

PERUBAHAN SIFAT FISIK SAMPAH ORGANIK PADAT PADA PROSES PENGOMPOSAN SECARA *OPEN WINDROW*

Yohanes Setiyo

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana

ABSTRACT

This research was done with aim to identify physical properties changes during composting process of organic municipal solid waste. Bulk density, moisture content, particle size, and porosity of produced compost were observed every one week at three point depth of composting process. Oxygen concentration at the critical point was observed for checking the diffusion potential of air. This observation was done everyday by using Cosmotector type XPO-318.

Relation equation between bulk density, porosity and moisture content with time of composting product were described by $\rho = -0.0966t^2 + 9.23t + 147.8$ with the value of $R^2 = 0.95$, $C = -0.0292\ln(t) + 0.745$ with value of $R^2 = 0.944$, and $M_c = -0.0785\ln(t) + 0.8685$ with $r^2 = 0.95$. Process should be further supported with a turning over of the compost which done weekly so the availability of O_2 at amount of 50 to 190 g/kg air.

Keywords: municipal solid waste, open windrow, composting

kadar air yang optimal untuk proses pengomposan adalah $60 \pm 5\%$.

Menurut Finstein *et al.* (1983) pembatas keberhasilan proses pengomposan adalah aktivitas mikroorganismenya. Pengaturan ventilasi bertujuan untuk pengaturan ketersediaan oksigen, pengaturan suhu pengomposan, dan pengaturan kelembaban udara di pori-pori sampah agar mikroorganismenya dapat beraktivitas menguraikan bahan organik.

Pengaturan ventilasi dilakukan dengan pengadukan bahan organik yang dikomposkan. Kendala untuk pengaturan ventilasi adalah selalu berubahnya sifat fisik bahan organik terutama porositasnya. Bahan organik selama proses dekomposisi akan mengalami perubahan fisik menjadi partikel yang lebih kecil ukurannya.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji perubahan sifat fisik bahan organik padat selama proses pengomposan. Kajian dilakukan terhadap parameter kerapatan massa, porositas, serta kadar air.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah sampah organik padat, dan air. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah bio-reaktor tipe setengah silinder, timbangan, bejana terbuat dari ember, oven serta meteran.

Prosedur Percobaan

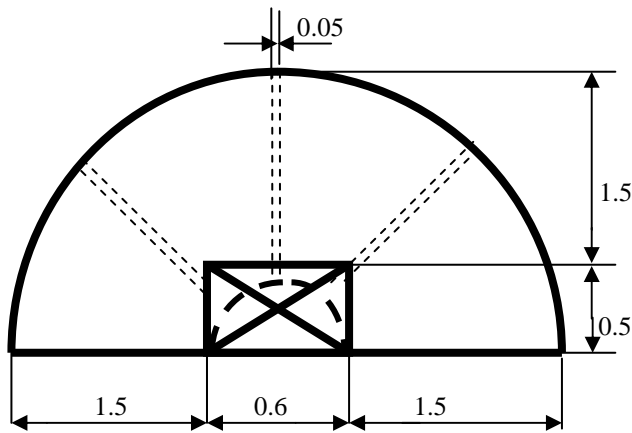
1. Sampah organik dihomogenisasi ukuran partikelnya dengan kerapatan massa antara 180 kg/m^3 sampai 230 kg/m^3 , dan kadar air antara 0.6. Sampah organik kemudian ditumpuk diatas lubang angin pada bio-reaktor. Tumpukan sampah memanjang membentuk setengah silinder dengan jari-jari luar $r_L = 1.5$ dan $r_L = 1.8$ m, jari-jari lubang angin (r_d) 0.3 m. Panjang tumpukan 3 m. Jumlah percobaan pengomposan yang dilakukan ada 12 unit, yaitu; 8 unit pada bio-reaktor dengan lubang angin $\frac{1}{2}$ silinder (kerapatan massa 180 kg/m^3 dan 230 kg/m^3 masing-masing 4 unit), dan 4 unit untuk bioreaktor lubang angin berbentuk segitiga.
2. Pengukuran sifat fisik sampah organik yang dikomposkan dilakukan setiap satu minggu, dan sampel diambil dari lapisan atas, lapisan tengah dan lapisan bawah. Sifat fisik sampah organik adalah kerapatan massa, porositas dan kadar air. Pengukuran sifat fisik tersebut dilakukan dengan prosedur berikut ini :

PENDAHULUAN

Menurut Finstein *et al.* (1983) pembatas keberhasilan proses pengomposan adalah aktivitas mikroorganismenya. Pengaturan ventilasi bertujuan untuk pengaturan ketersediaan oksigen, pengaturan suhu pengomposan, dan pengaturan kelembaban udara di pori-pori sampah agar mikroorganismenya dapat beraktivitas menguraikan bahan organik.

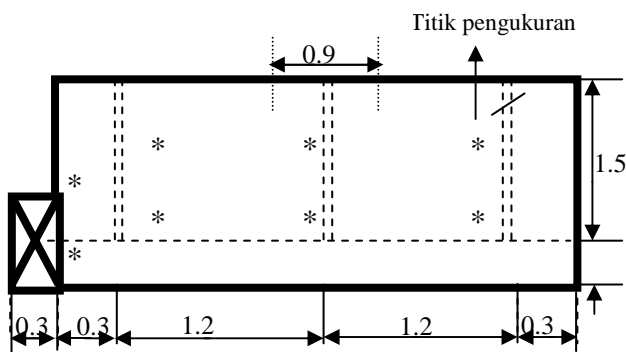
Aerasi untuk pengomposan jerami adalah $5.15 \times 10^3 - 1.72 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{kg(awal)-jam}$ pada suhu pengomposan $50-65^\circ\text{C}$. Aerasi dihentikan pada suhu pengomposan 40°C , sebab pada suhu ini tidak optimal untuk mengembangkan mikroorganismenya termofilik. Pada kecepatan aerasi $3.44 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{kg(awal)-jam}$, proses pengomposan terhambat karena proses pendinginan (Nakasaki *et al.*, 1987).

Menurut Finstein *et al.* (1983) oksigen merupakan unsur esensial dalam reaksi pengomposan secara *aerob*. Jumlah minimal oksigen di udara apabila suhu optimum untuk pengomposan 5%. Konsentrasi oksigen di bawah 5% menyebabkan oksigen sulit diserap mikroorganismenya (Brodie *et al.*, 2000). Difusi oksigen oleh bahan organik sangat dipengaruhi oleh kadar air bahan. Menurut Nakasaki *et al.* (1987b) dan Inbar *et al.* (1988) pada kadar air 60 – 70% konsumsi oksigennya lebih tinggi dari pada kadar air di bawah 50%. Pada kadar air tinggi difusi oksigen lebih sulit karena pori-pori pada material terisi air. Menurut Yagihashi (2003)



Gambar 1. Bioreaktor tampak depan (m).

- a. Kerapatan massa merupakan massa (m_s) dibagi dengan volume (V_s). Penimbangan massa sampah didapatkan m_s , dan penempatan massa sampah di tabung didapatkan V_s . Berat sampel tiap fraksi sampah organik yang digunakan adalah 5 kg, pengukuran dilakukan 5 kali.
 - b. Porositas merupakan perbandingan antara volume udara pada massa bahan dibagi volume yang ditempati bahan. Volume udara di massa sampah didekati dengan volume air yang ditambahkan pada massa kompos, air akan menggantikan udara menempati pori-pori dalam massa sampah tersebut. Berat sampel yang digunakan untuk pengukuran porositas 5 kg, pengukuran dilakukan 5 kali.
 - c. Kadar air fraksi sampah organik diukur dengan metode metode oven, AOAC (1995).
3. Pengukuran % volume O_2 masuk dan O_2 keluar menggunakan Cosmotector tipe XPO-318.



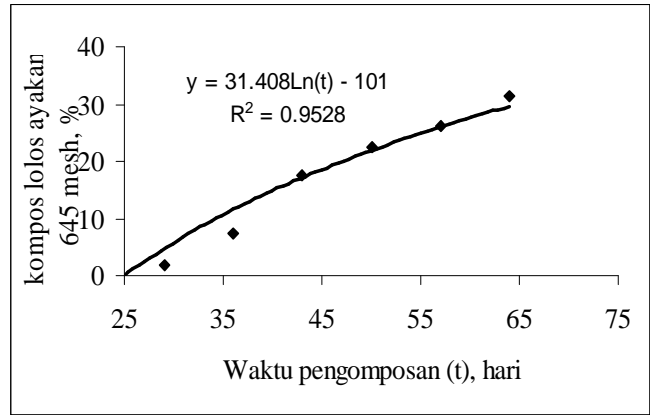
Gambar 2. Bioreaktor tampak samping (dalam m).

HASIL PENELITIAN

Perubahan ukuran partikel kompos digambarkan dengan prosentase partikel kompos yang lolos pada ayakan 645 mesh. Partikel yang lolos untuk kompos berumur 4 minggu adalah 7.5%, jumlah ini terus meningkat sesuai umur pengomposan seperti Gambar 3.

Hubungan prosentase partikel kompos yang lolos ayakan 645 mesh dengan waktu pengomposan ditulis-

kan $y = 31.4 \ln(t) - 101$. Hubungan ini merupakan hubungan berbentuk logaritmik dengan gradient kelengkungan kurva 31.4, sehingga kelihatannya kurva mendekati linier. Nilai R^2 0.95 artinya 95% data-data partikel kompos yang lolos ayakan 645 mesh berkorelasi terhadap waktu, sedangkan 5% data akibat pengaruh faktor lain.



Gambar 3. Persentase partikel kompos yang lolos ayakan 645 mesh.

Dekomposisi partikel bahan organik dari jaringan tanaman menjadi partikel-partikel halus berupa debu kecepataannya sangat dipengaruhi oleh kecepatan reaksi kimia pengomposan, ratio berat partikel dengan luas permukaan, serta bentuk partikel awal (Hobson, 1987). Proses pembusukan atau kerusakan jaringan tanaman terjadi di awal pengomposan. Proses sintesa partikel-partikel kompos terjadi pada proses pematangan. Oleh sebab itu, partikel halus dari kompos mulai terlihat di fase pematangan atau mulai minggu kelima.

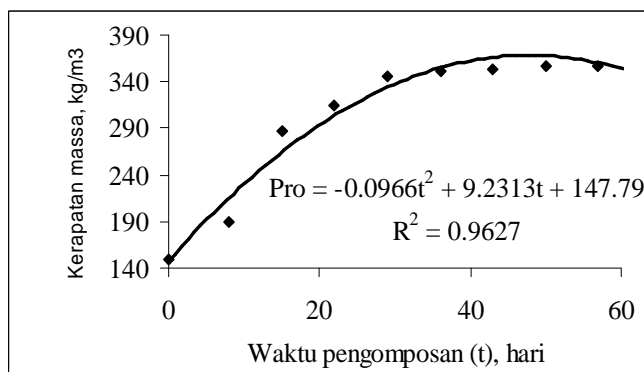
Persamaan $\rho = -0.0966t^2 + 9.23t + 147.8$ di Gambar 4 adalah hubungan kerapatan massa dengan waktu pengomposan, dengan $R^2 = 0.96$. Perubahan ini terjadi secara eksponensial mengikuti pola perubahan populasi konsorsium mikroorganisme pengurai bahan organik dan perubahan ukuran partikel kompos.

Kerapatan massa pada awal pengomposan berkisar antara 140 – 150 kg/m^3 , di akhir minggu pertama kerapatan massa menjadi 160–185 kg/m^3 atau terjadi kenaikan sebesar 25-33%. Kerusakan jaringan bahan organik dan diikuti proses pelayuan bahan organik berupa daun segar akibat reaksi kimia di awal pengomposan menyebabkan pemampatan.

Kerapatan massa di awal minggu kedua sebesar 160 – 185 kg/m^3 di akhir minggu keenam menjadi sekitar 320 – 360 kg/m^3 . Perubahan kerapatan massa dari awal minggu pertama sampai minggu keenam secara prosentase mencapai 200%, hal ini dikarenakan terjadi pengecilan ukuran sampah menjadi partikel yang lebih kecil karena proses dekomposisi.

Namun, dari awal minggu ketujuh sampai akhir minggu kesembilan perubahan kerapatan massa secara

prosentase hanya sekitar 10%. Pada proses pematangan perubahan ukuran partikel sampah sudah relatif kecil, karena pada tahap ini terjadi sintesa partikel-partikel penyusun kompos.



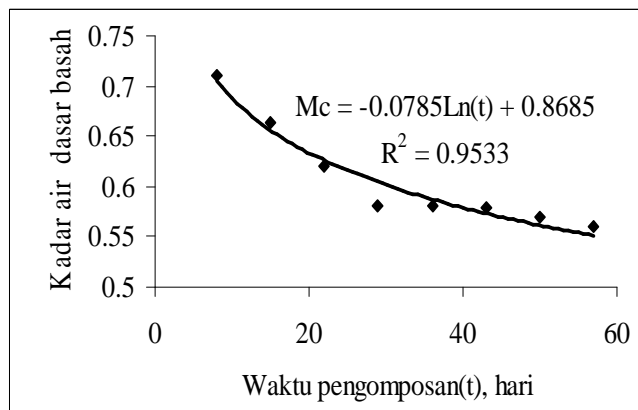
Gambar 4. Kerapatan massa selama proses pengomposan.

Perubahan porositas sampah selama proses pengomposan memiliki kecenderungan berkebalikan dengan perubahan kerapatan massa. Pada minggu pertama porositas berubah dari 1.0-1.2 menjadi 0.7-0.8 atau berubah 40%. Porositas Pada minggu kedua 0.7-0.8 dan pada minggu keenam menjadi 0.55-0.6 atau terjadi perubahan 25%, hal ini disebabkan karena proses dekomposisi bahan organik padat. Mulai minggu ketujuh nilai porositas mulai stabil, karena pada proses pematangan kompos perubahan ukuran partikel relatif kecil. Hubungan antara porositas dengan waktu pengomposan hasil percobaan dirumuskan $C = -0.0292\text{Ln}(t) + 0.745$ dengan $R^2 = 0.944$.

Pola perubahan kerapatan massa, porositas dan ukuran partikel sampah organik terhadap waktu pengomposan adalah kurva logaritmik. Pola ini sesuai dengan hasil penelitian Hobson (1987) serta hasil penelitian Hills dan Nakano (1984).

Kadar air bahan organik padat selama pengomposan tanpa pembalikan mengalami perubahan dalam pola mendekati pola perubahan porositas, hal ini dilihat dari pola dan nilai gradient garis singgung kurva. Nilai gradient garis singgung kurva menunjukkan pola perubahan laju penurunan kadar air. Secara keseluruhan kadar air sampah organik yang dikomposkan masih ideal untuk proses pengomposan, karena masih berada antara 0.5 – 0.7 atau pada kisaran 0.6 (Barrington *et al.*, 2002; Martin, 1998).

Pada minggu pertama sampai akhir minggu kedua kadar air berubah secara cepat, hal ini dikarenakan kenaikan laju penguapan akibat kenaikan perbedaan tekanan uap air di udara dan bahan organik karena kenaikan suhu. Namun mulai minggu ketiga kadar air menurun secara perlahan, hal ini dikarenakan kecepatan reaksi kimia proses pengomposan mulai menurun dan perbedaan tekanan uap air di udara dan bahan organik mulai mengecil.



Gambar 5. Kadar air sampah organik selama pengomposan.

Pola perubahan kadar air selama proses pengomposan digambarkan pada Gambar 5. Hubungan antara kadar air dengan waktu pengomposan secara matematik dituliskan $Mc = -0.0785\text{Ln}(t) + 0.8685$ dan nilai $R^2 = 0.95$. Pada minggu pertama kadar air berubah dari 0.72 g/g dasar basah menjadi sekitar 0.6 g/g dasar basah. Pada proses dekomposisi mulai minggu kedua sampai minggu kesembilan, kadar air berubah dari 0.6 g/g menjadi sekitar 0.56 g/g.

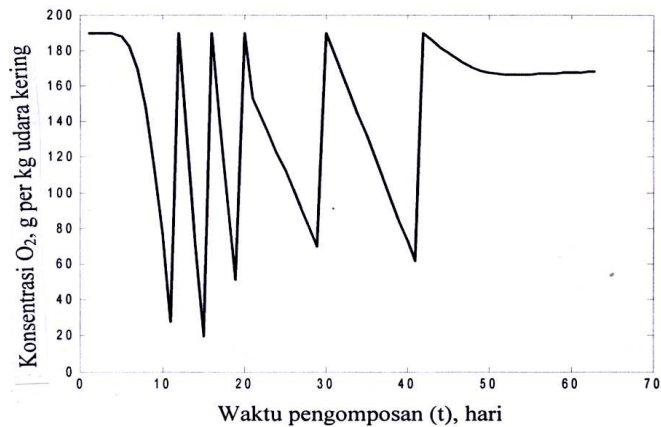
Konsentrasi oksigen di dalam pori-pori sampah mengalami penurunan, karena jumlah oksigen yang dikonsumsi dalam reaksi pengomposan lebih besar dengan laju difusi oksigen akibat perbedaan konsentrasi antara dua lapisan. Perbedaan konsentrasi oksigen setiap penambahan jari-jari 0.3 m sebesar rata-rata 1.05 g kg⁻¹ udara.

Konsentrasi oksigen pada masing-masing titik sangat dipengaruhi oleh difusivitas massa dan laju konsumsi oksigen oleh mikroorganisme (R_{O_2}). Difusivitas massa merupakan fungsi kerapatan massa, porositas, dan ketebalan massa bahan yang dilewati (dr). Konsentrasi O_2 di pori-pori sampah organik pada setiap elemen massa (m_s) dituliskan:

$$C_{O_2(t,j,k)} = C_{O_2(t-1,j,k)} + (D_r \frac{C_{O_2(t-1,j-1,k)} - C_{O_2(t-1,j+1,k)}}{2\Delta r} + \frac{C_{O_2(t-1,j,k-1)} - C_{O_2(t-1,j,k+1)}}{2\Delta r} - 0.032R_{O_2,t} . m_{s(j)}) \Delta t$$

Nilai konsentrasi oksigen ditunjukkan oleh Gambar 6.

Konsentrasi oksigen pada lapisan paling tengah atau $r = 0.9$ m , panjang = 1.5 m dan $\theta = 90^\circ$ seperti Gambar 6. Titik kritis untuk model simulasi adalah konsentrasi oksigen 50 g O_2 per kg udara atau 5% dari volume udara. (Brodie *et al.*, 2000) Di hari ke-9 reaksi pengomposan terjadi secara anaerob, karena O_2 berada di bawah titik kritis. Konsentrasi O_2 di bawah titik kritis reaksi pengomposan mencapai puncak.



Gambar 6. Konsentrasi oksigen di lapisan tumpukan sampah $r = 90$ cm.

Secara umum reaksi pengomposan sampah organik dengan tinggi tumpukan awal 1.8 m dan kerapatan massa awal 180 kg/m^3 memerlukan pembalikan 6 – 7 kali, namun antara hari ke-0 sampai hari ke-14 perlu dibalik minimal 3 kali agar kekurangan oksigen teratasi. Menurut Fistein *et al.* (1986) dan Nishizaki *et al.* (1997) frekuensi pembalikan bahan organik yang dikomposkan adalah 7 – 10 hari sekali.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hubungan prosentase partikel kompos yang lolos ayakan 645 mesh dengan waktu pengomposan dituliskan $y = 31.4\ln(t) - 101$ dengan $R^2 = 0.95$, persamaan $\rho = -0.0966t^2 + 9.23t + 147.8$ menyatakan hubungan kerapatan massa dengan waktu pengomposan dengan $R^2 = 0.95$. Hubungan antara porositas dengan waktu pengomposan hasil percobaan dirumuskan $C = -0.0292\ln(t) + 0.745$ dengan $R^2 = 0.944$, dan hubungan antara kadar air dengan waktu pengomposan secara matematik dituliskan $M_c = -0.0785\ln(t) + 0.8685$ dengan nilai $R^2 = 0.95$.

Saran

Reaksi pengomposan sampah organik dengan tinggi tumpukan awal 1.8 m dan kerapatan massa awal 180 kg/m^3 memerlukan pembalikan 6 – 7 kali, namun antara hari ke-0 sampai hari ke-14 perlu dibalik minimal 3 kali agar kekurangan oksigen teratasi. Hal ini bertujuan agar reaksi pengomposan terjadi secara aerob, sehingga difusi oksigen akibat perubahan sifat fisik bahan organik ke titik paling kritis masih terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Barrington, S., D. Ccoiniere, M. Trigui dan K. Knight. 2002. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *J. Biores. Technol.* 83: 189–194.
- Brodie, H.L., L.E. Carr dan P. Condon. 2000. A comparison of static pile and turned windrow methods for poultry litter compost production. *Compost Sci. Util.* 8: 178–189.
- Finstein, M.S, F.C. Miller dan F. Strom. 1986. Waste treatment composting as a controlled system. *J Biotechnol.* 8: 366–396.
- Hills, D.J. dan K. Nakano. 1984. Degradation of different-sized particles in tomato waste. *J. Agric. Wastes* 10: 285.
- Hobson, P.N. 1987. A model of some aspects of microbial degradation of particulate substrates. *J Ferment. Technol.* 65(4): 431439.
- Inbar, Y, Y. Chen, Y. Hadar Y dan O. Verdonck. 1988. Composting of agricultural waste for their use as Container media : simulation of composting process. *J Biol. Waste* 26(4): 247–249.
- Martin, A.M. 1998. Bioconversion of waste materials to industrial products. Blackie Academic and Professional. London.
- Nakasaki, K., Y. Nakano, T. Akiyama, M. Shoda dan H. Kubota. 1987. Oxygen diffusion and mikrobial activity in the composting of dehydrated sewage sludge cake. *J Ferment. Technol.* 65(1): 43–48.
- Nishizaki, K., Y. Yokochi, Y. Shibata dan T. Nagai. 1997. Development of composting system. *JARQ* 31: 233–238.
- Yagihashi, S., F. Yamashita, Y. Kobayashi dan Nakakita. 2003. Sapporo Breweries Limited, Tokyo (JP). 18 November 2003. Process for Production Compost. US Patent No 6 648 940 B2.