

Ngatirah

TEKNOLOGI PENANGANAN DAN PEMANFAATAN
LIMBAH KELAPA SAWIT

INSTIPER YOGYAKARTA

Ngatirah

**TEKNOLOGI PENANGANAN
DAN PEMANFAATAN LIMBAH
KELAPA SAWIT**

INSTIPER YOGYAKARTA

TEKNOLOGI PENANGANAN DAN PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT

Penulis: Ngatirah, SP.MP

ISBN : 978-602-61922-7-1

Penerbit:

INSTIPER YOGYAKARTA

Redaksi:

Jl.Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta 55282

Telp. (0274) 885479, 885477, 885480

Fax. (0274) 885479

Website: www.instierjogja.ac.id

Email: instiper@instiperjogja.ac.id

Cetakan Pertama : Mei 2017

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa
ijin dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah diktat kuliah Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit telah berhasil diselesaikan. diktat kuliah Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit merupakan salah satu pegangan bagi mahasiswa yang mengambil matakuliah Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit yang mempunyai bobot 2 SKS dan 1 praktikum. Diktat kuliah Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit ini terdiri atas 7 bab. Isi diktat kuliah ini, intinya menjelaskan tentang dan pemanfaatan limbah kelapa sawit.

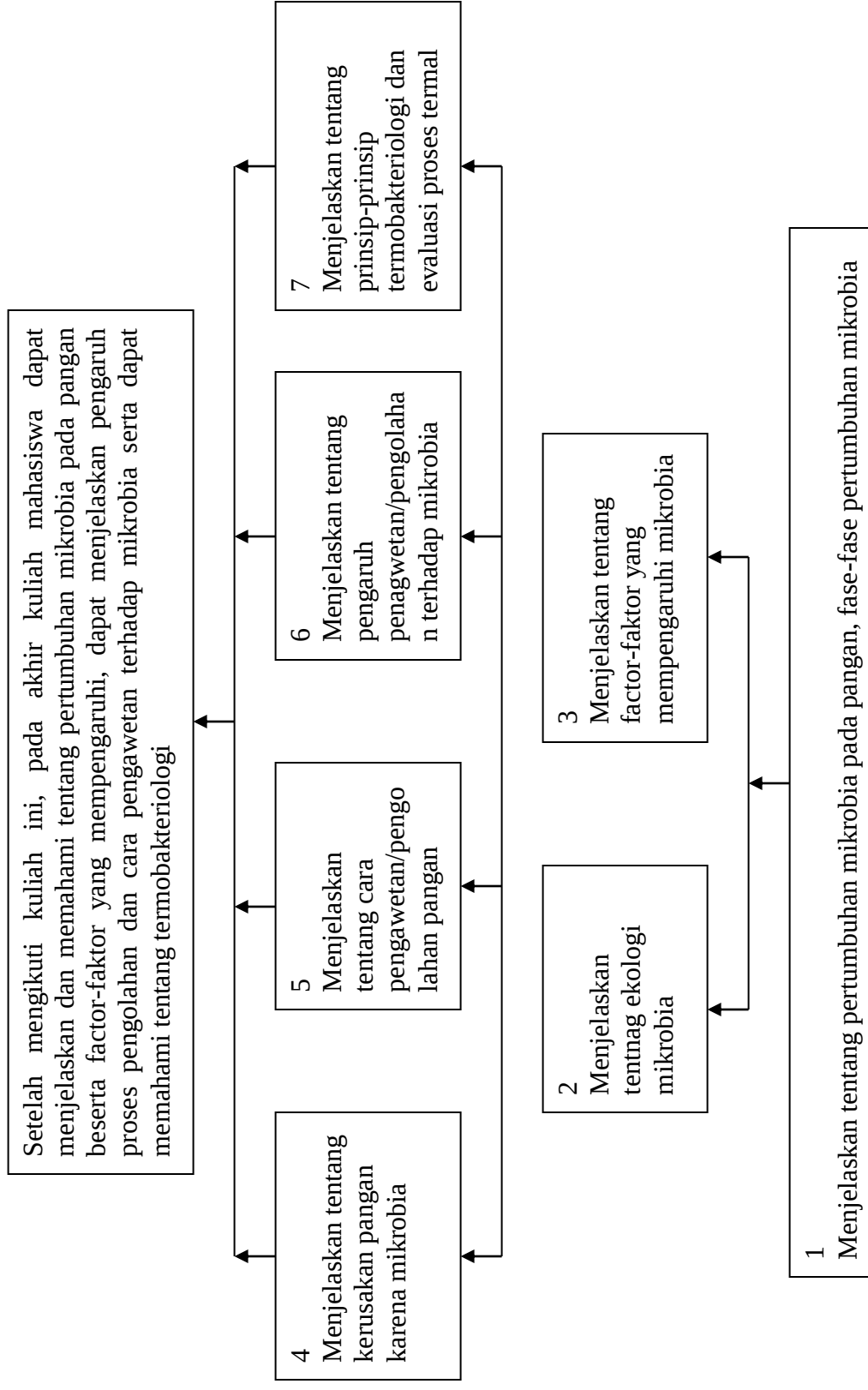
Penulis menyadari bahwa diktat kuliah ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharap masukan dan saran demi kesempurnaan modul ini di masa mendatang. Semoga, dengan adanya modul ini dapat mempermudah mahasiswa dalam mendalami dan mempelajari matakuliah Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit..

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
I. PENDAHULUAN.....	1
II. LIMBAH KELAPA SAWIT.....	2
III. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT DI PERKEBUNAN DAN PABRIK KELAPA SAWIT.....	7
IV. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PAKAN TERNAK.....	31
V. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PENGHASIL BIOENERGI (BIOETANOL, BIOBRIKET DAN GAS METAN).....	32
VI. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PEMBUATAN PAPAN DAN PAPAN PARTIKEL.....	42
VII. BIOPLASTIK.....	45
DAFTAR PUSTAKA	49

ANALISIS INSTRUKSIONAL



I. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi terbesar di beberapa daerah di Indonesia terutama di Kalimantan dan Sumatera. Hal itu mengharuskan dibangunnya pabrik pengolahan kelapa sawit yang berdekatan dengan kebun. Perkembangan luas kebun kelapa sawit di Indonesia dewasa ini cukup pesat, seiring dengan tingginya, permintaan dunia, akan minyak sawit (CPO).

Dengan semakin luas lahan dan penambahan pabrik kelapa sawit menyebabkan banyaknya limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Aktivitas pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah dalam volume sangat besar. Limbah yang dihasilkan dapat berupa padatan maupun cairan. Masing-masing limbah mempunyai karakteristik masing-masing sehingga pemanfaatannya berbeda.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2006) menunjukkan bahwa, Indonesia menghasilkan minyak sawit (CPO) 18,8 juta ton. Dari angka tersebut perkiraan limbah pabrik sawit yang dihasilkan dalam setahun berupa, tandan buah kosong 540 juta ton, serat perasan buah 11,2 juta ton, lumpur sawit atau solid decanter 7,6 juta ton (= 2 juta ton bahan kering), solid membran 40 juta ton (-- 4 juta ton bahan kering), bungkil inti sawit 8,6 juta ton dan cangkang 7,6 juta ton. Jumlah ini akan terus meningkat dengan bertambahnya jumlah produksi minyak sawit.

Limbah sawit yang dihasilkan pabrik pengolahan sawit yang cukup besar tersebut akan menjadi masalah besar yang dapat merupakan ancaman pencemaran lingkungan, apabila tidak dikelola dengan baik. Disamping itu, diperlukan juga biaya yang tidak sedikit dalam pengelolaan limbah ini. Oleh karena itu, perlu diupayakan agar limbah tersebut tidak menjadi beban, tetapi sebaliknya dapat memberi nilai tambah bagi usaha perkebunan atau usaha lainnya.

II. LIMBAH KELAPA SAWIT

II.A. Penggolongan limbah Kelapa Sawit

Limbah kelapa sawit adalah sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit. Berdasarkan tempat pembentukannya, limbah kelapa sawit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu limbah perkebunan kelapa sawit dan limbah industry kelapa sawit.

a. Limbah perkebunan kelapa sawit

Limbah perkebunan kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan dari sisa tanaman yang tertinggal pada saat pembukaan areal perkebunan, peremajaan dan panen kelapa sawit. Jenis limbah ini antara lain: kayu, pelepah dangulma. Dalam setahun setiap satu hektar perkebunan kelapa sawit rata-rata menghasilkan limbah pelepah daun sebanyak 10,4 ton bobot kering.

b. Limbah industry kelapa sawit

Limbah industry kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan kelapa sawit. Limbah jenis ini digolongkan kedalam tiga jenis yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah padat kelapa sawit meliputi antara lain : tandan kosong kelapa sawit, tempurung kelapa sawit/cangkang, dan serat/fiber. Salah satu cirri khas limbah padat kelapa sawit adalah komposisinya mengandung selulosa dalam jumlah besar (40%), abu (15%), lignin (21%) dan hemiselulosa (24%). Limbah cair kelapa sawit dihasilkan dari kondensat, stasiun klarifikasi dan dari hidrosiklon. Limbah kelapa sawit mempunyai kadar bahan organik yang tinggi, sehingga menimbulkan pencemaran besar sehingga diperlukan degradasi bahan organik yang besar pula. Lumpur atau sludge disebut juga lumpur primer yang berasal dari stasiun klarifikasi merupakan salah satu limbah cair yang dihasilkan dalam proses pengolahan kelapa sawit, sedangkan lumpur yang telah mengalami sedimentasi disebut lumpur sekunder. Limbah gas

dari industry pengolahan kelapa sawit antara lain berasal dari gas cerobong dan uap air buangan pabrik kelapa sawit.

II.B. Karakteristik Limbah Kelapa Sawit

a. Limbah Cair Kelapa Sawit

Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit menurut sumber atau asalnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Parameter mutu	Rebusan	Ekstraksi	klarifikasi	Hidrosiklon + boiler	Keseluruhan
pH	4-4,9	3,9-4,8	4,5	4,7-6,2	3,8-4,5
Suhu, °C	30-88	36-77	30,0	30-70	30-75
Minyak dan lemak, ribu mg/l	1,1-6,1	6,8-8,5	7-8,5	0,8-1,6	0,2-8,6
Padatan total, ribu mg/l	6,0-38,5	31-47,5	45,8-60	1,1-2,6	11,5-67,9
Padatan tersuspensi, ribu mg/l	1,3-14,3	18,4-31	24,1-35	0,3-2,0	4,1-60,4
BOD, ribu mg/l	5,5-27,0	16,8-30	20	1,1-2,0	10,3-47,5
COD, ribu mg/l	10,3-52,5	45-64	47,9-60	0,6-3,6	15,6-53,6
Total P, mg/l	42-320	230-330	1000	20-23	0-110
Total N, mg/l	60-590	450-720	nd	20-26	80-1820

Limbah cair kelapa sawit yang belum diolah mempunyai BOD sekitar 25 ribu mg/l. Limbah cair mengandung padatan tersuspensi dan minyak dengan kadar yang tinggi. Padatan tersebut bila masuk ke perairan umum akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen yang ada dalam air, mengeluarkan bau yang tidak enak dan merusak tempat pembiakan ikan. Selain itu padatan dan minyak tersebut mengapung dipermukaan air sehingga menahan aerasi, menghambat suplai oksigen dan mempengaruhi kehidupan air. Oleh karena menimbulkan masalah ekologi, maka limbah tersebut harus dikelola atau dikendalikan. Mekanisme control konsumsi air diseluruh proses di pabrik akan menentukan pemakaian air dan sekaligus volume air limbah yang dihasilkan oleh PKS. Untuk tiap ton TBS diperlukan antara 1-2 ton air yang dapat diambil dari lingkungan sekitar misalnya sungai. Limbah cair yang dihasilkan sebesar 550 kg per ton TBS yang diolah dengan berat jenis 1,05-1,1 g/cm³. Limbah cair mencapai

40-70% TBS yang diolah tergantung pada system pengolahan limbah pabrik. Baku mutu limbah untuk industry minyak sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu limbah untuk industry kelapa sawit

Parameter mutu	Debit limbah maksimum sebesar 2,5 m ³ per ton CPO			
	Kadar maksimum	satuan	Beban cemaran maksimum	satuan
pH	6-9			
Minyak dan lemak	25	mg/l	0,0631	Kg/ton
TSS	250	mg/l	0,63	Kg/ton
BOD	100	mg/l	0,25	Kg/ton
COD	350	mg/l	0,88	Kg/ton
Total N	50	mg/l	0,125	Kg/ton

b. Limbah Padat Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah padat/solid atau biomassa yang sangat besar dan potensial untuk dimanfaatkan. Solid merupakan salah satu limbah padat dari hasil pengolahan minyak sawit kasar. Di Sumatera limbah ini dikenal sebagai lumpur sawit. Biasanya solid sudah dipisahkan dengan cairannya sehingga merupakan limbah padat. Jumlah limbah solid yang dihasilkan tergantung dari TBS (tandan buah segar) yang diolah. Limbah biomassa merupakan limbah (hasil buangan) yang berasal dari bahan organik yang merupakan hasil kegiatan fotosintesis. Masalah yang dihadapi adalah bagaimana cara meningkatkan pemanfaatan limbah tersebut sehingga lebih efisien dan memberikan nilai ekonomis tinggi. Jenis limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit antara lain :

Tabel 3. Jenis limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit

Jenis Pengolahan	Limbah produksi/pengolahan
CPO	Pelepah, batang pohon yang tidak produktif, tandan buah kosong, serat
Minyak inti sawit	Cangkang sawit

Potensi dan pemanfaatan limbah padat untuk perkebunan kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Potensi dan pemanfaatan limbah padat untuk perkebunan kelapa sawit

Jenis Limbah	Potensi	Pemanfaatan
Tandan buah kosong	20% ton TBS	Pupuk
Sabut sawit	20% ton tbs	Bahan bakar boiler
Cangkang sawit	70 kg/ton tbs (5-7%)	Pengeras jalan kebun

Semakin luas areal perkebunan kelapa sawit dan meningkatnya kegiatan pengolahan sawit maka potensi limbah padat kelapa sawit akan semakin besar. Limbah padat PKS dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu limbah yang berasal dari pengolahan TBS dan limbah yang berasal dari pengolahan limbah cair. Limbah padat yang berasal dari pengolahan dapat berupa tandan kosong, cangkang atau tempurung dan serabut atau serat. Sedangkan limbah yang berasal dari pengolahan limbah cair berupa lumpur aktif yang terbawa oleh hasil pengolahan limbah cair. Untuk sebuah PKS dengan kapasitas 100 ribu ton TBS per tahun akan dihasilkan sekitar 6 ribu ton cangkang, 12 ribu ton serabut dan 23 ribu ton tandan kosong. Komposisi tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 5.

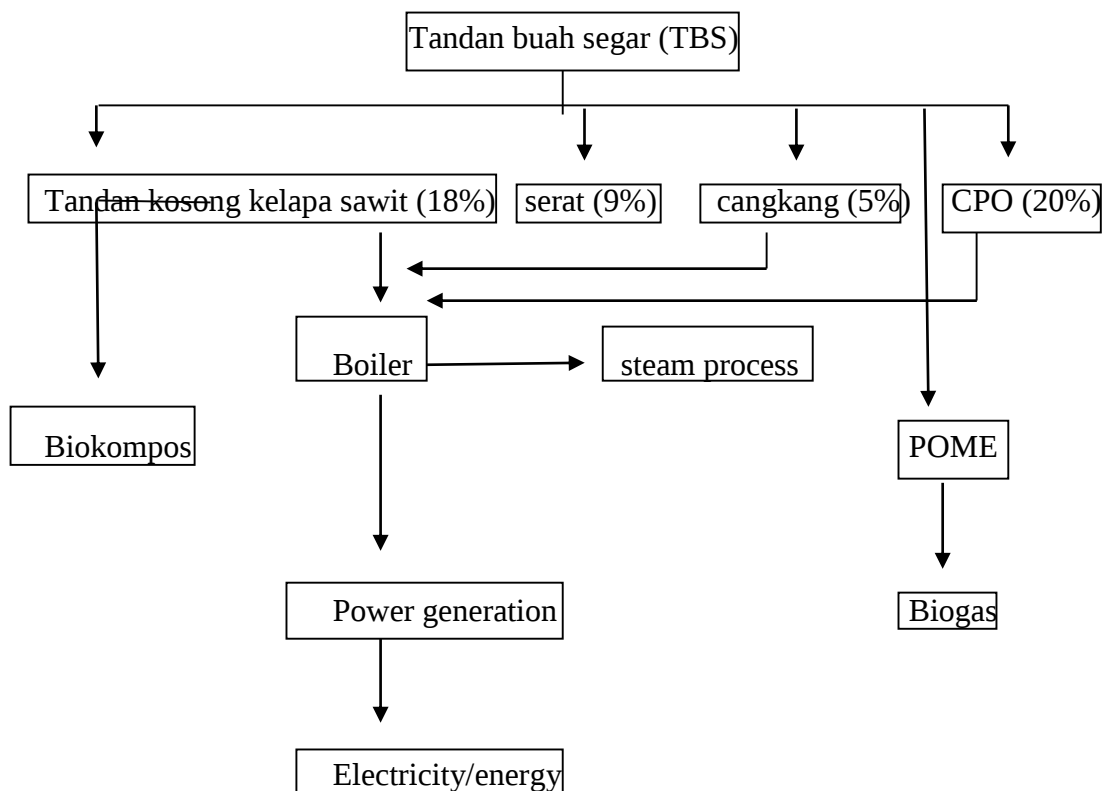
Tabel 5. Komposisi tandan kosong kelapa Sawit

Komposisi	Kadar (%)
Abu	15
Selulosa	40
Lignin	21
Hemiselulosa	24

Masalah utama dalam pemanfaatan limbah tandan kosong adalah adanya senyawa lignin dan hemiselulosa serta silica. Senyawa-senyawa tersebut perlu dihilangkan kalau akan dimanfaatkan menjadi gula sederhana atau bioetanol.

III. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT DI PERKEBUNAN DAN PABRIK KELAPA SAWIT (PKS)

Pemanfaatan limbah kelapa sawit di perkebunan dan di pabrik kelapa sawit (PKS) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Skema pemanfaatan limbah kelapa sawit

Pemanfaatan Limbah Padat

Di beberapa perkebunan kelapa sawit baik di Sumatera maupun Kalimantan, limbah padat kelapa sawit yang berupa serat dan cangkang dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energy di PKS sementara tandan kosong kelapa sawit dalam bentuk utuh maupun yang sudah dicacah dan abunya digunakan sebagai mulsa penutup tanah di perkebunan.

Pengolahan TBS akan menghasilkan CPO sekitar 20%, tandan kosong kelapa sawit 18%, serat % dan cangkang 5%. Sekitar 70% dari serat yang dihasilkan digunakan untuk bahan bakar boiler dan sisanya tidak dimanfaatkan, sedangkan bagian cangkang yang digunakan untuk bahan bakar boiler sekitar 15% dan sisanya dijual. Sedangkan untuk tandan kosong sebanyak 70% digunakan sebagai mulsa tanpa diambil/dikutip dulu minyaknya. Pada awalnya limbah padat TKS hanya dibakar dan abunya digunakan sebagai sumber pupuk kalium. Pada perkembangannya TKS digunakan sebagai bahan pembenah tanah/mulsa dan sumber hara bagi tanaman. TKS mengandung bahan organik yang sangat tinggi dan mengandung sekitar 42,8% C, 2,90% K₂O; 0,80% % N; 0,22% P₂O₅; 0,30% MgO dan unsur-unsur mikro seperti B 10 ppm, Cu 23 ppm, dan Zn 51 ppm. Pemanfaatan TKS sebagai bahan pembenah tanah dilakukan dengan cara aplikasi langsung sebagai mulsa dan kompos TKS.

a. Aplikasi TKS sebagai mulsa

Aplikasi TKS di lapangan dilakukan dengan cara menyebarkannya secara merata (satu lapis) pada gawangan mati, Fekwensi aplikasi sekali setahun, umumnya dilakukan bersamaan dengan pemupukan pertama. Dosis optimum TKS adalah 40 ton/ha ditambah dengan pupuk urea dan batuan fosfat sebanyak 60% dari dosis standar kebun. Pengaruh TKS terhadap sifat fisik dan kimia tanah adalah sebagai berikut : berpengaruh nyata terhadap peningkatan K dan Ca, penambahan urea dan Ca dapat merangsang aktivitas mikrobial tanah, berpengaruh terhadap peningkatan bahan organik dalam tanah yang nantinya akan mempengaruhi water holding capacity dan aerasi tanah. Perbaikan sifat fisik dan kimia tanah tersebut akan berpengaruh terhadap produksi TBS. Peningkatan produksi TBS dimulai pada tahun ke dua setelah aplikasi, peningkatan produksi dapat diketahui dengan peningkatan jumlah tandan per pohon maupun rerata berat tandan. Peningkatan yang diperoleh sekitar 10-23%

b. Aplikasi TKS sebagai kompos

Menurut J.H. Crawford (2003) kompos didefinisikan sebagai berikut: Kompos adalah hasil dekomposisi parsial/tidak lengkap, dipercepat secara artifisial dari campuran bahan-bahan organik oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik.



Gambar 2. Kompos

Kompos memiliki banyak manfaat yang ditinjau dari beberapa aspek:

Aspek Ekonomi :

1. Menghemat biaya untuk transportasi dan penimbunan limbah
2. Mengurangi volume/ukuran limbah
3. Memiliki nilai jual yang lebih tinggi dari pada bahan asalnya

Aspek Lingkungan :

1. Mengurangi polusi udara karena pembakaran limbah
2. Mengurangi kebutuhan lahan untuk penimbunan

Aspek bagi tanaman/tanah :

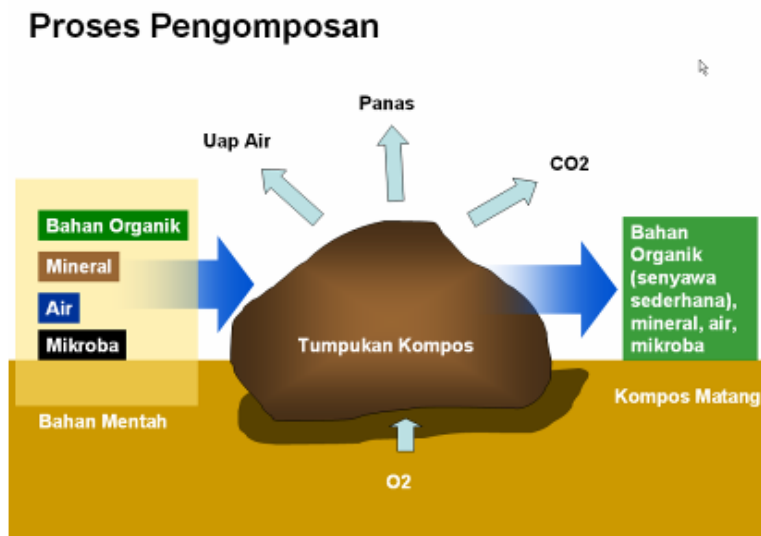
1. Meningkatkan kesuburan tanah
2. Memperbaiki struktur dan karakteristik tanah
3. Meningkatkan kapasitas jerap air tanah
4. Meningkatkan aktivitas mikroba tanah
5. Meningkatkan kualitas hasil panen (rasa, nilai gizi, dan jumlah panen)
6. Menyediakan hormon dan vitamin bagi tanaman
7. Menekan pertumbuhan/serangan penyakit tanaman

8. Meningkatkan retensi/ketersediaan hara di dalam tanah

Pada dasarnya semua bahan-bahan organik padat dapat dikomposkan, misalnya: limbah organik rumah tangga, sampah-sampah organik pasar/kota, kertas, kotoran/limbah peternakan, limbah-limbah pertanian, limbah-limbah agroindustri, limbah pabrik kertas, limbah pabrik gula, limbah pabrik kelapa sawit, dll.



Gambar 3. Limbah TKKS di Pabrik Kelapa Sawit

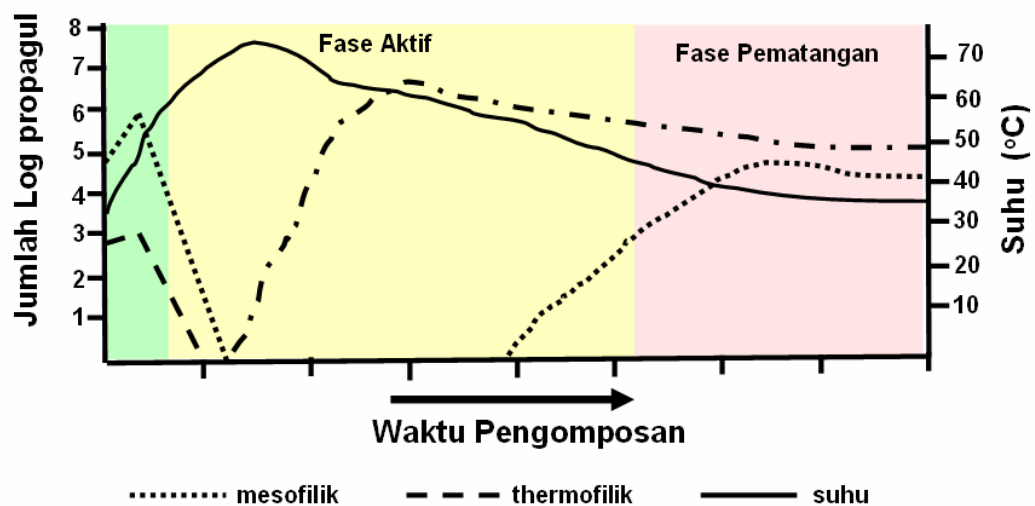


Gambar 4. Proses Umum Pengomposan Limbah Padat Organik (dimodifikasi dari Rynk, 1992)

Memahami dengan baik proses pengomposan sangat penting untuk dapat membuat kompos dengan kualitas baik. Proses pengomposan akan segera berlangsung setelah bahan-bahan mentah dicampur. Proses pengomposan secara sederhana dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap aktif dan tahap pematangan. Selama tahap-tahap awal proses, oksigen dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi akan segera dimanfaatkan oleh mikroba mesofilik. Suhu tumpukan kompos akan meningkat dengan cepat. Demikian pula akan diikuti dengan peningkatan pH kompos. Suhu akan meningkat hingga di atas 50° - 70° C. Suhu akan tetap tinggi selama waktu tertentu. Mikroba yang aktif pada kondisi ini adalah mikroba Termofilik, yaitu mikroba yang aktif pada suhu tinggi. Pada saat ini terjadi dekomposisi/penguraian bahan organik yang sangat aktif. Mikroba-mikroba di dalam kompos dengan menggunakan oksigen akan menguraikan bahan organik menjadi CO₂, uap air dan panas. Setelah sebagian besar bahan telah terurai, maka suhu akan berangsur-angsur mengalami penurunan. Pada saat ini terjadi pematangan kompos tingkat lanjut, yaitu pembentukan kompleks liat humus. Selama proses pengomposan akan terjadi penyusutan volume maupun

biomassa bahan. Pengurangan ini dapat mencapai 30 – 40% dari volume/bobot awal bahan.

Proses pengomposan dapat terjadi secara aerobik (menggunakan oksigen) atau anaerobik (tidak ada oksigen). Proses yang dijelaskan sebelumnya adalah proses aerobik, dimana mikroba menggunakan oksigen dalam proses dekomposisi bahan organik. Proses dekomposisi dapat juga terjadi tanpa menggunakan oksigen yang disebut proses anaerobik. Namun, proses ini tidak diinginkan selama proses pengomposan karena akan dihasilkan bau yang tidak sedap. Proses aerobik akan menghasilkan senyawa-senyawa yang berbau tidak sedap, seperti: asam-asam organik (asam asetat, asam butirat, asam valerat, putrecine), amonia, dan H_2S .



Gambar 5. Perubahan suhu dan jumlah mikroba selama proses pengomposan

Tabel 1. Organisme yang terlibat dalam proses pengomposan

Kelompok Organisme	Organisme	Jumlah/g kompos
Mikroflora	Bakteri	108 -109
	Aktinomicetes	105 – 108
	Kapang	104 - 106
Mikrofauna	Protozoa	104 - 105
Makroflora	Jamur tingkat tinggi	
Makrofauna	Cacing tanah, rayap, semut, kutu, dll	

Proses pengomposan tergantung pada : Karakteristik bahan yang dikomposkan, Aktivator pengomposan yang dipergunakan dan Metode pengomposan yang dilakukan. Setiap organisme pendegradasi bahan organik membutuhkan kondisi lingkungan dan bahan yang berbeda-beda. Apabila kondisinya sesuai, maka dekomposer tersebut akan bekerja giat untuk mendekomposisi limbah padat organik. Apabila kondisinya kurang sesuai atau tidak sesuai, maka organisme tersebut akan dorman, pindah ke tempat lain, atau bahkan mati. Menciptakan kondisi yang optimum untuk proses pengomposan sangat menentukan keberhasilan proses pengomposan itu sendiri.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan antara lain:

1. Rasio C/N
2. Ukuran partikel
3. Aerasi
4. Porositas
5. Kandungan air
6. Suhu
7. pH
8. kandungan hara
9. kandungan bahan-bahan berbahaya

Rasio C/N

Rasio C/N yang efektif untuk proses pengomposan berkisar antara 30: 1 hingga 40:1. Mikroba memecah senyawa C sebagai sumber energi dan menggunakan N untuk sintesis protein. Pada rasio C/N di antara 30 s/d 40 mikroba mendapatkan cukup C untuk energi dan N untuk sintesis protein. Apabila C/N ratio terlalu tinggi maka mikrobia kekurangan N untuk sintesis protein sehingga dekomposisi berjalan lambat.

Ukuran Partikel

Aktivitas mikroba berada diantara permukaan area dan udara. Permukaan area yang lebih luas akan meningkatkan kontak antara mikroba dengan bahan dan proses dekomposisi akan berjalan lebih cepat. Ukuran partikel juga menentukan besarnya ruang antar bahan (porositas). Untuk meningkatkan luas permukaan dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel bahan tersebut.

Aerasi

Pengomposan yang cepat dapat terjadi dalam kondisi yang cukup oksigen(aerob). Aerasi secara alami akan terjadi pada saat terjadi peningkatan suhu yang menyebabkan udara hangat keluar dan udara yang lebih dingin masuk ke dalam tumpukan kompos. Aerasi ditentukan oleh porositas dan kandungan air bahan(kelembaban). Apabila aerasi terhambat, maka akan terjadi proses anaerob yang akan menghasilkan bau yang tidak sedap. Aerasi dapat ditingkatkan dengan melakukan pembalikan atau mengalirkan udara di dalam tumpukan kompos.

Porositas

Porositas adalah ruang diantara partikel di dalam tumpukan kompos. Porositas dihitung dengan mengukur volume rongga dibagi dengan volume total. Rongga-rongga ini akan diisi oleh air dan udara. Udara akan mensuplay Oksigen untuk proses pengomposan. Apabila rongga dijenuhi oleh air, maka pasokan oksigen akan berkurang dan proses pengomposan juga akan terganggu.

Kelembaban (Moisture content)

Kelembaban memegang peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme mikroba dan secara tidak langsung berpengaruh pada suplay oksigen. Mikroorganisme dapat memanfaatkan bahan organik apabila bahan organik tersebut larut di dalam air. Kelembaban 40 - 60 % adalah kisaran optimum untuk metabolisme mikroba. Apabila kelembaban di bawah 40%, aktivitas mikroba akan mengalami penurunan dan akan lebih rendah lagi pada kelembaban 15%. Apabila kelembaban lebih besar dari 60%, hara akan tercuci, volume udara berkurang,

akibatnya aktivitas mikroba akan menurun dan akan terjadi fermentasi anaerobik yang menimbulkan bau tidak sedap.

Temperatur

Panas dihasilkan dari aktivitas mikroba. Ada hubungan langsung antara peningkatan suhu dengan konsumsi oksigen. Semakin tinggi temperatur akan semakin banyak konsumsi oksigen dan akan semakin cepat pula proses dekomposisi. Peningkatan suhu dapat terjadi dengan cepat pada tumpukan kompos. Temperatur yang berkisar antara 30 - 60°C menunjukkan aktivitas pengomposan yang cepat. Suhu yang lebih tinggi dari 60°C akan membunuh sebagian mikroba dan hanya mikroba termofilik saja yang akan tetap bertahan hidup. Suhu yang tinggi juga akan membunuh mikroba-mikroba patogen tanaman dan benih-benih gulma.

pH

Proses pengomposan dapat terjadi pada kisaran pH yang lebar. pH yang optimum untuk proses pengomposan berkisar antara 6.5 sampai 7.5. pH kotoran ternak umumnya berkisar antara 6.8 hingga 7.4. Proses pengomposan sendiri akan menyebabkan perubahan pada bahan organik dan pH bahan itu sendiri. Sebagai contoh, proses pelepasan asam, secara temporer atau lokal, akan menyebabkan penurunan pH (pengasaman), sedangkan produksi amonia dari senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen akan meningkatkan pH pada fase-fase awal pengomposan. pH kompos yang sudah matang biasanya mendekati netral.

Kandungan hara

Kandungan P dan K juga penting dalam proses pengomposan dan biasanya terdapat di dalam kompos-kompos dari peternakan. Hara ini akan dimanfaatkan oleh mikroba selama proses pengomposan.

Kandungan bahan berbahaya

Beberapa bahan organik mungkin mengandung bahan-bahan yang berbahaya bagi kehidupan mikroba. Logam-logam berat seperti Mg, Cu, Zn, Nickel, Cr adalah

beberapa bahan yang termasuk kategori ini. Logam-logam berat akan mengalami imobilisasi selama proses pengomposan.

Tabel 2. Kondisi yang optimal untuk mempercepat proses pengomposan (Ryak, 1992) Kondisi

Kondisi	Konsisi yang bisa diterima	Ideal
Rasio C/N	20:1 s/d 40:1	25-35:1
Kelembaban	40 – 65 %	45 – 62 % berat
Konsentrasi oksigen tersedia	> 5%	> 10%
Ukuran partikel	1 inchi	bervariasi
Bulk Density	1000 lbs/cu yd	1000 lbs/cu yd
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Suhu	43 – 66 ^o C	54 -60 ^o C

Lama waktu pengomposan tergantung pada karakteristik bahan yang dikomposakan, metode pengomposan yang dipergunakan dan dengan atau tanpa penambahan aktivator pengomposan. Secara alami pengomposan akan berlangsung dalam waktu beberapa minggu sampai 2 tahun hingga kompos benar-benar matang. Pengomposan dapat dipercepat dengan beberapa strategi. Secara umum strategi untuk mempercepat proses pengomposan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Manipulasi kondisi/faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pengomposan.
2. Menambahkan Organisme yang dapat mempercepat proses pengomposan: mikroba pendegradasi bahan organik dan vermikompos (cacing).

Manipulasi Kondisi Pengomposan

Strategi ini banyak dilakukan di awal-awal berkembangnya teknologi pengomposan. Kondisi atau faktor-faktor pengomposan dibuat seoptimum mungkin. Sebagai contoh, rasio C/N yang optimum adalah 25-35:1. Untuk membuat kondisi ini bahan-bahan yang mengandung rasio C/N tinggi dicampur dengan bahan yang mengandung rasio C/N rendah, seperti kotoran ternak. Ukuran

bahan yang besar-besar dicacah sehingga ukurannya cukup kecil dan ideal untuk proses pengomposan. Bahan yang terlalu kering diberi tambahan air atau bahan yang terlalu basah dikeringkan terlebih dahulu sebelum proses pengomposan. Demikian pula untuk faktor-faktor lainnya.

Menggunakan Aktivator Pengomposan

Strategi yang lebih maju adalah dengan memanfaatkan organisme yang dapat mempercepat proses pengomposan. Organisme yang sudah banyak dimanfaatkan misalnya cacing tanah. Proses pengomposannya disebut vermikompos dan kompos yang dihasilkan dikenal dengan sebutan kascing. Organisme lain yang banyak dipergunakan adalah mikroba, baik bakteri, aktinomicetes, maupun kapang/cendawan. Saat ini dipasaran banyak sekali beredar aktivator-aktivator pengomposan, misalnya : OrgaDec, SuperDec, EM4, Stardec, Starbio, dll.



Gambar 6. OrgaDec

OrgaDec dan SuperDec adalah hasil penelitian Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia (BPBPI) dan saat ini telah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Kedua aktivator pengomposan ini menggunakan mikroba-mikroba terpilih yang memiliki kemampuan tinggi dalam mendegradasi limbah-limbah padat organik, yaitu: *Trichoderma pseudokoningii*, *Cytopaga* sp, dan FPP (fungi pelapuk putih). Mikroba ini bekerja aktif pada suhu tinggi (termofilik). Penggunaan kedua aktivator ini tidak memerlukan penambahan bahan-bahan lain dan tidak memerlukan pengadukan secara berkala. Namun, kompos perlu ditutup/sungkup untuk mempertahankan suhu dan kelembaban agar proses pengomposan berjalan optimal dan cepat. Pengomposan dengan menggunakan OrgaDec atau SuperDec dapat dipercepat hingga 2 minggu untuk bahan-bahan lunak/mudah dikomposkan hingga 2 bulan untuk bahan-bahan keras/sulit dikomposkan.

Metode atau teknik pengomposan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkat teknologi yang dibutuhkan, yaitu :

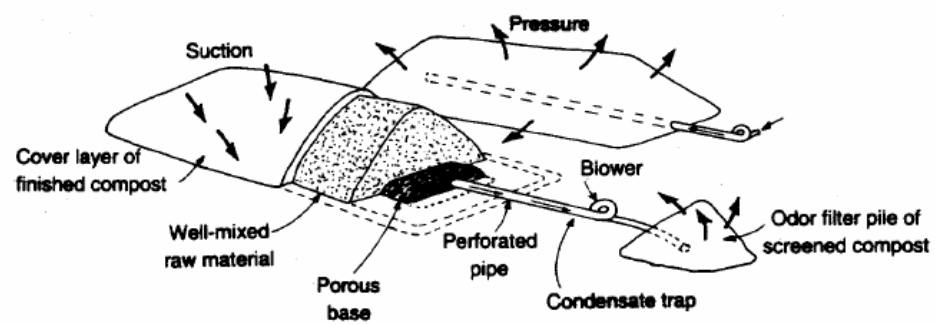
1. Pengomposan dengan teknologi rendah (Low – Technology)
2. Pengomposan dengan teknologi sedang (Mid – Technology)
3. Pengomposandengan teknologi tinggi (High – Technology)

Pengomposan dengan teknologi rendah

Teknik pengomposan yang termasuk kelompok ini adalah **Windrow Composting**. Kompos ditumpuk dalam barisan tumpukan yang disusun sejajar. Tumpukan secara berkala dibolak-balik untuk meningkatkan aerasi, menurunkan suhu apabila suhu terlalu tinggi, dan menurunkan kelembaban kompos. Teknik ini sesuai untuk pengomposan skala yang besar. Lama pengomposan berkisar antara 3 hingga 6 bulan, yang tergantung pada karakteristik bahan yang dikomposkan.



Gambar 7. Contoh Pengomposan dengan Teknik Windrow Composting



Gambar 8. Aerated static pile

Pengomposan dengan teknologi sedang

Pengomposan dengan teknologi sedang antara lain adalah:

- Aerated static pile : gundukan kompos diaerasi statis

Tumpukan/gundukan kompos (seperti windrow system) diberi aerasi dengan menggunakan blower mekanik. Tumpukan kompos ditutup dengan terpal plastik. Teknik ini dapat mempersingkat waktu pengomposan hingga 3 – 5 minggu.

- Aerated compost bins : bak/kotak kompos dengan aerasi

Pengomposan dilakukan di dalam bak-bak yang di bawahnya diberi aerasi. Aerasi juga dilakukan dengan menggunakan blower/pompa udara. Seringkali ditambahkan pula cacing (vermikompos). Lama pengomposan kurang lebih 2 – 3 minggu dan kompos akan matang dalam waktu 2 bulan.



Gambar 9. Aerated compost bins

Pengomposan dengan teknologi tinggi

Pengomposan dengan menggunakan peralatan yang dibuat khusus untuk mempercepat proses pengomposan. Terdapat panel-panel untuk mengatur kondisi pengomposan dan lebih banyak dilakukan secara mekanis. Contoh-contoh pengomposan dengan teknologi tinggi antara lain :

- Rotary Drum Composters

Pengomposan dilakukan di dalam drum berputar yang dirancang khusus untuk proses pengomposan. Bahan-bahan mentah dihaluskan dan dicampur pada saat dimasukkan ke dalam drum. Drum akan berputar untuk mengaduk dan memberi aerasi pada kompos.

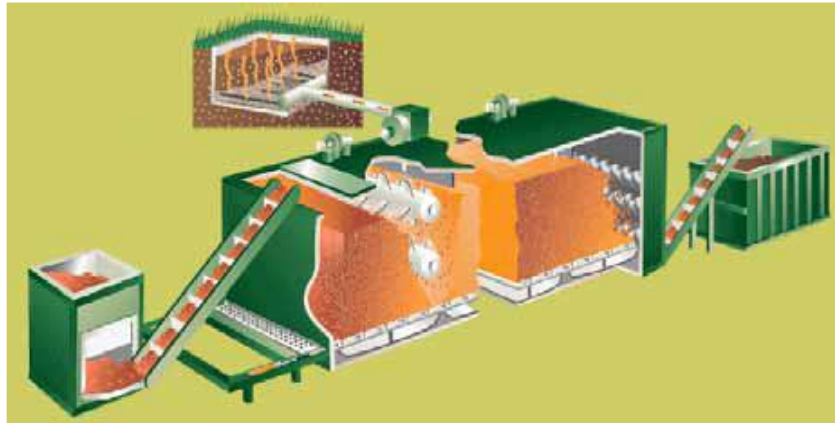


Gambar 10. Rotary Drum Composters

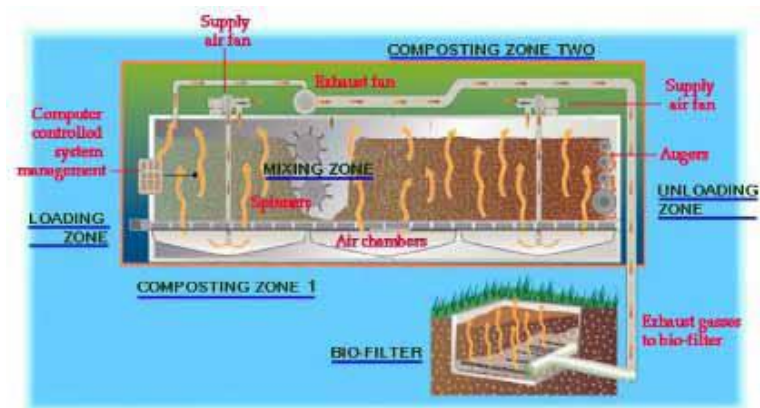
- Box/Tunnel Composting System

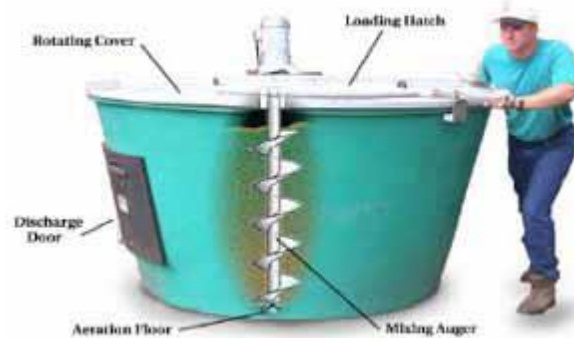
Pengomposan dilakukan dalam kotak-kotak/bak skala besar. Bahan-bahan mentah akan dihaluskan dan dicampur secara mekanik. Tahap-tahap pengomposan berjalan di dalam beberapa bak/kotak sebelum akhirnya menjadi produk kompos yang telah matang.

Sebagian dikontrol dengan menggunakan komputer. Bak pengomposan dibagi menjadi dua zona, zona pertama untuk bahan yang masih mentah dan selanjutnya diaduk secara mekanik dan diberi aerasi. Kompos akan masuk ke bak zona ke dua dan proses pematangan kompos dilanjutkan.



Gambar 11. Box/Tunnel Composting System





A central feeding station located in the kitchen or other collection area receives food prep and waste from employees.



The oxygen-infused stainless steel holding tank periodically mixes and blends the contents. Sizes of the tank can vary to accommodate different quantities of waste production.



A rich, oxygenated slurry is produced and held within the tank until full.



A self-contained environment eliminates odor and vermin.



The Wet Waste Recovery System can be located outside an existing facility or built within new construction.



When the holding tank has reached capacity (and the level probe indicates it is full), it can easily be emptied by a roadside tanker, taking only a few minutes.

Bagaimana mengetahui kompos yang sudah matang ?

Stabilitas dan kematangan kompos adalah beberapa istilah yang sering dipergunakan untuk menentukan kualitas kompos. Stabil merujuk pada kondisi kompos yang sudah tidak lagi mengalami dekomposisi dan hara tanaman secara perlahan (slow release) dikeluarkan ke dalam tanah. Stabilitas sangat penting untuk menentukan potensi ketersediaan hara di dalam tanah atau media tumbuh lainnya. Kematangan adalah tingkat kesempurnaan proses pengomposan. Pada

kompos yang telah matang, bahan organik mentah telah terdekomposisi membentuk produk yang stabil.

Untuk mengetahui tingkat kematangan kompos dapat dilakukan dengan uji dilaboratorium untuk atau pun pengamatan sederhana di lapang. Berikut ini disampaikan cara sederhana untuk mengetahui tingkat kematangan kompos :

1. Dicum/dibau

Kompos yang sudah matang berbau seperti tanah dan harum, meskipun kompos dari sampah kota. Apabila kompos tercium bau yang tidak sedap, berarti terjadi fermentasi anaerobik dan menghasilkan senyawa-senyawa berbau yang mungkin berbahaya bagi tanaman. Apabila kompos masih berbau seperti bahan mentahnya berarti kompos belum matang.

2. Warna kompos

Warna kompos yang sudah matang adalah coklat kehitam-hitaman. Apabila kompos masih berwarna hijau atau warnanya mirip dengan bahan mentahnya berarti kompos tersebut belum matang.

3. Penyusutan

Terjadi penyusutan volume/bobot kompos seiring dengan kematangan kompos. Besarnya penyusutan tergantung pada karakteristik bahan mentah dan tingkat kematangan kompos. Penyusutan berkisar antara 20 – 40 %. Apabila penyusutannya masih kecil/sedikit, kemungkinan proses pengomposan belum selesai dan kompos belum matang.

4. Tes kantong plastik

Contoh kompos diambil dari bagian dalam tumpukan. Kompos kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik, ditutup rapat, dan disimpan di dalam suhu ruang selama kurang lebih satu minggu. Apabila setelah satu minggu kompos berbentuk baik, tidak berbau atau berbau tanah berarti kompos telah matang.

3. Tes perkecambahan

Contoh kompos letakkan di dalam bak kecil atau beberapa pot kecil. Letakkan beberapa benih (3 – 4 benih). Jumlah benih harus sama. Pada saat yang bersamaan kecabahkan juga beberapa benih di atas kapas basah yang diletakkan di dalam baki dan ditutup dengan kaca/plastik bening. Benih akan berkecambah dalam beberapa hari. Pada hari ke-5 / ke-7 hitung benih yang berkecambah. Bandingkan jumlah kecambah yang tumbuh di dalam kompos dan di atas kapas basah. Kompos yang matang dan stabil ditunjukkan oleh banyaknya benih yang berkecambah.

4. Suhu

Suhu kompos yang sudah matang mendekati dengan suhu awal pengomposan. Suhu kompos yang masih tinggi, atau di atas 50^oC, berarti proses pengomposan masih berlangsung aktif.

5. Kandungan air kompos

Kompos yang sudah matang memiliki kandungan kurang lebih 55-65%. Cara mengukur kandungan air kompos adalah sebagai berikut:

- ambil sampel kompos dan ditimbang
- kompos dikeringkan di dalam oven atau microwave hingga beratnya konstan, kompos ditimbang kembali
- kandungan air kompos dihitung dengan rumus sebagai berikut :

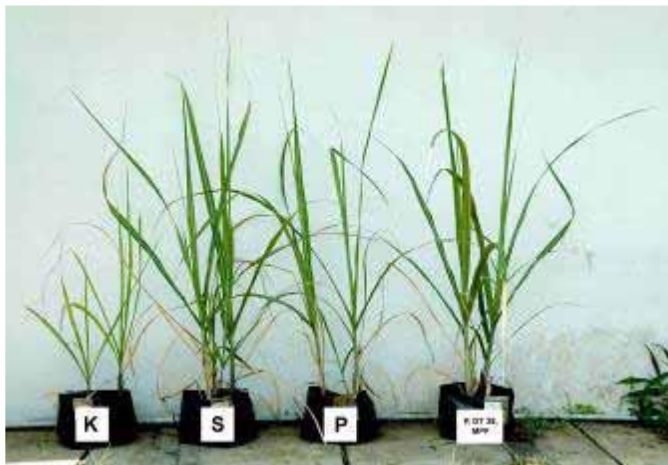
Apa kriteria kualitas kompos ?

Indonesia telah memiliki standar kualitas kompos, yaitu SNI 19-7030-2004. Di dalam SNI ini termuat batas-batas maksimum atau minimum sifat-sifat fisik atau kimiawi kompos. Termasuk di dalamnya adalah batas maksimum kandungan logam berat. Untuk mengetahui seluruh kriteria kualitas kompos ini memerlukan analisa laboratorium.

Apakah kompos dapat diperkaya ?

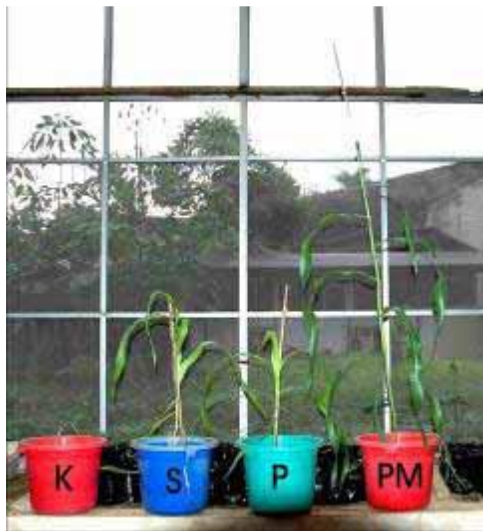
Kompos yang sudah matang sebenarnya sudah cukup baik untuk diaplikasikan ke tanaman. Permasalahan yang sering muncul adalah kebutuhan kompos yang cukup banyak untuk mencukupi seluruh kebutuhan hara tanaman. Dibandingkan dengan pupuk kimia, kebutuhan kompos dapat 10 – 20 kali lipat lebih banyak dari pada pupuk kimia. Salah satu solusi yang akhir-akhir ini banyak berkembang adalah memperkaya kompos. Bahan-bahan yang dipergunakan untuk memperkaya kompos antara lain: pupuk kimia konvensional, bahan-bahan organik lain yang memiliki kandungan hara tinggi dan mikroba-mikroba bermanfaat. Sebagai contoh: untuk meningkatkan kandungan N dapat menggunakan biomassa *Azolla*, untuk meningkatkan kandungan P dipergunakan fosfat alam, dan untuk meningkatkan kandungan K dipergunakan abu sisa pembakaran bahan organik (bagas, tkks).

Mikroba-mikroba yang terdapat di dalam kompos diakui memiliki manfaat yang sangat baik bagi tanah maupun tanaman. Namun, mikroba ini tersedia dalam jumlah yang relatif sedikit dan tidak seragam. Mikroba-mikroba yang bermanfaat bagi tanaman dapat ditambahkan dari luar untuk memperkaya dan meningkatkan kualitas kompos. Mikroba yang sering dimanfaatkan adalah:



Gambar 12. Pengaruh pemberian kompos diperkaya mikroba pada tanaman tebu.
(ket. : K = kontrol tanpa pemupukan; S = pemupukan standard; P = kompos tanpa mikroba; P, DT 38, MPF = kompos diperkaya dengan mikroba)

- mikroba penambat nitrogen : *Azotobacter* sp, *Azospirillum* sp, *Rhizobium* sp, dll
- mikroba pelarut P dan K : *Aspergillus* sp, *Aeromonas* sp.
- mikroba agensia hayati : *Metharhizium* sp, *Trichoderma* sp,
- mikroba perangsang pertumbuhan tanaman : *Trichoderma* sp, *Pseudomonas* sp, *Azospirillum* sp.



Gambar 13. Pengaruh pemberian kompos diperkaya mikroba pada tanaman jagung.(ket. : K = kontrol; S = Standar; P = kompos; PM = kompos diperkaya mikroba)

Standar Kualitas Kompos (SNI 19-7030-2004)				
N O	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimu m
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	oC	suhu air tanah	
3	Warna	kehitaman		
4	Bau	berbau tanah		
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
Unsur makro				
9	Bahan organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Phosfor (P2O5)	%	0.1	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K2O)	%	0,20	*
Unsur mikro				
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
Unsur lain				
25	Kalsium	%	*	25.5
26	Magnesium (Mg)	%	*	0.6
27	Besi (Fe)	%	*	2
28	Aluminium (Al)	%	*	2.2
29	Mangan (Mn)	%	*	0.1
Bakteri				
30	Fecal Coli	MPN/gr	1000	
31	Salmonella sp.	MPN/4 gr	3	

Pengomposan tandan kosong kelapa sawit.

Pengomposan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan unsure hara dan menurunkan volume TKS. Pupuk kompos merupakan bahan organik yang telah mengalami proses fermentasi / dekomposisi yang dilakukan oleh mikrobia. Prinsip pengomposan adalah untuk menurunkan nisbah C/N bahan agar mendekati dengan C/N tanah sehingga mudah diserap oleh tanaman. Kompos yang telah matang ditandai dengan nisbah C/N sebesar 10. Proses ini memerlukan waktu yang cukup lama sekitar 6 bulan, hal itu karena TKS banyak mengandung lignoselulosa yang sulit didekomposisi. Perlakuan fisik (pengecilan ukuran dan pemanasan) dan perlakuan kimia (penambahan asam/basa) merupakan perlakuan pendahuluan untuk proses delignifikasi. Beberapa percobaan dapat dilakukan untuk mempersingkat proses pengomposan antara lain : dengan menambahkan kotoran hewan sehingga dapat menurunkan TKS dari 52 menjadi 12-24 setelah 60 hari pengomposan. Selain itu juga dapat dilakukan dengan menambahkan inokulum/bioaktivator sehingga dapat menurunkan C/N rasio dari 52 menjadi 13 setelah 28-30 hari pengomposan. TKS yang sudah menjadi kompos seian mengandung nutrient juga mengandung bahan organik lain yang berguna untuk perbaikan struktur organik pada lapisan tanah. Proses pengomposan TKS dapat dilakukan sebagai berikut : TKS dicacah terlebih dahulu menjadi serpihan-serpihan dengan memakai mesin pencacah kemudian bahan yang sudah dicacah ditumpuk memanjang dengan ukuran lebar 2,5 m dan tinggi 1 m. selama proses pengomposan bahan tersebut disiram limbah cair kelapa sawit. Tumpukan dibiarkan selama 6 minggu kompos sambil dibolak-balik secara periodik. PKS dengan kapasitas 30 ton TBS per jam dapat memproduksi 60 ton kompos dari 100 ton TKS yang dihasilkan. Kompos TKS mempunyai sifat yang menguntungkan, antara lain : memperbaiki struktur tanah, membantu kelarutan unsure-unsur hara yang diperlukan tanaman, mudah meresap dalam tanah dan dapat diaplikasikan disembarang musim.

c. Aplikasi TKS sebagai sumber unsure kalium

TKS dapat dibakar dan akan dihasilkan abu tandan. Abu tandan memiliki kandungan K_2O 30-40%; P_2O_5 7%; CaO 9% dan MgO 3%. Selain itu juga mengandung unsure hara mikro yaitu Fe 1200 ppm, Mn 1000 ppm, Zn 400 ppm dan Cu 100 ppm. PKS dengan kapasitas 1200 ton TBS/hari akan menghasilkan abu tandan sebesar 10,8%/hari. Dengan tambahan polimer tertentu pada abu tandan dapat dibuat pupuk butiran berkadar K_2O 30-38% dengan pH 8-9.

Pemanfaatan Limbah Cair

Untuk POME dihasilkan sekitar $0,6 \text{ m}^3/\text{ton}$ TBS. Limbah cair yang sudah mengalami proses biologis dengan BOD sekitar 1000-3500 ppm digunakan untuk aplikasi lahan (land application) diperkebunan sebagai pupuk. Pemilihan teknik aplikasi tergantung pada kondisi topografi dan luas areal yang ada, jenis dan volume limbah cair, jenis tanah dan kedalaman air tanah, umur tanaman kelapa sawit, dekat atau tidaknya dengan sungai atau pemukiman penduduk. Beberapa jenis teknik aplikasi yang dapat digunakan yaitu : a) teknik penyemprotan, b) teknik parit dan teras, c) teknik parit atau alur, d) teknik traktor tangki. Di Indonesia yang paling digunakan yaitu teknik parit dan teras dan teknik parit atau alur. Keuntungan pemanfaatan limbah cair PKs : memperbaiki struktur fisik tanah, meningkatkan aerasi, peresapan, retensi dan kelembaban, meningkatkan perkembangbiakan dan perkembangan akar, meningkatkan kandungan bahan organik, pH tanah dan kapasitas tukar kation tanah, meningkatkan aktivitas dan populasi mikroflora dan mikrofauna.

IV. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PAKAN TERNAK

Perkebunan kelapa sawit mempunyai potensi daya dukung untuk pengembangan peternakan sebagai sumber pakan ternak, baik berupa hijauan yang tumbuh dikawasan perkebunan maupun limbah pabrik pengolahan kelapa sawit. Kendala utama pengembangan trnak di area perkebunan kelapa sawit adalah rendahnya kandungan gizi pada rumput alam. Peningkatan nilai gizi perlu diupayakan antara lain dari pakan tambahan yang berasal dari limbah kelapa sawit yang berupa solid. Kandungan gizi limbah kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan gizi limbah kelapa sawit

Susunan gizi	Limbah sawit						
	Pelepah sawit	Lumpur sawit	Bungkil inti sawit	Daun sawit tanpa lidi	Serat perasan	Tandan Kosong	Batang sawit
Bahan kering (%)	86,2	91,1	91,8	46,18	93,11	92,1	88-92
Protein Kasar (%)	5,8	11,1	15,3	14,12	6,2	3,7	1,6-3,2
Serat kasar (%)	48,6	17	15	21,52	48,1	47,93	36-39
Lemak (%)	5,8	12	8,9	4,37	3,22	4,7	0,6-1
BETN (%)	36,5	50,4	55,8	46,59	-	-	51-54
Abu (%)	3,3	9,0	5,0	13,4	5,9	7,89	2,8-3,2
Kalsium (%)	0,32	0,7	0,2	0,84	-	-	-
Fosfor (%)	0,27	0,5	0,52	0,17	-	-	-
TDN (%)	29,8	45,0	65,4	-	-	-	-
Energi (MJ/kg)	4,02	6,52	9,8	4,46	4,68	-	4,3-4,6

Batang dan pelepah dapat dimanfaatkan juga sebagai pakan ternak. Pada prinsipnya terdapat tiga cara pengolahan batang kelapa sawit untuk dijadikan pakan ternak, yaitu pengolahan menjadi silase, perlakuan dengan NaOH dan pengolahan dengan uap. Untuk pelepah sawit pengolahan yang paling efisien yaitu pengolahan menjadi silase.

V. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PENGHASIL BIOENERGI (BIOETANOL, BRIKET DAN GAS METHAN)

Tingginya harga minyak dunia, menyebabkan harga BBM naik. Dilain pihak terdapat Ketergantungan terhadap bahan bakar besar, padahal cadangan minyak hanya 9 miliar barel dan produksi pertahun hanya 500 juta barel , akan habis dalam 23 tahun mendatang. Pemakaian energi :

- Minyak bumi 52,2%
- Gas bumi 19%
- Batubara 21,5%
- Air 3,7%
- Panas bumi 3 %
- Energi terbarukan 0,2 %

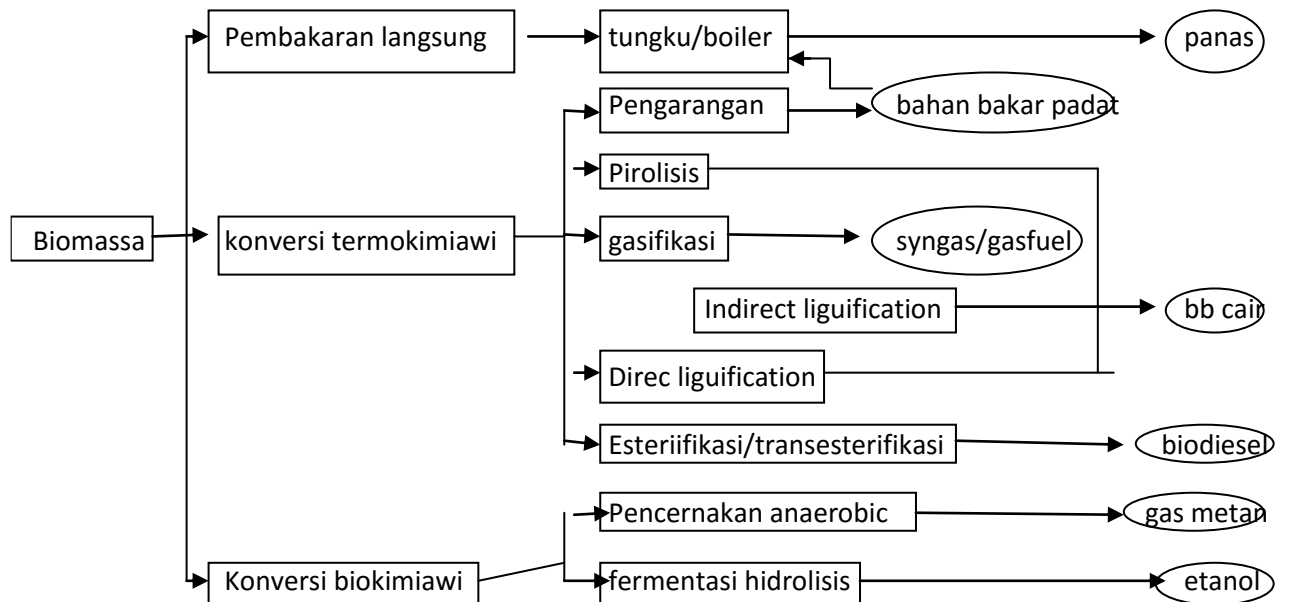
Perlu mengurangi ketergantungan dengan mengembangkan sumber energi alternatif terbarukan (bioenergi). Bioenergi merupakan bahan bakar energi alternatif terbarukan yang prospektif untuk dikembangkan. Jenis bioenergi yang ditawarkan :

- Tenaga bateraai/fuel cells
- Panas bumi (geotermal)
- Tenaga matahari
- Tenaga angin
- Batubara
- Nuklir
- Gas
- biofuel

kelebihan bioenergi :

- Ramah lingkungan
- Dapat terurai
- Mengeliminasi efek rumah kaca
- Bahan kontinyu

Konversi biomassa menjadi bioenergi :



Gambar 14. Konversi biomassa limbah kelapa sawit menjadi bioenergi

Bioenergi diturunkan dari biomassa yaitu material yang dihasilkan oleh makhluk hidup

Bahan baku bioenergi dapat berupa :

- Kelapa sawit
- Sagu
- Kelapa
- Ubi kayu
- Jarak pagar
- Tebu
- Jagung
- Kotoran ternak

BIOETANOL

Merupakan etanol yang terbuat dari biomassa yang mengandung komponen gula sederhana, pati atau selulosa . Penggunaan etanol :

- Industri turunan alkohol
- Campuran minuman keras
- Bahan baku farmasi dan kosmetik

Penelompokan bioetanol : Tiga grade :

- Grade industri 90-94%
- Bahan baku farmasi/minuman : kadar 96-99,5 %
- Bahan bakar : lebih dari 99,5%

Karakteristik bioetanol :

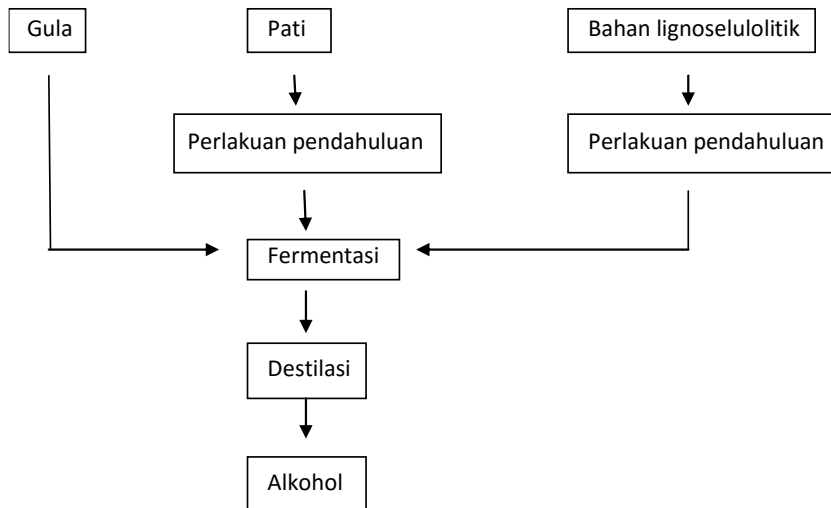
1. Mengandung 35% oksigen sehingga dapat efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi rumah kaca
2. Memiliki nilai oktan yang lebih tinggi (96-113) sehingga dapat menggantikan fungsi bahan aditif seperti metil tertiary butil eter. Nilai oktan bensin hanya 85-96
3. Ramah lingkungan, mudah terurai dan aman
4. Dapat diperbaharui

Bioetanol dapat digunakan untuk campuran dengan bensin pada konsentrasi 10 % atau perbandingannya 10 % bioetanol dan 90 % bensin. Maksud pencampuran : menambah volume dan menaikkan nilai oktan, hingga ON 92-95 serta menggantikan bahan aditif MTBE.

Produksi Bioetanol :

- Prinsip : hasil fermentasi bahan yang mengandung gula (glukosa, fruktosa, sukrosa) oleh ragi/*Saccharomyces* atau bakteri *Zimomonas mobilis* menjadi etanol dan gas CO₂
- Reaksi : $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$

Proses produksi bioetanol :



Gambar 15. Proses produksi bioetanol

Ada 3 kelompok bahan baku bioetanol :

1. Bahan yang mengandung gula
2. Bahan yang mengandung pati
perlu perlakuan pendahuluan :
hidrolisis (likuifikasi & sakarifikasi)
3. Bahan yang mengandung selulosa
perlakuan pendahuluan :
delignifikasi & hidrolisis

Proses fermentasi :

- Melibatkan mikrobia : *Saccharomyces cereviceae* atau *Zymomonas fragilis*
- Terjadi proses pemecahan gula sederhana menjadi etanol dan dihasilkan gas CO₂

Pemurnian alcohol :

- Destilasi dilakukan pada suhu diatas titik didih etanol murni (78-10°C)

- Hasilnya alkohol kadar hingga 96%
- Peningkatan kadar alkohol hingga 99,5% :
 - Dengan molekular sieve : bahan yang mempunyai pori-pori kecil dan dapat digunakan sebagai absorben cairan dan gas, misalnya zeolit, lempung, karbon aktif
 - Proses azeotropis distilasi

Alkohol dari bahan berselulosa :

- Cellulosic ethanol merupakan biofuel yang dihasilkan dari bahan berkayu/berselulosa
- Bahan :
 - batang jagung,
 - limbah biomasa yang lain : tandan kosong kelapa sawit

Produksi bioetanol dari bahan berselulosa :

1. pretreatment: membuat bahan berselulosa lebih mudah di hidrolisis
2. Hidrolisis selulosa: memecah molekul selulosa menjadi gula sederhana
3. Pemisahan larutan gula dari residu misal lignin
4. Fermentasi oleh mikrobial
5. Destilasi, untuk menghasilkan kadar alkohol 95%
6. Dehidrasi, untuk menghasilkan kadar alkohol lebih dari 99,5%

Bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit :

Bioetanol merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang potensial sebagai sumber energi. Bioetanol dapat menjadi solusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan dan menjadi sumber energi yang dapat diperbaharui. Biasanya, bioetanol dihasilkan dari jagung atau tetes. Penggunaan jagung atau tetes terasa kontradiktif dengan bahan baku lain yang melimpah di Indonesia, sedangkan pati merupakan bahan pangan di Indonesia. Oleh karena itu bahan baku yang berasal dari selulosa/biomassa merupakan bahan alternatif dengan jumlah yang banyak untuk produksi alkohol. Melimpahnya sumber selulosa dan selalu tersedia merupakan sumber bahan baku yang dapat diperbaharui. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah yang dihasilkan dari pengolahan CPO.

Biasanya tandan kosong kelapa sawit hanya digunakan untuk pupuk, bahan baku matras dan media untuk pertumbuhan jamur.

Produksi CPO tahun 2008 sekitar 17,37 juta ton, jumlah limbah biomassa yang dihasilkan banyak: EFB dan fruit shell dan Setiap 1 ton CPO menghasilkan 1,1 ton EFB. Karakteristik limbah EFB :

1. Selulosa (41,3-46,5 %), mengandung glukosa
2. Hemiselulosa (25,3-33,8%), mengandung C6 dan C5 seperti : glukosa, manosa, galaktosa, rhamnosa, xylosa dan arabinosa
3. Lignin (27,6-32,5%)

Pembuatan alcohol dari tandan kosong kelapa sawit dapat melalui proses sakarifikasi menggunakan jamur *Trichoderma reesei* dan dilanjutkan fermentasi alcohol oleh *Saccharomyces cerevisiae*. Sebelum sakarifikasi, tandan kosong kelapa sawit harus diperlakukan pendahuluan yaitu dihaluskan hingga 60 mesh kemudian dipanaskan dengan autoklaf pada suhu 121 oC pada tekanan 1,5 atm selama 90 menit. Sebelumnya jamur *T.reesei* sudah diadaptasi pertumbuhannya dalam media padat yang mengandung bubuk tandan kosong kelapa sawit. Proses sakarifikasi dilakukan dengan fermentasi substrat paat dengan 10% suspensi spora jamur ($3,5-7,4 \times 10^8$ spora/ml) yang diinokulasikan kedalam media yang mengandung bubuk tandan kosong kelapa sawit yang diberi larutan Mandel-weber dengan rasio 3:4 dan ditambahkan akuades sampai kelembaban 70%. Sampel diinkubasi selama 8 hari pada suhu 30 °C. Parameter yang diukur adalah kadar gula reduksi, aktivitas CMCase (ensim endoglukanase), beta glukosidase dan pH. Setelah inkubasi 8 hari gula reduksi yang dihasilkan sekitar 1,46 mg/g substrat. pH optimum untuk proses sakarifikasi adalah 5,5 dan gula reduksi yang dihasilkan 1,5 mg/g substrat setelah 8 hari inkubasi. Setelah diinkubasi selama 12 hari, filtrate yang mengandung gula reduksi digunakan untuk fermentasi alcohol dengan menambahkan inokulum *Saccharomyces cerevisiae* dengan konsentrasi 5% ($5,35 \times 10^8$ sel.ml). Proses fermentasi dilakukan secara anaerob selama 96 jam. Parameter yang diukur meliputi gula reduksi, kadar etanol, jumlah sel dan

pH. Konsentrasi etanol tertinggi diperoleh setelah fermentasi 72 jam sebanyak 0,046% yang ekuivalen dengan 47,32% glukosa yang dikonversi menjadi etanol.

Asumsi bioetanol yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Asumsi bioetanol yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit

EFB	1 ton (1000 kg)
Cellulose content	X 0,45
Cellulose conversion and recovery efficiency	X 0,76
Ethanol stoichiometric yield	X 0,51
Glucose fermentation efficiency	X 0,75
Yield from glucose	131 kg etanol = 151 liter (40 galon)

BIOBRIKET

Biobriket merupakan bahan bakar yang berwujud padat dan berasal dari sisa-sisa bahan organik yang telah mengalami proses pemampatan dengan gaya tertentu. Bahan baku dapat berupa :

1. Tempurung kelapa
2. Tempurung kelapa sawit
3. Serbuk gergaji
4. Bungkil sisa pengepresan biji-bijian
5. Limbah biomassa yang lain

Proses pembuatan biobriket :

Biomassa



Pengerinan



—

Gambar 16. Proses produksi biobriket

Biobriket dari limbah tempurung kelapa sawit :

- Jumlah yang dihasilkan cukup besar yaitu 30%
- Pemanfaatan baru sebatas untuk bahan bakar boiler atau pengeras jalan
- Pembuatan biobriket dari tempurung kelapa sawit : pembriketan, pengeringan, dan pengarangan (pemanasan hingga 550 oC selama 3 jam)
- Arang yang dihasilkan kemudian digiling dengan diberi perekat misalnya pati dengan konsentrasi tertentu. Hasil proses tersebut selanjutnya dicetak dengan tekanan hidrolik dengan ukuran menyesuaikan pasar. Untuk PKS berkapasitas 30 ton TBS tiap jam akan dihasilkan sekitar 120 ton tandan kosong sawit per hari yang dapat diolah menjadi 25-30 ton briket arang. (setara dengan 146-175 (MW(t)h)

GAS METANA

- Energi dapat diperoleh dari pengolahan limbah cair PKS
- Pengolahan limbah cair dilakukan menggunakan kolam terbuka secara bertingkat sehingga terjadi proses biodegradasi komponen organik limbah
- Dekomposisi anaerobik meliputi penguraian bahan organik kompleks menjadi asam-asam organik dan selanjutnya diurai menjadi gas-gas dan air
- Selama peruraian akan terbentuk gas metan

Pemanfaatan gas metan :

- Gas metan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi jika diolah dalam digester anaerobik
- Untuk limbah cair 0,6-0,7 ton akan menghasilkan biogas 20 meter kubik

Tahapan pembentukan gas metan :

1. Hidrolisis : terjadi dekomposisi bahan organik menjadi gula sederhana, melibatkan enzim, bahan kimia menjadi larut dalam air
2. Dehidrogenasi/pengambilan atom hidrogen dari biomassa. : terjadi perubahan glukosa menjadi asam asetat, karboksilasi (pengambilan grup karboksil) asam amino, memecah asam lemak rantai panjang menjadi asam lemak rantai pendek dan menghasilkan asam asetat sebagai produk akhir
3. Metanogenesis: pembentukan gas metan dari asam asetat oleh bakteri metanogenik (*Methanobacillus omelanskii*)

Contoh : pabrik kelapa sawit mengolah 40 ton TBS/jam maka akan dihasilkan limbah cair sebanyak 20 m³/jam (asumsi 55% dari TBS dengan BJ 1,1 g/cm³), jika pabrik bekerja selama 20 jam maka volume limbah cair yang dihasilkan 400 m³ per hari. Jika karakteristik limbah sbb.

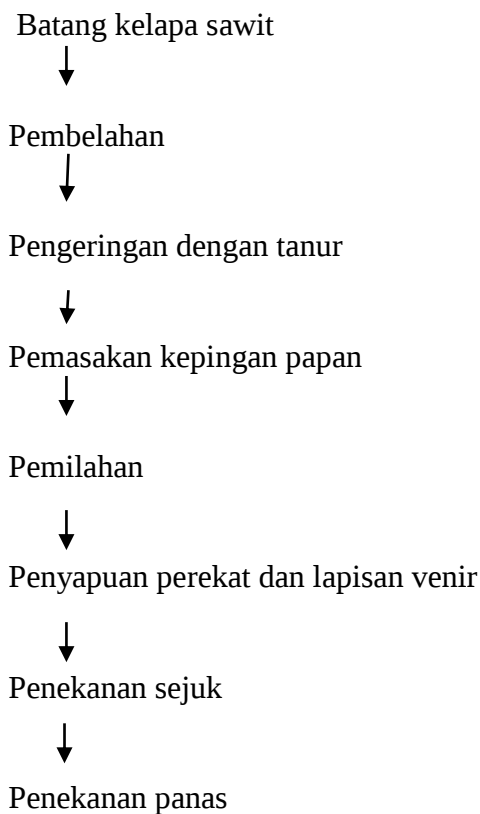
Tabel 8. Karakteristik limbah cair kelapa sawit

Parameter	Jumlah (mg/l)
BOD	20.000 – 30.000
COD	35.000 – 45.000
Padatan terlarut	28.000
Padatan total	48.000
Nitrogen Total	105
Fosfat	216
Minyak/lemak	1.500-2.000
pH	4

Jika asumsi: suhu limbah proses berjalan 50 oC dan harus diturunkan menjadi 40 oC, laju degradasi 80% maka jumlah biogas yang diproduksi : $20 \text{ m}^3 \times 45 \text{ kg COD/m}^3 = 900 \text{ kg COD}$ sehingga jumlah biogasnya = $900 \text{ kg COD} \times 0,45 \text{ m}^3 \text{ biogas/kg COD} = 405 \text{ m}^3 \text{ biogas}$

VI. PEMANFAATAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PEMBUATAN PAPAN DAN PAPAN PARTIKEL

Batang kelapa sawit yang sudah tua dan tidak produktif lagi dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai tinggi. Batang kelapa sawit dapat dibuat sebagai bahan perabot rumah tangga seperti mebel atau sebagai papan apartikel. Dari setiap batang kelapa sawit dapat diperoleh kayu sebanyak 0,34 m³. Sifat-sifat kayu yang dihasilkan kelapa sawit tidak berbeda jauh dengan kayu-kayu yang biasa digunakan untuk perabot rumah tangga. Bagan pembuatan papan dari batang kelapa sawit sebagai berikut :



Gambar 17. Pembuatan papan dari batang kelapa sawit

Limbah padat dari hasil pengolahan CPO jumlahnya relative banyak, hal itu dapat dimanfaatkan untuk pembuatan papan partikel/papan partisi. Pembuatan papan partisi mempunyai prospek yang baik mengingat meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap tempat tinggal yang murah. Lembaran partisi

digunakan sebagai komponen pemisah atau penyekat dalam struktur bangunan misalnya rumah. Selama ini pembuatan papan partikel masih didominasi oleh menggunakan semen dan gypsum atau bahan lainnya sebagai penguat. Dalam hal ini limbah padat kelapa sawit dapat digunakan sebagai unsure penguat dalam papan partisi. Bahan perekat yang biasa digunakan adalah lem kayu. Sifat utama partisi yang diperlukan adalah tebal, kadar air, daya serap air dan kekuatan lentur. Partisi yang ideal dikehendaki ketebalan yang serendah mungkin namun kekuatannya terpenuhi. Kadar air partisi serendah mungkin agar struktur bangunan tidak lembab sehingga terhindar dari gangguan jamur. Daya serap air partisi juga serendah mungkin agar memberikan efek perlindungan yang maksimal. Sementara itu kekuatan lentur dikehendaki setinggi mungkin karena fungsinya sebagai komponen struktur bangunan. Pembuatan papan partisi dilakukan sebagai berikut :

a. Persiapan bahan baku dan bahan perekat :

Limbah padat berserat yang kering didispersikan dengan air untuk memudahkan proses pencampurannya, kemudian ditiriskan dan diuji kadar airnya, ditimbang sesuai dengan yang dibutuhkan. Bahan perekat berupa semen abu, semen putih, gypsum dan lem kayu diuji kadar airnya kemudian ditimbang sesuai kebutuhan.

b. Pencampuran

Limbah padat dan papan perekat dicampur dengan perbandingan bahan limbah padat 40%, bahan serat pengisi misal sabut kelapa atau fiber kelapa sawit 10% dan lem kayu 50%. Kemudian dimikser atau diaduk.

c. Pembuatan lembaran

Pembuatan lembaran partisi dilakukan dengan alat cetak misalnya berukuran 30x30 cm atau luas permukaannya 900 cm² dengan ketebalan 1 cm yang dilengkapi dengan palstik untuk mempermudah pengangkatan setelah pengepresan. Campuran bahan dituang merata kedalam cetakan kemudian dipress hidrolik dengan tekanan 20 kg/cm² selama 3 menit. Hasilnya kemudian diangkat dan dikeringkan pada suhu udara terbuka 26-32 °C

d. Pengujian lembaran

Lembar partisi yang telah kering selanjutnya diuji ketebalannya, kadar air, kuat lentur dan daya serap air. Tebal lembaran partisi merupakan jarak tegak lurus kedua permukaan bila ditekan dengan tekanan tertentu (0,5 atm atau 1 atm) diukur pada kondisi standar. Ketebalan lembaran partisi akan mempengaruhi sifat fisik lembaran, semakin tebal semakin baik. Ketebalan dipengaruhi oleh kepadatan bahan dan proses pengepresan. Ketebalan bahan akan meningkat dengan adanya lem kayu karena lem berfungsi sebagai peningkat daya ikat antar bahan sehingga tidak mudah mengeluarkan air saat dikeringkan dan tidak terjadi pengerutan. Rata-rata ketebalan partisi adalah 10-12 mm. Kadar air partisi adalah kandungan air yang terdapat dalam partisi sewaktu digunakan atau diletakkan dalam lingkungan udara terbuka. Uap air akan berusaha masuk ke setiap benda yang ada disekelilingnya dan akan mencapai kesetimbangan dengan kadar air di udara. Namun air akan sulit masuk ke pori-pori partisi jika bahannya kedap air. Daya serap air adalah jumlah gram air yang diserap oleh 1 m² lembaran dalam waktu tertentu diukur pada kondisi standar yang dinyatakan dengan g/m². Semakin kecil nilai daya serap air maka akan semakin tinggi daya tahan lembaran partisi terhadap penetrasi cairan. Kelenturan lembaran partisi adalah momen lengkung dalam kilogram gaya per sentimeter persegi (kg/cm²) yang diperlukan untuk melengkungkan lembaran panel dengan ukuran jarak tumpu tertentu pada sudut lengkung 90° sampai benda uji tersebut patah.

VII. BIOPLASTIK

Biodegradabel film merupakan bahan pengemas yang komponen penyusunnya terdiri atas bahan polietilen propilen dan biopolimer (protein atau karbohidrat). Menurut Seal (1994), biodegradable film merupakan suatu material polimer yang dapat berubah menjadi senyawa dengan berat molekul rendah. Paling sedikit satu tahap dalam proses degradasinya melalui metabolisme secara alami.

Tujuan pembuatan biodegradable film sebagai pengemas adalah untuk menghambat migrasi uap air, oksigen, karbondioksida, aroma dan lemak. Secara umum biodegradable film diartikan sebagai plastik pengemas yang didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Menurut Griffin (1994) dalam latief (2001) Biodegradable film adalah suatu bahan yang dalam kondisi tertentu, waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya sehingga mempengaruhi sifat-sifatnya karena pengaruh mikroorganisme.

Biodegradable film berasal dari bahan yang bersifat renewable. Plastik ini dapat dibuat dari bahan-bahan hasil pertanian yang melimpah, sehingga penggunaan bahan yang tidak renewable. Biodegradable film juga akan terurai dalam jangka waktu tertentu dengan bantuan udara dan matahari. Biodegradable film juga dapat dibuat dengan mengkombinasikan atau mencampurkan polimer alami dengan polimer sintetis.

Penggunaan Biodegradabel film sebagai pengemas produk makanan harus memenuhi syarat-syarat yang dikehendaki, menurut Guilbert dan Biquet (1996), ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu mempunyai sifat mekanik yang baik, cukup stabil, tidak toksit, teknologinya sederhana, fungsional dalam kondisi tertentu, mempunyai kekuatan larut dan terdispersi dalam penyimpanan.

Agar Biodegradabel film dapat memenuhi syarat sebagai pengemas harus terlebih dahulu diperhatikan beberapa hal, antara lain komponen hidrokoloid, lemak dan komposit.

Menurut Donhowe dan Fennema (1994), komponen utama penyusun biodegradabel film dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Kelompok Hidrokoloid

Kelompok ini meliputi : protein, derivat selulosa, alginat, pektin, pati dan polisakarida lain. Biodegradable film dari jenis hidrokoloid ini mempunyai kemampuan yang baik untuk melindungi produk dari oksigen, karbondioksida dan lemak, serta memiliki sifat mekanis yang mampu meningkatkan integritas struktural produk yang mudah rusak.

2. Kelompok Lemak

Kelompok lemak ini meliputi Wax, acylgliserol dan asam lemak. Penggunaan lemak sebagai bahan pembuatan biodegradable film sangat baik untuk melindungi produk dari migrasi uap, akan tetapi kelemahan penggunaan lemak ini adalah ketahanan dan integritas struktural yang dihasilkan sangat rendah.

3. Kelompok komposit

Merupakan gabungan dari dua macam komponen yaitu komponen hidrokoloid dan komponen lemak. Untuk mengatasi kelemahan-kelemahan yang ada maka dilakukan penggabungan antara kedua komponen dalam bentuk film komposit. Film komposit ini terdiri dari 2 lapisan dimana lapisan pertama berupa komponen hidrokoloid dan lapisan kedua berupa komponen lemak (Donhowe dan Fennema, 1994).

Ekstraksi selulosa dari batang kelapa sawit

Pembuatan bubuk selulosa dimulai dengan melakukan pengeringan serbuk batang kelapa sawit dibawah sinar matahari sampai kering (kadar air + 7-8%), selanjutnya diayak dengan menggunakan ayakan 45 mesh, sehingga didapatkan serbuk batang kelapa sawit yang lebih halus sebanyak 50 g serbuk kelapa sawit, kemudian dilarutkan dalam aquadest dengan perbandingan bahan dengan pelarut 1 : 25, kemudian diatur pHnya menjadi 12 dengan menggunakan larutan Sodium Hidroksida 25%, lalu diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer sampai homogen selama 30

menit, kemudian larutan tersebut didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang, setelah itu dipanaskan dengan Autoklaf dengan suhu 87-98°C selama 1 jam, kemudian dilakukan penyaringan dengan menggunakan kain saring, kemudian filtratnya dibuang lalu endapannya dilarutkan dalam aquadest dengan perbandingan bahan dengan pelarut 1 : 2, kemudian diatur pH nya menjadi 6,5 – 7,5 dengan H₃PO₄ 85%. Kemudian disaring dengan menggunakan kain saring, lalu filtratnya dibuang kemudian endapannya ditambahkan H₂O₂ 35% dengan perbandingan bahan dengan pelarut 0,115 : 1, lalu dipanaskan pada suhu 87 – 90°C selama 3 jam sambil dilakukan pengadukan, kemudian disaring dengan kertas saring, kemudian residu yang tertinggal di oven selama 24 jam pada suhu 70 - 78°C. Hasil pengeringan berupa selulosa kering.

Pembuatan derivat selulosa

Setelah didapatkan selulosa kering, kemudian diambil sebanyak 5 g lalu dialkalisasi dengan solven isopropanol 100 ml ditambah NaOH 15% sebanyak 20 ml selama 1 jam dengan suhu 25°C. Kemudian dikarboksimetilasi selama 3 jam pada suhu 55°C dengan menggunakan ClCH₂ COOHNa (Sodium Chloro asetat) sebanyak 7 g, lalu dinetralisasi dengan asam asetat 90 % sampai mencapai pH 7. setelah netral dicuci dengan etanol 70 % sebanyak 4x, kemudian disaring dengan kertas saring, filtratnya dibuang diambil ampasnya. Selanjutnya ampas dioven pada suhu 60°C selama 24 jam, kemudian didapatkan Na-CMC.

Pembuatan biodegradable film dari selulosa

Pembuatan biodegradable film dilakukan dengan cara melarutkan derivat selulosa (CMC) sebanyak dalam aquadest dengan volume 80 ml dan diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer supaya larutan homogen. Kemudian dipanaskan pada suhu 70°C, selanjutnya ditambahkan gliserol 0,3 gram, ditambahkan aquadest hingga volume 100 ml, lalu dipanaskan lagi sampai suhu 70°C, dan dipertahankan selama 5

menit. Larutan tersebut dituang dalam plat plastic dan dikeringkan pada suhu 50⁰C selama 18-24 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2008. Teknologi pengolahan kelapa sawit. Penerbit PPKS Medan
- Anonim, 2008. Buku saku pengelolaan limbah kelapa sawit. Penerbit PPKS Medan
- Crawford. J.H. 2000. Composting of Agricultural Waste. in Biotechnology Applications and Research, Paul N, Cheremisinoff and R. P.Ouellette (ed). p. 68-77.
- Isro'i. 2008. Pengomposan limbah padat organik. <http://isro'i.wordpress.com>
- Isroi, 2008. [Pemanfaatan-tkks-untuk-kompospupuk-organik-di-kebun-sawit/](http://isroi.wordpress.com)
<http://isroi.wordpress.com>
- Lastioro Anmi Tambunan, 2008. Industri kelapa sawit, bahan baku pakan ternak. <http://www.Trubus-online.co.id>
- Purwinda Iriani, 2009. Kajian Awal Biokonversi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Etanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Alkoholi. Tesis Program Studi Magister Bioteknologi SITH
- Rossi, E, dan N. Jamarun. 1997. Pengaruh penggunaan serat sawit dan bungkil inti sawit dalam ransum terhadap daya cerna bahan kenng, protein kasar dan retensi nitrogen pada domba lokal. . J. Peternakan dan Lingkungan 3 (3):19-24.
- Sinurat, A.P., T. Purwadaria, I.W. mathius, Tyasno, H. Hamid dan B.P. Manurung. 2005. Pengembangan Teknologi Fermentasi Limbah Sawit (ferlawit) untuk pakan ternak Skala Produksi Komersil. Laporan Hasil Penelitian. Kedasama antara Balai Penelitian Ternak - Ciawi & P.T. Agricinal -Bengkulu
- Yan Fauzi, Yustna Erna Widyastuti, dan Rudi hartono. 2008. Budidaya Pemanfaatan Hasil dan Limbah Analisis Usaha dan Pemasaran. Penebar Swadaya, Jakarta

Ngatirah

TEKNOLOGI PENANGANAN DAN PEMANFAATAN
LIMBAH KELAPA SAWIT



Penerbit

INSTITUT PERTANIAN STIPER YOGYAKARTA

Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta 55282
Telp. (0274) 885478 885479 Fax. (0274) 885479

www.instiperjogja.ac.id

ISBN : 978-602-61922-7-1

