

Pemanfaatan Limbah Pertanian

Prof. Dr. Ir. Tualar Simarmata, M.S.



PENDAHULUAN

Kompetensi umum yang diharapkan setelah Anda mempelajari Modul 1 matakuliah Pemanfaatan Limbah Pertanian adalah Anda dapat menjelaskan konsep pemanfaatan dan pengelolaan limbah pertanian. Kompetensi khusus setelah mempelajari modul ini mahasiswa diharapkan dapat:

1. menjelaskan pengertian, ruang lingkup dan jenis limbah pertanian.
2. menjelaskan karakteristik limbah pertanian dan pemanfaatannya.
3. menjelaskan prinsip pengelolaan dan potensi limbah pertanian.
4. menjelaskan teknologi pengolahan limbah pertanian/perkotaan menjadi pupuk organik atau kompos dan teknik aplikasinya.

KEGIATAN BELAJAR 1

Pengertian Ruang Lingkup dan Jenis Limbah Pertanian

Kemajuan teknologi dalam bidang kesehatan, pertanian dan industri pangan telah memberi kontribusi yang nyata dalam meningkatkan kesejahteraan manusia dan jumlah penduduk di Indonesia. Pertambahan jumlah penduduk memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan (1) perkembangan pertanian, (2) eksploitasi sumber daya lahan dan air, (3) pertambahan limbah dan permasalahan lingkungan lainnya. Berdasarkan jumlah penduduknya saat ini Indonesia berada peringkat ke empat jumlah penduduk terbanyak, setelah Cina, India, dan Amerika Serikat. Pertumbuhan penduduk Indonesia termasuk cepat yakni sekitar 1,49% per tahun, jauh di atas pertumbuhan penduduk yang ideal yakni sekitar 0,5%. Jumlah penduduk tahun 1961 berjumlah 97,1 juta, tahun 1971 berjumlah 119,2 juta jiwa, tahun 1980 berjumlah 146,9, tahun 1990 sebanyak 178,6 juta jiwa, pada tahun 2000 berjumlah 205,1 juta jiwa tahun 2010 berjumlah 237,6 juta jiwa dan pada tahun 2016 telah mencapai 258 juta jiwa (BPS, 2012; Pusdatin, 2014 dan Wikipedia, 2016). Waktu perlipatan (*doubling time*) penduduk Indonesia relatif singkat, yakni sekitar 30–40 tahun. Bila tidak dilakukan pengendalian pertumbuhan jumlah penduduk, maka pada tahun 2050 jumlah penduduk Indonesia dapat mencapai 500 juta jiwa. Di sisi lain, diperkirakan bahwa jumlah penduduk yang ideal untuk Indonesia hanya sekitar 150–200 juta jiwa.

Pangan merupakan kebutuhan utama manusia sangat bergantung pada kegiatan pertanian dan hingga saat yang tidak ada makanan sintetis. Kebutuhan pangan terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk (Tabel 1.1). Sejak akhir tahun 1960–an, diperkenalkan program intensifikasi, yang dikenal sebagai revolusi hijau (*green revolution*). Adopsi program intensifikasi dengan menerapkan panca usahatani (irigasi, benih unggul, pemupukan, pengendalian organisme pengganggu tanaman dan teknik bercocok tanam) berhasil meningkatkan produksi dan menghantarkan Indonesia dari sebelumnya adalah negara utama pengimpor beras, menjadi negara yang berswasembada beras pada tahun 1984. Produksi padi nasional yang semula 19,1 juta ton pada tahun 1969 meningkat menjadi 44,9 juta ton

pada tahun 1990. Pada kurun waktu yang sama hasil padi meningkat dari 2,4 ton menjadi 4,3 ton per hektar. Produksi padi secara nasional pada tahun 2015 sekitar 75 juta ton dengan produktivitas rata-rata sekitar 5,1 ton GKG/ha (Kementan, 2015).

Tabel 1.1. Proyeksi Kebutuhan Bahan Pangan Pokok 2010-2050

Tahun	Kebutuhan pangan pokok (dalam ribu ton)					
	Beras	Jagung	Kedelai	Ubi Kayu	Gula	Daging
2010	33.065	16.859	2.057	9.727	2.175	244
2015	35.123	17.420	2.222	10.337	2.346	263
2020	37.021	18.940	2.381	10.901	2.530	281
2025	38.720	19.407	2.531	11.408	2.727	298
2030	40.183	20.812	2.668	11.845	2.940	314
2035	42.317	21.145	2.791	12.203	3.169	328
2040	44.500	22.400	2.896	12.475	3.416	340
2045	46.787	23.569	2.980	12.653	3.681	349
2050	48.182	24.650	3.043	12.735	3.966	356
Tren +	0,92	0,68	0,98	0,67	1,50	0,94

Sumber: Sudaryanto, et al. 2010.

Keberhasilan peningkatan produktivitas tanaman padi tersebut dicapai dengan program intensifikasi dengan bertumpu pada penggunaan *input eksternal* secara intensif (pupuk anorganik dan pestisida), yaitu dengan menerapkan konsep HEIA (*high external input agriculture*). Untuk mencapai produktivitas sekitar 4–6 ton/ha diperlukan pemupukan dengan komposisi 300–400 kg Urea/ha, 100–200 kg SP-36/ha dan 100–150 kg/ha, serta penggunaan pestisida sangat intensif dan air irigasi yang sangat boros. Penggunaan pupuk anorganik yang intensif ini selain mampu meningkatkan produksi padi dengan signifikan, ternyata juga memberikan dampak yang

signifikan terhadap penurunan (degradasi) kesehatan dan kualitas tanah (*soil health and soil quality*) (Simarmata, 2012; Simarmata *et al.*, 2012).

Penggunaan pupuk N secara intensif akan memacu mineralisasi atau penguraian bahan organik tanah sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kadar C–organik dalam tanah. Hasil berbagai kajian menunjukkan bahwa kadar C–organik pada lahan–lahan kering maupun lahan sawah sudah sangat mengkhawatirkan. Hasil kajian menunjukkan bahwa sekitar 90% areal lahan kering memiliki kandungan C–organik rendah hingga sangat rendah (1,0–1,5%), dan sekitar 73% lahan sawah memiliki kandungan C–organik yang rendah (<2%) (Las & Mulyani, 2009; Kasno, *et al.*, 2003; Simarmata, *et al.*, 2015).

Berdasarkan indikator kesehatan tanah, maka lahan sawah dengan kadar C–organik < 1,52 % termasuk kategori sakit berat (degradasi berat), 1,5 – 2% (sakit) dan lahan sawah sehat memiliki kandungan C–organik 3 – 5 % (Tabel 1.2 dan Tabel 1.3). Berdasarkan penilaian tersebut, terdapat sekitar 5 juta hektar lahan sawah dan sekitar 80 juta lahan kering termasuk kategori sakit (*sick soils*) (Tabel 1.2). Indikasi bahwa lahan sudah sakit antara lain dapat tercermin dari melandainya respon terhadap pemupukan (*levelling off*), dengan kata lain penggunaan pupuk buatan sudah mencapai titik jenuh, bahkan dan menyebabkan terjadinya penurunan hasil, meningkatnya serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) seperti penyakit dan serangan hama dan penyakit.

Tabel 1.2. Luas Lahan Pertanian yang Terdegradasi (Sakit) di Indonesia

No	Status Degradasi (Kesehatan)	Luas (dalam ha)	
		Ha	Persentase
1	Sakit Ringan (Degradasi Ringan)	52.259.833	61
2	Sakit (Terdegradasi)	24.467.312	30
3	Sakit Berat (Degradasi Berat)	5.449.299	9
	Total	82.176.444	100

Sumber: Bappenas.go.id/index.php/download_file/4692/

Tabel 1.3. Penyebaran Lahan Sawah Terdegradasi (Sakit) di Provinsi sebagai Sentra Produsen Beras Utama di Indonesia

Provinsi	Status Kesehatan (Degradasi)				Jumlah (ha)
	Sakit Berat (SB)	Sakit (S)	Ringan (SR)	Sehat (S)	
Banten	184.741	42.402	7.828	3.534	238.504
Jawa Barat	289.834	283.995	251.280	114.119	939.228
Jawa Tengah	472.815	504.216	40.852	34.038	1.051.922
Jawa Timur	472.743	655.458	8.084	7.110	1.143.394
DI. Yogyakarta	8.998	23.313	36.753	–	69.064
Sulawesi Selatan	117.184	433.922	9.350	21.034	581.490
Sumatera Selatan	117.807	310.927	1.720	–	430.454
Sumatera Barat	114.562	78.192	12.731	30.216	235.701
Jumlah	1.778.683	2.332.425	368.598	210.051	4.689.757
Persentase (%)	38	50	8	4	100

Sumber: Mulyani, et al., 2013.

Bahan organik dalam ekosistem tanah (pertanian) berperan sebagai sumber energi (*entry point*) masuknya energi ke dalam tanah, serta berperan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Bahan organik dapat diidentikkan dengan bahan bakar untuk kendaraan bermotor. Mesin kendaraan tidak dapat berfungsi bila tanpa pasokan bahan bakar (BBM).

Ekosistem tanah, sebagai sistem hidup dinamis, tanpa pasokan (penambahan bahan organik) dalam waktu singkat akan berubah menjadi ekosistem terdegradasi (lahan sakit atau lahan marginal) sehingga tidak dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akibatnya, produktivitas tanah akan menurun dengan drastis.

Upaya untuk meningkatkan kandungan C-organik tanah dan kesehatan tanah (*soil health*) dapat dilakukan dengan menambahkan bahan organik atau pupuk organik secara periodik (pupuk kandang, kompos, pupuk hijau dan pupuk organik lainnya) (Nurhayati, *et al.*, 2011; Setyorini, *et al.*, 2006)). Kebutuhan pupuk organik (kompos) untuk mempertahankan kesuburan tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan dan produktivitas tanaman secara berlanjut memerlukan kompos sekitar 1–3 ton/ha untuk tanaman pangan (padi, jagung dan kedelai), 2–5 ton untuk tanaman sayuran (kentang, kubis, bawang, tomat, cabai, dll), dan 1–2 ton/ha untuk tanaman perkebunan (sawit, kopi, kakao, dan tanaman lainnya), 1–2 ton/ha untuk tanaman buah-buahan atau tanaman keras lainnya.

Sumber bahan organik sangat melimpah bahkan sebagian besar belum dimanfaatkan sehingga seringkali menjadi bahan polutan atau pencemar bagi lingkungan. Sebagian besar produk pertanian yang tidak dimanfaatkan menjadi limbah pertanian (pertanian tanaman pangan, sayuran, perkebunan, peternakan). Misalnya, limbah tanaman padi meliputi jerami dan sekam, jagung meliputi batang, daun, tongkol dan klobotnya. Proporsi limbah tersebut sangatlah besar, yakni sekitar 25–75%. Di lain pihak produk pertanian atau hasil panen yang diangkut ke perkotaan banyak yang terbuang dan menjadi limbah organik perkotaan.

Diperkirakan setiap keluarga menghasilkan sekitar 2–5 kg limbah/hari atau 600–800 g/hari/kapita (DKI = 0,65 kg/kap; Bandung 0,52 kg/kap), dengan komposisi sekitar 60–70% merupakan limbah organik. Volume sampah saat ini di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Semarang, Medan berkisar 5.000–30.000 m³/hari. Volume sampah kota Bandung pada tahun 2015 sudah mencapai sekitar 7.500–10.000 m³/hari dan Jakarta sekitar 30.000–40.000 m³/hari (Simarmata, 2005; Simarmata, *et al.*, 2012). Adopsi teknologi pengomposan yang tepat dapat menghasilkan kompos berkualitas baik dengan rendemen sekitar 20%.

Teknologi pengomposan untuk mengkonversi limbah pertanian dan limbah organik perkotaan menjadi pupuk organik (kompos) sudah berkembang pesat. Pengomposan aerobik dalam skala kecil maupun industri

dapat dimanfaatkan untuk memproduksi pupuk organik atau amelioran organik untuk memperbaiki kesuburan tanah, efisiensi pemupukan dan meningkatkan produktivitas tanaman secara berkelanjutan. Dalam konteks ini, pemanfaatan limbah organik secara efektif akan dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik dan mendorong pertanian ramah lingkungan berkelanjutan. Selain itu, limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan bioenergi (biogas), media tumbuh bahan pangan dan sebagai pakan ternak.

Upaya untuk memulihkan kesehatan dan kesuburan lahan tersebut di atas sangat tergantung pada ketersediaan bahan organik atau pupuk organik dalam jumlah yang relatif besar. Selain itu, limbah pertanian sangat potensial dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan sebagai bahan baku untuk menghasilkan bioenergi. Fokus pemanfaatan limbah pertanian dalam modul ini adalah sebagai berikut.

Limbah pertanian (pangan, sayuran, buah–buahan, perkebunan, dan tanaman lainnya) dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pengomposan atau produksi pupuk organik (kompos).

1. Limbah peternakan dimanfaatkan sebagai pupuk organik (bentuk padat maupun cair), bahan baku dalam produksi biogas atau bioenergi. Limbah padat dan cairnya dari proses produksi biogas dapat digunakan sebagai pupuk organik.
2. Limbah pertanian dalam bentuk segar dapat langsung digunakan sebagai pakan ternak. Misalnya jerami, berangkasan jagung, sisa sayuran, sisa pangkasan tanaman dan sisa tanaman lainnya.

Pemanfaatan limbah pertanian lebih difokuskan untuk keperluan yang berkaitan langsung kegiatan pertanian, bioenergi atau pemulihan kesuburan dan kesehatan tanah. Keberlanjutan pertanian Indonesia sangat tergantung pada pasokan bahan organik ke dalam tanah, tanpa pengembalian residu tanaman (*recycling*) maka ketidaksuburan tanah akan semakin berlangsung cepat sehingga dapat menimbulkan bencana yang sangat serius di masa mendatang.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan dengan singkat mengapa pertanian sangat penting dalam menunjang kehidupan manusia!
- 2) Jelaskan dengan singkat mengapa penambahan jumlah penduduk menyebabkan pertanian semakin intensif!
- 3) Mengapa penggunaan pupuk kimia, khususnya nitrogen dapat mempercepat penurunan kesehatan dan kesuburan tanah?
- 4) Jelaskan dengan singkat mengapa bahan organik sangat penting dalam menjaga kesuburan tanah?
- 5) Jelaskan dengan singkat mengapa pemanfaatan limbah pertanian sangat penting dalam pertanian di Indonesia!

Petunjuk Jawaban Latihan

Cocokkanlah jawaban Anda dengan petunjuk jawaban latihan berikut.

- 1) Semua makhluk hidup memerlukan makanan sebagai sumber energi dan nutrisi. Tanpa makan manusia tidak dapat bertahan hidup dan hingga saat ini semua makanan dihasilkan dari proses alamiah (pertanian) dan belum ada makanan sintetis.
- 2) Pertambahan jumlah penduduk akan meningkatkan kebutuhan jumlah pangan dan kebutuhan produk pertanian lainnya sedangkan luas lahan relatif tetap bahan lahan pertanian beralihfungsi (konversi lahan) menjadi perumahan dan industri. Akibatnya, intensifikasi menjadi pilihan utama untuk meningkatkan produksi pangan dan produk pertanian lainnya.
- 3) Pupuk nitrogen akan memacu pelapukan bahan organik (penguraian) oleh mikroba dan menyebabkan menurunnya kadar bahan organik tanah. Akibatnya tanah menjadi keras, memadat dan aktivitas biota tanah akan semakin berkurang sehingga tidak dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan baik.
- 4) Bahan organik merupakan bahan bakar atau sumber energi bagi ekosistem tanah. Tanaman dapat mengkonversi energi magnetik matahari menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis dan disimpan

dalam senyawa organik (karbohidrat, lemak dan protein). Tanpa pasokan bahan organik makan aliran energi ke dalam tanah akan terhenti. Bahan organik secara langsung dapat memperbaiki kesuburan fisik, kimia dan biologi tanah.

- 5) Limbah organik tersedia sangat melimpah dan belum dimanfaatkan bahkan telah menimbulkan berbagai masalah sosial dan lingkungan. Residu atau sisa panen, limbah perkotaan dan limbah dari kegiatan industri berbasis pertanian (agroindustri) terus bertambah sejalan peningkatan kegiatan pertanian dan jumlah penduduk.



RANGKUMAN

Kemajuan teknologi dalam bidang pertanian dan industri pangan telah memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan ketersediaan pangan bagi umat manusia. Pertambahan jumlah penduduk Indonesia yang relatif cepat telah memacu pertanian semakin intensif untuk memproduksi bahan pangan dan produk pertanian lainnya serta meningkatnya limbah organik.

Peningkatan jumlah organik berbanding lurus dengan kenaikan jumlah penduduk. Setiap keluarga menghasilkan sekitar 2–5 kg limbah/hari atau 600–800 g/hari/kapita dengan komposisi sekitar 60–70% merupakan limbah organik. Pertanian intensif, walaupun mampu meningkatkan produktivitas pangan dengan signifikan, tetapi telah mempercepat penurunan kesuburan tanah (kandungan bahan organik tanah) dan menimbulkan kerusakan lingkungan. Saat ini sekitar 90% lahan pertanian lahan kering dan 70% lahan sawah telah mengalami degradasi dan dikategorikan sebagai lahan sakit atau lahan bermasalah.

Upaya pemulihan untuk mengembalikan atau merevitalisasi kesuburan tanah dapat dilakukan dengan meningkatkan kandungan bahan organik. Limbah organik pertanian (sisa panen atau residu tanaman, sampah organik perkotaan, kotoran hewan, sampah organik buangan industri, dan lain-lainnya) yang tersedia melimpah merupakan alternatif utama yang dapat digunakan untuk meningkatkan maupun mempertahankan kesuburan tanah, meningkatkan efisiensi pemupukan dan produktivitas tanaman secara berkelanjutan. Limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai: (1) bahan baku memproduksi pupuk organik melalui proses pengomposan dan bionenergi (biogas), (2) sebagai pakan ternak, dan (3) media tumbuh untuk produksi bahan pangan.

**TES FORMATIF 1** _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Pertambahan jumlah penduduk di Indonesia telah menimbulkan berbagai masalah yang berkaitan dengan lingkungan, antara lain adalah
 - A. jumlah limbah semakin meningkat
 - B. pertanian semakin intensif
 - C. lahan pertanian terlantar
 - D. polusi udara di desa

- 2) Walaupun teknologi telah berkembang pesat di berbagai bidang kehidupan, tetapi ternyata semua makanan yang dikonsumsi manusia hanya bersumber dari bahan makanan
 - A. sintesis
 - B. alami
 - C. impor
 - D. buatan pabrik

- 3) Pertambahan limbah pertanian berbanding lurus dengan peningkatan kegiatan pertanian untuk menghasilkan
 - A. produk ekspor
 - B. bahan bangunan
 - C. bahan pangan, sandang dan papan
 - D. produk impor

- 4) Pertambahan limbah berkaitan langsung dengan jumlah penduduk. Setiap orang menghasilkan limbah sekitar
 - A. 2–10 l/hari/keluarga
 - B. 600–800 g/kapita/hari
 - C. 200–500 g/kapita/hari
 - D. 100–200 g/kapita/hari

- 5) Limbah rumah tangga di Indonesia umumnya mengandung sekitar
 - A. 70–90% bahan organik
 - B. 60–70% bahan organik
 - C. 60–70% bahan sayuran
 - D. 60–70% anorganik

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Limbah Pertanian dan Pemanfaatannya

A. PENGERTIAN

Kata *limbah* sering dimaknai juga sebagai sampah. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) *limbah* dapat diartikan sebagai: (1) sisa proses produksi, (2) bahan yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga untuk maksud biasa atau utama dalam pembuatan atau pemakaian, (3) barang rusak atau cacat dalam proses produksi; sedangkan pengertian *sampah* merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Menurut Wikipedia Bahasa Indonesia (2015) limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga) atau sampah perkotaan, sedangkan pengertian sampah adalah barang atau benda yang dibuang karena tidak terpakai lagi. Undang-Undang No. 18 tahun 2008, mendefinisikan sampah sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau residual dari proses. Berdasarkan pengertian ini, limbah pertanian dapat diartikan sebagai sisa bahan panen atau residu, bagian tanaman atau buangan yang dihasilkan dari kegiatan pertanian, proses atau industri pertanian.

Pertanian berasal dari kata *tani* yang berarti adalah mata pencaharian dalam bentuk bercocok tanam atau mata pencarian dalam bentuk mengusahakan tanah dengan tanam–menanam. Bertani adalah bercocok tanam atau mengusahakan tanah dengan tanam menanam (KBBI, 2015). Pertanian dalam arti sempit adalah kegiatan bercocok tanam atau budidaya tanaman, sedangkan dalam arti luas pertanian merupakan kegiatan pemanfaatan sumber daya hayati atau makhluk hidup yang meliputi tanaman, hewan dan mikroba. Secara ringkas pertanian dapat diartikan sebagai kegiatan manusia untuk memanfaatkan sumber daya hayati (*bioresources*) untuk menghasilkan bahan (1) pangan, papan, dan sandang, (2) baku industri, dan (3) sumber energi dan bahan lainnya.

Ruang lingkup pertanian meliputi kegiatan mengusahakan (1) tanaman (pangan, hortikultura, perkebunan, dan tanaman keras atau tahunan lainnya), dan kehutanan, (2) peternakan (*livestock* atau *animal husbandry*), dan (3) perikanan (*fishery* atau *aquaculture*) (Nurmala, *et al.*, 2012). Dalam konteks

ini, produk pertanian bersifat dinamis dan dapat berubah menjadi limbah atau sampah setelah diangkut, dikemas atau diproses. Bahkan di perkotaan banyak produk pertanian menjadi limbah atau sampah karena tidak dimanfaatkan secara optimal atau terlambat dikonsumsi atau diproses. Oleh karena itu, keberadaan limbah pertanian berkaitan langsung dengan tempat (*locus*) pelaksanaan kegiatan tersebut, antara lain (a) tempat proses produksi (*on farm*), (b) rantai pemasaran atau pusat perdagangan (pasar), (c) industri pengolahan hasil pertanian, dan (d) pengguna (*user*) produk pertanian (rumah tangga) baik di pedesaan maupun perkotaan.

Limbah pertanian berkaitan erat dengan sifatnya yang bersifat *volumenous*, mudah busuk (*perishable*), dan bagian yang dipanen. Bila yang dipanen adalah biji, maka sebagian besar bahan bagian tanaman (daun, pelapah, batang, dan bagian lainnya) akan menjadi limbah. Sebaliknya, bila yang dipanen adalah bagian daun, maka sebagian besar bahan tanaman akan terangkut (dipanen). Tanaman sayuran atau buah–buahan yang dikonsumsi segar, seringkali sebagian besar bagian tanaman berubah menjadi bagian yang tidak dapat dikonsumsi karena mengalami pembusukan atau kerusakan sehingga menjadi limbah. Permasalahan ini banyak terjadi di pasar sayuran atau pusat perdagangan dan perkotaan. Produk pertanian segar dalam waktu singkat berubah menjadi limbah dan mencemari lingkungan. Konsekuensinya, fokus bahasan limbah pertanian akan mengikuti perjalanan produk tersebut mulai dari lokus produksi (lahan), pasar, pusat perdagangan, industri pengolahan hingga ke konsumen akhir. Kontribusi pertanian dalam limbah perkotaan tercermin dari komposisi sampah kota yang mengandung sekitar 60–70% bahan organik (Wikipedia, 2015; Damanhuri & Padmi, 2010).

B. JENIS LIMBAH DAN KARAKTERISTIKNYA

Limbah atau sampah yang terdapat di Indonesia (Wikipedia, 2015) dapat dibedakan berdasarkan:

1. Sumber Limbah

Limbah padat berdasarkan sumbernya dapat dikelompokkan sebagai berikut;

- a. Limbah Perkotaan (*municipal waste*) yaitu limbah merupakan sisa buangan dari rumah tangga, perkantoran, pasar, industri rumah tangga, pusat perdagangan, dan sumber lainnya. Umumnya limbah

tersebut berbentuk padatan dan cairan. Pada umumnya terdiri dari 60–70% bahan organik (sisa makanan, sayuran, dedaunan, kertas, dan lain-lainnya) dan sisanya non organik (logam, kaca, kaleng dan bahan lainnya).

Berdasarkan istilah teknis, limbah perkotaan dapat digolongkan menjadi, yaitu:

- 1) Limbah organik basah (*garbage*), yaitu sampah organik basah berbentuk padatan yang mudah membusuk atau mengurai dan umumnya memiliki C/N ratio yang rendah. Contoh limbah pasar, limbah rumah tangga (sisa makanan, sisa masakan dan sisa makanan olahan, makanan yang kadaluarsa), sisa industri pangan olahan (ampas tahu, ampas singkong, dan lain-lainnya). Timbunan sampah ini seringkali mengeluarkan cairan yang berwarna coklat kehitaman dan mengeluarkan bau busuk dan banyak ditemui ulat atau belatung.
 - 2) Limbah kering (*rubbish*) adalah sampah padatan kering yang mudah atau susah terbakar berasal dari rumah tangga, pusat perdagangan, dan kantor. Contohnya kertas, sisa-sisa tanaman kering.
 - 3) Abu (*ashes*) adalah limbah merupakan abu sisa pembakaran dari bahan yang mudah terbakar baik di permukiman, perkantoran dan industri.
 - 4) Sampah jalanan (*street sweeping*) adalah sampah padat yang berasal dari pembersihan jalan dan trotoar, terdiri dari kertas-kertas, kotoran, daun-daun, plastik, potongan ranting, dan lain-lainnya.
 - 5) Sampah permukiman yaitu limbah domestik atau rumah tangga yang terdiri dari berbagai sampah (limbah basah atau *garbage*, sampah kering atau *rubbish*, abu, sisa tanaman dan lain-lainnya).
 - 6) Sampah khusus adalah limbah yang memerlukan penanganan dan pengelolaan khusus. Misalnya: baterai, kaleng cat, film bekas, zat radioaktif, toksis dan limbah berbahaya lainnya.
- b. Limbah industri (*industrial waste*) yaitu limbah atau buangan yang berasal dari industri kecil (rumah tangga), menengah dan besar. Limbah ini dapat berupa padatan maupun cair, tergantung pada

jenis industri. Industri pengolahan atau proses yang banyak menggunakan air akan menghasilkan air buangan dalam jumlah yang relatif besar. Air buangan ini dapat menimbulkan permasalahan bagi lingkungan jika tidak dikelola dengan baik

- c. Limbah pertambangan (*mining waste*) yaitu limbah yang berasal dari kegiatan pertambangan. Limbah pertambangan seringkali menimbulkan permasalahan yang serius karena jumlah limbahnya yang relatif besar, khususnya untuk pertambangan emas, nikel dan bahan lainnya yang terdapat dalam tanah atau batuan. Selain limbah padat dan limbah cair yang besar, limbah pertambangan seringkali juga mengandung bahan kimia yang sangat berbahaya bagi lingkungan, terutama adanya logam berat dan senyawa toksis.
- d. Limbah pertanian (*agricultural waste*) yaitu limbah yang bersal dari kegiatan pertanian dan indsutri pertanian. Umumnya merupakan limbah padat berupa sisa tanaman, dedaunan, kotoran hewan. Limbah berupa cairan umumnya dihasilkan dari kegiatan pengolahan hasil atau produk pertanian. Karakteristik limbah pertaniannya bersifat voluminous dan dapat dijumpai di lahan, rumah tangga, pasar atau pusat perdagangan dan perkotaan atau industri pengolahan hasil pertanian.

2. Senyawa Kimia

Berdasarkan kerangka dasar senyawa kimia bahan penyusunnya, limbah atau sampah dapat dikelompokkan menjadi:

- a. *Limbah organik*, yaitu sampah memiliki kerangka dasar karbon atau yang mengandung unsur karbon (C) sebagai penyusun utamanya. Limbah yang berasal dari makhluk hidup dapat digolongkan sebagai limbah organik atau sampah organik. Misalnya: kotoran hewan, manusia, sisa makanan, dan sisa–sisa tumbuhan atau tanaman mati, kertas, plastik, dan karet. Karakteristik limbah organik umumnya dapat diuraikan oleh mikroba atau organisme pengurai dan sisa perombakannya yang dikenal dengan kompos dapat digunakan sebagai pupuk organik. Organisme pengurai memanfaatkan limbah organik ini sebagai sumber energi dan nutrisinya. Limbah organik merupakan produk buatan atau sintesis berkerangka dasar karbon, tetapi sukar melapuk. Misalnya plastik, karena sukar melapuk sering dikelompokkan menjadi sampah anorganik. Pengelompokkan

plastik dan kertas menjadi sampah anorganik kurang tepat. Oleh karena itu, limbah plastik atau kertas merupakan limbah organik produk sintesis atau bukan senyawa alami.

- b. *Limbah anorganik*, yaitu sampah yang memiliki kerangka dasar senyawa non karbon atau tidak mengandung senyawa karbon dan sangat sukar melapuk (logam, aluminium, kaleng bekas, kaca dan lain-lain). Umumnya limbah yang tidak mengandung karbon tidak dapat atau sulit untuk diuraikan oleh mikroba pengurai.

3. Bentuk

Berdasarkan bentuknya limbah dapat dikelompokkan menjadi limbah:

- a. Padat yaitu limbah padat (*solid waste*) berupa sampah rumah tangga, perkantoran atau pusat perdagangan, limbah pasar, sampah kebun, jalan, atau residu tanaman, plastik, logam, gelas/kaca dan lain-lainnya.
- b. Cair yaitu semua jenis limbah yang berwujud cairan (*liquid waste*) beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur (tersuspensi) maupun terlarut dalam air. Misalnya buangan sisa pencucian, *slurry*, limbah buangan industri. Limbah cair yang dihasilkan dari rumah tangga, toilet, kamar mandi dan industri potensial mengandung patogen yang dapat membahayakan kesehatan manusia.
- c. Gas (*gaseous waste*) yaitu berupa emisi yang dihasilkan dari suatu proses kegiatan. Misalnya NH_3 , CH_4 dan CO_2 . Emisi gas yang berperan gas rumah kaca (CH_4 , NO_x , CO_2 , SO_x) semakin banyak mendapat perhatian.

4. Kadar air

Berdasarkan kadar airnya, limbah dikelompokkan menjadi limbah:

- a. Limbah kering (*rubbish*) yaitu bahan limbah atau sampah yang kering. Misalnya dedaunan, kertas, potongan kayu, sampah jalanan dan lain-lainnya. Karakteristik umumnya mengandung karbon yang relatif tinggi atau C/N ratio tinggi sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon dalam proses pengomposan.
- b. Limbah basah yaitu bahan limbah yang basah (*garbage*). Misalnya sisa-sisa makanan, sayuran. Karakteristik limbah ini umumnya memiliki kandungan C atau C/N ratio yang rendah. Timbunan

sampah ini seringkali menimbulkan bau busuk karena kurang suplai oksigen dan terjadinya suasana anaerob dalam tumpukan. Selain itu, cairan yang keluar dari tumpukan (*leakage*) potensial mengandung patogen dan dapat membahayakan kesehatan manusia atau mencemari lingkungan.

5. Sifat penguraian

Keberadaan limbah (persistensi) berkaitan erat dengan sifat kemudahan perombakan limbahnya. Berdasarkan sifat penguraiannya (*biodegradability*), maka limbah dapat dibagi lagi menjadi:

- a. Limbah dapat diurai (*biodegradable*) yaitu limbah yang dapat diuraikan melalui proses biologis baik secara aerob maupun anaerob oleh organisme pengurai (dekomposer). Proses perombakan secara aerob tidak menimbulkan bau sedang perombakan anaerob (tanpa oksigen) akan menimbulkan bau atau aroma yang tidak sedap. Limbah yang dapat dirombak oleh dekomposer umumnya adalah senyawa organik. Misalnya, sampah pertanian atau residu tanaman, sisa sayuran, sisa makanan, sampah dapur, sisa-sisa hewan dan limbah peternakan, limbah perkebunan, sampah perkotaan organik atau limbah rumah tangga organik.
- b. Limbah tidak/sulit diurai (*nonbiodegradable*) yaitu limbah yang tidak bisa diuraikan oleh organisme pengurai (dekomposer) melalui proses biologis. Secara garis besar limbah ini dibagi lagi menjadi: (1) limbah dapat didaur ulang (*recycleable*) sampah yang dapat diolah dan digunakan kembali. Misalnya: plastik, kertas, logam (besi), kaca, aluminium, tembaga, kuningan dan lain-lain, (2) limbah non daur ulang (*non-recyclable*) yaitu sampah yang tidak didaur ulang karena tidak dapat diolah kembali atau tidak memiliki nilai ekonomis. Misalnya limbah berbahaya, plastik tertentu, baterai, dan lain-lainya.

6. Sifat Berbahaya

Limbah berbahaya merupakan sisa atau limbah yang dikenal sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah B3 dapat berupa zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan, merusak lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup,

kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (Undang Undang 32 tahun 2009). Misalnya: bahan baku yang berbahaya dan beracun yang tidak digunakan lagi karena rusak, sisa kemasan, tumpahan, sisa proses, oli bekas, ban lainnya yang memerlukan pengolahan khusus.

Limbah B3 berdasarkan bentuknya dapat dikelompokkan menjadi : (1) padat, (2) cair, (3) gas dan (4) jenis partikel yang tidak terdefinisi. Karakteristik limbah B3 adalah bila memiliki salah satu atau lebih sifat-sifat berikut, yaitu: (a) mudah meledak, (b) mudah terbakar, (c) bersifat reaktif, (d) beracun, (e) menyebabkan infeksi, (f) bersifat korosif, dan (g) lain-lain, yang bila diuji dengan toksikologi dapat diketahui termasuk limbah B3 (Wikipedia, 2015).

Karakteristik limbah B3 antara lain memiliki sifat:

- a. **mudah meledak** adalah limbah yang pada suhu dan tekanan standar (25 °C, 760 mmHg) dapat meledak atau melalui reaksi kimia dan/atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.
- b. **mudah terbakar** adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut : (1) berupa cairan yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan/atau pada titik nyala tidak lebih dari 60 °C (140 °F) akan menyala apabila terjadi kontak dengan api, percikan api atau sumber nyala lain pada tekanan udara 760 mmHg, (2) limbah yang bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar (25 °C, 760 mmHg) mudah menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar dapat menyebabkan kebakaran yang terus menerus, (3) berupa limbah yang bertekanan yang mudah terbakar dan (4) berupa limbah pengoksidasi.
- c. **beracun** adalah limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk ke dalam tubuh melalui pemapasan, kulit atau mulut. Penentuan sifat racun untuk identifikasi limbah ini dapat menggunakan Baku Mutu konsentrasi TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) pencemar organik dan anorganik dalam limbah.
- d. **Limbah yang menyebabkan infeksi**. Contohnya limbah dari bagian tubuh manusia yang diamputasi dan cairan dari tubuh

manusia yang terkena infeksi, limbah dari laboratorium atau limbah lainnya yang terinfeksi kuman penyakit yang dapat menular. Limbah ini berbahaya karena mengandung kuman penyakit seperti hepatitis dan kolera yang ditularkan pada pekerja, pembersih jalan, dan masyarakat di sekitar lokasi pembuangan limbah

- e. **Limbah bersifat korosif** adalah limbah yang mempunyai salah satu sifat sebagai berikut : (1) menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit, (2) menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng baja dengan laju korosi lebih besar dari 6,35 mm/tahun dengan temperatur pengujian 55 °C, (3) mempunyai $\text{pH} \leq 2$ untuk limbah bersifat asam dan $\text{pH} \geq 12.5$ untuk yang bersifat basa.
- f. **Limbah yang bersifat reaktif** adalah limbah–limbah yang mempunyai salah satu sifat–sifat sebagai berikut: (1) limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan, (2) limbah yang dapat bereaksi hebat dengan air, (3) limbah yang apabila bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan, (4) merupakan limbah sianida, sulfida atau amoniak yang pada kondisi pH antara 2 dan 12,5 dapat menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan, (5) limbah yang dapat mudah meledak atau bereaksi pada suhu dan tekanan standar (25 °C, 760 mmHg), dan (6) limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepas atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.

C. PEMANFAATAN LIMBAH

Teknologi pemanfaatan limbah organik berkaitan langsung dengan tujuan dari penggunaan limbah tersebut. Secara umum tujuan pemanfaatan limbah organik antara lain adalah sebagai berikut:

- 1) **Media Tumbuh.** Limbah pertanian banyak yang dapat dimanfaatkan sebagai media dalam produksi pangan atau produk tertentu. Misalnya jerami padi digunakan dalam produksi jamur merang, serbuk gergaji dan bekatul digunakan sebagai media jamur. Beberapa jenis jamur atau cendawan yang dapat dimakan (*edible fungi*) dapat dibudidayakan pada

pada media berbasis limbah tekstil (kapas), limbah tebu (bagas), limbah tandan kosong (tankos), dan limbah lainnya.

- 2) **Pupuk organik.** Limbah pertanian (tanaman pangan, perkebunan, kehutanan, perkotaan dan peternakan) dan limbah perkotaan (*domestic sewage*) yang tersedia berlimpah dapat dimanfaatkan menjadi pupuk organik atau kompos melalui proses pengomposan.
- 3) **Bioenergi (biogas).** Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku dalam produksi bioenergi memiliki prospek yang baik. Saat ini berbagai teknologi telah dikembangkan memanfaatkan limbah peternakan, perkotaan maupun industri perkebunan dalam produksi biogas yang ramah lingkungan. Limbah biogas, baik dalam bentuk padat maupun cair dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.
- 4) **Pakan Ternak.** Produk pertanian yang bersifat voluminous dan kaya akan energi maupun nutrisi dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, baik dalam bentuk segar atau pakan olahan (fermentasi, silase, dan lain-lainnya). Teknik pengolahan fermentasi sederhana telah terbukti mampu meningkatkan kualitas pakan ternak (kandungan nutrisi).



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan dengan singkat pengertian limbah atau sampah!
- 2) Sebutkan dasar pengelompokan limbah!
- 3) Sebutkan jenis limbah berdasarkan sumbernya!
- 4) Jelaskan dengan singkat limbah yang termasuk dalam limbah pertanian!
- 5) Sebutkan dan jelaskan dengan singkat pemanfaatan limbah pertanian!

Petunjuk Jawaban Latihan

Cocokkanlah jawaban Anda dengan petunjuk jawaban latihan berikut.

- 1) Pengertian limbah dapat didasarkan pada Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), Undang-undang No. 18 tahun 2008, dan ataupun sumber bacaan lainnya.
- 2) Pengelompokan limbah dapat didasarkan pada sumber, bentuk, senyawa, sifat penguraian dan sifat bahayanya.

- 3) Berdasarkan sumbernya limbah dibedakan menjadi: (1) limbah perkotaan (*municipal waste*), (2) limbah industri (*industrial waste*), (3) limbah pertanian (*agricultural waste*), dan (4) limbah pertambangan (*mining waste*).
- 4) Limbah yang termasuk limbah pertanian adalah limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertanian dalam arti luas dan agroindustri (industri berbasis pertanian untuk meningkatkan nilai tambah).
- 5) Limbah pertanian sebagai senyawa organik kaya akan energi dan nutrisi, limbah dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan antara lain sebagai media tumbuh, bahan baku dalam produksi pupuk, bahan baku untuk produksi bionergi dan sebagai pakan ternak.



RANGKUMAN

Limbah dapat diartikan sebagai bahan sisa proses produksi atau bahan yang tidak mempunyai nilai ekonomis, bahan rusak atau barang cacat dalam proses produksi atau material sisa yang tidak diinginkan dari suatu proses produksi. Limbah dapat dikelompokkan antara lain berdasarkan (a) sumbernya, (b) senyawa atau kerangka dasar, (c) bentuk, (d) kadar air, (e) sifat penguraian dan (f) sifat bahaya. Berdasarkan sumbernya limbah dapat dikelompokkan menjadi (1) limbah perkotaan (*municipal waste*), (2) limbah industri (*industrial waste*), (3) limbah pertanian (*agricultural waste*) dan (4) limbah pertambangan (*mining waste*).

Limbah pertanian yaitu limbah yang berasal dari kegiatan pertanian dalam arti luas (pertanian, peternakan, perikanan dan kehutanan) dan kegiatan industri berbasis pertanian (agroindustri) yang berbentuk limbah padat (sisa tanaman, dedaunan, kotoran hewan) atau limbah berbentuk cair. Karakteristik limbah pertanian bersifat *volumenous* dan dapat dijumpai di lahan, pemukiman, pasar dan industri pengolahan. Istilah teknis yang berkaitan limbah antara lain adalah limbah organik basah (*garbage*), limbah kering (*rubbish*), abu (*ashes*), sampah jalanan (*street sweeping*), sampah pemukiman atau limbah domestik, dan sampah khusus.

Limbah pertanian merupakan senyawa organik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan suatu produk. Secara umum limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai (a) media tumbuh untuk menghasilkan bahan pangan atau suatu produk, (b) pupuk organik (kompos) untuk meningkatkan kesuburan tanah dan

produktivitas tanaman, (c) bioenergi (biogas) sebagai sumber sumber terbarukan yang ramah lingkungan dan (d) pakan ternak untuk mendukung kegiatan perternakan.



TES FORMATIF 2 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Volume limbah atau sampah terus meningkat sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk. Limbah dapat diartikan sebagai
 - A. sisa proses produksi atau material sisa yang tidak diinginkan
 - B. bahan yang tidak mempunyai nilai atau barang buangan
 - C. barang rusak atau cacat dalam proses produksi
 - D. semua jawaban benar

- 2) Limbah dapat dikelompokkan berdasarkan
 - A. sumber limbah
 - B. bentuk limbah
 - C. senyawa organik atau anorganik
 - D. semua jawaban benar

- 3) Limbah rumah tangga (domestik) basah dikenal juga istilah
 - A. *rubbish*
 - B. *garbage*
 - C. *agricultural waste*
 - D. semua jawaban benar

- 4) Limbah pertanian (*agricultural waste*) adalah
 - A. limbah yang terdapat dipusat–pusat pemukiman
 - B. limbah yang terdaopat di pusat perdagangan
 - C. limbah yang berasal dari kegiatan pertanian dan agroindustri
 - D. semua jawaban benar

- 5) Limbah pertanian dapat dimanfaatkan untuk
 - A. media tumbuh
 - B. pupuk organik atau kompos
 - C. bioenergi atau biogas dan pakan ternak
 - D. semua jawaban benar

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

Prinsip Pengelolaan dan Potensi Limbah Pertanian

A. PRINSIP PENGELOLAAN

Pengertian limbah sebagai barang buangan atau sisa mengandung makna bahwa produk limbah tidak memiliki manfaat atau nilai ekonomi lagi. Akibatnya, di sektor pertanian berbagai produk sampingan tanaman, sisa panen atau bahan lainnya tidak dimanfaatkan kembali. Bahkan limbah–limbah tersebut dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Pola penanganan sampah yang dilakukan di berbagai kota di Indonesia umumnya masih terfokus pada pembuangan atau penumpukan sampah pada suatu tempat. Sampah pada umumnya hanya dikumpulkan dari berbagai tempat (rumah tangga, pasar, industri dan lain–lainnya) dan selanjutnya ditumpuk pada satu lokasi. Artinya mengumpulkan masalah dari berbagai penjuru dan menumpukkan masalah tersebut pada satu lokasi yang dikenal sebagai Tempat Pembuangan Akhir (TPA), tanpa pengelolaan yang memadai (sebagai *open dumping*) sehingga menimbulkan berbagai masalah lingkungan dan sosial (Simarmata, 2005; Simarmata, *et al.*, 2012). Di sisi lain, kucing saja sudah menerapkan pola *sanitary landfill*, yaitu kotorannya ditimbun atau ditutupi sendiri dengan tanah sehingga bersifat ramah lingkungan (Simarmata, 2005).

Limbah pertanian dan sampah perkotaan yang sangat melimpah dan keberadaannya terus meningkat sehingga menjadi bahan pencemar atau polutan bagi lingkungan. Sebagian besar sungai dan perairan di Indonesia sudah tercemar oleh berbagai limbah organik maupun anorganik. Akibatnya sungai atau perairan tersebut sudah termasuk kategori terpolusi sedang hingga berat. Timbunan sampah atau limbah menjadi permasalahan serius di berbagai kota–kota dunia, termasuk Indonesia. Timbunan sampah tersebut antara lain: (a) menghasilkan aroma bau busuk yang dihasilkan dari perombakan secara anaerob (penguraian bahan organik tanpa udara atau oksigen dikenal sebagai fermentasi), (b) mencemari air tanah, udara dan perairan, (c) sebagai sumber patogen, dan (d) menimbulkan berbagai permasalahan sosial lainnya.

Berbagai waduk dan perairan sudah ditumbuhi oleh berbagai gulma (eceng gondok, kiambang, dan tumbuhan lainnya) merupakan indikator telah terjadi pengayaan nutrisi (**eutropikasi**) dari kegiatan pertanian, limbah domestik dan limbah pabrik. Sungai–sungai sudah terpolusi sehingga menyebabkan hilangnya berbagai macam fauna (ikan) dan menimbulkan berbagai macam penyakit atau masalah lingkungan bagi masyarakat di sekitar sungai. Selain itu, tampilan sungai yang terpolusi dan kotor menjadi cerminan bahwa bangsa tersebut belum berbudaya dan termasuk kategori bangsa tertinggal.

Prinsip dasar penanganan limbah adalah pengolahan limbah secara ramah lingkungan. Limbah bukan dibuang tapi dikelola secara bijak sehingga dapat menghasilkan suatu produk yang bermanfaat. Kemajuan teknologi dalam bidang bioteknologi memberikan solusi yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah organik menjadi bahan baku (*raw material*) dalam suatu proses untuk menghasilkan produk tertentu. Dalam konteks ini, sampah atau limbah yang semula menjadi sumber pengeluaran (*cost center*) berubah menjadi sumber pendapatan (*benefit center*). Biaya penanganan limbah telah menjadi biaya rutin permukiman, di perkotaan, perkantoran, pusat perdagangan, industri pengolahan dan industri lainnya. Oleh karena itu, istilah tempat pembuangan sampah (TPA) perlu diganti menjadi tempat pengolahan/pengelolaan sampah. Bertitik tolak dari prinsip ini, maka sampah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia bukanlah untuk dibuang tetapi harus (wajib) dikelola, agar tidak menjadi masalah. Penanganan sampah atau limbah pertanian menerapkan prinsip pendaurulangan (*recycling*) untuk mempertahankan kesuburan secara berkelanjutan dan menjadikan limbah sebagai media atau bahan untuk menghasilkan suatu produk yang memiliki manfaat dan nilai ekonomi. Penanganan sampah perkotaan yang ramah lingkungan dilakukan dengan menerapkan metoda 4 R (*reduce, reuse, recycle and recovery*) (Simarmata, 2005; Wikipedia, 2015), yaitu:

- 1) *Reduce*, yaitu upaya untuk mengurangi sumber dan timbunan sampah. Artinya sebelum menggunakan atau membeli sesuatu yang terlebih dahulu harus dipikirkan adalah sampahnya dan menghilangkan/menekan komponen yang menimbulkan sampah (belanja membawa kantong atau keranjang sendiri, menghilangkan kemasan yang tidak perlu).
- 2) *Reuse*, yaitu menggunakan barang–barang secara berulang (kemasan, keranjang, dan lain–lainnya) dan menggunakan barang barang yang dapat diisi ulang, dan lain–lainnya.

- 3) *Recycle*, yaitu mendaur ulang berbagai produk termasuk di dalamnya adalah pengolahan limbah organik menjadi pupuk organik (kompos).
- 4) *Recovery*, yaitu melakukan proses pengolahan terhadap limbah untuk memperoleh suatu bahan yang dapat digunakan kembali.

B. POTENSI LIMBAH PERTANIAN

Berdasarkan sumbernya, secara garis besar limbah pertanian dapat dikelompokkan sebagai limbah:

- 1) tanaman pangan, yaitu tanaman pangan yang banyak diusahakan oleh petani, antara lain: padi, jagung dan tanaman pangan lainnya.
- 2) tanaman hortikultura yaitu tanaman sayuran, buah–buahan dan tanaman hias.
- 3) tanaman perkebunan, yaitu tanaman keras yang menjadi komoditas utama Indonesia, antara lain: kelapa sawit, tebu dan kakao.
- 4) peternakan yaitu limbah ternak ruminansia dan unggas.
- 5) perkotaan yaitu limbah yang terdapat di perkotaan. Sebagian besar produk pertanian, khususnya limbah basah (*garbage*) yang berasal dari sayuran dan buah–buahan menjadi limbah utama di pasar dan rumah tangga yang berakhir di tempat pembuangan sampah (TPA).

1. Limbah Tanaman Pangan

Proyeksi pertambahan limbah pertanian berkaitan langsung dengan (1) peningkatan jumlah penduduk, (2) perkembangan pertanian/industri pertanian, (3) perkembangan industri perternakan, dan (4) industri pengolahan hasil berbasis pertanian dan perternakan. Potensi limbah pertanian pangan untuk digunakan sebagai bahan baku dalam prosens pengomposan atau produksi pupuk organik sangat besar (Tabel 1.5). Tanaman pangan sangat potensial digunakan sebagai pupuk antara lain adalah padi, jagung dan singkong. Luas area panen tanaman padi sekitar 14 juta hektar dengan tingkat produktivitas sekitar 5,1 ton/ha. Proporsi sisa tanaman (jerami) padi di Indonesia sekitar 1,5 x hasil gabah dan sekam padinya, yaitu sekitar 25% dari hasil gabah padi, bekatul atau dedak sekitar 5 %. Pada tahun 2015 total biomassa jerami yang dapat dikomposkan mencapai sekitar 105 juta ton. Tanaman jagung memiliki areal panen sekitar 3.817 juta ha dengan produksi sekitar 18,9 juta ton biji jagung dan menghasilkan limbah

sekitar 1,90 x hasil jagung atau setara dengan 35.899 ribu ton biomassa (daun, batang dan tongkol).

Limbah tanaman lain yang cukup besar dan biasanya menimbulkan masalah lingkungan adalah ubi kayu atau tanaman ketela pohon. Luas areal tanaman ubi kayu sekitar 1.003 juta ha dengan jumlah produksi sekitar 23,5 juta ton dan menghasilkan limbah sekitar 17,6 juta ton per tahun. Bila diasumsikan bahwa rendemen kompos dari pengomposan limbah organik sekitar 50%, maka potensi kompos yang dapat dihasilkan sekitar 80,99 juta ton/tahun (Tabel 1.5).

Tabel 1.5 Estimasi Limbah Pertanian Tanaman Pangan dan Potensinya dalam Produksi Pupuk Organik

No	Tanaman	Luas Panen (x ribu ha)	Produktivitas (ton/ha)	Produksi (x ribu ton)	Total Limbah (x ribu ton)	Kompos (x ribu ton)
1	Padi	13.770	5,14	70.709	106.063	53.032
2	Jagung	3.817	4,95	18.894	35.899	17.949
3	Ketela Pohon	1.003	23,44	23.510	17.633	8.816
4	Kacang Kedelai	616	1,55	955	1.241	621
5	Kacang Hijau	208	1,28	266	343	172
6	Kacang Tanah	499	1,28	639	798	399
Total potensi produksi kompos						80.989

Sumber: Kementan, 2015 dan hasil perhitungan.

2. Limbah Tanaman Sayuran dan Buah–buahan

Tanaman sayuran dan buah–buahan umumnya dikonsumsi dalam bentuk segar, memiliki karakteristik bersifat voluminous dan mudah rusak sehingga menghasilkan limbah yang melimpah (Tabel 1.6 dan Tabel 1.7). Limbah dapat berupa residu tanaman atau sisa panen di lahan, produk panen yang rusak, buangan sisa seleksi pada segmen pasar, produk rusak dalam perjalanan dan akibat lain. Sebagian besar limbah tanaman sayuran dan buah–buahan menjadi limbah perkotaan, umumnya termasuk limbah basah (*garbage*). Limbah organik perkotaan sekitar 60 % merupakan sayur–sayuran

dan sisanya merupakan kulit buah–buahan dan sisa makanan (Pramono, 2004; Andi *et al.* 2011). Potensi limbah sayuran dikota sangat besar. Misal provinsi DKI setiap minggu memiliki potensi limbah sekitar 1.400 – 1.500 ton/minggu (Tabel 1.8).

Tabel 1.6. Luas Areal, Produktivitas dan Produksi Tanaman Sayuran di Indonesia pada Tahun 2014 (BPS Direktorat Jenderal Hortikultura, 2016)

No	Tanaman	Luas (Ha)	Produktivitas (ton/ha)	Produksi (ton)
1	Bawang Merah	120.704	10,16	1.233.984
2	Bawang Putih	1.913	9,22	16.893
3	Bawang Daun	58.362	9,83	584.624
4	Kentang	76.291	18,56	1.347.815
5	Kubis	63.116	22,55	1.435.833
6	Kembang Kol	11.303	11,24	136.508
7	Petsai/Sawi	60.804	10,10	602.468
8	Wortel	30.762	17,41	495.798
9	Lobak	2.055	14,99	31.861
10	Kacang Merah	16.17	5,77	100.316
11	Kacang Panjang	72.448	6,40	450.709
12	Cabe Besar	128.734	9,04	1.074.602
13	Cabe Rawit	134.882	6,62	800.473
14	Paprika	316	25,24	7.031
15	Jamur	586	55,95	32.787
16	Tomat	59.008	16,37	915.987
17	Terung	50.875	11,38	578.9575
18	Buncis	28.632	11,79	318.214
19	Ketimun	48.578	10,43	477.976
20	Labu Siam	9.502	47,28	357.552
21	Kangkung	52.541	6,45	319.607

No	Tanaman	Luas (Ha)	Produktivitas (ton/ha)	Produksi (ton)
22	Bayam	45.325	3,77	134.159
	Total Produksi			10.875.776

Sumber http://www.pertanian.go.id/ap_pages/mod/datahorti.

Tabel 1.7 Luas Areal, Produktivitas dan Produksi Tanaman Buah-Buahan Utama di Indonesia pada Tahun 2014 (BPS Direktorat Jenderal Hortikultura, 2016)

No	Komoditas	Luas (Ha)	Produktivitas (ton/ha)	Produksi (ton)
1	Alpukat	24.2	12,70	307.318
2	Belimbing	3.067	26,62	81.653
3	Duku/Langsar	23.213	8,98	208.424
4	Durian	67.779	12,68	859.118
5	Jambu Biji	9.029	20,76	187.406
6	Jambu Air	13.226	6,95	91.975
7	Jeruk Siam/Keprok	51.097	34,94	1.785.256
8	Jeruk Besar	5.664	24,94	141.288
9	Total Jeruk	56.776	33,93	1.926.543
10	Mangga	268.053	9,07	2.431.330
11	Manggis	15.198	7,55	114.755
12	Nangka/Cempedak	55.693	11,57	644.291
13	Nenas	15.617	117,53	1.835.483
14	Pepaya	10.217	82,23	840.112
15	Pisang	100.6	68,22	6.862.558
16	Rambutan	102.843	7,17	737.239
17	Salak	28.575	39,16	1.118.953
18	Sawo	11.009	12,55	138.206
19	Markisa	1.462	73,97	108.145
20	Sirsak	4.901	10,83	53.059
21	Sukun	11.19	9,25	103.483

No	Komoditas	Luas (Ha)	Produktivitas (ton/ha)	Produksi (ton)
22	Apel	2.773	87,59	242.915
23	Anggur	219	50,81	11.143
	Total			20,830,653

Sumber http://www.pertanian.go.id/ap_pages/mod/datahorti.

Pemanfaatan limbah sayuran antara lain dapat digunakan sebagai pakan ternak dan bahan baku pembuatan pupuk organik atau produksi kompos. Limbah sayuran yang umumnya mengandung air yang tinggi (60–80%) dengan C/N ratio yang relatif rendah bila dikomposkan hanya menghasilkan sekitar 20% kompos. Pencampuran bahan kering (sisa tanaman, dedaunan kering, sampah sapi) diperlukan untuk meningkatkan kualitas kompos dan rendemen kompos.

Tabel 1.8. Potensi Limbah Sayuran Pasar di Provinsi DKI Jakarta

No	Komoditas Sayuran	Jumlah Pasokan (ton/minggu)	Penyusutan (%)	Potensi Limbah (ton/minggu)
1.	Kol bulat	757,50	20	151,50
2.	Kembang kol	29,50	25	5,90
3.	Bawang merah	805,25	12	161,05
4.	Bawang putih	216,25	4	43,25
5.	Sawi	268,25	11	53,65
6.	Buncis	9,75	3	1,95
7.	Wortel	269,50	8	53,90
8.	Tomat	574,50	10	114,90
9.	Daun bawang	86,75	6	17,35
10.	Daun seledri	38,25	6	7,65
11.	Kelapa	133,25	8	26,65
12.	Jagung	216,50	20	43,30
13.	Toge	41,75	15	8,35
				1.377

Sumber: BPS Provinsi DKI Jakarta (2009).

3. Limbah Tanaman Perkebunan

Limbah organik dari tanaman perkebunan yang sangat potensial digunakan sebagai pupuk organik adalah limbah tanaman kelapa sawit, kelapa, kopi, kakao dan tanaman tebu (Tabel 1.9). Secara keseluruhan umumnya limbah tanaman ini difokuskan untuk produksi pupuk organik. Limbah kelapa (sabut kelapa) dapat dimanfaatkan untuk keperluan lainnya seperti: bahan baku industri rumah tangga pembuatan keset, sedang tempurung kelapa banyak digunakan sebagai bahan kerajinan atau bahan baku pembuatan arang tempurung kelapa.

Potensi limbah yang terbesar adalah pabrik kelapa sawit (PKS). Limbah PKS terdiri dari sekitar 22 persen tandan kosong dan limbah cair (POME = palm oil mill effluent) yaitu air buangan dari perebusan buah sawit yang berjumlah sekitar 0,6–0,8 m³ tandan buah segar (TBS). Selain itu, lumpur (sludge) PKS sekitar 2–5%. Limbah cair dan lumpur tersebut dapat dimanfaatkan dalam proses pengomposan. Pengembalian limbah PKS ke lahan dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik hingga sekitar 25%–50%, mempertahankan kesehatan dan kesuburan tanah, memperpanjang masa produktif tanaman serta mendorong penerapan pertanian ramah lingkungan (*environmentally friendly agriculture*) atau pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*). Potensi produksi pupuk organik dari limbah perkebunan sangat besar yakni sekitar 5,34 juta ton kompos per tahun.

Tabel 1.9. Estimasi Limbah Pertanian Tanaman Perkebunan dan Potensinya dalam Produksi Pupuk Organik (ton/kompos/tahun) pada Tahun 2014 (Kementan, 2015)

No	Tanaman	Luas (ribu ha)	Produksi (ton)	Limbah (ton)	Kompos (ton)
1	Kelapa	3.609.812	2.960.851	888.255	444.128
2	Kelapa Sawit	10.754.801	31.284.306	6.882.547	3.441.274
3	Kopi	1.230.495	665.256	133.051	66.526
4	Teh	118.899	154.598	30.920	15.460
5	Cengkeh	510.174	123.277	36.983	18.492
6	Kakao	1.727.437	661.243	528.994	264.497
7	Jambu Mete	531.154	123.564	74.138	37.069
8	Tebu	477.122	2.623.931	2.099.145	1.049.572
Total Potensi Produksi Pupuk Organik					5.337.017

Sumber: Kementan 2015 dan modifikasi hasil perhitungan.

Kualitas kompos yang dihasilkan berkaitan langsung dengan komposisi dan kandungan hara yang terdapat dalam limbah tersebut (Tabel 1.10). Semakin tinggi kandungan hara, semakin baik kompos yang dihasilkan.

Tabel 1.10. Komposisi dan Kandungan Hara Limbah Pertanian

Tanaman	Hara Makro (%)						Hara Mikro (mg kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Jerami Padi	0,66	0,07	0,93	0,29	0,64	–	427	9	67	365	–
Jagung	2,97	0,30	2,39	0,41	0,16		12	21	27	117	17
Batang Jagung	0,81	0,15	1,42	0,24	0,30		1,86	7	30	38	–

Tanaman	Hara Makro (%)						Hara Mikro (mg kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Kacang Tanah	4,59	0,25	2,03	1,24	0,37		198	23	27	170	28
Kacang Kedelai	5,55	0,34	2,41	0,88	0,37		190	11	41	143	39
Kentang	3,25	0,20	7,50	0,43	0,20		165	19	65	160	28
Ubi jalar	3,76	0,38	4,01	0,78	0,68		126	26	40	86	53
Sekam	0,49	0,05	0,49	0,06	0,04		173	7	36	109	
Serbuk Kayu	1,33	0,07	0,60	1,44	0,20		999	3	41	259	

Sumber: Tan, 1994.

4. Limbah Peternakan

Peternakan memegang peranan penting dalam meningkatkan ketersediaan pangan hewani dan pupuk kandang. Pupuk organik sangat diperlukan untuk mendukung kegiatan pertanian tanaman pangan, sayuran, hias, tanaman perkebunan dan tanaman keras lainnya. Potensi limbah peternakan di Indonesia sangat besar dan limbah ternak terus meningkat sejalan pertambahan jumlah ternak. Pertumbuhan ternak utama (sapi perah, sapi potong, kerbau, dan unggas) berkisar 3–5 persen per tahun. Limbah industri peternakan sangat potensial dimanfaatkan untuk produksi pupuk organik, baik dalam bentuk padat maupun dalam bentuk cair. Limbah padat dari ternak ruminansi besar sekitar 3 kg/ha, kecil sekitar 0,5 kg/ha dan unggas sekitar 200 gram per hari. Selain menghasilkan limbah padat, sapi perah dan sapi potong menghasilkan sekitar 10–20 L limbah cair. Populasi ternak, limbah yang dihasilkan dan potensi produksi kompos disajikan pada Tabel 1.11. Limbah yang paling potensial dimanfaatkan untuk produksi kompos terutama berasal dari ternak yang dipelihara dalam kandang, antara lain sapi perah, sapi potong, ayam padaging, ayam buras dan ayam petelur.

Limbah padat dan cair dari ternak ruminansia yang terkumpul dalam jumlah besar di lokasi peternakan, dengan teknologi sederhana dapat diolah menjadi pupuk organik, berupa kompos. Limbah cair dapat diolah menjadi pupuk cair organik atau diintegrasikan dengan kompos. Selain, campuran limbah padat dan cair dapat dimanfaatkan untuk memproduksi biogas dan sisa buangan padat dan cairan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

Tabel 1.11. Estimasi Limbah Peternakan dan Potensinya dalam Produksi Pupuk Organik (ton/kompos/hari) pada Tahun 2014

No	Jenis Ternak	Populasi (ribu ekor)	Tumbuh (%)	Limbah Padat		Kompos (ton/ha)
				kg/hari	ton/hari	
1	Sapi Perah	502,5	4,51	3,00	1.507,56	754
2	Sapi Potong	14.726,9	5,21	3,00	44.180,6	22.090
3	Kerbau	1.335,1	3,46	3,00	4.005,4	2.003
4	Kuda	428,0	1,88	3,00	1.284,1	642
5	Kambing	18.639,5	1,29	0,50	9.319,8	4.660
6	Domba	16.091,8	2,59	0,50	8.045,9	4.023
7	Babi	7.694,1	4,54	0,50	3.847,1	1.924
8	Ayam Buras	275.116,1	3,60	0,20	55.023,2	27.512
9	Ayam Ras	146.660,42	3,24	0,20	29.332,1	14.666
	Petelur					
10	Ayam Ras	1.443.349,1	3,76	0,20	288.669,8	144.335
	Pedaging					
11	Itik	45.268,46	3,55	0,20	9.053,69	4.527
Total Potensi Produksi Pupuk Organik						227.135

*Catatan: Limbah cair dari ternak besar sekitar 10-15 liter per hari.
Sumber : Kementan, 2015.*

Pemanfaatan limbah dari peternakan ayam lebih praktis, diolah menjadi kompos pupuk kotoran ayam. Kompos kotoran ayam umumnya mengandung kandungan nutrisi yang relatif tinggi karena diperkaya dengan sisa makanan ayam. Secara keseluruhan pada Tabel 1.11 terlihat bahwa potensi kompos dari kotoran ayam sangat besar, yakni sekitar 186.000 ton per hari atau sekitar 81% dari total produksi kompos yakni 227.235 ton per hari. Total potensi produksi kompos dari sektor peternakan sekitar 81,8 juta ton kompos per tahun. Bila dosis aplikasinya 2 ton/ha, maka peternakan dapat menyediakan kompos sekitar 40 juta hektar lahan pertanian. Kualitas kompos, khusus komposisi dan kandungan haranya berkaitan langsung dengan kandungan nutrisi alam limbah bahan baku kompos tersebut (Tabel 1.12).

Tabel 1.12. Kandungan Hara Bahan Organik Kotoran Hewan

Sumber	Kandungan Hara (%)						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
Sapi Perah	0,63	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Sapi Pedaging	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Kuda	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Unggas	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100
Domba	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020

Sumber: Tan (1994).

5. Limbah Organik Perkotaan

Permasalahan sampah di kota kota besar Indonesia terus meningkat sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk. Hasil berbagai kajian memperkirakan setiap keluarga menghasilkan sekitar 2–5 kg limbah/hari atau 600–800 g/hari/kapita (DKI = 0,65 kg/kap; Bandung 0,83 kg/kap), dengan komposisi sekitar 60–70% merupakan limbah organik (Tabel 1.13). Volume sampah saat ini di kota–kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Semarang, Medan berkisar 5.000–30.000 m³/hari. Pada tahun 2015 volume sampah kota Bandung sudah mencapai sekitar 7.500–9.000 m³/hari dan Jakarta sekitar 30.000–35000 m³/hari.

Tabel. 1.13. Produksi Limbah Domestik di Beberapa Kota Besar di Indonesia

Kota	Produksi Limbah per Kapita	
	L/hari	kg/ha
Jakarta	2,60	0,65
Surabaya	1,40	0,60
Semarang	1,80	0,45
Bandung	3,30	0,83
Surakarta	3,20	0,60
Makasar (U. Pandang)	2,40	0,60

Timbunan sampah menurut SNI 19 –3964 –1994 di kota besar berkisar 2–2,5 L/orang/hari setara dengan = 0,4–0,5 kg/orang/hari, dan di kota sedang/kecil = 1,5–2 L/orang/hari atau setara dengan = 0,3–0,4 kg/orang/hari. Saat ini kota Jakarta menghasilkan sekitar 7–8 ribu ton per hari, Bandung 2–3 ribu ton dan Surabaya sekitar 2–3 ribu ton. Limbah domestik di Indonesia umumnya mengandung bahan organik sekitar 60–70% dan sampah anorganik sekitar 30–40% (Tabel 1.14). Limbah dengan kandungan bahan organik yang relatif tinggi sangat potensial dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan bahan baku untuk menghasilkan bioenergi.

Tabel 1.14. Komposisi Sampah Domestik di Beberapa Negara.

No	Negara	Timbunan (kg/kapita)	Organik (%)	Kertas (%)	Plastik (%)
1	Thailand	0,65	46	20	21
2	Vietnam	0,70	55		
3	Malaysia	0,76	48	30	9,8
4	Indonesia	0,60	60–70*	2	2
5	Asia (rerata)	0,42	75	2	1
6	Eropa (rerata)	0,72	25,4	28,7	4,6
7	Jepang	1,12	11,7	38,5	11,9
8	USA	1,97	12	43	5

Sumber: Yeoh, 2006.

Estimasi perkembangan volume sampah dan potensi produksi kompos di Indonesia disajikan pada Tabel 1.15. Timbunan sampah organik pada tahun 2015 sekitar 116 ribu ton per hari dan bila dikomposkan dengan tingkat rendemen sekitar 20% dapat menghasilkan sekitar 20 ribu ton kompos per hari. Hanya saja potensi yang sangat besar belum dimanfaatkan dengan baik. Hasil studi di beberapa kota pada tahun 2012, pola pengelolaan sampah di Indonesia adalah diangkut dan ditimbun di TPA (69%), dikubur (10%), dikompos dan didaur ulang (7%), dibakar (5%), dan sisanya tidak terkelola (7%) (KLH, 2015).

Tabel 1.15. Estimasi Perkembangan Jumlah Penduduk (x ribu jiwa), Sampah Organik dan Potensi Produksi Pupuk Organik (ton/hari) di Indonesia

Wilayah	Parameter	Tahun				
		2015	2020	2025	2030	2035
Pulau Sumatera	Jumlah Penduduk	55.273	59.337	62.899	65.938	68.500
	Sampah Organik	23.215	24.922	26.418	27.694	28.770
	Potensi Kompos	4.643	4.984	5.284	5.539	5.754
Pulau Jawa	Jumlah Penduduk	145.144	152.450	158.738	163.754	167.326
	Sampah Organik	71.121	74.701	77.782	80.239	81.990
	Jumlah Penduduk	14.224	14.940	15.556	16.048	16.398
Bali, NTB dan NTT	Jumlah Penduduk	14.109	15.048	15.932	16.751	17.496
	Sampah Organik	4.938	5.267	5.576	5.863	6.124
	Potensi Kompos	988	1.053	1.115	1.173	1.225
Pulau Kalimantan	Jumlah Penduduk	15.343	16.770	18.083	19.264	20.318
	Sampah Organik	4.296	4.696	5.063	5.394	5.689
	Potensi Kompos	859	939	1.013	1.079	1.138
Pulau Sulawesi	Jumlah Penduduk	18.724	19.934	21.020	21.954	22.732
	Sampah Organik	6.553	6.977	7.357	7.684	7.956
	Potensi Kompos	1.311	1.395	1.471	1.537	1.591
Kep. Maluku	Jumlah Penduduk	2.849	3.111	3.364	3.604	3.831
	Sampah Organik	598	653	706	757	805
	Potensi Kompos	120	131	141	151	161
Pulau Papua	Jumlah Penduduk	4.021	4.417	4.794	5.140	5.450
	Sampah Organik	1.126	1.237	1.342	1.439	1.526

Wilayah	Parameter	Tahun				
		2015	2020	2025	2030	2035
	Potensi Kompos	225	247	268	288	305
Indonesia	Jumlah Penduduk	255.462	271.066	284.829	296.405	305.652
	Sampah Organik	116.23 5	123.33 5	129.59 7	134.86 4	139.07 2
	Potensi Kompos	23.247	24.667	25.919	26.973	27.814

Sumber: BPS (2013) dan kalkulasi perhitungan.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan dengan singkat prinsip penanganan limbah!
- 2) Jelaskan dengan singkat mengapa limbah sangat penting dimanfaatkan dalam proses produksi pupuk organik!
- 3) Sebutkan limbah apa saja yang potensial dimanfaatkan untuk menghasilkan pupuk organik (kompos) dari sektor pertanian!
- 4) Jelaskan dengan singkat mengapa limbah tanaman pangan dan limbah perkotaan sangat potensial dimanfaatkan dalam produksi kompos!
- 5) Jelaskan singkat mengapa limbah dari ternak yang dipelihara dalam kandang sangat potensial dimanfaatkan untuk produksi kompos dan bioenergi!

Petunjuk Jawaban Latihan

Cocokkanlah jawaban Anda dengan petunjuk jawaban latihan berikut.

- 1) Prinsip dasar penanganan limbah adalah bukanlah dibuang tapi dikelola sehingga dapat menghasilkan suatu produk yang memiliki nilai ekonomi atau bermanfaat bagi kehidupan manusia.
- 2) Jumlah limbah terus meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk sehingga ketersediaan limbah sebagai bahan baku untuk produksi pupuk organik atau produk lain terus meningkat.

- 3) Limbah organik yang sangat potensial dimanfaatkan dari sektor pertanian antara lain adalah limbah tanaman pangan, perkebunan, sayuran dan buah–buahan serta limbah dari peternakan.
- 4) Limbah perkotaan jumlahnya terus meningkat sejalan dengan kenaikan jumlah penduduk. Setiap penduduk menghasilkan sekitar 600–800 gram limbah per hari. Komposisi limbah domestik sekitar 60–70% merupakan limbah organik dan bila dikomposkan dapat menghasilkan rendemen kompos sekitar 20%.
- 5) Jumlah ternak yang dipelihara dalam kandang terus meningkat dan kotorannya baik padat maupun cair terkumpul sehingga lebih mudah untuk dikelola.



RANGKUMAN

Limbah umumnya dianggap sebagai barang buangan yang tidak mempunyai nilai ekonomis. Limbah tersebut telah menimbulkan berbagai masalah lingkungan baik di perkotaan maupun perairan. Dalam era globalisasi dan peduli lingkungan limbah merupakan barang yang bernilai ekonomi. Prinsip pengelolaannya adalah bahwa sampah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia bukanlah untuk dibuang tetapi harus dikelola. Limbah yang sangat potensial dimanfaatkan meliputi limbah pertanian tanaman pangan, tanaman sayuran, tanaman perkebunan dan limbah perkotaan (domestik).

Luas area panen tanaman padi sekitar 14 juta ha dengan tingkat produktivitas sekitar 5,1 ton/ha. Proporsi sisa tanaman (jerami) padi di Indonesia sekitar 1,5 x hasil gabah dan sekam padinya sekitar 25% dari hasil gabah padi, bekatul atau dedak sekitar 5 %. Total biomassa jerami yang dapat dikomposkan mencapai sekitar 105 juta ton pada tahun 2015. Tanaman jagung memiliki areal panen sekitar 3.817 juta ha dengan produksi sekitar 18,9 juta ton biji jagung dan menghasilkan limbah sekitar 1,90 x hasil jagung atau setara dengan 35.899 ribu ton biomassa (daun, batang dan tongkol). Tanaman sayuran dan buah–buahan menghasilkan limbah organik yang melimpah. Limbah organik perkotaan sekitar 60 % merupakan sayur–sayuran dan sisanya merupakan kulit buah–buahan dan sisa makanan. Limbah tanaman perkebunan yang sangat potensial digunakan sebagai pupuk organik adalah limbah tanaman kelapa sawit, kelapa, kopi, kakao dan tanaman tebu.

Limbah industri peternakan sangat potensial dimanfaatkan untuk produksi pupuk organik, baik dalam bentuk padat maupun dalam bentuk cair. Limbah padat dari ternak ruminansia besar sekitar 3 kg/ha, kecil sekitar 0,5 kg/ha dan unggas sekitar 200 gram per hari. Selain menghasilkan limbah padat, sapi perah dan sapi potong menghasilkan serkitar 10–20 L limbah cair. Limbah peternakan yang paling potensial dimanfaatkan dalam produksi kompos dan biogas terutama berasal dari ternak yang dipelihara dalam kandang. Misalnya sapi perah, sapi potong, ayam padaging, ayam buras dan ayam petelur. Setiap penduduk menghasilkan limbah perkotaan sekitar 600 – 800 gram/hari. Limbah domestik di Indonesia umumnya mengandung bahan organik sekitar 60–70% dan sampah anorganik sekitar 30–40% sangat potensial dimanfaatkan untuk produksi pupuk organik atau kompos.



TES FORMATIF 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Jumlah limbah terus meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk baik di pedesaan maupun di perkotaan. Prinsip dasar penanganan limbah adalah
 - A. dibuang ke TPA
 - B. dibakar dalam lubang
 - C. dibiarkan membusuk
 - D. dikelola untuk menghasilkan produk yang bermanfaat atau menilai ekonomi

- 2) Limbah pertanian dan perkotaan sangat potensial dimanfaatkan untuk memproduksi
 - A. pupuk organik atau kompos
 - B. pupuk anorganik
 - C. pupuk buatan
 - D. semua jawaban benar

- 3) Limbah pertanian yang sangat potensial dimanfaatkan berasal dari tanaman
 - A. pangan
 - B. perkebunan
 - C. sayuran dan buah–buahan
 - D. semua jawaban benar

- 4) Limbah peternakan, khususnya ternak yang dipelihara dalam kandang potensial dimanfaatkan dalam industri untuk menghasilkan
- A. pupuk organik
 - B. kompos
 - C. biogas atau bioenergi
 - D. semua jawaban benar
- 5) Volume dan jumlah limbah perkotaan terus meningkat karena sertiap orang menghasilkan sekitar
- A. 1000 g limbah per hari
 - B. 1200 g limbah per hari
 - C. 600–800 gram limbah per hari
 - D. 400–500 gram limbah per hari

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 4. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

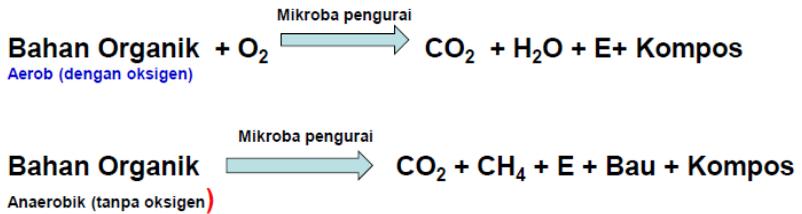
KEGIATAN BELAJAR 4

Kompos dan Teknologi Pengomposan

A. PENGERTIAN DAN PROSES PENGOMPOSAN

Pupuk kompos sudah lazim digunakan sejak peradaban pertanian dipergunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas pangan. Kompos dikenal sejak 4000 tahun yang lalu di Asia, terutama Cina dan Jepang. Kompos dapat diartikan sebagai sisa perombakan atau penguraian bahan organik. Produk akhirnya cukup stabil dalam penyimpanan dan aplikasi pada lahan tidak menimbulkan dampak yang merusak lingkungan. Kompos berasal dari bahasa Latin *componere*, artinya menyusun atau menumpuk suatu bahan/benda bersama-sama. Mengkomposkan adalah menyusun atau menumpuk berbagai bahan organik sehingga mengalami proses perombakan atau pelapukan (dekomposisi) untuk menghasilkan pupuk organik yang relatif kaya akan humus (*humic substances*) (Simarmata *et al.*, 2012; FAO, 2015).

Proses pengomposan terdiri dari 2 fase utama, yaitu pada pertama mikroba merombak senyawa organik (senyawa kompleks) menjadi senyawa yang lebih sederhana dan akan menghasilkan panas sehingga temperatur meningkat (akibat aktivitas metabolisme). Volume tumpukan kompos akan berkurang secara drastis hingga 40–60% tergantung dari bahan komposnya. Pada fase kedua, terjadi penurunan aktivitas mikroba karena berkurangnya substrat dan nutrisi tersedia dalam kompos. Akibatnya terjadi penurunan temperatur secara perlahan dan kelembaban berkurang dan membentuk struktur remah. Proses tersebut dapat terjadi secara aerob maupun anaerob (CWMI, 1996; Chen, *et al.*, 2011; FAO, 2015). Biodegradasi bahan organik secara aerob akan menghasilkan CO₂, hara dan melepaskan energi dalam bentuk panas, sedangkan pengomposan dalam suasana anaerob akan menghasilkan CO₂, hara, energi dan gas metan (CH₄).



Proses dekomposisi bahan organik secara aerob lebih cepat dan tidak menimbulkan bau karena tidak terbentuk senyawa antara (metabolit) yang dapat menimbulkan bau tidak sedap, sedangkan proses anaerob berjalan lebih lambat dan menimbulkan bau tidak sedap karena banyak senyawa hidro sulfida dan amina yang terbentuk (Tabel 1.16).

Mikroba yang berperan dalam proses biodegradasi (perombakan) tersebut ada yang hanya berperan dalam kondisi aerob, hanya berperan dalam kondisi anaerob dan berperan dalam kondisi aerob maupun anaerob. Biodegradasi (konversi) bahan organik dilakukan berbagai macam kelompok organisme heterotrof, antara lain adalah bakteri, jamur, aktinomyces dan protozoa. Mikroba tersebut bekerja membentuk suatu rangkaian sesuai dengan tahapan dalam proses tersebut. Artinya mikroba yang pertama aktif secara tidak langsung menciptakan kondisi bagi pertumbuhan dan perkembangan mikroba selanjutnya. Peranan bakteri dalam dekomposisi senyawa organik yang mudah dirombak (protein karbohidrat dan gula) sangat dominan karena tumbuh dan berkembang lebih cepat dibandingkan mikroba lainnya. Pada fase selanjutnya jamur (fungi dan aktinomyces) lebih dominan karena lebih toleran terhadap kandungan air dan nitrogen yang rendah.

Tabel 1.16. Biodegradasi Senyawa Organik dalam Kondisi Aerob dan Anaerob

Senyawa Organik	Enzim	Produk akhir	
		Proses aerob	Proses anaerob
Protein	Proteinase	NH ₃ , nitrit, nitrat, H ₂ S, H ₂ SO ₄ , alkohol, asam organik, CO ₂ dan	asam amino, amonia, H ₂ S alkohol, asam organik, CO ₂ ,

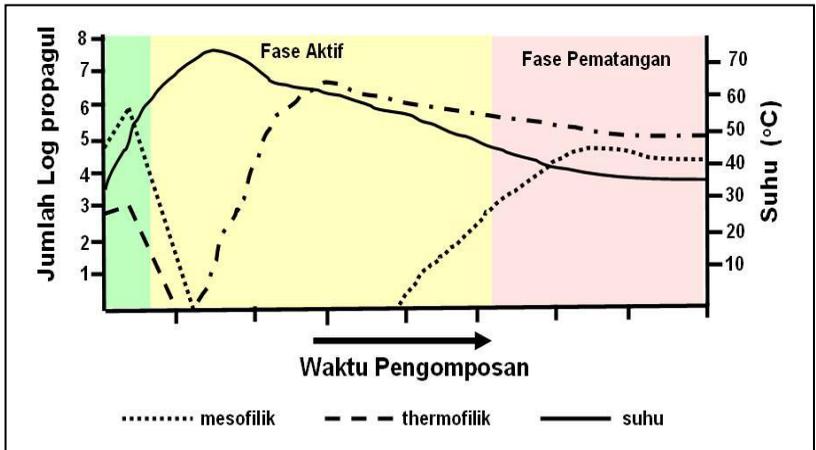
		H ₂ O	CH ₄ , fenol, indol
Karbohidrat	Karbohidrase	alkohol, asam lemak, CO ₂ dan H ₂ O	alkohol, asam lemak, CO ₂ dan H ₂
Lemak	Lipase	asam lemak, gliserol, CO ₂ dan H ₂ O	alkohol, asam lemak, CO ₂ dan H ₂

Sumber : Simarmata, 2005, Simarmata, et al., 2012.

Dalam proses pengomposan terdapat 4 fase (Gambar 1.1 dan 1.2), yaitu:

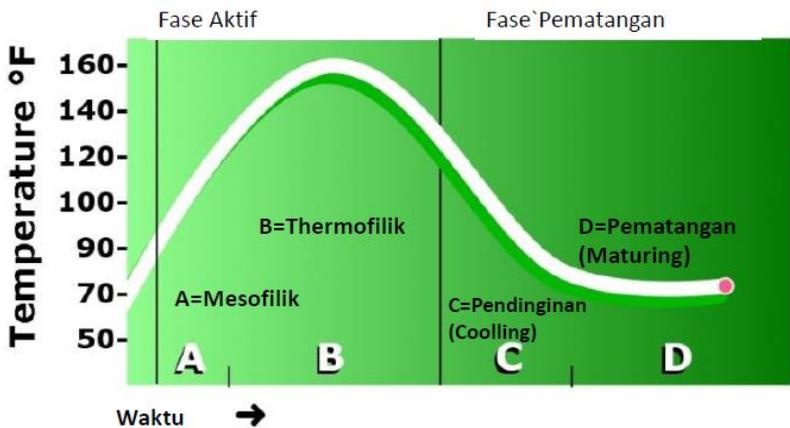
- 1) **Mesofilik**, yaitu kondisi tahap awal dengan pasokan oksigen dan kelembaban yang optimal akan memacu pertumbuhan dan perkembangan mikroba (bakteri, jamur dan aktinomycetes). Aktivitas mikroba awal hingga temperatur < 40 °C dikenal juga sebagai fase mesofilik. Proses dekomposisi bahan organik tersebut akan melepaskan energi dalam bentuk panas sehingga temperatur akan meningkat. Aktivitas bakteri mesofilik akan terhenti pada temperatur >40 °C. Asam organik yang dihasilkan pada tahap ini akan menurunkan pH.
- 2) **Termofilik**, yaitu meningkatnya aktivitas mikroba menyebabkan kenaikan temperatur 40–60 °C dan fase termofilik akan dicapai dalam waktu 4–6 hari. Proses dekomposisi tertinggi dicapai pada temperatur 50–60 °C. Meningkatnya aktivitas mikroba termofilik (>40 °C) akan menghasilkan amoniak sehingga akan terjadi kenaikan pH. Pada temperatur > 60 °C, maka aktivitas jamur termofilik akan terhenti, selanjutnya digantikan oleh kelompok bakteri dan aktinomycetes hingga temperatur 70–80 °C. Kenaikan suhu tersebut secara langsung akan mematikan berbagai jenis patogen dan bibit gulma. Apabila suhu melampaui 65 – 70 °C, aktivitas mikroba dan proses dekomposisi senyawa organik akan terhambat karena suhu yang tinggi tersebut akan mematikan mikroba (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2).
- 3) **Pendinginan**, yaitu berkurangnya substrat dan tingginya temperatur akan menimbulkan kematian pada mikroba dan aktivitas metabolisme menurun. Dengan demikian temperatur akan turun kembali ke fase awal (temperatur ruang).
- 4) **Pematangan/Pemasakan**, yaitu temperatur kompos sudah stabil dengan C/N berkisar 10–12. Pada fase ini senyawa humus (sisa perombakan)

sudah terbentuk. Jumlah bahan humus yang terbentuk sangat tergantung pada bahan dasar kompos. Bahan baku yang kaya akan lignin akan menghasilkan senyawa humik yang lebih besar.



Gambar 1.1.

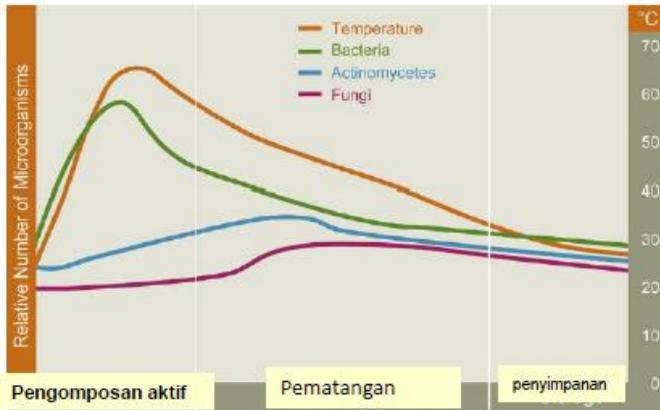
Pola kenaikan populasi mikroba dan suhu dalam proses pengomposan pada fase mesofilik dan termofilik (Wikipedia, 2016; Isroi, 2008)



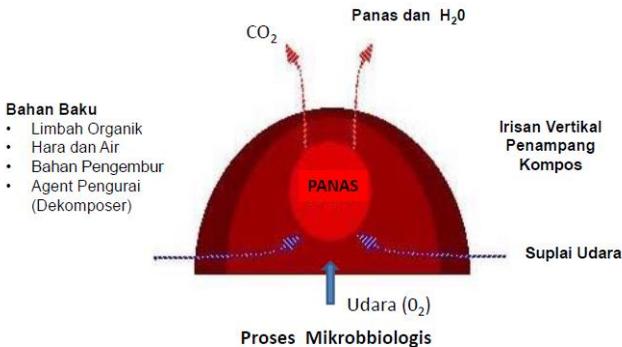
Gambar 1.2.

Perkembangan suhu dalam fase pengkomposan (Leslie, 2002: http://heartspring.net/composting_guide_farm_compost.html)

Proses penguraian senyawa organik (pengomposan) dapat berlangsung dengan bantuan mikroba pengurai (bakteri, aktinomycetes dan jamur) sehingga pengomposan merupakan proses mikrobiologis baik secara aerob (dengan oksigen atau udara) maupun anaerob (tanpa oksigen). Kenaikan populasi bakteri, aktinomycetes dan jamur (cendawan atau fungi) diikuti dengan peningkatan temperatur atau suhu (Gambar 1.3).



Gambar 1.3. Kenaikan suhu sejalan dengan peningkatan populasi mikroba pengurai (bakteri, aktinomycetes dan fungi) (PWGSC,2013).



Gambar 1.4. Pola distribusi, penyebaran panas dan pasokan oksigen dalam tumpukan proses pengomposan aerob (dimodifikasi dari Richard, 1996; PWGSC, 2013).

Perombakan bahan organik pada dasarnya adalah pemutusan ikatan karbon secara enzimatik dan energi yang dilepaskan akan menimbulkan panas pada tumpukan bahan kompos yang sedang aktif. Secara ringkas pola distribusi panas dan pasokan udara atau oksigen disajikan pada Gambar 1.4.

B. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENGOMPOSAN

Laju proses pengomposan dan kualitas kompos ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain adalah:

- 1) **C/N-ratio dan nutrisi.** Untuk mempercepat proses pengomposan mikroba memerlukan pasokan nutrisi (makro dan mikro elemen) dalam jumlah dan proporsi yang tepat (Tabel 1.17). Dalam proses pengomposan ketersediaan N dan C sering menjadi faktor pembatas.

Tabel 1.17. C/N Ratio dari Limbah yang Kaya akan N dan C

Limbah yang kaya akan N	C/N	Limbah yang kaya akan C	C/N
Limbah sayuran	10 – 13	Kulit kayu/serbuk gergaji	200–400
Limbah cair	2 – 3	Jerami padi	80–90
Kotoran ayam	10 – 12	Batang jagung	60 – 100
Limbah dapur	10 – 25	Daun–daun kering	50 – 70
Bulu unggas	30	Kulit buah kapuk	50 – 60
Kotoran domba, babi, kambing	13 – 15	Serbuk gergaji	100 – 500
Kotoran sapi/jerami	10 – 20	Kertas/hardboard	200 – 500
		Eceng gondok kering	70 – 80

Sumber: Simarmata, 2005 dan Simarmata et al., 2012; FAO, 2015.

Mikroba menggunakan C sebagai sumber energi dan bersama N diperlukan untuk pertumbuhan sel dan sintesis protein serta asam–asam nukleat. C/N ratio yang optimal untuk pengomposan adalah 25 – 35. Untuk menurunkan C/N ratio dari bahan baku (campuran) dapat dilakukan dengan menambahkan N, antara lain adalah urea, ammonia, air kencing ternak (urine), dan bahan lainnya. Semakin besar C/N ratio, maka semakin banyak N yang diperlukan. C/N ratio dari berbagai limbah organik (Tabel 1.17).

- 2) **Ukuran bahan.** Ukuran bahan optimal berkisar 10 mm – 50 mm. Oleh karena itu perlu dilakukan perajangan bahan baku agar diperoleh ukuran yang optimal dalam proses pengomposan. Semakin kecil ukuran bahan semakin cepat proses dekomposisinya
- 3.) **Kelembaban.** Kelembaban yang optimal dalam proses pengomposan berkisar 50–65%. Kelembaban dibawah 40%, proses dekomposisi akan berjalan sangat lambat karena terlalu kering, sebaliknya bila terlalu basah juga menghambat proses dan kondisi berubah menjadi anaerob. Kelembaban yang relatif tinggi dapat dipertahankan bila dilakukan pembalikan secara intensif atau diberi aerasi.
- 4) **Keasaman (pH).** pH yang optimal adalah 6,5–8,5. Umumnya bahan kompos yang digunakan mempunyai pH sekitar 5–7. Pada fase awal pengomposan akan terjadi penurunan pH akibat adanya asam–asam organik, dan jika kondisi anaerob, pH akan lebih rendah lagi. Penambahan kapur pada tumpukan kompos tidak dianjurkan karena mengakibatkan hilangnya N dalam bentuk ammonia.
- 5) **Temperatur.** Mempertahankan suhu pada kisaran 55–60 °C selama 3–4 hari selain untuk mempercepat proses dekomposisi, juga untuk mematikan patogen dan bibit gulma yang terdapat dalam bahan kompos. Terutama bila menggunakan bahan kompos/limbah yang mengandung patogen (tinja, slurry, dan lain–lainnya).
- 6) **Oksigen dan aerasi.** Oksigen diperlukan oleh mikroba untuk mengoksidasi senyawa organik (respirasi) dan laju dekomposisi aerob sekitar 10–20 kali lebih cepat dibanding anaerob (tanpa oksigen). Tanpa suplai oksigen (sirkulasi udara), kandungan oksigen akan menurun dengan cepat. Bila konsentrasi di bawah 5–15%, maka aktivitas mikroba aerob akan menurun dan aktivitas mikroba anaerob meningkat. Oleh karena itu, sirkulasi udara sangat diperlukan untuk menjamin pasokan oksigen bagi mikroba dan mempertahankan kondisi aerob. Jenis, ukuran dan struktur bahan juga berpengaruh terhadap sirkulasi udara. Limbah kota yang kaya akan N nitrogen dan bersifat herbaseus dapat menimbulkan pepadatan dan menghambat sirkulasi udara. Untuk memperbaiki sirkulasi udara perlu dilakukan penambahan *balking agent* (serbuk gergaji, sekam, dan bahan lainnya) dan dilakukan pembalikan secara rutin. Semakin sering dibalik akan semakin baik dan proses pengomposan akan lebih cepat. Selain itu, aerasi dapat diberikan secara buatan dengan menggunakan paralon yang diberi lubang atau diberi

suplai udara melalui pompa. Selama fase termofilik diperlukan 0,6–1,8 m³ udara/hari/kg bahan, selanjutnya makin berkurang.

- 7) **Ukuran timbunan** (*heap size*). Ukuran timbunan bahan kompos yang dianjurkan adalah tinggi 1,5 m, lebar 2,5 dan panjang sesuai dengan kebutuhan.
- 8) **Aktivator**. Untuk mempercepat proses dekomposisi, tumpukan bahan kompos dapat diinokulasi mikroba dekomposer (bakteri, jamur dan aktinomycetes). Selain itu, limbah organik perkotaan bersifat basah (berair) dengan C/N ratio rendah sehingga diperlukan tambahan bahan pengembur (*balking agents*), misalnya serbuk gergaji, dedak dan sekam.

C. METODA PENGOMPOSAN

Kecepatan proses pengomposan sangat tergantung pada metoda yang digunakan. Secara garis besar metoda dalam pengomposan dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

- 1) **Metoda anaerob**, yaitu proses pengomposan berjalan tanpa kehadiran oksigen sehingga penguraian (oksidasi) bahan organik berlangsung melalui proses fermentasi. Bahan kompos dimasukkan ke dalam lubang dengan kedalaman 1 m, lebar 1 dan panjang 2 m atau lebih dan setelah proses berlangsung lama 3 – 6 bulan, dilakukan pemanenan kompos. Pengomposan dengan metoda ini seringkali menghasilkan bau tidak sedap sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Selain itu, proses secara anaerob akan menghasilkan gas metan sehingga proses ini tidak dianjurkan dipergunakan secara luas karena metan yang dihasilkan termasuk gas rumah kaca. Secara umum proses pengomposan secara anaerob dapat berlangsung sekitar 3–6 bulan, tergantung pada jenis dan ukuran bahan kompos. Proses panguraian ini umumnya terjadi juga pada timbunan sampah di pasar–pasar yang basah dan suplai oksigennya terbatas. Akibatnya menghasilkan aroma bau busuk dan banyak menghasilkan air lindih (*leachate*) dari tumpukan tersebut. Metoda ini banyak digunakan pada halaman dan kebun (Gambar 1.4). Lokasi pengomposan dipilih pada tempat yang tidak mudah tergenang atau bebas banjir.

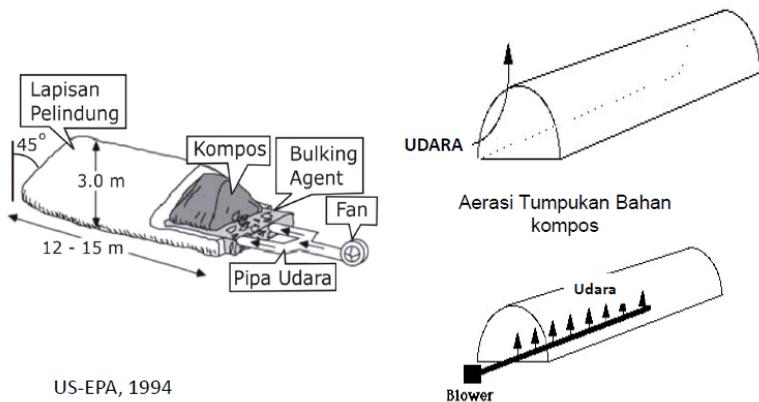


Pengomposan dengan metoda anaerob di dalam lubang tanah
(Misra, *et al*, 2003).

- 2) **Metoda aerob** yaitu proses pengomposan berjalan dengan kehadiran oksigen (udara) atau penguraian bahan organik melalui proses respirasi (kehadiran oksigen) sehingga perombakan berlangsung cepat dan tidak menimbulkan bau. Pengomposan dilakukan di atas permukaan tanah dalam ruangan tertutup (*indoor*) atau ruangan terbuka (*outdoor*). Suplai udara dapat dilakukan secara aktif (*force aeration*) menggunakan pompa udara (*blower*) (ECS, 2016) atau secara pasif (aerasi secara alami) dengan menggunakan pipa paralon yang diberi lubang-lubang atau bambu atau bahan lainnya sebagai saluran udara ke dalam tumpukan kompos.

Metoda pengomposan yang lazim digunakan antara lain adalah:

- a. **Sistem bedeng (*windrows*)**. Bahan kompos tersebut selanjutnya ditumpuk dalam bentuk bedengan (lebar 1,5–2, m, tinggi 1 m dan panjang 5–10 m), pada setiap jarak 0,5 m diselipkan pipa paralon (ukuran 1–1,5 inci) yang telah dilubangi dengan bentuk spiral (8 mm) setiap jarak 10–15 cm. Paralon ditempatkan pada bagian bawah tumpukan secara memanjang dan pada bagian tengah (Gambar 1.5). Sistem aerasi dapat juga dilakukan dengan menggunakan pompa (*blower*). Selanjutnya tumpukan kompos ditutup dengan terpal atau karung bekas dan diberi pemberat supaya tidak mudah tersingkap.



US-EPA, 1994

Gambar 1.5

Ilustrasi metoda sistem bedeng dilengkapi dengan sistem aerasi aktif dengan menggunakan pompa udara atau *blower* (Richard, 1996, US-EPA, 1994; Wikipedia, 2015).

Aerasi bedengan kompos dapat dilakukan secara pasif dengan menggunakan pipa paralon yang telah dilubangi atau batang bambu. Potongan paralon atau bambu tersebut diselipkan secara vertikal atau horizontal pada tumpukan kompos dengan jarak sekitar 50 cm (Gambar 1.6). Pengomposan dapat dilakukan dalam ruangan (*indoor*) atau di luar ruangan (*outdoor*) (Gambar 1.7).



Bedengan Pengkomposan dengan aerasi pasif (Simarmata *et al.*, 2012)

Gambar 1.6.

Aerasi pasif pada bedengan kompos menggunakan bambu atau paralon (Simarmata, *et al.*, 2012)



Bedengan pengomposan indoor dan outdoor (Simarmata *et al.*, 2012)

Gambar 1.7.

Bedengan pengomposan dalam ruangan (*indoor*) dan di luar ruangan (*outdoor*) yang ditutupi dengan terpal plastik (Simarmata *et al.*, 2012).

Sistem pengomposan dengan aerasi aktif (*force aeration*) umumnya digunakan dalam skala pengomposan yang besar (Gambar 1.8).

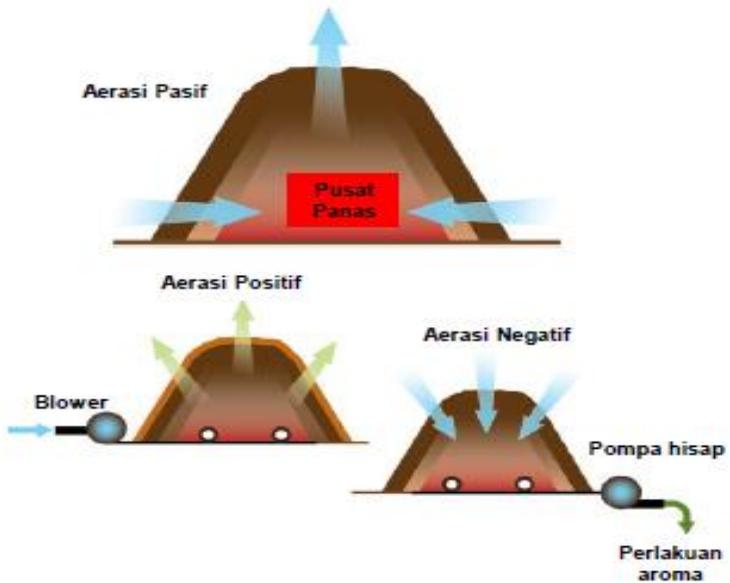


Gambar 1.8.

Bedengan pengomposan (*windrows*) dengan aerasi aktif skala besar dalam ruangan dan di lapangan (*outdoor*) (PWGSC, 2013).

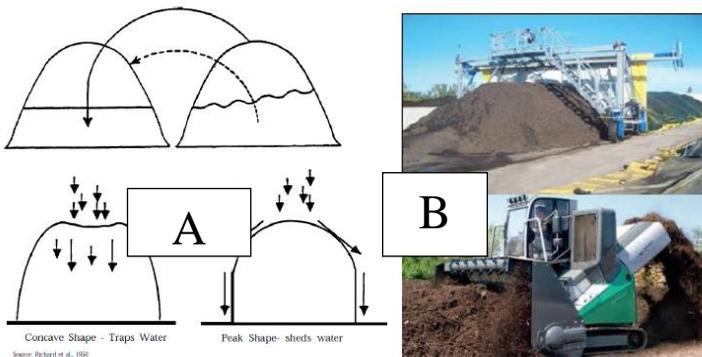
Secara ringkas sistem aerasi yang dapat diadopsi adalah aerasi pasif (aerasi alami bergantung pada difusi udara), aerasi positif menggunakan pompa atau blower dan aerasi negatif menggunakan pompa hisap (Gambar 1.9).

Permukaan bedengan pengomposan dibuat cembung untuk mempermudah aliran air atau mencegah terjadinya genangan air pada tumpukan kompos (Gambar 4.10 A). Pembalikan dapat dilakukan secara manual atau menggunakan mesin pencampur kompos (*compos turner*) (Gambar 4.10 B). Secara ringkas pada pembalikan dilakukan dengan menempatkan bagian atas menjadi bagian bawah atau sebaliknya.



Gambar 1.9.

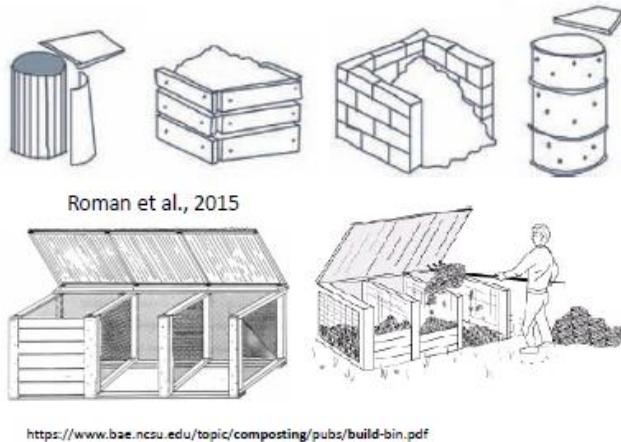
Aerasi pasif (aerasi alami), aerasi positif menggunakan pompa (blower) dan aerasi negatif menggunakan pompa hisap (PWGSC,2013).



Gambar 1.10.

Prinsip pencampuran atau pembalikan tumpukan kompos dan bentuk permukaan cembung pada bagian atas bedengan (US-EPA, 1994).

- b. Sistem Kotak atau Lingkaran.** Kotak dapat dibuat dari papan atau bahan lainnya (hanya bagian samping saja, bagian bawah) atau lingkaran menggunakan ram atau drum. Setelah bahan dan aerator melalui paralon selesai disusun, kotak bagian atas ditutup dengan terpal. Kotak tersebut sebaiknya dibuat berupa lembaran samping yang panjang dan samping yang pendek sehingga mudah dibongkar dan dipasang kembali. Ukuran kotak; lebar 1,5 – 2 m, tinggi 1,5 m dan panjang (5 – 10 m) atau disesuaikan dengan kebutuhan (Gambar 1.11). Pengomposan dengan menggunakan sistem kotak atau boks umumnya digunakan untuk skala kecil–menengah.



Gambar 1.11.
Sistem pengomposan menggunakan boks untuk skala kecil (*compost bins*)
(Edward and Araya., 2011; SC, 2016).

c. **Reaktor Kompos (*Composter*)**. Proses pengomposan dengan reaktor kompos berlangsung lebih cepat karena pasokan oksigen dan aerasi (manual atau otomatis) lebih baik sehingga sangat cocok digunakan pada industri kompos skala mikro hingga kecil. Bahan kompos dimasukkan ke dalam reaktor hingga penuh. Selanjutnya bioreaktor ditutup, aerasi dan pembalikan atau pengadukan dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan memutar reaktor kompos. Reaktor kompos dapat dikelompokkan menjadi :

- 1) Reaktor Kompos Mini (Bioreaktor Mini) menampung bahan sekitar 20–200 kg bahan kompos (atau volume 25–200 L), reaktor sedang dapat menampung bahan hingga 200–1000 L (Gambar 1.11) dan reaktor medium–hingga besar (*rotary composter*) dapat menampung 1–20 m³ atau lebih (Gambar 1.12 dan 1.13).



Rotary Composter PN GAS

Bioreaktor Mini (Simarmata, 2005)

Gambar 1.12.

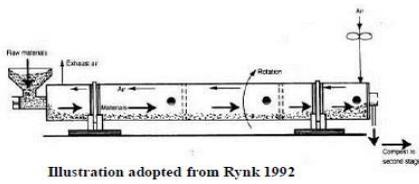
Reaktor kompos sederhana untuk mempercepat pengomposan secara aerob (Simarmata, *et al.*, 2012).

- 2) Reaktor kompos tersebut ada yang diletakkan horizontal atau vertikal. Ada yang dilengkapi dengan sistem aerasi (aerator) dan penggerak (manual atau otomatis). Proses pengomposan dalam reaktor yang dilengkapi dengan sistem aerasi dan penggerak (rotary) akan berlangsung lebih cepat dan praktis (hemat tenaga kerja). Untuk mencegah terjadinya karat, maka komposter sebaiknya dibuat dari bahan plastik atau papan. Pemanfaatan drum plastik bekas sangat dianjurkan karena harganya relatif murah, mudah diperoleh, ringan dan tidak berkarat. Aerasi dapat dilakukan secara pasif atau secara aktif (aerator) atau secara periodik diputar sehingga bahan kompos di dalam tercampur. Selain itu, lakukan pengecekan kadar air. Selama proses pengomposan aktif kadar air dipertahankan sekitar 40–60%. Pengomposan dengan sistem rotary satu periode sekitar 14–30 hari tergantung jenis dan ukuran bahan kompos dan bahan aktif (dekomposer) yang digunakan



Rotary Composter PN GAS

Bioreaktor Mini (Simarmata, 2005)



<http://www.bworganics.com/>

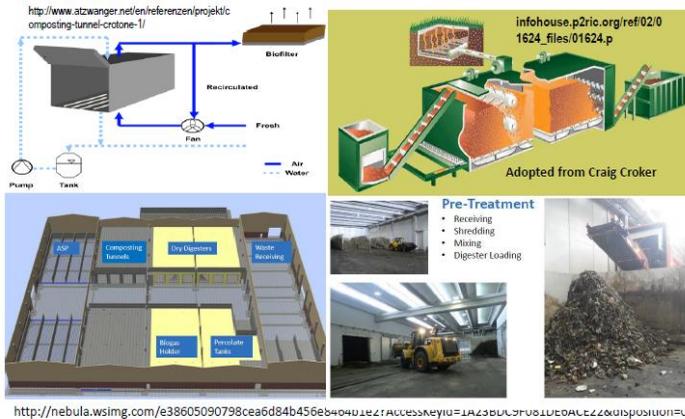


<http://www.ciwmb.ca.gov/FoodWaste/Compost/InVessel.htm#Augspurger>

infohouse.p2ric.org/ref/02/01624_files/01624.p
(Adopted from Craig Croker)

Gambar 1.13. Sistem rotary untuk mempercepat pengomposan dengan skala besar.

- d. **Pengomposan sistem lorong (*Tunnel Composting*).** Pengomposan ini umumnya digunakan dalam skala besar dengan menggunakan peralatan dan teknologi yang hemat tenaga kerja. Menggunakan aerasi aktif, bahan kompos menggunakan perlakuan pendahuluan (*pretreatment*) yaitu pecacahan (*shredder*), pencampuran dalam digester kompos. Bahan kompos yang telah dicampur dan kadar air sekitar 60% ditempatkan dalam lorong pengomposan (*compost tunnel*), dimensi disesuaikan dengan kebutuhan (Gambar 1.14).



Gambar 1.14.
 Pengomposan dengan sistem lorong (*tunnel composting*)
 (Castelli, *et al.*, 2013).

D. DIAGNOSIS PERMASALAHAN DAN SOLUSI DALAM PENGOMPOSAN

Proses pengomposan merupakan proses mikrobiologis. Konsekuensinya, bila kondisi lingkungan tidak sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangan mikroba maka akan terjadi gangguan dalam proses biologis. Kondisi anaerob akan menyebabkan berbagai konsekuensi atau bila kondisi terlalu aerob juga menimbulkan permasalahan. Akibatnya seringkali proses pengomposan berlangsung tidak sesuai dengan yang diharapkan atau dihadapkan pada berbagai macam kendala. Akibatnya kompos yang dihasilkan tidak memenuhi standar baku mutu kompos atau menghasilkan

kompos di bawah stándar. Berbagai permasalahan yang banyak dijumpai dalam proses pengomposan, antara lain bau busuk, banyak lalat, muncul ulat, pengomposan berjalan lambat, dan lain-lainnya (Simarmata, *et al*, 2012). Permasalahan umum terjadi dalam pengomposan dan solusi pemecahannya disajikan pada Tabel 1.18.

Tabel 1.18. Diagnosis Permasalahan dan Solusi dalam Pengkomposan

Permasalahan	Penyebab	Pemecahan Masalah
Kadar Udara Rendah ($O_2 < 5\%$)	Aerasi jelek sehingga pengomposan anaerob	Perbaiki aerasi suplai oksigen secara pasif atau aktif
Kadar Udara Tinggi ($O_2 > 15\%$)	Aerasi berlebihan	Pencacahan bahan kompos dan penyiraman dengan air untuk meningkatkan kadar air (60%)
Kadar air rendah (<45 %)	Kelembaban kurang, tumpukan kurang padat	Penambahan atau penyiraman tumpukan. Kadar air optimal adalah 45–60%
Terlalu basah (kadar >60%)	Aerasi jelek dan terlalu basah sehingga anaerob	Perbaiki aerasi secara pasif atau aktif, pengaturan komposisi bahan kompos yang tepat
Suhu tidak naik	<ul style="list-style-type: none"> - Terlalu kering - Komposisi bahan kurang tepat 	<ul style="list-style-type: none"> - Siram dengan air - Ratio bahan C/N rendah 2 bagian (limbah rumah tangga) : 1 bagian bahan C/N ratio tinggi (Balking agen dan bahan lainnya)
Dekomposisi lambat	<ul style="list-style-type: none"> - Terlalu kering/terlalu basah - C/N ratio tinggi - Sirkulasi udara jelek - Ukuran bahan 	<ul style="list-style-type: none"> - Kendalikan kelembaban sekitar 60 – 65% - Tambah bahan yang kaya N - Siram dengan larutan yang mengandung N (urine, urea) - Pembalikan/pencampuran

Permasalahan	Penyebab	Pemecahan Masalah
		<ul style="list-style-type: none"> - Pecacahan (<i>chopping</i>) hingga bahan berukuran sekitar 5 cm (makin kecil makin baik)
Bau busuk, dan ulat	<ul style="list-style-type: none"> - Aerasi jelek - Kelembaban tinggi - Kurang oksigen - Komposisi bahan - Kurang panas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pembalikan - Aerasi - Penambahan bulking agent atau bahan kering (serbuk gergaji, sekam, dedaunan kering).
Banyak lalat (serangga)	Tumpukan terbuka	<ul style="list-style-type: none"> - Tumpukan ditutup atau dilapisi terpal - Kotak yang mudah dibongkar dan dipasang
Mengandung patogen dan gulma	<ul style="list-style-type: none"> - Suhu rendah - Pengadukan tidak homogen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kelembaban kurang - Kurang karbon - Pencampuran
Kualitas kompos kurang	<ul style="list-style-type: none"> - Bahan baku jelek - Komposisi tidak proporsional - Ukuran bahan, kadar air 	<ul style="list-style-type: none"> - Analisis kualitas bahan baku - Pengkayaan untuk meningkatkan kualitas - Simpan dalam karung atau timbun pada tempat kering (<i>curing stage</i>) - Standarisasi (ukuran, kadar air)
Terlalu cepat kering	<ul style="list-style-type: none"> - Panas dan uap mudah hilang - Ukuran bahan 	<ul style="list-style-type: none"> - Gunakan insulator atau ditutupi - Gunakan kotak tertutup - Tambahkan bulking agents
pH Masam (pH < 4.5)	<ul style="list-style-type: none"> - Asam–asam organik berlebih - Bahan berupa limbah basah 	<ul style="list-style-type: none"> - Tambahkan bahan yang bahan kering dan tambah N hingga C/N ratio ideal tercapai

Permasalahan	Penyebab	Pemecahan Masalah
	(sisa makanan, buah–buah)	
pH > 8,5	- Kelebihan N, - Bahan kaya akan N dan miskin C	- Tambahkan bahan kering yang kaya karbon (daun–daunan, serbuk gergaji, dll)

Sumber : (Simarmata, 2012, FAO, 2015; SC, 2016).

E. STANDAR BAKU MUTU KOMPOS

Karakteristik pupuk organik umumnya sangat bervariasi. Kualitasnya berkaitan erat dengan jenis dan komposisi bahan dasar dan teknik pengomposan yang digunakan. Standar baku mutu kompos di Indonesia didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu SNI 19–7030–2004 (Tabel 1.19) dan Peraturan Menteri Pertanian No 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah (Tabel 1.19).

Secara garis besar, di dalam standar baku mutu tercantum batas minimum (bawah) dan maksimum (atas) dari setiap parameter kualitas kompos. Sifat utama antara lain: sifat kimia (C–organik, C/N ratio, kadar N+P₂O₅+K₂O, kandungan logam berat), sifat biologi meliputi kandungan bakteri patogen. Upaya untuk meningkatkan mutu kompos dapat dilakukan dengan menambahkan bahan alami yang dapat meningkatkan kandungan hara (dolomit, batuan fosfat, tepung tulang), standarisasi ukuran (pengayakan) maupun kadar air, mikroba menguntungkan (pupuk hayati penambat N, pelarut dan agen hayati).

Tabel 1.19. Standar Baku Mutu Kompos Berdasarkan SNI 19-7030-2004.

No	Parameter	Satuan	Min.	Maks.	No	Parameter	Satuan	Min.	Maks
1	Kadar Air	%	°C	50	17	Cobal (Co)	mg/kg		34
2	Temperatur			suhu air	18	Chromium (Cr)	mg/kg	*	210
3	Wama			kehita man	19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
4	Bau			berbau tanah	20	Mercuri (Hg)	mg/kg		0;8
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25	21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
6	Kemampu-an ikat air	%	58		22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
7	pH		6,80	7,49	23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
8	Bahan asing	%	*	1,5	24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
	Unsur					Unsur lain			
9	Bahan organik	%	27	58	25	Calsium	%	*	25.5
10	Nitrogen	%	0,40		26	Magnesium (Mg)	%	*	0.6
	Unsur					Unsur lain			
11	Karbon	%	9,80	32	27	Besi (Fe)	%	*	2

12	Phosfor (P205)	%	0.1		28	Aluminium (Al)	%		2.2
13	C/N-rasio		10	20	29	Mangan (Mn)	%		0.1
14	Kalium	%	0,20	*		Bakteri			
	Logam Berat				30	FecalColi	MPN/gr		1000
	Logam berat					Bakteri			
15	Arsen	mg/kg	*	13	31	Salmonella sp.	MPN/4gr		3
16	Cadmium (Cd)	mg/kg	*	3					

*Keterangan: * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum*

Tabel 4.5. Standar Baku Mutu Pupuk Organik (Kompos) Curah Menurut Permentan No 70 Tahun 2011.

No	Parameter	Satuan	Standar Mutu	
			Murni	Diperkaya Mikroba
1	C-Organik	%	Min 15	Min 15
2	C/N rasio		15-25	15-25
3	Bahan ikutan (plastik, kaca, kerikil)			
4	Kadar air	%	15-25	15-25
5	Logam berat			
	- As	ppm	maks 10	maks 10

No	Parameter	Satuan	Standar Mutu	
			Murni	Diperkaya Mikroba
	- Hg	ppm	maks 1	maks 1
	- Pb	ppm	maks 50	maks 50
	- Cd	ppm	maks 2	maks 2
6	pH		4-9	4-9
7	Hara makro (N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)	%	min 4	min 4
8	Mikroba kontaminan			
	<i>E. Coli</i>	MPN/g	<10 ²	<10 ²
	Salmonela sp	MPN/g	<10 ²	<10 ²
9	Mikroba fungsional			
	- Penambat N	cfu/g	–	>10 ³
	- Pelarut P	cfu/g	–	>10 ³
10	Ukuran butiran 2-5 mm	%		
11	Hara mikro			
	- Fe total atau	ppm	maks 9000	maks 9000
	- Fe tersedia	ppm	maks 500	maks 500
	- Mn	ppm	maks 5000	maks 5000
	- Zn	ppm	maks 5000	maks 5000

* Kadar air atas dasar berat basah



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan dengan singkat proses penguraian bahan organik dan fase dalam proses pengomposan!
- 2) Jelaskan dengan singkat perbedaan pengomposan aerob dan anaerob!
- 3) Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi laju pengomposan!
- 4) Sebutkan dan jelaskan metoda pengomposan aerob yang banyak digunakan dalam proses pengomposan!
- 5) Sebutkan acuan yang digunakan untuk menentukan standar baku mutu kompos atau pupuk organik di Indonesia!

Petunjuk Jawaban Latihan

Cocokkanlah jawaban Anda dengan petunjuk jawaban latihan berikut.

- 1) Proses penguraian bahan organik dapat berlangsung secara aerob dan anaerob. Fase dalam proses pengomposan adalah fase mesofilik, fase termofilik, pendinginan (cooling) dan fase pematangan (maturity).
- 2) Pengomposan aerob berlangsung dengan kehadiran udara (kadar oksigen > 5%) sedangkan pengomposan anaerob adalah penguraian bahan organik berlangsung tanpa kehadiran udara atau oksigen terbatas (kadar oksigen <5%).
- 3) Laju pengomposan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor utama yang berperan dalam pengomposan adalah C/N ratio, kadar air, aerasi, ukuran bahan dan aktivator (mikroba dekomposer).
- 4) Metoda pengomposan yang banyak digunakan antara lain adalah sistem bedengan, sistem kotak, sistem rotari dan sistem lorong.
- 5) Acuan yang digunakan untuk menentukan standar baku mutu kompos atau pupuk organik di Indonesia adalah SNI 19-7030-2004 dan Peraturan Menteri Pertanian No 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah.



Teknologi pengomposan sudah dikenal sejak 4000 tahun. Kompos merupakan sisa perombakan bahan organik secara mikrobiologis. Proses pengomposan terdiri dari 2 fase utama, yaitu pada fase pertama mikroba merombak senyawa organik (senyawa kompleks) menjadi senyawa yang lebih sederhana dan akan menghasilkan panas sehingga temperatur meningkat (akibat aktivitas metabolisme). Volume tumpukan kompos akan berkurang secara drastis hingga 40–60% tergantung dari bahan komposnya. Pada fase kedua, terjadi penurunan aktivitas mikroba karena berkurangnya substrat dan nutrisi tersedia dalam kompos.

Proses biodegradasi (perombakan) bahan organik dapat terjadi secara aerob maupun anaerob. Dalam proses pengomposan dikenal fase mesofilik, fase termofilik, fase pendinginan dan fase pematangan. Laju proses pengomposan dan kualitas kompos ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain adalah (1) C/N-ratio dan Nutrisi, (2) Ukuran bahan, (3) Kelembaban, (4) Kemasaman (pH). (5) Temperatur, (6) Oksigen dan aerasi, (7) Ukuran Timbunan (*heap size*) dan aktivator atau mikroba pengurai. Secara umum tumpukan bahan kompos yang ideal dalam proses pengomposan antara lain memiliki C/N rasio sekitar 25–35, kadar air 45–60%, kadar udara 5–15% dan ukuran bahan sekitar <5 cm.

Pengomposan yang dianjurkan adalah metoda aerob dalam ruangan (*indoor*) atau di luar ruangan (*outdoor*), yaitu proses pengomposan berjalan dengan kehadiran oksigen (udara) atau penguraian bahan organik melalui proses respirasi (kehadiran oksigen) sehingga perombakan berlangsung cepat dan tidak menimbulkan bau. Suplai udara dapat dilakukan secara aktif (*force aeration*) menggunakan pompa udara (*blower*) atau secara pasif (aerasi secara alami) dengan menggunakan pipa paralon yang diberi lubang-lubang atau bambu atau bahan lainnya sebagai saluran udara ke dalam tumpukan kompos. Contoh pengomposan aerob antara lain adalah (1) sistem bedeng (*windrows*), (2) sistem kotak (boks), (3) sistem rotary, dan (4) sistem lorong (*tunnels*).

Standar baku mutu kompos di Indonesia didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu SNI 19–7030–2004 dan Peraturan Menteri Pertanian No 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah. Karakteristik utama yang dinilai meliputi sifat fisik (ukuran partikel), kimia (C–org, C/N ratio, kadar hara, kadar air, logam berat), dan biologi (mikroba patogen).

**TES FORMATIF 4**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Pernyataan yang benar tentang teknologi pengomposan yang digunakan untuk menghasilkan pupuk organik atau kompos adalah
 - A. merupakan teknologi baru
 - B. sudah dikenal sejak zaman dahulu
 - C. hanya dikenal di kota-kota besar
 - D. Semuanya salah

- 2) Proses penguraian bahan organik oleh mikroba pengurai (dekomposer) dapat berlangsung secara
 - A. aerob
 - B. anaerob
 - C. aerob dan anaerob
 - D. semua jawaban salah

- 3) Faktor utama yang mempengaruhi laju pengomposan adalah
 - A. C/N ratio
 - B. aerasi
 - C. kadar air (kelembaban) dan ukuran bahan
 - D. semua jawaban benar

- 4) Pengomposan yang dianjurkan dalam penanganan limbah organik adalah metode aerob karena
 - A. proses pengomposan lebih cepat
 - B. tidak menghasilkan bau dan gas metan
 - C. menghasilkan kompos yang lebih baik
 - D. semua jawaban benar

- 5) Acuan utama baku mutu pupuk organik atau kompos yang akan digunakan dalam pertanian hingga saat ini di Indonesia adalah
 - A. SNI Internasional
 - B. SNI 19-7030-2004
 - C. Permentan No 70/Permentan/SR.140/10/2011
 - D. semua jawaban salah

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 4 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 4.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 4, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) **Jawaban A benar.** Pertambahan jumlah penduduk di Indonesia telah menimbulkan berbagai masalah yang berkaitan dengan lingkungan, diantaranya adalah jumlah limbah semakin meningkat. Jawaban B, C dan D salah.
- 2) **Jawaban B benar.** Walaupun teknologi telah berkembang pesat di berbagai bidang kehidupan, tetapi ternyata semua makanan yang dikonsumsi manusia hanya bersumber dari bahan makanan alami. Jawaban A, C, dan D salah.
- 3) **Jawaban C benar.** Pertambahan limbah pertanian berbanding lurus dengan peningkatan kegiatan pertanian untuk menghasilkan bahan pangan, sandang dan papan. Jawaban A, B, dan D salah.
- 4) **Jawaban B benar.** Pertambahan limbah berkaitan langsung dengan jumlah penduduk. Setiap orang menghasilkan limbah sekitar 600–800 g/kapita/hari. Jawaban A, C, dan D salah.
- 5) **Jawaban B benar.** Limbah rumah tangga di Indonesia umumnya mengandung sekitar 60-70% bahan organik. Jawaban A, C, dan D salah.

Tes Formatif 2

- 1) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Volume limbah atau sampah terus meningkat sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk. Limbah dapat diartikan sebagai sisa proses produksi atau material sisa yang tidak diinginkan; bahan yang tidak mempunyai nilai atau barang buangan; serta barang rusak atau cacat dalam proses produksi.
- 2) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Limbah dapat dikelompokkan berdasarkan sumber limbah; bentuk limbah; serta senyawa organik atau anorganik
- 3) **Jawaban B benar.** Limbah rumah tangga (domestik) basah dikenal juga istilah *garbage*. Jawaban A, C dan D salah.
- 4) **Jawaban C benar.** Limbah pertanian (*agricultural waste*) adalah limbah yang berasal dari kegiatan pertanian dan agroindustry. Jawaban A, B dan D salah.
- 5) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Limbah pertanian dapat dimanfaatkan untuk media tumbuh; pupuk organik atau kompos; serta bioenergi atau biogas dan pakan ternak

Tes Formatif 3

- 1) **Jawaban D benar.** Prinsip dasar penanganan limbah adalah dikelola untuk menghasilkan produk yang bermanfaat dan bernilai ekonomi. Jawaban A, B, dan C salah.
- 2) **Jawaban A benar.** Limbah pertanian dan perkotaan sangat potensial dimanfaatkan untuk memproduksi pupuk organik atau kompos. Jawaban B, C, dan D salah.
- 3) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Limbah pertanian yang sangat potensial dimanfaatkan berasal dari tanaman pangan, perkebunan, serta sayuran dan buah-buahan
- 4) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Limbah peternakan, khususnya ternak yang dipelihara dalam kandang potensial dimanfaatkan dalam industri untuk menghasilkan pupuk organik, kompos, serta biogas atau bioenergi.
- 5) **Jawaban C benar.** Volume dan jumlah limbah perkotaan terus meningkat karena sertiap orang menghasilkan sekitar 600-800 g limbah per hari

Tes Formatif 4

- 1) **Jawaban B benar.** Teknologi pengomposan yang digunakan untuk menghasilkan pupuk organik atau kompos sudah dikenal dari zaman dulu, bukan merupakan teknologi baru, serta tidak hanya dikenal di kota-kota besar. Jawaban A, C, dan D salah.
- 2) **Jawaban C benar.** Proses penguraian bahan organik oleh mikroba pengurai (dekomposer) dapat berlangsung secara aerob dan anaerob. Jawaban A, B dan D salah.
- 3) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Faktor utama yang mempengaruhi laju pengomposan adalah C/N rasio, aerasi, dan kadar air (kelembaban) dan ukuran bahan.
- 4) **Jawaban D benar.** Semua jawaban benar. Pengomposan yang dianjurkan dalam penanganan limbah organik adalah metode aerob karena proses pengomposan lebih cepat, tidak menghasilkan bau dan gas metan, serta menghasilkan kompos yang lebih baik.
- 5) **Jawaban C benar.** Acuan utama baku mutu pupuk organik atau kompos yang akan digunakan dalam pertanian hingga saat ini di Indonesia adalah Permentan No 70/Permentan/SR.140/10/2011. Jawaban A, B, dan D salah.

Daftar Pustaka

- Andi, S. & Y. Retnani. (2011). *Beberapa Model Teknologi Pengolahan Limbah Sayuran Pasar Sebagai Pakan Alternatif pada Ternak (Kambing/Domba) di Perkotaan*. Workshop Nasional Diversifikasi Pangan Daging Ruminansia Kecil 2011. <http://lolitkambing.litbang.pertanian.go.id/ind/fulltext/kambing/prork11-12.pdf?secure=1>.
- Bappenas. (2013). *Proyeksi Penduduk Indonesia Indonesia Population Projection 2010–2035*. [http://www.bappenas.go.id/files/5413/9148/4109/Proyeksi Penduduk Indonesia 2010–2035.pdf](http://www.bappenas.go.id/files/5413/9148/4109/Proyeksi_Penduduk_Indonesia_2010-2035.pdf).
- Bappenas. (2009). *Luas dan Penyebaran Lahan Kritis*. www.bappenas.go.id/index.php/download_file/view/.../4692/.
- BPS Provinsi DKI Jakarta. (2009). *Jakarta dalam Angka 2009*. Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, Jakarta.
- BPS. (2012). *Penduduk Indonesia menurut Provinsi*. <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1267>.
- BPS. (2013). *Proyeksi Penduduk Indonesia Indonesia Population Projection 2010–2035*. ISBN: 978-979-064-606-3. No. Publikasi/ Publication Number: 04110.1301. Katalog BPS/*BPS Catalogue*: 2101018.
- Castelli , L., Lesa, M. & M. McKiernan (2013). *Tunnel Composting*. Integrates AD In Sogliano, Italy. Repor13. October 22,2013, Colombus, Ohio. nebula.wsimg.com/e38605090798cea6d84b456e8464b1e2?AccessKeyId.
- Chen, L., M. de Haro, A. Moore & C. Fallen. (2011). *Composting Process*. 2011, <https://www.cals.uidaho.edu/edcomm/pdf/CIS/CIS1179.pdf>
- Cornell Waste Management Institute (CWMI). (1996). *Designs for Composting Systems From: Composting : Waste to Resources*. cwmi.css.cornell.edu/composting.htm and <http://cwmi.css.cornell.edu/designscompostingsystems.pdf>. Diakses Mei 2016.

- Damanhuri, E. & T. Padmi. (2010). *Pengelolaan Sampah*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. [hmtl.itb.ac.id/wordpress/wp-content/.../Diklat Sampah-2010.pdf](http://hmtl.itb.ac.id/wordpress/wp-content/.../Diklat_Sampah-2010.pdf). Diakses Maret 2015.
- ECS (2016). *Ac Composter™ – The Affordable Road to Compliance*. <http://www.compostsystems.com/systems/ac-composter>. Diakses Mei 2016.
- Edwards, S. & H. Araya. (2011). *How`Make and Use Compost*. <http://www.fao.org/docrep/014/i2230e/i2230e14.pdf>. Diakses Maret 2016.
- FAO. (2015). *Farmer`S Compost Handbook Experiences in Latin America*. <http://www.fao.org/3/a-i3388e.pdf>.
- Isroi. (2008). *Kompos*. <https://isroi.files.wordpress.com/2008/02/kompos.pdf>. Diakses Maret 2015
- Kasno, A., Nurjaya & D. Setyorini. (2003). *Status C–Organik Lahan Sawah di Indonesia*. Kongres Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) di Universitas Andalas, Padang.
- KBBI. (2015). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. <http://kbbi.co.id/>.
- Kementan. (2015). *Luas Areal, Produksi dan Produktivitas Perkebunan di Indonesia Tahun 2011 – 2015*. <http://www.pertanian.go.id/Indikator/tabel-3-prod-lsareal-prodvitas-bun.pdf>.compostingmethods.<http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm>.
- KLH. (2015). *Rangkaian HLH 2015 – Dialog Penanganan Sampah Plastik*. <http://www.menlh.go.id/rangkaian-hlh-2015-dialog-penanganan-sampah-plastik/>
- Las, I. & A. Mulyani. (2009). *Sumber Daya Lahan Potensial Tersedia untuk Mendukung Ketahanan Pangan dan Energi*. hlm. 64–74 Dalam Prosiding Semiloka Nasional Strategi Penanganan Krisis Sumber Daya

Lahan untuk Mendukung Kedaulatan Pangan dan Energi. Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.

- Leslie C. 2002. *The Art and Science of Composting Science*. 2002. <http://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>. <http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm>.
- Misra, R.V & R.N. Roy. 2003. *On-Farm Composting Methods*. http://www.fao.org/organicag/doc/on_farm_comp_methods.pdf. <http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm>.
- Misra, RV., R.N. Roy & H. Hiraoka. (2003). *On-farm Composting Methods*. <http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm>. Diakses Maret 2015
- Mulyani, A., S. Ritung & I. Las. (2013). Potensi dan Ketersediaan Sumber Daya Lahan Untuk Mendukung Ketahanan Pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 30(2), 2011. pustaka.litbang.deptan.go.id/publikasi/p3302115.pdf. Diakses Maret 2015.
- Nurhayati, A. Jamil, & R.S. Angraini. (2011). Potensi Limbah Pertanian sebagai Pupuk Organik Lokal di Lahan Kering Dataran Rendah Iklim Basah. *Iptek Tanaman Pangan Vol. 6 No. 2 2011*. Diakses Maret 2016.
- Nurmala, T., Suyono, A.D., Rodjak, A., Suganda, T., Natasasmita, S., Simarmata, T., Salim, E.H., Yuwariah, Y., Sendjaya, T.P., Wiyono, S.N. & S. Hasani. (2012). *Pengantar Ilmu Pertanian*. Graha Ilmu. Yogyakarta. ISBN 978-979-756-805-4. www.grahailmu.co.id
- Peraturan Menteri Pertanian. No.70/Permentan/SR.140/10/2011. *Tentang Pupuk organik, Pembena Tanah dan Pupuk Hayati*.
- Pramono, S.S. (2004). *Studi Mengenai Komposisi Sampah Perkotaan di Negeranegara Berkembang*. Jakarta: Universitas Gunadarma.

- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (Pusdatin). (2014). *Statistik Penduduk 1971–2015*. http://pusdatin.setjen.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/publikasi_Statistik_Penduduk_2010–2015.pdf. Diakses Maret 2016.
- PWGSC (Public Works and Government Services of Canada). (2013). *Technical Document on. Municipal Solid Waste Organics Processing*. http://www.compost.org/English/PDF/Technical_Document_MSW_Organics_Processing_2013.pdf. Diakses Maret 2016.
- Richard, T.L. (1996). *Municipal Solid Waste Composting: Biological Processing* <http://compost.css.cornell.edu/MSWFactSheets/msw.fs2.html>. Department of Agricultural and Biological Engineering Cornell University. Diakses April 2016.
- Rynk, R. (1992). *On Farm Composting Handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES). Pub.No. 54. Cooperative Extension Service. Ithaca, N.Y. 1992; 186pp. A Classic in On-farm Composting. Website:www.nraes.org. Diakses April 2016.
- Setyorini, D., R. Saraswati & E. K., Anwar. (2006). *Kompos*. http://balit tanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/buku/buku%20pupuk%20hayatipupuk%20organik/02kompos_diahrasti.pdf. Diakses April 2016.
- Simarmata, T. (2005). *Pengembangan Industri Kompos Berbahan Baku Eceng Gondok untuk Mendukung Pertanian Ramah Lingkungan dan Revitalisasi Ekosistem Rawapening Secara Berkelanjutan*. Makalah Seminar dan Pelatihan Teknis Pertanian Organik Ramah Lingkungan Tanggal 13–16 Juni 2005 di BPTPH Dinas Pertanian Jawa Tengah.
- Simarmata, T. (2012). *Teknologi Pemulihan Kesehatan dan Peningkatan Produktivitas Lahan Suboptimal untuk Mempercepat Pencapaian Kedaulatan Pangan di Indonesia*. Makalah pada Workshop Konsorsium Lahan Suboptimal tanggal 23 – 24 Februari 2012 di Palembang.
- Simarmata, T., Citraresmini, A., Sujana, B. & Setiawati, M.R. (2015). *Inovasi Teknologi Intensifikasi Padi Aerob Terkendali Berbasis Organik*

(IPAT–BO) Sebagai Andalan dalam Pemulihan Kesehatan Lahan dan Meningkatkan Produktivitas Padi untuk Mewujudkan Kedaulatan Pangan di Indonesia. Conference Proceedings. Bappenas International Conference on Best Development Practices and Policies. Jakarta, 19–20 August 2015.

Simarmata, T., Turmuktini, T., Citraresmi, A. & Joy, B. (2012). *Penggunaan Dekomposer dalam Pengomposan, Pemulihan Kesehatan Tanah dan Peningkatan Produktivitas Ekosistem Pertanian. Makalah Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Berbasis Hayati Dalam Upaya Mewujudkan Pertanian yang Berkelanjutan*, pada Tanggal 26 November 2012 di Hotel Aston Primera–Bandung.

SNI 1970302004. *Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik*. BSN.

State California (SC). (2016). *Building your Own Composting Bin: Designs for Your Community*. <https://www.bae.ncsu.edu/topic/composting/pubs/build-bin.pdf>. Diakses Mei 2016.

Sudaryanto, T., R. Kustiari, & H.P. Saliem. (2010). *Perkiraan Kebutuhan Pangan Tahun 2010–2050*. hlm. 1–23 Dalam Buku Analisis Sumber Daya Lahan Menuju Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, hlm. 163.

Tan, K.H. (1994). *Environmental Soil Science*. Manual Dekker. New York. 10016,USA.

Undang–undang Republik Indonesia nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.

US–EPA. (1994). *Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste*. <http://pdf-directory.org/ebook.php?id=ycIIZZC6FDsC>. Diakses April 2016.

Wikipedia. (2015). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. https://id.wikipedia.org/wiki/Kamus_Besar_Bahasa_Indonesia

Wikipedia. (2016). *Kompos*. <https://id.wikipedia.org/wiki/Kompos>.

Wikipedia. (2016). *Comparison of Anaerobic and Aerobic Digestion*. https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_anaerobic_and_aerobic_digestion. Diakses Juni 2016.

Wikipedia. (2016). Indonesia. <https://id.wikipedia.org/wiki/Indonesia>. [Diakses Juni 2016](#)

Yeoh, B.G. (2006). *Municipal Solid Waste Generation and Composition*. Asean Committee on Science & Technology, Sub Committee on Non Conventional Energy Research. Yu, L., Battle, F., Carrera, J.