah padat organik sebesar 79,6%. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat menguraikan limbah padat organik sebesar 154,71 g/L dari 194,36 g/L.

Penyisihan limbah padat organik pada penelitian ini (79,6%) lebih kecil daripada penelitian yang dilakukan oleh Park *et al.* (2002). Park *et al.* (2002) menyatakan bahwa dengan menggunakan limbah makanan dari restaurant diperoleh pengurangan padatan organik sebesar 91% dalam periode operasi

90 menit. Tetapi, hasil penelitian ini lebih besar bila dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Shin *et al.* (1996). Mereka melakukan proses peruraian limbah makanan dalam fasa padat secara konvensional melalui proses komposting dengan hasil penyisihan padatan organik sebesar 37%.

Rendahnya penguraian limbah padat organik pada sistem bioreaktor dalam penelitian ini disebabkan oleh rendahnya laju alir udara yang diaerasikan ke dalam bioreaktor. Konsentrasi oksigen yang terlarut lebih kurang 4,95 mg/L. Pada akhir periode operasi terjadi bau yang kurang sedap. Hal ini disebabkan oleh terjadinya proses anaerobik karena rendahnya konsentrasi oksigen yang terlarut. Hal ini juga disebabkan oleh tingginya nilai viskositas dan jumlah padatan tersuspensi di dalam bioreaktor. Kenaikan padatan tersuspensi di dalam bioreaktor disebabkan karena terakumulasinya padatan organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme pada limbah makanan yang diumpankan.

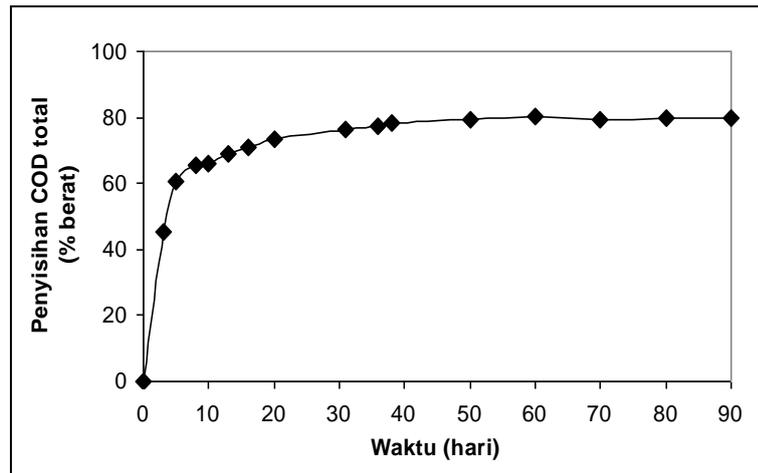


Gambar 3. Profil Efisiensi Penyisihan Padatan Organik

Penyisihan COD Selama Periode Waktu Operasi

Hasil penyisihan COD total selama periode waktu operasi ditunjukkan dalam Gambar 4. Efisiensi penyisihan COD mengalami kenaikan setelah hari ke pertama hingga mencapai hari ke 50 dengan kenaikan mulai

dari 0 sampai sekitar 79,40%. Selanjutnya penyisihan COD konstan hingga hari ke 90. Hasil ini menunjukkan bahwa ada aktivitas mikroorganisme yang menguraikan limbah makanan sebagai sumber karbon dan mengkonsumsi oksigen sebagai sumber energi.

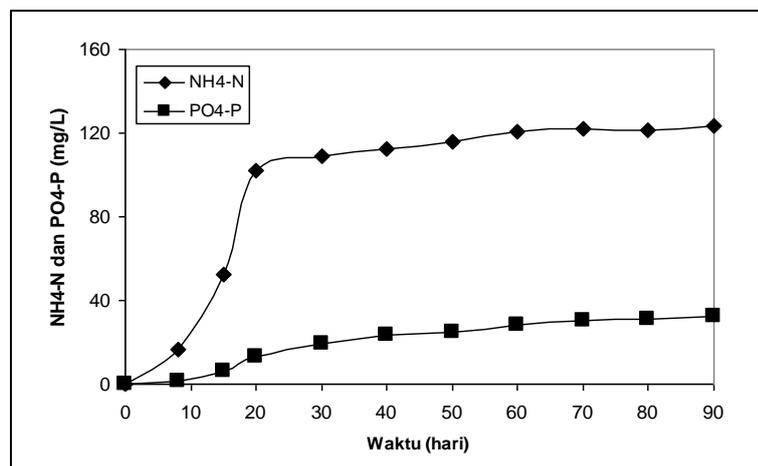


Gambar 4. Persen Penyisihan COD_{total} selama Periode Waktu Operasi

Profil Nitrogen dan Fosforus

Profil nitrogen dan fosforus selama proses ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengumpulan limbah organik 194,36 g berat kering/L selama periode waktu 90 hari, konsentrasi nitrogen naik sangat tajam. Kenaikan tersebut terjadi dari hari ke-1 sampai ke-20, dari konsentrasi 0 mg/L hingga 110 mg/L. Kemudian konsentrasi nitrogen naik lagi dengan perlahan sampai hari ke 60, dan konstan sampai hari ke 90 sebesar 123,3 mg NH₄-N/L.

Pada pengamatan konsentrasi fosforus, konsentrasi naik secara perlahan dari hari ke-1 hingga hari ke-90, dan mencapai konsentrasi maksimum sebesar 32,2 mg PO₄-P/L. Meningkatnya konsentrasi dari kedua unsur ini menunjukkan bahwa terjadi proses kelarutan dan mineralisasi dari padatan organik yang disebabkan oleh adanya aktivitas mikroorganisme aerobik. Hal ini menunjukkan pemberian oksigen yang cukup penting untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme di dalam proses metabolisme.



Gambar 5. Profil NH₄-N dan PO₄-P Selama Periode Waktu Operasi

Profil Oksigen Terlarut (DO), pH, dan Suhu

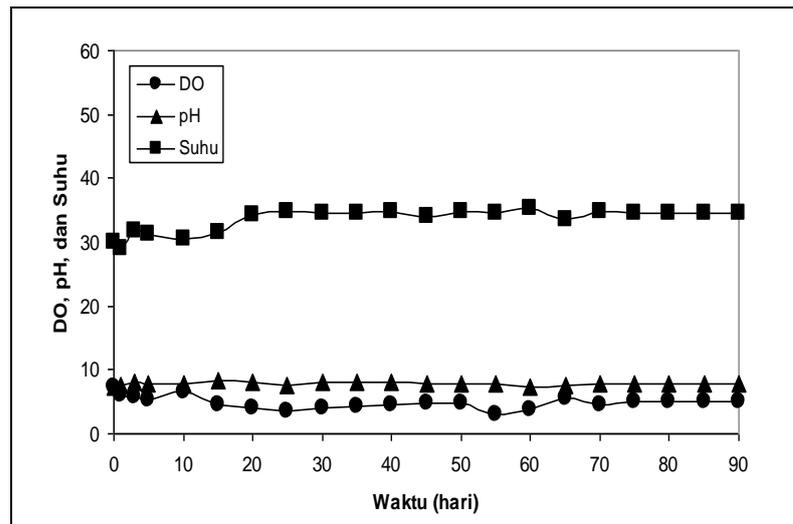
Gambar 6 menunjukkan profil oksigen terlarut, pH, dan suhu selama periode operasi. Umpan padatan organik dimasukkan ke dalam bioreaktor setiap hari. Setiap penambahan

umpan, setelah beberapa saat terjadi penurunan nilai DO yang sangat cepat dari konsentrasi 5 mg/L sampai 0,1 mg/L. Kemudian secara perlahan-lahan nilai DO mengalami kenaikan dan kembali ke keadaan semula bila proses peruraian bahan telah selesai. Penurunan nilai

DO disebabkan oleh aktivitas mikro-organisme yang memerlukan oksigen sebagai *electron acceptor* untuk menguraikan bahan organik secara aerobik dan menghasilkan energi.

Nilai DO turun bersamaan dengan kenaikan suhu operasi rata-rata 32 sampai 35°C. Hal ini

menunjukkan bahwa oksigen terlarut di dalam suspensi dikonsumsi oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang menghasilkan energi panas di dalam bioreaktor. Setelah beberapa menit kemudian suhu menurun kembali ke keadaan semula pada suhu kamar 27°C. Nilai pH meningkat walaupun tidak terlalu signifikan dari 7,5 sampai 8.



Gambar 6. Profil DO, pH, dan Suhu Selama Periode Operasi

4. KESIMPULAN

Bioreaktor aerobik tersuspensi bekerja secara kontinyu. Bioreaktor ini dapat dikembangkan untuk mengolah limbah makanan dalam periode waktu 90 hari. Proses ini berlangsung tanpa dilakukan pengeluaran bahan padat secara berkala. Konsentrasi oksigen yang terlarut mempunyai peranan sangat penting selama periode operasi. Parameter konsentrasi ini dapat digunakan sebagai indikator untuk melihat unjuk kerja bioreaktor. Berdasarkan kebutuhan oksigen 0,35 g O₂/g berat kering limbah makanan, mikroorganisme dapat menguraikan limbah makanan sebesar 79,60 % (w/w) dengan kecepatan peruraian sebesar 1,7 g/L.hari. Proses kelarutan dan mineralisasi untuk menghasilkan konsentrasi nitrogen dan fosfor yang tinggi dicapai dalam periode operasi sampai hari ke 20. Kemudian konsentrasi nitrogen dan fosfor tersebut mengalami penurunan hingga hari ke 90.

DAFTAR PUSTAKA

- Aoshima, M., Pedro, MS., Haruta, S., Ding, L., Fukada, T., Kigawa, A., Kodama, T., Ishii, M., dan Igarashi, Y. (2001). Analyses of microbial community within a composter operated using household garbage with special reference to the addition of soybean oil. *J. Biosci. Bioeng.* 91. 456-461.
- APHA, AWWA and WEF (1995). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th edition. American Public Health Association, Washington DC.
- Gonzales, H.B., Takyu, K., Sakashita, H., Nakano, Y., Nishijima, W., dan Okada, M. (2005). Biological Solubilisation and Mineralisation as Novel Approach for the Pretreatment of Food Waste. *Chemosphere.* 58. 57-63.

- Han, S.K. dan Shin, H.S. (2002). Enhanced Acidogenic Fermentation of Food Waste in a Continuous-flow Reactor. *Waste Manage. Res.* 20. 110-118.
- Imai, T., Ukita, M., Sekine, M., Fukagawa, M., dan Nakanishi, H. (2000). Fact-finding Survey of Actual Garbage Discharged from Dormitory and its Biological Anaerobic-aerobic Treatment. *Wat. Sci. Technol.* 41. 129-135.
- Kubota, H. dan Nakasaki, K. (1991). Accelerated Thermophilic Composting of Garbage. *Biocycle.* 32. 66-68.
- Liu, H.W., Walter, H.K., Vogt, G.M., Vogt, H.S., dan Holbein, B.E. (2002). Steam Pressure Disruption of Municipal Solid Waste Enhances Anaerobic Digestion Kinetics and Biogas Yield. *Biotechnol. Bioeng.* 77. 121-129.
- Matthur, R.S. Gaur, A.C., Magu, S.P., dan Sadasivan, K.V. (1986). Accelerated Composting and Improved Yield. *Biocycle.* 27. 42-45.
- Park, J.I., Yun, Y.S., dan Park, J.M. (2002). Long Term Operation of Slurry Bioreactor for Decomposition of Food Wastes. *Bioresour. Technol.* 84. 101-104.
- Shin, H.S., Han, S.K., Song, Y.C., dan Lee, C.Y. (2001). Performance of UASB Reactor Treating Leachate from Acidogenic Fermenter in the Two-phase Anaerobic Digestion of Food Waste. *Wat. Res.* 35. 3441-3447.
- Shin, H.S., Hwang, E.J., Jeong, Y.K., Kang, S.T., dan Jeong, Y.I. (1996). Study on Operating Conditions for High Rate Garbage Composting. *J. Korean Solid Wastes Eng. Soc.* 13. 202-210.
- Shuler, M.L. dan Kargi, F. (1992). *Bioprocess Engineering: Basic Concepts*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Tsukahara, K., Yagishita, T., Ogi, T., dan Sawayama, S. (1999). Treatment of Liquid Fraction Separated from Liquidised Food Waste in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *J. Biosci. Bioeng.* 87. 554-556.
- Vander Gheynst, J.S., Gossett, J.M., dan Walker, L.P. (1997). High Solids Aerobic Decomposition: Pilot-scale Reactor Development and Experimentation. *Process Biochem.* 32. 361-375.
- Walker, L.P., Nock, T.D., Gossett, J.M., dan Vander Gheynst, J.S. (1999). The Role of Periodic Agitation and Water Addition in Managing Moisture Limitations High-Solids Aerobic Decomposition. *Process Biochem.* 34. 601-612.
- Yun, Y.S., Park, J.I., Suh, M.S., dan Park, J.M. (2000). Treatment of Food Wastes Using Slurry-phase Decomposition. *Bioresour. Technol.* 73. 21-27.
- Yun, Y.S., Yoo, K.Y., Park, H.W., Kim, K.S., dan Yu, M.J. (1994). Determination of Optimum Process Variables in the Design and Operation of Aerobic Composting for Food Wastes. *J. Korean Solid Wastes Eng. Soc.* 11. 377-387.