

Kualitas Arang Kompos Limbah Industri Kertas dengan Variasi Penambahan Arang Serbuk Gergaji

The qualities of Compost Charcoal Manufactured from Paper-mill Waste with Varying Addition of Charcoal Sawdust

Sri Komarayati, Mustaghfirin dan Kurnia Sofyan

Abstract

The development of paper and pulp industry cause waste handling problem. A kind of waste that needs serious attention is sludge. Sludge handling by burning causes air pollution problem, while land filling need much more infestations and areas. Therefore, composting believed as the most effective way to handle sludge. The objective of this research is to increase sludge product utility and to know quality of compost charcoal from sludge. The materials used are sludge from PT Indah Kiat Pulp and Paper Tangerang, Banten, saw dust, saw dust charcoal, and particular bio- activators called OrgaDec were used to stimulate the decomposition of those materials. The methods used are total carbon, nitrogen, phosphor (P_2O_5), kalium (K_2O), magnesium (MgO), cation exchange capacity (CEC) and total Calcium (CaO). The best composting pH and temperature is treatment without charcoal addition. The treatment made pH and temperature goes down by charcoal addition. Analysis quality of compost charcoal show that charcoal addition will cause increasing of CEC and decreasing C/N ratio.

Key words: charcoal compost, sawdust, sludge.

Pendahuluan

Saat ini penanggulangan *sludge* di beberapa industri pulp dan kertas di Indonesia, sebagian besar hanya dibenamkan ke dalam tanah atau dibakar. Penanggulangan dengan cara ini mempunyai beberapa resiko, yaitu jika dibenamkan ke dalam tanah membutuhkan areal yang luas, sedangkan jika dibakar memerlukan biaya yang cukup besar dan dapat mencemari udara. *Sludge* masih mempunyai kandungan bahan organik yang cukup tinggi, sehingga *sludge* dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik (Carter 1983 dan Alton 1991 dalam Rina *et.al.* 2002). Pengomposan dipandang sebagai alternatif penanganan yang paling baik, karena di samping tidak mencemari lingkungan, juga menghasilkan produk yang bermanfaat dengan investasi yang relatif murah. Karakteristik dari *sludge* adalah bersifat menyerap air, sehingga jika *sludge* ditumpuk pada saat proses pengomposan, rongga udara yang tercipta akan sedikit. Kondisi ini mengganggu proses pengomposan sehingga perlu bahan lain untuk menanggulangnya. Pada penelitian ini digunakan serbuk gergaji sebagai bahan pencampur. Untuk mempercepat proses pengomposan dan meningkatkan kualitas kompos, maka perlu dilakukan penelitian pengaruh pemberian arang terhadap pengomposan. Tujuan penambahan arang pada proses pengomposan, selain meningkatkan kualitas kompos tersebut, juga diharapkan dengan adanya arang akan menambah jumlah dan aktivitas mikro-organisme yang berperan sehingga proses dekomposisi dapat berlangsung lebih cepat. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan

pemanfaatan *sludge* menjadi produk arang kompos dan mengetahui kualitas arang kompos dari *sludge*.

Bahan dan Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan kompos yang digunakan adalah *sludge* yang merupakan limbah industri dari PT. Indah Kiat Pulp dan Paper Tangerang, Banten, serbuk gergaji, dan arang serbuk gergaji. Sebagai pemacu proses pengomposan digunakan *Organic Decomposer* (OrgaDec). Bahan kimia yang digunakan untuk analisis kadar lignin yaitu alkohol 95%, benzen, air panas, kertas saring, asam sulfat 72%, es, dan air suling berdasarkan TAPPI T13 iod-74 (Anonim 1993). Analisis kualitas arang kompos mengacu pada beberapa standar. Kadar karbon (C) total (Harjadi *et.al.* 1974), kadar nitrogen (N) (Sukmana 1983), kadar pospor (P_2O_5), kalium (K_2O), MgO , dan kapasitas tukar kation (KTK) (Anonim 2002) dan CaO total (Saeni dan Latifah 1990).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas alat pengomposan, seperti bak pengomposan, karung, sekop, timbangan. Alat pengamatan selama pengomposan, seperti termometer, hygrometer, dan pH tester. Alat analisis lignin, seperti timbangan, blender, cawan berpori G2, tabung ekstraksi soklet, pengisap, gelas piala 500 ml, cawan penyaring, oven, pengaduk, erlemeyer 1000 ml, alat pemanas dan eksikator, serta alat analisis mutu arang kompos.

Metode Penelitian

Sebelum dilakukan pengomposan, terlebih dahulu dilakukan analisis kandungan *sludge* sebagai bahan baku utama untuk mengetahui kandungan rasio C/N dan unsur hara lainnya. Pengomposan dilakukan dengan mencampur bahan-bahan yang akan dikomposkan yaitu *sludge* 100 kg, serbuk gergaji 10 Kg, dan berbagai perlakuan penambahan arang yaitu 0 kg (perlakuan 1), 10 kg (perlakuan 2), 20 kg (perlakuan 3), dan 30 kg (perlakuan 4). Pada masing-masing perlakuan diberi starter OrgaDec 10 kg. Sebelum campuran bahan ditumpuk, ditambahkan air secukupnya untuk meningkatkan kelembaban campuran. Masing-masing perlakuan dihitung kadar airnya untuk mengetahui kadar air awal. Campuran bahan ditumpuk pada bak dengan ukuran panjang 95 cm, lebar 68 cm, dan tinggi 100 cm. Penumpukan diusahakan tidak terlalu padat sehingga ada ruang untuk keluar masuk udara. Pada bagian atas tumpukan ditutup dengan karung atau lembaran plastik warna hitam untuk mengurangi penguapan yang berlebihan. Setiap hari dilakukan pengamatan suhu, pH, dan kelembaban udara. Pada 10 hari pertama pengomposan, suhu akan meningkat. Jika suhu sudah tidak meningkat, maka dilakukan pengadukan dan peningkatan kelembaban dengan menambahkan air secukupnya. Proses pengadukan diperlukan untuk meratakan kontak substrat (*sludge*, arang, dan serbuk gergaji) dengan mikroba, serta menjaga kondisi kadar air, dan kontak tumpukan massa dengan udara. Pengadukan dilakukan secara teratur yaitu 2 minggu sekali. Penambahan air dilakukan untuk menjaga kelembaban agar mikro-organisme dapat bekerja secara maksimal, tetapi juga tidak boleh terlalu basah karena air yang terlalu banyak akan menutup rongga-rongga dan menyebabkan pengomposan menjadi terhambat. Analisis mutu kompos dilakukan pada akhir proses pengomposan meliputi kandungan C organik, N total, rasio C/N, kadar P₂O₅, kadar K₂O, kadar CaO, kadar MgO, pH, kadar air, KTK, dan unsur logam berat Pb, Zn dan Cd.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Bahan Baku

Hasil analisis bahan baku menunjukkan bahwa *sludge* memiliki rasio C/N cukup rendah yaitu 19.40 (Tabel 1). Bahan baku dengan rasio C/N 19.40 tidak akan membutuhkan waktu yang lama untuk menguraikannya. Kandungan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman seperti P₂O₅, K₂O, MgO dan CaO juga relatif tinggi. Logam berat yang terkandung rendah bila dibandingkan dengan logam berat dalam *sludge* pada pembuatan pupuk organik yang dilakukan oleh Komarayati dan Pasaribu (2005). Sedangkan pH netral.

Table 1. Nutrients in *sludge*.

Parameter	Value
pH (1 : 1)	7.10
Moisture content 105°C, %	23.42
C organik, %	14.36
N total, %	0.74
C/N ratio	19.40
P ₂ O ₅ total, %	0.64
CaO total, %	0.32
MgO total, %	0.16
K ₂ O total, %	1.4
Pb, ppm	0.06
Zn, ppm	0.12
CD, ppm	0.01
Lignin, %	3.29

Kandungan lignin dalam *sludge* sangat kecil yaitu 3.29%. Nilai inipun bukan semuanya lignin kayu yang ada pada bahan bakunya. Bahan baku berasal dari limbah pembuatan kertas dengan bahan baku pulp, sehingga sangat dimungkinkan adanya bahan-bahan kimia seperti lignosulfat yang tertinggal dalam *sludge*. Bahan-bahan kimia ini teridentifikasi sebagai lignin.

Kelemahan ini dapat diatasi dengan penambahan serbuk gergaji dalam campuran bahan baku arang kompos. Serbuk gergaji memiliki kadar lignin yang cukup tinggi, sehingga dapat menutupi kekurangan kandungan lignin dari *sludge*.

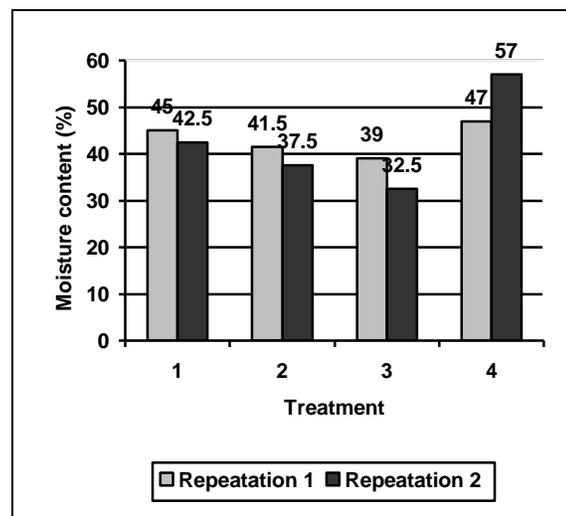


Figure 1. Moisture content before composting.

Remarks:

- 1: without added charcoal
- 2: with added charcoal 10 kg
- 3: with added charcoal 20 kg
- 4: with added charcoal 30 kg

Pada Gambar 1 terlihat bahwa kadar air awal pengomposan tidak semua berada diatas 40% yaitu pada perlakuan 2 dan perlakuan 3. Kadar air yang optimal untuk proses pengomposan sekitar 40% ~ 60%. Keadaan ini menyebabkan proses dekomposisi yang terjadi tidak berjalan dengan baik. Oleh karena itu pada pengadukan pertama ditambahkan air untuk meningkatkan kadar air tumpukan.

Perubahan Suhu pada Proses Pengomposan

Pengukuran suhu dilakukan setiap hari selama pengomposan untuk mengetahui lancar tidaknya proses pengomposan. Gambar 2 menunjukkan hasil pengamatan suhu saat proses pengomposan.

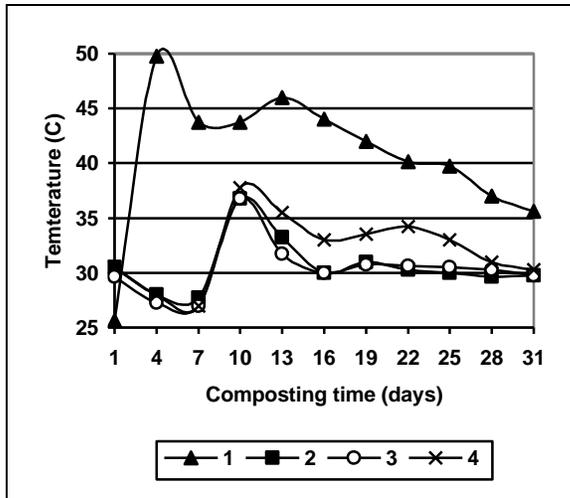


Figure 2. Composting temperature.
Remarks: see Figure 1

Pengamatan suhu pada proses pengomposan menunjukkan bahwa suhu kompos sangat bervariasi dari 25.56°C ~ 49.38°C dengan suhu rata-rata 35.68°C. Kenaikan suhu pada awal proses pengomposan menandakan bahwa proses pengomposan berjalan dengan baik.

Faktor yang menyebabkan rendahnya suhu rata-rata proses pengomposan adalah tumpukan yang terlalu pendek yaitu 30 cm ~ 70 cm. Tumpukan yang terlalu pendek menyebabkan panas cepat menguap yang disebabkan karena tidak ada bahan material yang digunakan untuk menahan panas dan menghindari pelepasan panas. Menurut Murbandono (2002), suhu ideal untuk proses pengomposan adalah 40°C ~ 50°C.

Rendahnya suhu yang dicapai perlakuan dengan penambahan arang, adalah akibat dari sifat arang yang menyimpan air. Pada akhir pengomposan suhu kompos mulai mendekati suhu lingkungan yaitu sekitar 25°C ~ 30°C.

Perubahan Derajat Keasaman

Kompos tanpa penambahan arang memiliki rata-rata pH 6.65; lebih tinggi dibanding kompos dengan penambahan arang. Makin banyak penambahan arang ke dalam campuran bahan baku, makin rendah nilai keasamannya.

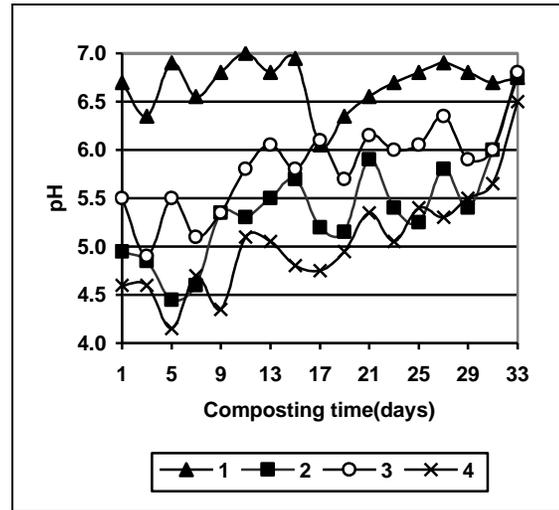


Figure 3. Composting pH
Remarks: see Figure 1

Pada Gambar 3 tidak terlihat adanya kenaikan nilai pH. Hal ini terjadi karena perubahan pH dipengaruhi oleh aktifitas mikro-organisme di dalam tumpukan. Pada proses pembuatan arang kompos, penambahan arang dapat merangsang berkembang biak mikro-organisme (Komarayati dan Indrawati 2003). Supriyanto (2002) menyatakan bahwa kondisi pH optimum untuk pertumbuhan bakteri pada umumnya antara 6.0 ~ 7.5 dan 5.5 ~ 8.0 untuk *fungi*. Dalam proses selanjutnya mikro-organisme jenis lainnya akan mengubah asam organik tersebut, menghasilkan gas CO₂ dan senyawa-senyawa volatil lain serta kation-kation basa sebagai hasil dari mineralisasi bahan organik sehingga menyebabkan nilai pH naik kembali.

Kelembaban Udara

Perubahan kelembaban udara di sekitar tempat pengomposan dapat mempengaruhi perubahan suhu di dalam tumpukan kompos. Tetapi pada perlakuan dengan penambahan arang, perubahan kelembaban tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan suhu pengomposan. Walaupun dalam kondisi hujan, dimana kelembaban udara di tempat pengomposan mencapai 100%, suhu tumpukan kompos tidak mengalami perubahan yang nyata.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa korelasi antar kelembaban dan suhu memiliki nilai negatif. Nilai ini dapat diartikan kelembaban makin naik pada ruang

pengomposan diikuti dengan penurunan suhu pengomposan. Penurunan yang nyata terjadi pada perlakuan tanpa penambahan arang, sedangkan pada perlakuan dengan penambahan arang penurunan yang terjadi tidak cukup nyata. Hal ini disebabkan peranan arang yang menjaga kestabilan suhu, sehingga walaupun kelembaban udara naik turun, suhu pengomposan tidak banyak terpengaruh (Komarayati *et al.* 2002).

Table 2. Corelation value between relative humiduty and temperature.

Treatment	Coefficient of Corelation	P-Value
1	-0.289	0.019
2	-0.136	0.277
3	-0.046	0.716
4	-0.240	0.053

Rasio C/N

Salah satu kriteria untuk mengukur kematangan kompos adalah rasio C/N. Rasio C/N yang paling baik untuk tanah adalah 10 ~ 20 (Murbandono 2002). Selama proses pengomposan, bakteri penghancur akan menggunakan N untuk berkembang biak. Oleh karena itu bahan yang mengandung rasio C/N tinggi, proses pengomposannya akan lama, karena rasio C/N harus diturunkan hingga mendekati rasio C/N tanah.

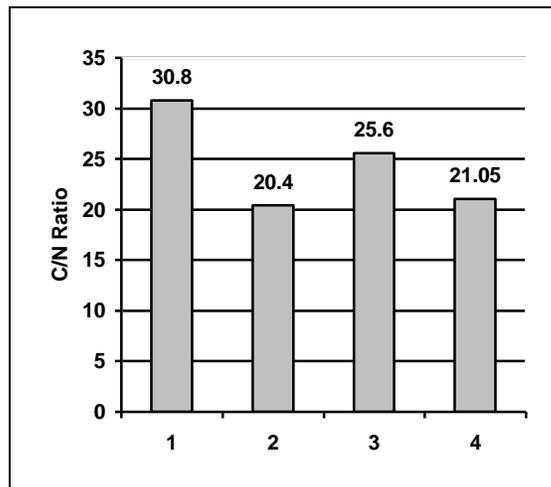


Figure 4. Treatment effects to C/N ratio of compost charcoal.

Remarks: see Figure 1

Pada Gambar 4 terlihat bahwa perlakuan pertama yang tanpa penambahan arang memiliki rasio C/N yang masih tinggi yaitu 30.80. Penambahan arang ternyata menambah unsur C ke dalam bahan baku kompos, sehingga rasio C/N awal menjadi sangat tinggi. Tetapi penambahan arang mampu menurunkan rasio C/N jauh

lebih cepat dibanding dengan bahan baku yang tanpa penambahan arang.

Perbedaan diakibatkan oleh penambahan arang dapat mempercepat proses pengomposan sehingga rasio C/N cepat turun. Tetapi penambahan arang juga menyebabkan rasio C/N bertambah, karena adanya penambahan C ke dalam bahan kompos. Pada perlakuan ke 3, penambahan arang menyebabkan rasio C/N naik dan kecepatan untuk menurunkan rasio C/N masih rendah, sehingga rasio C/N masih relatif tinggi dibanding dengan perlakuan ke 2 dan ke 4.

Kapasitas Tukar Kation

Parameter lain yang biasa digunakan untuk mengukur tingkat kematangan kompos adalah kapasitas tukar kation (KTK). KTK diperlukan oleh tanaman untuk mengikat unsur hara lainnya seperti Ca dan Mg.

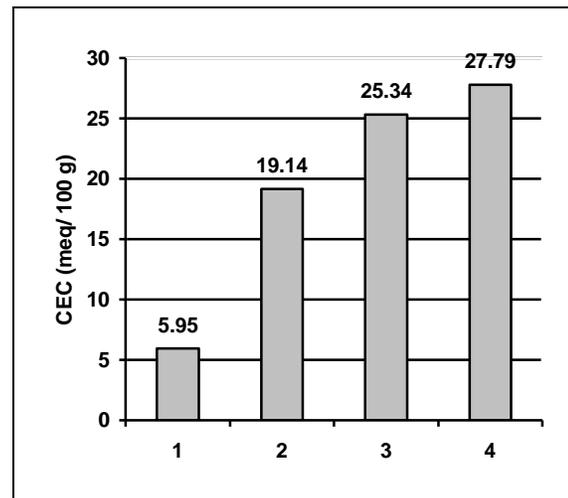


Figure 5. Treatment effects to Cation Exchange Capacity CEC ratio of compost charcoal.

Remarks: see Figure 1

Nilai KTK dari percobaan berkisar antara 5.94 sampai dengan 27.79 meq/100g. Hasil analisis menunjukkan nilai KTK tertinggi ada pada perlakuan ke 4 (27.79 meq/100 g).

Nilai KTK yang rendah ini terjadi karena kompos belum matang. Kompos yang telah matang akan memiliki KTK mendekati 100meq/100g (Murbandono 2002). Perbedaan KTK dalam kompos disebabkan karena perbedaan humus yang terbentuk akibat dekomposisi bahan organik selama pengomposan.

Kualitas Arang Kompos

Arang kompos yang baik mempunyai pH netral, yaitu mendekati 7. SNI memberi batasan pH kompos antara 6.8 ~ 7.49 (BSN 2004). Kondisi pH yang terlalu rendah (asam) akan membuat unsur hara makro tidak

Table 2. Nutrients of compost charcoal.

Parameter	Treatment				Guidelines**			SNI***	
	1	2	3	4	Low	Middle	High	Min	Max
pH (1 : 1)	7.25	6.95	7.20	7.05	6.60	7.30	8.20	6.8	7.49
Moisture content, %	28.93	29.00	27.70	25.40	24.90	35.90	52.60	-	50
C organik, %	20.94	9.18	13.19	13.87	14.50	19.60	27.10	9.8	32
N total, %	0.68	0.45	0.52	0.66	0.60	1.10	2.10	0.4	-
C/N ratio	30.80	20.40	25.60	21.05	<10	10-20	>20	10	20
P ₂ O ₅ total, %	0.68	0.34	0.42	0.50	0.30	0.90	1.80	0.1	-
CaO total, %	0.34	0.20	0.21	0.30	2.70	4.90	6.20	-	-
MgO total, %	0.21	0.25	0.24	0.30	0.30	0.70	1.60	-	-
K ₂ O total, %	1.46	1.40	1.09	2.00	0.20	0.60	1.40	0.20	*
KTK, meq/100g	5.95	19.14	25.34	27.79	20.10	30.00	45.00	-	-
Pb, ppm	0.05	0.03	0.04	0.05	-	-	-	*	150
Zn, ppm	0.12	0.18	0.21	0.35	513	1570	2015	*	500
Cd, ppm	0.01	Tu	Tu	Tu	-	-	-	*	3

Remarks: * = the value lower than minimum or smaller than maximum; ** = Guidelines for assessing the nutrient in compost (Anonim 2000); *** = Indonesian National Standard 19-7030-2004; Tu = not measurement.

dapat diserap tanaman, bahkan sebaliknya unsur hara mikro akan tersedia dalam jumlah yang berlimpah. Kelebihan unsur hara mikro dan kekurangan unsur hara makro akan sangat merugikan tanaman. Kondisi pH yang terlalu tinggi (basa) juga akan merugikan tanaman, karena unsur hara mikro menjadi tidak tersedia dan unsur hara makro berlimpah.

Kondisi pH arang kompos menunjukkan bahwa perlakuan tanpa penambahan arang memiliki pH yang paling tinggi disusul dengan perlakuan dengan penambahan arang 20 kg. Walaupun demikian, perbedaan ini tidak terlalu berpengaruh terhadap kualitas arang kompos yang dihasilkan, karena semua perlakuan memiliki pH yang mendekati 7 (netral). Kandungan pH semua perlakuan telah memenuhi SNI (BSN 2004).

Kadar air tidak berpengaruh secara langsung terhadap kualitas arang kompos, tetapi mempengaruhi penanganan arang kompos berikutnya seperti penyimpanan dan aplikasi akhir. Kadar air yang terlalu tinggi menyebabkan arang kompos tidak bisa disimpan lama karena ada resiko diserang oleh jamur dan cendawan. Jamur dan cendawan ini akan menurunkan kualitas arang kompos, bahkan dapat merubah kompos menjadi beracun.

Kadar air arang kompos hasil penelitian berada pada kisaran 25.40% ~ 29.00%. Kadar air ini telah memenuhi standar yang ditetapkan SNI yang mensyaratkan kadar air kompos maksimal adalah 50%. Kondisi kadar air yang kecil menunjukkan bahwa arang kompos hasil penelitian dapat diaplikasikan dengan aman dan dapat disimpan dalam waktu yang cukup lama.

Unsur Hara Makro Primer

N adalah salah satu unsur yang keberadaannya sangat dibutuhkan oleh tanaman. Hasil analisis menunjukkan percobaan tanpa penambahan arang memiliki kandungan N paling tinggi dibanding dengan percobaan dengan penambahan arang. Pada percobaan dengan penambahan arang, makin tinggi penambahan arang makin tinggi pula kandungan N.

SNI mensyaratkan kandungan N total di dalam kompos minimal 0.4%. Semua hasil percobaan memiliki kandungan N diatas 0.4%, sehingga dapat disimpulkan semua perlakuan dalam percobaan memenuhi SNI (BSN 2004).

Percobaan tanpa penambahan arang memiliki kandungan P₂O₅ tertinggi (0.68%) dibanding dengan percobaan dengan penambahan arang. Hasil analisis laboratorium menunjukkan, makin banyak penambahan arang pada bahan kompos, tidak diikuti dengan makin tinggi kandungan unsur P₂O₅. Syarat minimal kandungan unsur P₂O₅ yang terdapat pada kompos menurut SNI adalah 0.1%.

Kandungan unsur K₂O terendah pada perlakuan ke 3 (1.09%) dan kandungan tertinggi pada perlakuan ke 4 (2.00%). Jika dibandingkan dengan SNI, yang mensyaratkan kandungan K₂O minimal yang harus ada pada kompos 0.2%, maka arang kompos hasil percobaan berada di atas standar.

Unsur Hara Makro Sekunder

Selain unsur hara makro primer (N, P, K), tanaman juga membutuhkan unsur sulfur (S), Ca, dan Mg. Menurut Leiwakabessy *et al.* (2003), Ca sangat dibutuhkan oleh tanaman tingkat tinggi untuk pembentukan pucuk dan ujung-ujung akar. Kekurangan unsur ini dapat mengganggu pembentukan protein.

Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan arang 30 kg tidak memberikan perbedaan bila dibandingkan dengan perlakuan tanpa penambahan arang. Mengacu pada pengharkatan hara kompos dari BIOTROP (Anonim 2000), semua perlakuan percobaan termasuk dalam harkat rendah (0.20% ~ 0.34%).

Unsur Hara Mikro

Tanaman juga membutuhkan unsur-unsur hara lainnya selain unsur hara makro primer. Unsur ini terdiri atas 7 unsur, yaitu besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), boron (B), molibdenum (Mo), dan klor (Cl). Unsur-unsur ini biasa disebut unsur hara mikro sekunder. Penelitian ini hanya menganalisa satu unsur hara mikro, yaitu Zn. Zn dalam kadar kecil dapat bersifat racun.

Kandungan Zn dalam arang kompos hasil penelitian telah memenuhi SNI. Walau demikian kandungan Zn dalam arang kompos masih terlalu kecil. Menurut Leiwakabessy *et.al.* (2003), kadar normal Zn dalam bahan kering berkisar antara 25 ~ 150 ppm, kurang dari 25 ppm tanaman akan kekurangan Zn dan bila lebih dari 400 ppm tanaman akan keracunan.

Kandungan Logam Berat

Hasil analisis kualitas arang kompos menghasilkan kandungan timbal (Pb) dalam arang kompos hasil penelitian berkisar antara 0.02 ~ 0.05 ppm sedangkan kadmium (Cd) 0.01 untuk perlakuan tanpa penambahan arang dan untuk perlakuan dengan penambahan arang nilai kadmium di dalam arang kompos sangat kecil (tidak terukur). Uji sidik ragam terhadap timbal menunjukkan adanya perbedaan yang nyata. Perbedaan terjadi pada perlakuan 1 (0.05 ppm) dengan perlakuan 2 (0.02 ppm). Nilai ini masih jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh SNI yaitu 150 ppm.

Aplikasi arang kompos hasil penelitian ini telah dicoba sebagai campuran media tanam anakan *Shorea* sp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase kematian tanaman anakan yang ditanam pada kompos tanpa penambahan arang sangat tinggi, sedangkan anakan yang ditanam pada kompos dengan penambahan arang tumbuh dengan subur/persentase kematian tanaman sangat rendah.

Kesimpulan dan Saran

1. *Sludge* limbah industri pulp dan kertas dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku arang kompos.
2. Penambahan arang ke dalam campuran kompos dapat mempercepat proses dekomposisi selama pengomposan.
3. Kualitas arang kompos terbaik adalah arang kompos dengan penambahan arang 30 kg (perlakuan 4).

4. Arang kompos hasil penelitian, telah memenuhi standar mutu SNI 19-7030- 2004, kecuali rasio C/N.

Daftar Pustaka

- Anonim. 1993. TAPPI Test Method. Atlanta, Georgia.
- Anonim. 2000. Pedoman Pengharkatan Hara Kompos. BIOTROP. Bogor.
- Anonim. 2002. Pengembangan Industri Pedesaan di Sekitar Hutan Tanaman Industri di Indonesia. Seameo-Biotrop Bogor.
- Badan Standarisasi Nasional [BSN]. 2004. Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. SNI 19-7030-2004.
- Harjadi, W; S. Saeni; H. Adijuwana; E. Djohan. 1974. Penuntun Praktikum Kimia Analitik. Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi. IPB. Bogor.
- Komarayati, S; Gusmailina; G. Pari. 2002. Pembuatan dan Pemanfaatan Arang Kompos. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI V. Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan, tanggal 30 Agustus - 1 September 2002 di Bogor. pp 525 - 530.
- Komarayati, S; Gusmailina; G. Pari.. 2002. Peranan Arang pada Pembuatan Arang Kompos. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI V. Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan, tanggal 30 Agustus - 1 September 2002 di Bogor. pp 521 - 524.
- Komarayati, S. dan I. Indrawati. 2003. Isolasi dan Identifikasi Mikroorganisme dalam Arang Kompos. Buletin Penelitian Hasil Hutan. (21) 2: 251-258. Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan. Bogor.
- Leiwakabessy, F.M.; A. Sutandi; Wahyudin. 2003. Diktat Kuliah Kesuburan Tanah. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian IPB. Bogor.
- Murbandono, H.S. 2002. Membuat Kompos. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Rina, S.S.; S. Purwati; H. Hardiani; A. Surahman. 2002. Pengaruh Kompos dari Limbah Lumpur IPAL Industri Kertas terhadap Tanaman dan Tanah. Prosiding Seminar Teknologi Selulosa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa, 22 Oktober 2002 di Bandung.
- Saeni, S.M. dan D. Latifah. 1990. Panduan Praktikum Kimia Lingkungan. Jurusan Kimia.FMIPA IPB. Bogor.
- Sukmana, S. 1983. Evaluation of Unite Process in the Composting of City Waste. Fakulteit Van de Landbouwwetenschafen Laboratory Voor Bodenu Fysica. Boden conditioner an Tuinbouwbodem kunde.
- Supriyanto, A. 2001. Aplikasi Wastewater Sludge untuk Proses Pengomposan Serbuk gergaji. <http://sinergy-forum.net/zoa/paper/html/paperAgusSupriyanto.html> [2 Agustus 2005].

Makalah masuk (*received*) : 15 Maret 2007
Diterima (*accepted*) : 18 Mei 2007
Revisi terakhir (*final revision*) : 30 Mei 2007

Sri Komarayati
Pusat Penelitian Hasil Hutan
(*Research and Development Centre for Forest Products*)
Jl. Gunung Batu. PO.Box 182, Bogor
Tel. : 0251-633378
Fax. : 0251-633413.

Kurnia Sofyan dan Mustaghfirin
Laboratorium Kimia Hasil Hutan, Jurusan Teknologi Hasil Hutan,
(*Chemistry Laboratory, Dept of Forest Products Technology*)
Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
(*Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University*)
Kampus IPB Darmaga, PO Box 168, Bogor 16001
Tel. : 0251-621285; 621677
Fax. : 0251-621285; 621256