

FITOTEKNOLOGI DAN EKOTOKSIKOLOGI DALAM PENGOLAHAN SAMPAH MENJADI KOMPOS

Pranoto

Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat, Universitas Sebelas Maret Surakarta

pak_pran@yahoo.com

ABSTRACT

Compost is organic matter results in a controlled aerobic process. Currently, compost are very prosperous, especially to support agriculture and forestry sector. However, compost development is still experiencing many obstacles. Therefore, this paper is intended as a critique of the design study of the existing composting to be developed into a design-based quality assurance. Compost quality assurance is focused on the nature of technology, i.e. eco-toxicological and phytotechnology. Composts quality assurance in composting instalation used sacrifice plant. Phytoremediation processes are generally distinguished by the mechanisms and functions of plant structures, i.e. phytoextraction, rhizofiltration, phytodegradation, rhizodegradation, phytovolatilization. Meanwhile, ecotoxicology studied the effects of destructive substances suprabiota (individuals' populations and communities) in ecosystem. Phytotechnology and ecotoxicological product sorted became ready uses composts.

Keywords: compost, garbage, phytotechnology, eco-toxicology.

ABSTRAK

Kompos adalah zat organik hasil proses aerobik secara terkontrol. Saat ini, pasar kompos di Indonesia sangat terbuka luas terutama untuk menunjang sector pertanian dan kehutanan. Namun demikian, pengembangannya masih mengalami berbagai kendala. Oleh karena itu, tulisan ini ditujukan sebagai kajian kritik terhadap desain pengomposan yang ada untuk dikembangkan menjadi desain berbasis jaminan kualitas. Penjaminan kualitas kompos di sini difokuskan kepada teknologi alamiah yaitu fitoteknologi dan ekotoksikologi. Untuk memberikan jaminan kualitas kompos yang siap pakai dalam berbagai kegiatan tersebut maka dalam instalasi produksi kompos diperlukan instalasi tumbuhan korban (sacrifice plant). Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan, yakni fitostabilisasi, fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, rizodegradasi, fitovolatilisasi. Sementara itu, ekotoksikologi adalah kajian efek destruktif zat terhadap suprabiota (individu, populasi dan komunitas) dalam suatu ekosistem. Produk fitoteknologi dan ekotoksikologi inilah yang kemudian diambil untuk dipilah menjadi kompos siap pasar.

Kata Kunci: Kompos, sampah, fitoteknologi, ekotoksikologi

PENDAHULUAN

Bahan baku kompos adalah sampah kota. Secara ekoteknis penggunaan sampah sebagai bahan baku kompos adalah sebagai upaya memperpanjang waktu operasional tempat pembuangan akhir (TPA) sampah, secara sosio ekonomi upaya ini mendorong peran serta masyarakat, terutama pengusaha kompos yang telah ada untuk meningkatkan skala usahanya sehingga lebih ekonomis. Secara institusional, dengan peningkatan peran serta masyarakat dalam produksi kompos berbahan baku sampah maka tanggung jawab fungsi teknis Dinas Kebersihan dapat dikurangi dan lebih mengkonsentrasikan kepada tanggung jawab fungsi pembinaan.

Kompos adalah zat organik hasil proses aerobik secara terkontrol (temperatur, pH, kadar air, rasio C/N, dan kaya oksigen). Dengan sendirinya bahan baku sampah adalah yang dapat dikomposkan (*compostable materials*) seperti daun bekas pembungkus, sisa potongan sayur dan buah, dan sebagainya. Dalam praktek proses aerasi pengomposan dapat diklasifikasikan berdasarkan perlakuan terhadap massa sampah, yaitu perlakuan massa bergerak (*movable treatment*) dan perlakuan massa diam (*static treatment*). Perlakuan massa bergerak terdapat banyak turunan seperti *in-vessel treatment*, *turned windrows* dan pengembangan lainnya. Untuk program sektor swasta digunakan desain operasi aerasi dengan pembalikan massa sampah (*turned windrows*) mengikuti praktek yang telah berjalan. Desain operasi tersebut juga dipraktikkan untuk pengelola kebersihan kabupaten Bandung dan kota Cirebon dengan penempatan instalasi di lahan tempat pembuangan akhir (TPA) sampah dan cukup tersedia lahan. Khusus untuk kabupaten Serang dipraktikkan desain operasi aerasi mekanis ke dalam massa statik sampah (*static aerated piles*), karena luas lahan TPA sampah yang ada tidak mencukupi untuk penerapan desain *turned windrows*.

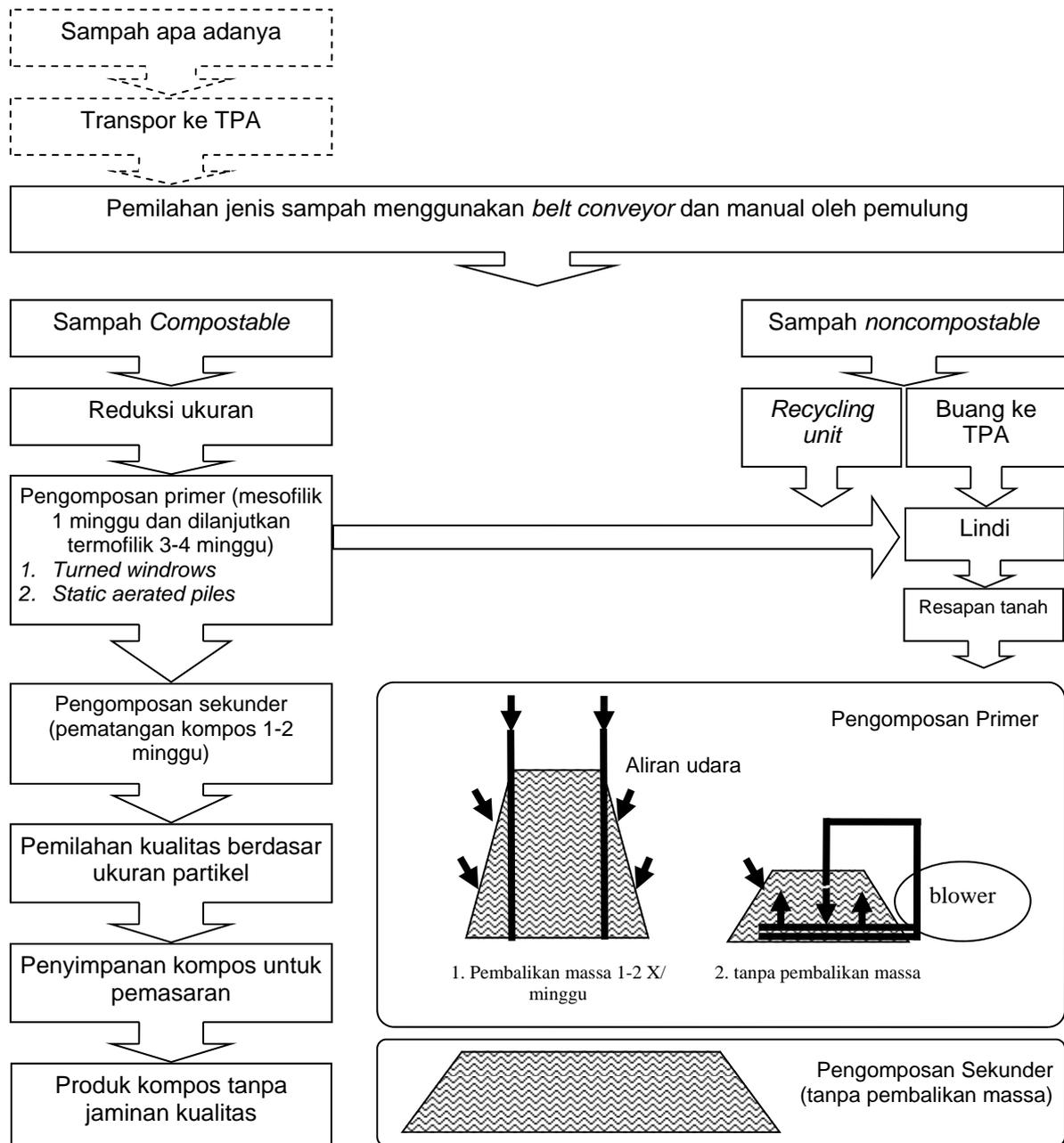
Desain apapun yang digunakan, produksi kompos akan berjalan secara berlanjut (demi keberlanjutan pengelolaan sampah secara keseluruhan) apabila terjamin pemasarannya. Pasar kompos di Indonesia sangat terbuka luas terutama untuk menunjang sector pertanian dan kehutanan. Dalam

skala kota pun pasar kompos adalah luas yaitu untuk pertamanan kota dan masyarakat pecinta hortikultur. Keberlanjutan produksi dan penggunaan kompos saat ini terkendala oleh jaminan kualitas kompos. Disamping standar kualitas kompos belum tersedia secara legal, juga desain pengomposan belum memperhatikan secara cukup terhadap jaminan kualitas kompos. Oleh karena itu, tulisan ini ditujukan sebagai kajian kritik terhadap desain pengomposan yang ada untuk dikembangkan menjadi desain berbasis jaminan kualitas. Penjaminan kualitas kompos di sini difokuskan kepada teknologi alamiah yaitu fitoteknologi dan ekotoksikologi.

DESAIN OPERASI PENGOMPOSAN YANG ADA

Komposisi fisik sampah kota di wilayah provinsi-provinsi Jawa Barat, DKI Jakarta dan Banten adalah 55 % sampah *compostable* dan 45 % sampah non-kompos. Secara kimiawi komposisi C/N sampah kota adalah berkisar 35/1 sehingga cukup layak untuk proses pengomposan tanpa penambahan limbah hewani (CN = 20). Berdasarkan karakteristik sampah tersebut maka dibuat desain operasi pengomposan secara diagram alir pada Gambar 1.

Contoh kompos matang diambil secara acak dari pengomposan sekunder untuk 8 kota. Kajian kualitas kompos ini terkendala belum ada standar kualitas kompos untuk Indonesia. Standar internasional kualitas kompos tersedia untuk negara-negara industri maju, namun standar tersebut tidak dapat sepenuhnya diadopsi oleh karena terdapat perbedaan struktur tanah antara negara-negara subtropik dan tropik. Oleh karena itu, kualitas kompos kajian di sini digunakan kriteria kematangan kompos (Otten dan Bugeln, 1997), yaitu kadar air < 45 %, C/N < 22, dan kandungan zat-zat anorganik < 1,5 % berat kering. Berdasarkan kriteria 3 kematangan kompos dan untuk menilai kualitas kompos menurut kandungan zat-zat anorganik maka kompos perlu dianalisis tingkat keasaman (pH) dan beberapa zat-zat mikronutrien yaitu kalsium, magnesium, besi dan mangan. Hasil analisis laboratorium menunjukkan kualitas kompos pada tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir Desain Operasi Pengomposan Sampah yang Ada

Berdasarkan hasil kadar air dan rasio C/N terdapat kompos belum matang tetapi masalah ini dapat diselesaikan mudah dengan cara memperpanjang waktu pengomposan. Penyimpanan kompos seminggu sebelum pengepakan untuk penjualan adalah merupakan perpanjangan waktu mematangkan kompos. Perhatian penting adalah jumlah zat anorganik, meskipun zat-zat mikronutrien yang terukur dinilai sebagai

kompos bernutrisi tanaman. Tetapi kompos akan disebar ke tanah dan terdapat peluang sebagian zat-zat tidak diserap tanaman sehingga menjadi potensi pencemaran lahan. Oleh karena itu kelebihan zat-zat anorganik dalam kompos harus dikurangi. Pengurangan kadar (dekonsentrasi) zat-zat anorganik dalam kajian ini dipilih secara fitoteknologi.

Tabel 1. Kualitas Kompos Bahan Baku Sampah

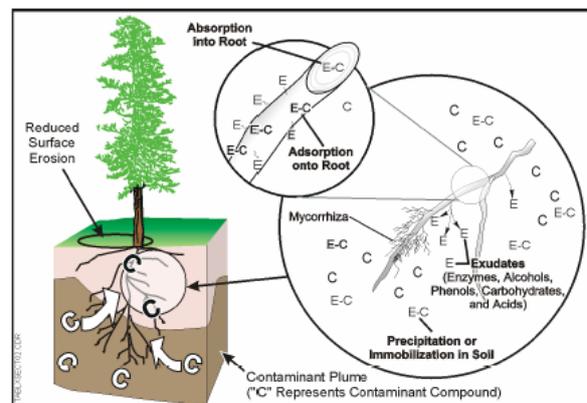
No	Parameter	Satuan	Kualitas Contoh Kompos 8 kota di Jawa Bagian Barat
1	Kadar air	%	34,9 – 61,7
2	C/N ratio	-	2,91 – 28,15
3	pH	-	6,60 – 8,37
4	Kalsium (Ca)	% berat kering	0,67 – 1,28
5	Magnesium (Mg)	% berat kering	0,34 – 0,37
6	Besi (Fe)	% berat kering	0,35 – 0,82
7	Mangan (Mn)	% berat kering	0,15 – 0,19
	Jumlah zat organik (Ca+Mg+Fe+Mn)	% berat kering	1,61 – 2,52

TEKNOLOGI PRODUKSI KOMPOS

Pemanfaatan tumbuhan dalam aktivitas kehidupan manusia adalah beragam. Demikian pula teknologi sebagai proses dan buah karya manusia adalah beragam penerapannya. Apabila media lingkungan (perairan, tanah dan udara) telah tercemar maka salah satu proses pemulihan lingkungan tercemar dengan menggunakan tumbuhan telah dikenal luas, yaitu fitoremediasi (*phytoremediation*). Perkembangan pada akhir abad 20 menunjukkan diperlukan berbagai cara penyelesaian masalah lingkungan (perairan, tanah dan udara) dan produk teknologi lingkungan (air limbah, sampah, limbah gas, dan lain-lain) secara natural menggunakan tumbuhan. Kajian masalah dan disertai dengan penyelesaian berbagai cara secara ilmiah dikenal sebagai teknologi. Dalam hal ini proses fitoremediasi dikembangkan menjadi fitoteknologi. Sejalan dengan definisi itu maka peningkatan kualitas kompos menggunakan tumbuhan dalam serial operasi produksi kompos di sini disebut sebagai fitoteknologi kompos. Sebagaimana telah disinggung di atas bahwa produk kompos berbahan baku sampah masih diragukan oleh pengguna dari kalangan perkebunan, pertanian dan kehutanan. Untuk memberikan jaminan kualitas kompos yang siap pakai dalam berbagai kegiatan tersebut maka dalam instalasi produksi kompos diperlukan

instalasi tumbuhan korban (*sacrifice plant*). Tumbuhan korban dipilih sesuai dengan kontaminan kompos dan proses fitoremediasi yang tepat sesuai bentuk fisik bahan yang akan diproses. Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan. US EPA (1999, 2005) dan ITRC (2001) secara umum membuat klasifikasi proses sebagai berikut.

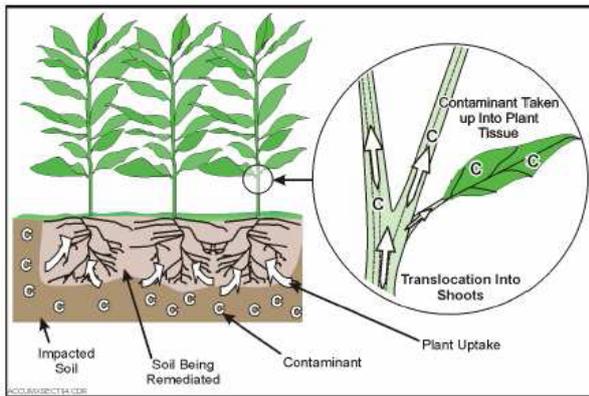
Pertama, fitostabilisasi (*phytostabilization*). Akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zone akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah



Gambar 2. Proses fitostabilisasi kontaminan (Sumber: ITRC, 2001)

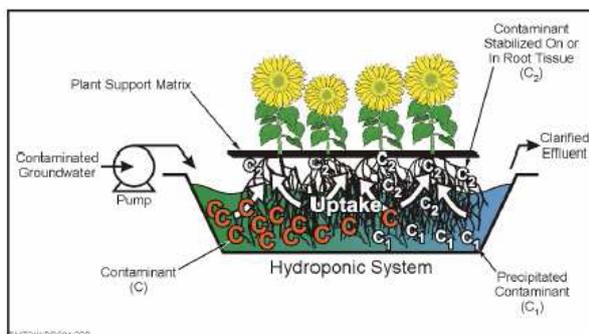
berbagai jenis rumput, bunga matahari, dan kedelai (Gambar 2)

Kedua, fitoekstraksi/ fitoakumulasi (*phytoextraction/ phytoaccumulation*). Akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini adalah cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang dipakai adalah sejenis hiperakumulator misalnya pakis, bunga matahari dan jagung (gambar 3).



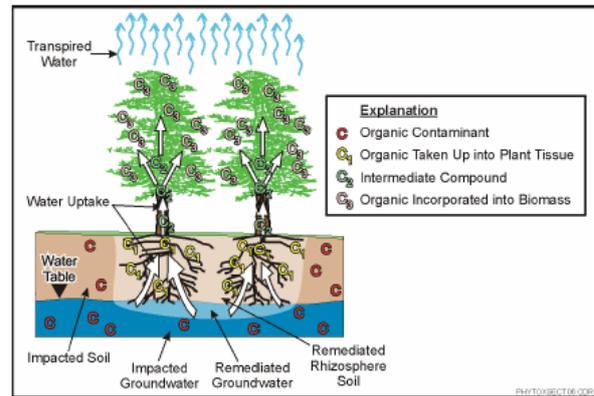
Gambar 3. Proses fitoekstraksi kontaminan (Sumber: ITRC, 2001)

Ketiga, rizofiltrasi (*rhizofiltration*). Akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zone akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan sehingga untuk kompos tidak memerlukan proses rizofiltrasi. Tetapi untuk lindi yang terbentuk dalam proses pengomposan primer maka rizofiltrasi sangat tepat diterapkan (Gambar 4). Spesies tumbuhan yang fungsional adalah rumput air seperti Cattail dan eceng gondok (Mangkoedihardjo, 2002).



Gambar 4 Proses rizofiltrasi kontaminan (Sumber: ITRC, 2001)

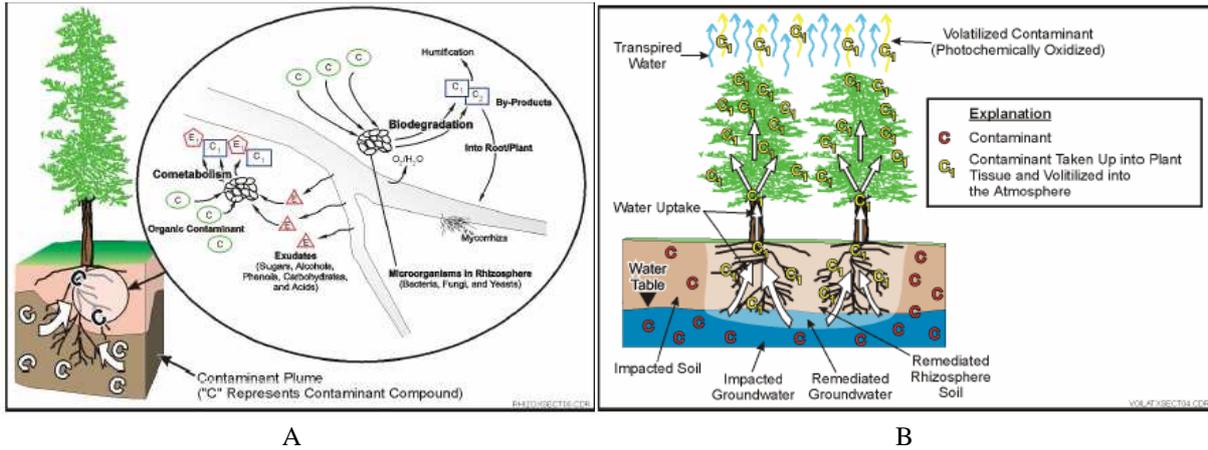
Keempat, fitodegradasi / fitotransformasi (*phytodegradation / phytotransformation*). Organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatis. Zat organik fenol (mungkin terbentuk pada pengomposan daun ber kandungan lignin) adalah tepat menggunakan proses ini. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis rumput (Gambar 5).



Gambar 5 Proses fitodegradasi kontaminan (Sumber: ITRC, 2001)

Kelima, rizodegradasi (*rhizodegradation/ enhanced rhizosphere biodegradation/ phytostimulation/ plant-assisted bioremediation/ degradation*). Polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat organik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis rumput (Gambar 6a).

Keenam, fitovolatilisasi (*phyto-volatilization*). Penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Kontaminan zat-zat organik adalah tepat menggunakan proses ini. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah tumbuhan kapas dan pakis (Gambar 6b).



Gambar 6 Proses rizodegradasi kontaminan (A) dan Proses fitovolatilisasi kontaminan (B) (Sumber: ITRC, 2001)

EKOTOKSIKOLOGI SEBAGAI TEKNOLOGI PRODUKSI KOMPOS

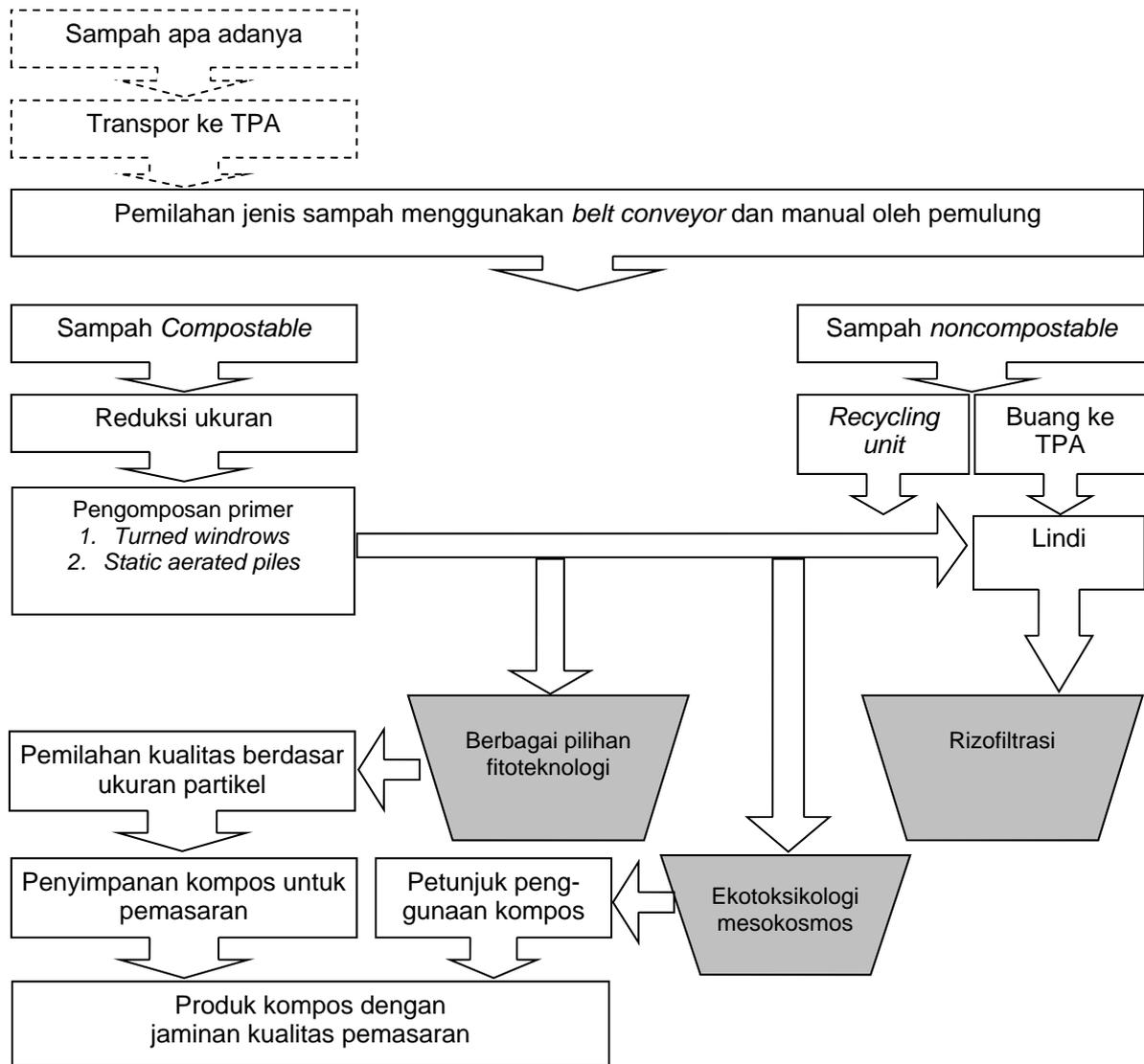
Ekotoksikologi adalah kajian efek destruktif zat terhadap suprabioti (individu, populasi dan komunitas) dalam suatu ekosistem. Kajian ini dapat diterapkan dalam skala kecil laborat, misalnya menggunakan serial pot uji (dalam hal ini media uji adalah kompos), mikrokosmos, dan skala lapangan mesokosmos. Dalam skala besar dapat diterapkan menggunakan skala lapangan mesokosmos, makrokosmos dan sistem pemantauan ekosistem (*survey*, *surveillance* dan pemantauan). Kajian skala kecil pada umumnya digunakan untuk waktu pendek, mulai dari skala waktu jam sampai minggu. Kajian efek zat dalam waktu pendek (< 10 % waktu siklus hidup biota uji) digunakan untuk uji toksisitas akut (segera menampakkan hasil efek). Kajian skala besar digunakan

untuk jangka waktu panjang, mulai dari skala bulan hingga berkelanjutan. Kajian efek zat dalam waktu panjang (> 10 % waktu siklus hidup biota uji) digunakan untuk uji toksisitas kronik (hasil efek muncul dalam jangka panjang).

Biota uji dipilih berdasarkan kualitas kompos yang dikehendaki misalnya produk kompos tidak ditumbuhi gulma, tidak mengandung bakteri patogen, dan lain-lain; atau penggunaan kompos misalnya kompos untuk kondisi tanah, media tanam tanaman, dan lain-lain. Dalam hal inipun sekaligus dapat ditetapkan kriteria efek kompos apakah untuk kematian biota ataukah untuk mendukung kehidupan biota. Secara umum biota akan memberikan respon struktur dan fungsi biologisnya terhadap paparan zat. Perubahan struktur biota misalnya jumlah *biomass* dalam individu tumbuhan. Perubahan fungsional misalnya perubahan laju fotosintesis dan



Gambar 7. Ekotoksikologi Kompos Mesokosmos



Gambar 8 Rekonstruksi diagram alir desain operasi pengomposan sampah untuk produk kompos dengan jaminan kualitas

respirasi. Termasuk dalam kajian ekotoksikologi ini adalah kajian bioakumulasi zat (terminologi umum akumulasi zat dalam biota) terkandung kompos yang dapat diakumulasi oleh biota uji tanpa kematian biota itu sendiri.

Secara khusus mengenai jalur dan tingkat akumulasi zat dikaji dalam biokonsentrasi dan biomagnifikasi. Demikian pula kajian biokonsentrasi zat yaitu zat-zat kompos diakumulasi biota sebagai fungsi dari sifat kesukaan biota terhadap air (hidrofilik) atau kesukaan terhadap lemak (lipofilik). Selain itu kajian biomagnifikasi yaitu akumulasi zat kompos melalui rantai makanan biota mulai dari alga sampai dengan pemakan di atasnya.

Sejalan dengan fitoteknologi maka ekotoksikologi kompos didesain untuk penilaian efek kompos terhadap tanaman konsumsi/ekonomis. Metode uji ekotoksitas adalah mesokosmos yaitu di lapangan di mana instalasi pengomposan berada sehingga sekaligus menjadi percontohan bagi pengguna kompos. Selain uji kualitas, ekotoksitas kompos terhadap tanaman juga dimaksudkan untuk menetapkan beban (kuantitas dan kualitas), dalam hal ini kuantitas kompos relatif terhadap media tanam. Beberapa plot lahan (mesokosmos) disiapkan dengan perbedaan proporsi kompos dan media tanam dan kemudian ditumbuhkan tanaman. Ilustrasi ekotoksikologi kompos

diketengahkan pada Gambar 7.

Selain uji kualitas dan beban kompos, ekotoksikologi ini juga diterapkan untuk pengolahan lindi. Untuk ekotoksikologi lindi, tumbuhan bukanlah faktor pembatas, artinya tumbuhan yang digunakan bisa mati. Tujuan utama ekotoksikologi lindi ini adalah dekontaminasi polutan lindi yang dapat diambil oleh tumbuhan. Penerapan ekotoksikologi lindi adalah penggunaan proses rizofiltrasi sesuai Gambar 4.

REKONSTRUKSI DESAIN OPERASI PENGOMPOSAN

Memperhatikan kembali Gambar 1 tentang desain operasi yang ada maka desain operasi pengomposan dapat direkonstruksi sesuai tinjauan fitoteknologi dan ekotoksikologi. Rekonstruksi desain operasi kompos diketengahkan pada Gambar 8. Satuan instalasi pengomposan sekunder dan juga lindi adalah tepat untuk digantikan instalasi fitoteknologi dan ekotoksikologi. Produk fitoteknologi dan ekotoksikologi inilah yang kemudian diambil untuk dipilah menjadi kompos siap pasar.

SIMPULAN

Konservasi sampah dengan cara konversi sampah compostable menjadi kompos

perlu dilakukan secara berkelanjutan. Kelanjutan upaya tersebut (produksi) harus didukung oleh penggunaan kompos (pemasaran). Penjaminan kualitas adalah factor pembatas bagi pemasaran kompos, dan itu dijanjikan oleh fitoteknologi dan ekotoksikologi (yang kompatibel dengan proses pengomposan sekunder) dalam kendala belum tersedianya standar kualitas kompos di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- ITRC. 2001. Technical and regulatory guidance document, phytotechnology. Interstate Technology Regulatory Council USA.
- Mangkoedihardjo, Sarwoko. 2002. Waterhyacinth leaves indicate wastewater quality. *J. Biosains*, 7 (1): 10-13.
- Otten, L. and Buggeln, R. 1997. The Use of Compost in Indonesia: Proposed Compost Quality Standards. Urban Development Sector Unit, East Asia and Pacific Region. New York.
- US EPA. 2005 Use of Field-Scale Phytotechnology for Chlorinated Solvents, Metals, Explosives and Propellants, and Pesticides. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology USA
- US EPA. 1999. Phytoremediation resource guide. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology USA.