



Fakultas Pertanian
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Yogyakarta

PROSIDING SEMINAR NASIONAL SISTEM PERTANIAN-BIOINDUSTRI BERKELANJUTAN



**Peran Pemangku Kepentingan Dalam
Pembangunan Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan
Yogyakarta, 11 Desember 2014**

Diterbitkan oleh
Fakultas Pertanian UPN "Veteran" Yogyakarta
ISBN : 978-979-18768-4-1



PT. Pastima



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL

SISTEM PERTANIAN-BIOINDUSTRI BERKELANJUTAN

Peran Pemangku Kepentingan dalam Pembangunan Sistem Pertanian- Bioindustri Berkelanjutan

Yogyakarta, 11 Desember 2014

Editor Pelaksana:
Yanisworo Wijaya Ratih
Vini Arumsari

Diterbitkan oleh



FAKULTAS PERTANIAN
UPN "Veteran" Yogyakarta

ISBN 978-979-18768-4-1

PENDEKATAN BIOTEKNOLOGIS UNTUK OPTIMALISASI PEMANFAATAN RESIDU PERTANIAN SEBAGAI PEMBENAH TANAH

Yanisworo Wijaya Ratih, Budyastuti Pringgohandoko dan AZ. Purwono Budi Santosa
Fakultas Pertanian, UPN "Veteran" Yogyakarta

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris. Sektor pertanian bertanggung jawab untuk menghidupi 2/3 penduduk miskin di Indonesia dan berkontribusi menurunkan 11% kemiskinan di tahun 2010. Laju pertumbuhan penduduk sudah sebesar 1,49 persen pada 2012 dan akhir tahun 2013 sebesar 250 juta. Dengan data tersebut ke depan kebutuhan pangan akan melonjak naik. Namun demikian produktivitas lahan pertanian yang saat ini masih tergolong rendah yaitu rata-rata 5,1-5,2 juta ton gabah per hektar. Kondisi Indonesia saat ini menunjukkan kemampuan pemenuhan kebutuhan pangan relatif rendah dan sedang menurun dengan sangat signifikan. Kemajuan di bidang iptek pertanian harus dapat menjawab berbagai keterbatasan pada sumber daya yang ada di tengah perkembangan kebutuhan manusia yang tanpa batas. Kementerian Pertanian telah meluncurkan Konsep Strategi Induk Pembangunan Pertanian (SIPP) 2013-204, sebagai upaya memberikan acuan dan arah pembangunan khususnya di sektor pertanian ke depan, kearah bioindustri yang berkelanjutan.

Konsep pertanian bioindustri berkelanjutan adalah memandang lahan bukan hanya sumber daya alam tetapi juga industri yang memanfaatkan seluruh faktor produksi untuk menghasilkan pangan guna mewujudkan ketahanan pangan serta produk lain dengan menerapkan konsep biorefinery. Konsep dimana biomassa dikonversi untuk mendapatkan produk lain setinggi mungkin yang lebih bernilai ekonomis dengan input energi rendah. Di masa yang akan datang (abad 22), perekonomian yang digerakkan oleh peran bioteknologi dan bioengineering mampu menghasilkan biomassa sebesar besarnya untuk diolah menjadi bahan pangan, pakan, pupuk, energi, serat, obat, bahan kimia dan beragam bioproduk secara berkelanjutan.

Salah satu potensi yang bisa dikembangkan adalah pemanfaatan biomassa residu hasil pertanian menjadi produk yang lebih bermanfaat yaitu antara lain sebagai pupuk organik dan pakan ternak. Sebagai negara agraris biomassa residu hasil pertanian terdapat dalam jumlah melimpah. Di samping residu hasil pertanian, residu perkebunan seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang jumlahnya mencapai 22 – 23% dari total tandan buah segar (TBS) yang diolah, juga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pengomposan. Sebagian besar residu pertanian maupun perkebunan tersebut di atas merupakan bahan yang relative sulit mengalami perombakan. Hal ini karena kadar ligninnya yang tinggi. Struktur lignin yang rumit mengakitkannya menjadi sulit dirombak. Di dalam tanaman, lignin berikatan dengan selulosa dan hemiselulosa. Ke dua bahan tersebut sebenarnya mempunyai sifat mudah dirombak. Namun demikian, selama berikatan dengan lignin, selulosa maupun hemiselulosa menjadi sulit untuk dirombak. Oleh sebab itu keberadaan lignin menjadi faktor pembatas dalam pengomposan.

Sistem pengomposan di Indonesia sudah berkembang, baik dalam jenis bahan dasar yang dimanfaatkan, teknis pembuatannya maupun inokulum yang digunakan. Namun pada umumnya bahan dasar yang digunakan berupa bahan yang relative mudah dirombak. Inokulum yang digunakan (bahkan yang bersifat komersial) berupa mikrobial yang "umum" bukan yang bersifat spesial dan berperan khusus dalam perombakan lignin.

Perombakan bahan berlignin tinggi menarik untuk dikaji. Hal ini karena di samping sifat lignin yang persisten serta berperan sebagai faktor pembatas dalam pengomposan, proses perombakan lignin merupakan awal pembentukan humus. Humus merupakan bahan organik tanah yang berperan penting dalam

Residu tanaman, di samping sebagai bahan dasar pembuatan kompos, juga dimanfaatkan sebagai pakan ternak, mulsa, media pembuatan jamur, dll. Oleh sebab itu pemanfaatan residu tanaman harus dilakukan seefisien mungkin. Pendekatan bioteknologi sangat diperlukan untuk menciptakan efisiensi tersebut.

RESIDU PERTANIAN DAN SENYAWA DASAR PENYUSUNNYA

Hasil pertanian seperti jagung dan padi tidak hanya berupa biji namun juga jerami, kulit ari, tongkol, dll. Residu tersebut jumlahnya dapat mencapai lebih separo dari total biomassa. Residu pertanian merupakan sumber utama bagi kompos maupun pakan ternak. Dibandingkan dengan lainnya, tanaman tebu memberi sangat besar biomassa perunit area. Bagas, pucuk tebu maupun daunnya digunakan sebagai sumber energi, pakan ternak atau kadang dibakar di areal penanaman. Residu pertanian mempunyai bermacam manfaat, Tangkai padi dibakar dan dimanfaatkan sebagai karbon aktif. Jerami digunakan sebagai pakan ternak, media budidaya jamur konsumsi, dan bahan pupuk organik. Jerami padi kadang juga dibakar di tempat, sedangkan abunya digunakan sebagai pupuk.

Dinding sel tanaman terdiri atas tiga komponen penting, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Lignoselulosa merupakan senyawa penyusun utama pada biomassa residu pertanian. Lignoselulosa tersusun atas lignin, selulosa dan hemiselulosa (Argyropoulos and Menachem, 1997).

Selulosa merupakan rantai panjang dari molekul glukosa, yang berikatan satu dengan lainnya melalui ikatan glikosida $\beta(1-4)$. Struktur molekulnya relatif sederhana sehingga selulosa dapat dirombak oleh sejumlah kecil enzim. Beberapa mikrobial dapat menghasilkan enzim tersebut sehingga dapat merombaknya. Saluran pencernaan ruminansia seperti sapi dan kerbau secara alami mengandung mikrobial yang dapat merombak selulosa. Hemiseluloses merupakan polimer yang membentuk percabangan dari xylose, arabinose, galactose, mannose, and glucose. Hemiseluloses berikatan dengan selulosa membentuk microfibrils yang meningkatkan stabilitas dinding sel tanaman. Ke dua senyawa tersebut juga berasosiasi dengan lignin membentuk ikatan kompleks yang mengakibatkan struktur yang kuat pada tanaman serta sulit untuk dirombak (Ladisich *et al.*, 1983, Lynch, 1992, Perez *et al.*, 2002). Lignin merupakan polimer kompleks dari unit phenylpropan, yang berikatan satu dengan lainnya menggunakan jenis ikatan kimiawi yang bervariasi. Kekomplekan struktur lignin mengakibatkan senyawa tersebut resisten terhadap perombakan oleh mikrobial. Namun demikian beberapa mikrobial, khususnya jamur, mampu merombak lignin (Kirk and Farrell, 1987). Actinomycetes juga diketahui mampu merombak lignin (Crawford, 1986). Tabel 1 menunjukkan kadar lignin beberapa bahan. Perombakan lignin terutama terjadi secara aerob (Van Soest, 1994). Karena merupakan komponen

penyusun dinding sel tanaman yang sulit dirombak, kadar lignin yang lebih tinggi berkorelasi dengan ketidakmudahannya mengalami perombakan. Keberadaan lignin dalam lignoselulosa mengakibatkan selulosa dan hemiselulosa menjadi sulit terombak.

Tabel 1. Kadar lignin dan ratio C/N beberapa bahan yang dapat dikomposkan

Material	Carbon (%) (Total)	C/N (Total)	Carbon (%) (biodegradable)	C/N (biodegradable)	Lignin (%) (dry basis)
wheat straw	51.1	88.7	33.6	58.4	23.0
manure, poultry	43.3	9.6	41.8	9.3	2.0
wood chips, maple	49.7	51.2	43.8	45.1	12.7

Sumber: Richard (1996)

Tabel 2. Kadar lignin dan proporsi keberadaannya dalam dinding sel

Substrate	Lignin	Cell Wall	Lignin/cell wall
Wheat straw	8.9	77.1	11.6
Corn stalks	3.9	49.6	7.8
Corn leaves	3.8	59.3	6.5
Cattails	8.5	63.5	13.4
Treated kelp	6.0	33.2	18.1
Water hyacinth	8.7	60.1	14.5
Corn meal	2.0	21.6	9.1
Chicken m.	3.4	454.2	7.5
Pig m.	2.2	40.5	5.4
Cow m.	8.1	57.1	14.1
Cow m.	7.9	52.3	15.1
Cow m.	10.1	62.9	16.1
Yellow birch	12.0	42.5	28.2
Sugar maple	8.49	32.5	26.1
Beech	12.7	61.5	20.7

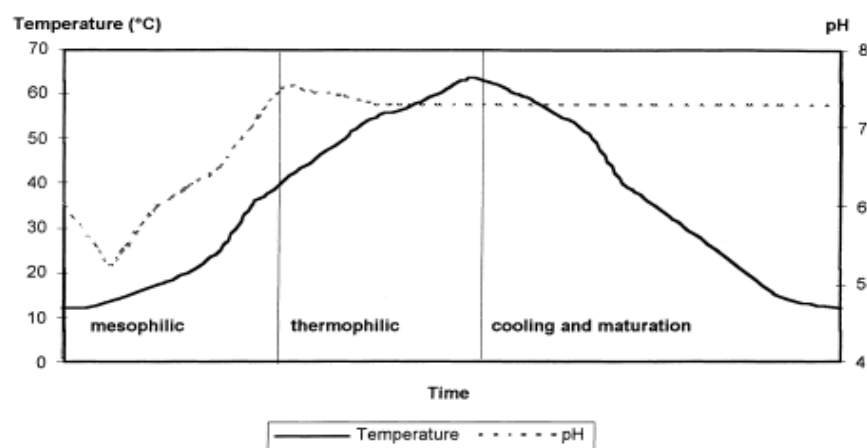
Sumber: Richard (1996)

PENGOMPOSAN PADA RESIDU PERTANIAN YANG BERKADAR LIGNIN TINGGI

Pengomposan adalah proses perombakan bahan yang dinamis, yang dilakukan oleh campuran populasi mikrobia yang bekerja secara suksesif. Mikrobia utama yang terlibat di dalamnya adalah bakteri, aktinomisetes, dan jamur. Meskipun jumlah total mikrobia selama pegomposan berlangsung tidak berubah secara signifikan, namun diversitas mikrobia sangat bervariasi (Atkinson *et al.*, 1996a). Proses pengomposan dipengaruhi oleh suhu, aerasi, kelembaban, jenis bahan, jenis mikrobia dan kemampuan perombakannya.

Pada pengomposan bahan yang berkadar lignin tinggi, temperatur selama pengomposan sangat mempengaruhi perombakannya. Dalam kondisi yang optimal, proses pengomposan terjadi melalui tiga tahap, yaitu 1) fase mesofilik, 2) fase termofilik, serta 3) fase pendiginan dan pematangan (Gambar 1).

Durasi waktu dalam tiap fase tergantung dari jenis bahan yang dikomposkan serta efisiensi proses pengomposan. Pada awal proses pengomposan terjadi perombakan senyawa terlarut dan senyawa sederhana seperti monosakarida, pati dan lipida oleh mikrobia. Pada tahap selanjutnya mikrobia mulai merombak protein. Selama perombakan tersebut amonia dihasilkan dan dibebaskan, sehingga pH meningkat. Setelah terjadi perombakan senyawa sederhana, senyawa yang lebih resisten, seperti hemiselulosa dan selulosa terombak. Lignin selanjutnya mengalami perombakan dan hasil perombakan lignin sebagian dipergunakan untuk membentuk humus (Crawford, 1983).



Sumber: Toumela, 2000

Gambar 1. Perubahan suhu dan pH yang terjadi selama pengomposan berlangsung

Pada awal pengomposan, bakteri mesofilik mendominasi aktivitasnya. Setelah suhu meningkat lebih tinggi dari 40°C, bakteri termofilik selanjutnya mengambil peranan, jamur termofil juga mulai muncul pada kompos. Apabila suhu mencapai 60°C, aktivitas mikrobia akan menurun secara drastis. Selanjutnya terjadi penurunan suhu. Aktivitas bakteri dan aktinomisetes mesofil kembali mendominasi (McKinley and Vestal, 1985; Strom, 1985a). Tidak ada aktivitas fungi yang terdeteksi ketika mencapai > 60°C namun dalam waktu yang pendek, fungi tetap mampu bertahan hidup. Tabel 1 menunjukkan jenis mikrobia yang berhasil diisolasi dari kompos pada saat fase termofil.

Tabel 1. Beberapa mikrobia termofil yang diisolasi dari kompos

No	Golongan mikrobia	Jenis/spesies mikroba
1	Bakteri	<i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. circulans</i>
2	Aktinomisetes	<i>Nocardia</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Thermoactinomyces</i> , <i>Micromonospora</i>
3	Jamur	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Aspergillus sp.</i> , <i>Thermomyces lanuginosus</i> , <i>White-rot fungi</i>

Sumber: Tuomela *et al.* (2000)

Bakteri spesifik yang tumbuh pada fase termofil adalah *Bacillus*, yaitu *B. subtilis*, *B. licheniformis* dan *B. circulans*. Lebih dari 87% bakteri yang diambil secara random pada saat fase termofil adalah dari genus *Bacillus*. Beberapa spesies

termofil dari genus *Thermus* juga dapat diisolasi dari kompos pada saat suhu mencapai 65°C bahkan 82°C (Beĉa *et al.*, 1996). Genera aktinomisetes termofilik yang berhasil diisolasi dari kompos meliputi *Nocardia*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces* dan *Micromonospora*. Aktinomisetes dapat mendegradasi selulosa dan lignin terlarut, mereka lebih toleran terhadap suhu dan pH dari pada jamur. Aktinomisetes merupakan agen penting dalam perombakan lignoselulose selama fase termofil. Namun demikian kemampuannya dalam merombak selulosa dan lignin tidak sebaik jamur (Crawford, 1983; Godden *et al.*, 1992). Selama proses pengomposan, sekelompok fungi termofil berperan penting sebagai agen perombakan. White-rot fungi dan basidiomyceters lain yang muncul setelah fase termofil tidak berperan penting dalam perombakan lignin (Tuomela *et al.*, 2000).

Secara alami mikrobia termofil terdapat dalam tumpukan kompos, sarang burung, dalam produk pertanian yang disimpan, maupun pada tumpukan potongan kayu. Secara alami pada bahan yang akan dikomposkan terdapat sekitar 10⁶/gr mikrobia mesofil dan sekitar 10³/gr berupa jasad termofil (Thambirajah *et al.*, 1995). Populasi mikrobia perombak lignin secara alami juga terdapat dalam kotoran sapi sehingga bahan tersebut mampu merombak 11.5% lignin bahan yang dikomposkan (Tuomela *et al.*, 2000).

Fase termofil pada proses pengomposan sangat penting dalam perombakan lignin dan pembentukan humus. Horwath dan Elliott (1996) mengomposkan rumput-rumputan selama 45 hari. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa jumlah lignin yang terdegradasi pada suhu 50°C mencapai 27% sedangkan pada suhu 25°C jumlah lignin yang terdegradasi hanya mencapai 7%. Perombakan lignin tertinggi tercapai pada suhu 50°C, sedangkan perombakan lignin lebih rendah terjadi pada suhu 28° and 65°C. Penelitian yang dilakukan Tomati *et al.* (1995), menunjukkan bahwa selama 35 hari inkubasi, 70% lignin terombak ketika suhu kompos 50°C, fase berikutnya hampir tidak terjadi perombakan lignin. Namun sebaliknya, pada kondisi inkubasi terkontrol dalam laboratorium. Horwath dan Eliot (1996), menganalisis bahwa 25% lignin dalam jerami rerumputan terdegradasi selama fase mesofilik dan 39% selama fase termofilik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa fase termofil sangat berperan dalam perombakan lignin pada proses pengomposan.

Fragmen hasil perombakan lignin merupakan unit penyusun dasar substansi humat Dengan demikian suhu juga berperan penting pada pembentukan humus. Kompos di samping sebagai sumber nutrisi juga berperan sebagai bahan pembenah tanah. Peran sebagai bahan pembenah tanah sangat penting, karena sebenarnya hara tersedia yang terdapat dalam kompos sangat terbatas. Perannya sebagai pembenah tanah terutama karena keberadaan humus dalam kompos. Humus merupakan produk akhir dari proses pengomposan. Salah satu teori tentang pembentukan humus menyatakan bahwa rangka dasar humus berasal dari perombakan lignin. Pada permukaan humus terdapat senyawa hasil perombakan protein maupun karbohidrat. Keberadaan humus mengakibatkan kapasitas tanah menahan air, KPK dan KTA tanah meningkat sehingga mampu menahan kation maupun anion yang dibutuhkan tanaman.

PENDEKATAN BIOTEKNOLOGI DALAM EFISIENSI PEMANFAATAN RESIDU PERTANIAN

Indonesia negara agraris, residu melimpah. Namun demikian residu pertanian dimanfaatkan untuk beberapa kepentingan, seperti pakan ternak, media jamur, bahan dasar kompos, arang aktif dll. Di lain pihak kebutuhan pupuk semakin meningkat akibat kesadaran munculnya sistem pertanian organik. Pengomposan

merupakan contoh yang sangat baik dari penerapan prinsip bioteknologi. Prosesnya melibatkan beberapa spesies dari bakteri, jamur dan aktinomisetes. Bahan yang dapat dikomposkan sangat bervariasi dari residu pertanian sampai limbah organik, sehingga pengomposan mampu merubah bahan bernilai rendah menjadi produk yang bernilai lebih tinggi. Penggunaan bahan yang berlignin tinggi seperti limbah padat industri sawit, penggergajian kayu, sekam padi, dll sebagai bahan pengomposan, perlu dipertimbangkan dan efisiensinya perlu ditingkatkan. Lignin, meskipun sulit mengalami perombakan namun lignin merupakan senyawa dasar penyusunan humus yang sangat bermanfaat sebagai pembenah tanah.

Perombakan bahan organik dipengaruhi oleh sifat kimiawi bahan, kondisi lingkungan, serta mikrobial agen perombak. Ketiga faktor tersebut harus dikelola secara bersama-sama dengan baik. Pada pengomposan bahan berkadar lignin tinggi, penambahan bahan yang lebih sederhana seperti kotoran rumen, residu tanaman legum, perlu ditambahkan. Bahan yang mudah dirombak berperan sebagai *priming effect* bagi mikrobial lainnya. Secara alami mikrobial perombak lignin terdapat dalam kompos. Namun demikian kemampuan perombakannya tidak seragam. Vargas-Garcia (2006), melaporkan bahwa di antara tiga belas isolat dari kompos yang diuji, hanya dua isolat yang mempunyai kemampuan tinggi dalam merombak selulosa maupun lignin. Untuk itu penggunaan isolat unggul sebagai inokulum tambahan perlu dilakukan. Untuk meningkatkan aktivitas jasad termofil, maka pengaturan suhu termofil sebaiknya juga dilakukan. Suhu merupakan faktor utama yang mengontrol aktivitas mikrobial selama pengomposan. Suhu yang meningkat mengakibatkan berkembangnya jasad termofilik yang mempunyai kemampuan merombak senyawa yang rekalsitran seperti lignin. Aerasi berperan secara tidak langsung pada suhu karena meningkatkan kecepatan dekomposisi sehingga timbul panas.

Inokulum pengomposan selain mikrobial saat ini banyak dipergunakan. Penggunaan jasad makrofauna seperti lalat dan cacing sudah dilakukan. Pengomposan menggunakan cacing yang dikenal sebagai vermikompos diketahui sangat efisien dalam merombak bahan. Namun demikian penambahan inokulum berupa jasad termofilik akan meningkatkan perombakan lignin.

Saat ini sudah beredar inokulum komersial sebagai aktivator pengomposan antara lain: PROMI (Promoting Microbes), OrgaDec, SuperDec, M-Dec, ActiComp, BioPos, EM4, Green Phoskko Organic Decomposer dan SUPERFARM (Effective Microorganism), dll. Masing-masing aktivator memiliki keunggulan sendiri-sendiri. NATURA *Organic Decomposer* antara lain: mempercepat proses pengomposan, yaitu hanya 7 – 15 hari proses, mengandung tujuh jenis mikroba aktif (*Bacillus* sp., *Cytophaga* sp., *Streptomyces* sp., *Acetobacter* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp dan Yeast). Aktivator pengomposan disebutkan menggunakan mikroba-mikroba terpilih yang memiliki kemampuan tinggi dalam mendegradasi limbah-limbah padat organik, seperti: *Trichoderma pseudokoningii*, *Cytopaga* sp, *Trichoderma harzianum*, *Pholyota* sp, *Agraily* sp dan FPP (fungi pelapuk putih). Mikroba ini bekerja aktif pada suhu tinggi (termofilik). M-Dec adalah salah satu produk Badan Litbang Kementerian Pertanian yang sudah dipatenkan dan sudah dipasarkan melalui mitra kerja Badan Litbang Pertanian. Karena sangat beragam maka pemilihan aktivator komersial sebagai inokulum pengomposan perlu hati-hati. Untuk meningkatkan proses pengomposan bahan berlignin maka perlu dipilih inokulum yang mengandung mikrobial termofil diikuti dengan teknik pengomposan dengan pengaturan suhu termofil. Populasi rumen sapi dan bahan yang untuk dikomposkan, secara alami juga mengandung jasad termofil. Upaya yang diperlukan adalah memberi kesempatan kepada mereka agar aktivitasnya meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Argyropoulos, D.S., Menachem, S.B., 1997. Lignin. In: Eriksson, K.-E.L. (Ed.), *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*. 57: 127-158.
- Atkinson, C.F., Jones, D.D., Gauthier, J.J., 1996. Biodegradabilities and microbial activities during composting of oxidation ditch sludge. *Compost. Sci. Utiliz.* 4: 84-96.
- Basaglia, M. , G. Concheri, S. Cardinali, M.B. Pasti-Grigsby, and M.P. Nuti. 1992. Enhanced degradation of ammonium-pretreated wheat straw by lignocellulolytic *Streptomyces* spp. *Canadian Journal of Microbiology*. 38:1022-1025.
- Crawford, J.H., 1983. Composting of agricultural wastes ± a review. *Process Biochem.* 18: 14-18.
- Crawford, D.L. 1986. The role of actinomycetes in the decomposition of lignocellulose. *FEMS Symp.* 34:715-728.
- Horwath, W.R., Elliott, L.F., 1996. Ryegrass straw component decomposition during mesophilic and thermophilic incubations. *Biol. Fertil. Soils* 21: 227-232. DOI 10.1007/s10123-002-0062-3
- Kayhanian, M. and Tchobanoglous, G. 1992. Computation of C/N ratios for various organic fractions. *BioCycle* 33:58-60.
- Kirk, T.K. and R.L. Farrell. 1987. Enzymatic "combustion": the microbial degradation of lignin. *Annu. Rev. Microbiol.* 41:465-505.
- Ladisch, M.R., K.W. Lin, M. Voloch, and G.T. Tsao. 1983. Process considerations in the enzymatic hydrolysis of biomass. *Enzyme Microb. Technol.* 5: 82-102.
- Lynch, J.M. and D.A. Wood. 1985. Controlled microbial degradation of lignocellulose: the basis for existing and novel approaches to composting. pp 183-193. In: *Composting of Agricultural and Other Wastes*. J. K. R. Gasser (ed.). Elsevier Applied Science.
- McKinley, V.L., Vestal, J.R., 1985. Physical and chemical correlates of microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 1395-1403.
- Richard, T. 1996. *The Effect of Lignin on Biodegradability*. Cornell Waste Management Institute.
- Strom, P.F., 1985a. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 899-905.
- Tomati, U., E. Galli, L. Pasetti, and E. Volterra. 1995. Bioremediation of olive-mill wastewaters by composting. *Waste Management and Research* 13:509-518.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., Itävaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. *Bioresource Technology* 72: 169-183
- Van Soest, P.J. 1994. *The Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd edition. Cornell University Press. Ithaca, NY. 476 pp.