

# POTENSI DAN ALTERNATIF PEMANFAATAN LIMBAH PADAT INDUSTRI PULP DAN KERTAS

Sri Purwati\*, Rina S. Soetopo, Setiadji, Yusup Setiawan  
\* Staf Peneliti Bidang Lingkungan , Balai Besar Pulp dan Kertas

## POTENCY AND UTILIZATION ALTERNATIVES OF PULP AND PAPER INDUSTRY SOLID WASTE

### ABSTRACT

*Set of problems in solid waste management faced by pulp and paper industry has motivated to be carried out various investigations to find out solid waste management which is effective and efficient. Solid waste utilization is one of alternatives in environmental management which is required to be developed due to the economic values obtained and the created of healthy and clean environment.*

*An assessment to know the characteristics of hazardous pollutant identified in the solid waste of pulp and paper industry was carried out. The assessment of potency and the utilization feasibility of sludge waste from wastewater treatment plant and ash waste from power boiler to be a product resulting added value was also studied both the technical aspect and the environmental risk.*

*Results show that the characteristics of sludge waste from wastewater treatment plant and ash waste from power and incinerator were not identified as hazardous waste and based on TCLP and on-waste testing results, it can be piled in the light landfill category. Sludge waste from wastewater treatment plant has potency to be utilized as compost without causing the pollution indication into soil and soil water. Other utilization as boiler fuel, it has also prosperous potency, yet the design of equipment to handle the high water content is required to be considered. Ash waste from power boiler could also be utilized as clay mixture in brick making. The quality of brick product was fulfilling Indonesian national brick quality standard and it is safe for environment.*

Keywords: Solid waste, hazardous waste, compost, ash, brick, boiler fuel

### INTISARI

*Permasalahan pengelolaan limbah padat yang dihadapi oleh industri pulp dan kertas telah mendorong dilakukannya berbagai penelitian untuk mencari solusi pengelolaan yang efektif dan efisien. Pemanfaatan limbah merupakan alternatif pengelolaan lingkungan yang perlu dikembangkan mengingat nilai ekonomi yang diperoleh dan terciptanya lingkungan yang bersih dan sehat.*

*Suatu kajian untuk mengetahui karakteristik adanya identifikasi cemaran B3 terhadap limbah padat industri pulp dan kertas telah dilakukan. Pengkajian atas hasil beberapa penelitian untuk mengetahui potensi dan kelayakan pemanfaatan limbah padat dari Lumpur IPAL dan abu pembakaran power boiler menjadi produk bernilai ekonomi telah dirumuskan pula dengan meninjau aspek teknis dan lingkungannya.*

*Hasil kajian menunjukkan bahwa karakteristik limbah padat Lumpur IPAL dan abu pembakaran dari power boiler dan insinerator tidak mengidentifikasikan sebagai limbah B3, sehingga didalam pengelolaannya berdasarkan hasil uji on-waste dan TCLP dapat ditimbun dalam landfill kategori ringan. Kajian terhadap potensinya menunjukkan bahwa Lumpur IPAL potensial dimanfaatkan sebagai produk kompos tanpa menyebabkan indikasi pencemaran tanah dan air tanah. Sedangkan pemanfaatannya sebagai bahan bakar boiler uap cukup potensial pula, namun perlu dipertimbangkan rancangan peralatan untuk menangani masalah tingginya kadar air. Kajian terhadap abu pembakaran menunjukkan potensinya untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi ( 60%) pada pembuatan produk bata merah dengan kualitas cukup memenuhi persyaratan SNI dan tanpa menimbulkan resiko terhadap lingkungan.*

Kata kunci: limbah padat, limbah B3, pemanfaatan, kompos, bata merah, bahan bakar

## PENDAHULUAN

Perkembangan industri pulp dan kertas mempunyai prospek cukup cerah, dan mempunyai peranan yang strategis sebagai komoditi ekspor andalan di sektor non-migas. Namun konsekuensinya adalah implikasi dari kegiatan industri akan diikuti oleh penurunan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran dari limbah yang dihasilkan. Mengingat pentingnya dampak akibat kegiatan industri pada lingkungan, berbagai peraturan telah ditetapkan yang tujuannya agar pembangunan industri senantiasa memperhitungkan aspek lingkungan di dalam segala kegiatan operasionalnya.

Sejalan dengan makin terbukanya pasar dunia, tekanan lingkungan makin kuat dan menjadi tuntutan pasar. Industri dalam memperluas pasar bagi produknya harus bersaing kuat untuk menghasilkan produk sebanyak-banyaknya dan membuang sedikit mungkin limbah, yaitu yang lebih dikenal sebagai "eko-efisiensi". Dengan eko-efisiensi berarti teknologi proses produksi menjadi lebih efisien karena dengan cara mendaur-ulang dan memanfaatkan bahan sisa atau limbah, biaya produksi dapat diturunkan, dan tercipta pula lingkungan yang bersih dan sehat.

Industri pulp dan kertas telah diketahui sebagai penghasil limbah padat yang jumlahnya cukup besar berasal dari berbagai unit produksi, di antaranya meliputi:

- Bahan sisa (residu) dari Unit Penyediaan Bahan Baku Kayu, seperti kulit dan serbuk kayu
- Bahan sisa dan limbah padat dari Unit CRP, seperti kapur dan dreg
- Limbah padat abu hasil pembakaran dari unit *power plant*, yang dikenal sebagai *fly ash* dan *bottom ash*
- Limbah lumpur dari unit pengolahan air limbah (IPAL)

Di industri pulp dan kertas, pemanfaatan bahan sisa seperti kulit dan serbuk kayu sebagai bahan bakar di unit *power boiler* telah banyak dilakukan, namun untuk limbah padat lainnya, seperti lumpur IPAL maupun abu hasil pembakaran selama ini hanya ditimbun. Pengelolaan limbah dengan metoda landfill belum merupakan penyelesaian masalah,

keterbatasan lahan dan cara pe-ngendalian terhadap terkontaminasinya tanah dan air tanah oleh limbah masih merupakan permasalahan yang perlu penyelesaian.

Pengelolaan limbah padat dapat di-bedakan atas dua klasifikasi, yaitu sebagai limbah padat yang termasuk kategori limbah B3 dan limbah padat non-B3. Pedoman pengelolaan limbah padat B3 telah diatur dalam PP. No. 18 Tahun 1999 dan perubahannya dalam PP. No. 85 Tahun 1999, sedangkan untuk limbah padat non-B3 sedang dikaji perumusannya. Pada prinsipnya, baik yang termasuk limbah B3 ataupun non-B3, keduanya memerlukan pengelolaan yang berorientasi kepada tujuan menghilangkan risiko terhadap penurunan kualitas lingkungan. Pengelolaan lingkungan dengan metoda pemanfaatan limbah merupakan alternatif yang perlu dikembangkan dengan didasarkan atas potensi dan nilai tambah yang diperoleh.

Penyebaran informasi mengenai potensi dan alternatif pemanfaatan limbah padat yang dapat dilakukan oleh industri sangat di-perlukan. Oleh karenanya, perlu dilakukan kajian teknis mengenai teknologi pemanfaatan limbah padat industri pulp dan kertas tanpa risiko lingkungan dan bernilai ekonomi. Hal ini akan membantu pihak industri dalam menentukan strategi pengelolaan lingkungan yang diselaraskan dengan program pengembangan masyarakat dan pemberdayaan potensi daerah setempat.

Kajian ini disusun dengan tujuan menyebarluaskan hasil dari beberapa kegiatan penelitian yang sudah dilakukan. Kajian diawali dengan merumuskan data-data pengujian yang diperoleh sebagai data primer dan sekunder untuk mengklasifikasikan sumber dan karakteristik limbah padat yang dihubungkan dengan identifikasi adanya cemaran limbah B3 dan potensi pemanfaatannya. Potensi dan teknologi proses pemanfaatan limbah dirumuskan dari hasil beberapa penelitian berdasarkan tinjauan aspek teknis dan lingkungan.

Di dalam tulisan ini, pembahasan yang dilakukan bersifat sebagai panduan teknis, mengingat bahwa karakteristik limbah padat dari suatu industri relatif berbeda sehingga masing-masing memerlukan penanganan yang lebih spesifik. Namun demikian, kajian yang disampaikan dapat dijadikan pedoman awal, baik

bagi pihak industri maupun pengguna lainnya untuk menentukan alternatif yang dipilih dalam memanfaatkan limbah padatnya.

## SUMBER DAN KARAKTERISTIK LIMBAH PADAT INDUSTRI PULP DAN KERTAS

### Sumber dan Jumlah Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas

Limbah padat yang dihasilkan dari industri pulp dan kertas bervariasi jenisnya, tergantung dari unit proses dimana limbah tersebut terbentuk. Sumber dan jenis limbah padat industri pulp dan kertas secara umum dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari beberapa jenis limbah padat tersebut, yang jumlahnya besar dan menimbulkan permasalahan lingkungan adalah lumpur dari unit IPAL dan abu hasil pembakaran dari unit *power plant*.

#### Lumpur IPAL

Limbah padat yang dihasilkan dari IPAL jumlah dan sifatnya tergantung pada besarnya beban pencemaran air limbah yang diolah, proses pengolahan yang digunakan, dan peralatan pengolah lumpur yang digunakan. Limbah padat lumpur dibedakan atas lumpur primer dan lumpur sekunder yang kadar airnya masih cukup tinggiantara 60-80%. Lumpur primer terbentuk dari pengolahan proses fisika-kimia, sedangkan lumpur sekunder berasal dari pengolahan biologi yang sifatnya lebih sulit dipisahkan dan dipress (Allan, 1993).

Gambaran tentang jumlah lumpur IPAL yang dihasilkan dari industri pulp dan kertas dapat dibedakan atas tiga kelompok industri seperti terlihat pada Tabel 2. Perhitungan jumlah lumpur didasarkan atas data yang diperoleh dari hasil survai di berbagai industri pulp dan kertas di Indonesia (Purwati, 2001)

Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa jumlah lumpur dari kelompok industri pulp dan kertas terpadu lebih besar dari air limbah kertas. Untuk kelompok industri kertas bahan baku pulp umumnya pengolahan air limbahnya menggunakan proses biologi sehingga lumpur yang terbentuk lebih sedikit, namun sulit diproses sehingga kadar air lumpur relatif lebih tinggi (BBS, 1996)

#### Limbah Padat Abu Pembakaran

Limbah padat abu yang dihasilkan dari unit *power plant* pada industri pulp dan kertas jumlahnya tergantung dari jenis bahan yang dibakar dan teknologi pembakaran yang digunakan (Nancy, 1990).

Industri pulp dan kertas termasuk industri yang membutuhkan energi cukup besar untuk proses produksinya. Abu yang dihasilkan dari unit pengadaan energi dengan bahan bakar non batu bara berkisar antara 0,5-2,0% dari kapasitas produksi (Carl, 1990) Jumlah yang cukup besar ini dapat menimbulkan permasalahan bila tidak dikelola dengan baik. Abu dari unit *power boiler* dibedakan atas *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* berupa partikel halus dan ringan yang keluar dari *furnace* bersama gas buang, sedangkan *bottom ash* mempunyai ukuran partikel lebih besar dan berat yang terbawa keluar oleh pasir yang berfungsi sebagai media pembakaran (Branly, 1991).

Tabel 1. Sumber dan jenis limbah padat industri pulp dan kertas

Sumber limbah	Jenis limbah
1) Unit penyediaan bahan baku kayu	– Kulit dan serbuk kayu, lumpur, pasir
2) Unit pencucian dan penyaringan pulp	– Padatan sisa saring ( <i>reject</i> ) berupa mata kayu ( <i>knot</i> )
3) Unit pemulihan bahan kimia (CRP)	– Lumpur kapur, dreg
4) Unit persiapan bahan baku kertas bekas	– Lumpur serat, plastik, lumpur tinta
5) Unit pengolahan air limbah (IPAL)	– Lumpur primer, lumpur sekunder
6) Unit pengadaan energi ( <i>power plant</i> ) dan insinerator	– Abu pembakaran ( <i>fly ash, bottom ash</i> )

Tabel 2. Jumlah limbah padat lumpur IPAL pada industri pulp dan kertas

Kode industri	Kelompok industri	Jumlah lumpur per produk (% berat)		
		Dasar kering	Dasar kadar air	
A	Pulp dan kertas terpadu	1 – 3	2,5 – 15%	ka: 60 – 80%
B	Kertas dengan bahan baku pulp	0,6 – 0,7	2,4 – 3,5%	ka: 75 – 80%
C	Kertas dengan bahan baku kertas bekas	0,8 – 1,2	2,6 – 6,0%	ka: 70 – 80%

### Karakteristik dan Identifikasi Limbah Padat

Limbah padat industri pulp dan kertas yang diklasifikasikan sesuai Tabel 1, berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 18 Tahun 1999 dan perubahannya No. 85 Tahun 1999, diantaranya terdapat limbah padat yang termasuk limbah bahan berbahaya beracun (B3). Dalam lampiran PP tersebut telah ditetapkan bahwa jenis limbah padat yang termasuk dalam daftar limbah B3 dari sumber yang spesifik adalah seperti terlihat pada Tabel 3.

Berdasarkan PP No. 18 Tahun 1999 tentang *Pengelolaan Limbah B3*, menunjukkan bahwa limbah padat pulp dan kertas yang termasuk limbah B3 adalah lumpur/sludge IPAL yang terkontaminasi tinta dan abu pembakaran (*fly ash, bottom ash*) dari PLTU bahan bakar batu bara dan dari proses insinerasi limbah.

Karakteristik limbah padat ditinjau dari identifikasi terhadap limbah B3 dapat ditentukan dari hasil uji TCLP (*toxicity characteristic leaching procedure*) dan uji LD<sub>50</sub> (*lethal dose fifty*) (KLH, 2002) serta uji *on-waste* (total kadar maksimum limbah) untuk menentukan jenis landfill yang akan digunakan.

Dari kompilasi data primer dan sekunder yang dievaluasi berdasarkan kelompok industri, memberikan hasil identifikasi terhadap lumpur IPAL pada Tabel 4 dan abu pembakaran pada Tabel 5

Tinjauan terhadap hasil uji *on-waste* dan TCLP menunjukkan bahwa limbah padat lumpur IPAL dan abu pembakaran dari semua kelompok industri pulp dan kertas terpadu, industri kertas dengan bahan baku pulp, maupun industri kertas dengan bahan baku kertas bekas memberikan nilai di bawah baku mutu yang ditetapkan sesuai Kep 04/Bapedal/IX/1995 dan PP. No. 85 Tahun

1999. Dengan demikian limbah padat lumpur IPAL dan abu pembakaran power boiler dari bahan bakar kayu dan Lumpur IPAL yang dihasilkan industri pulp dan kertas dalam pengelolaannya dapat ditimbun dalam landfill kategori ringan. Sedangkan tinjauan terhadap nilai LD<sub>50</sub> menunjukkan bahwa lumpur IPAL dari industri pulp dan kertas terpadu praktis tidak beracun, untuk lumpur IPAL dari industri kertas menunjukkan agak beracun. Nilai LD<sub>50</sub> dari abu pembakaran, baik yang berasal dari *power boiler* maupun insinerator menunjukkan kriteria praktis tidak beracun (KLH, 2002).

### POTENSI DAN KESUAIAN PEMANFAATAN LIMBAH PADAT

Pada dasarnya, limbah padat industri pulp dan kertas dapat dimanfaatkan berdasarkan potensinya, yang dibedakan atas komponen utama yang terkandung di dalamnya, yaitu:

- Komponen organik — yang tinjauannya meliputi nilai kalor, kadar organik total, unsur makro dan mikro nutrien
- Komponen anorganik — yang tinjauannya meliputi elemen agregat, unsur makro dan mikro nutrien

#### Lumpur IPAL

Karakteristik lumpur IPAL didasarkan atas potensi pemanfaatannya dapat dilihat pada Tabel 6.

Bertitik tolak dari karakteristik lumpur seperti dapat dilihat pada Tabel 6, semua lumpur IPAL, baik dari industri pulp dan kertas terpadu, maupun industri kertas yang berbahan baku pulp dan kertas bekas mempunyai potensi untuk dimanfaatkan menjadi kompos maupun sebagai bahan bakar.

Pemanfaatan sebagai bahan yang dapat dikomposkan, potensi lumpur IPAL dapat dilihat dari kandungan total organik yang cukup besar,

yaitu >60%. Selain mengandung sumber karbon yang diperlukan bagi mikroorganisma dalam proses pengkomposan, juga mengandung nutrisi makro dalam jumlah cukup tersedia. Terkandungnya unsur-unsur logam

dalam lumpur IPAL masih dalam batas toleransi mikroorganisma pengompos, yaitu jumlah yang tersedia sebagai nutrisi mikro (BBS, 1996).

Tabel 3. Daftar limbah B3 dan sumber yang spesifik, yang berkaitan dengan industri pulp dan kertas

Kode limbah	Jenis industri/Kegiatan	Sumber pencemaran	Uraian limbah
D.212	Kegiatan yang berkaitan dengan tinta, termasuk proses <i>deinking</i> pada pabrik kertas	IPAL yang mengolah <i>effluent</i> dari proses yang berhubungan dengan tinta	<i>Sludge</i> dari IPAL atau <i>sludge</i> terkontaminasi tinta
D.223	PLTU yang menggunakan bahan bakar batu bara	Pembakaran batu bara yang digunakan untuk pembangkit listrik	<i>Fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> (yang memiliki kontaminan di atas standar limbah B3)
D.241	Pengoperasian insinerator limbah	Proses insinerasi limbah	– <i>Fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> – Residu pengolahan flue gas

Tabel 4. Hasil uji lumpur IPAL dari pengelompokan industri pulp dan kertas

Parameter uji	Nilai hasil uji				
	A	B	C	Baku mutu	
				A	B
<b>On-waste (mg/kg):</b>					
<i>Arsenic (As)</i>	0,600	0,500	1,000	300	30
<i>Cadmium (Cd)</i>	3,190	0,500	1,840	50	5
<i>Chromium (Cr)</i>	30,720	1,600	24,280	2,500	250
<i>Copper (Cu)</i>	29,870	21,700	54,000	1,000	100
<i>Cobalt (Co)</i>	9,460	0,500	5,670	500	50
<i>Lead (Pb)</i>	76,630	3,300	40,150	3,000	300
<i>Mercury (Hg)</i>	0,007	0,020	0,300	20	2
<i>Molybdenum (Mo)</i>	1,300	tt	0,990	400	40
<i>Nickel (Ni)</i>	12,440	tt	12,540	1,000	100
<i>Tin (Sn)</i>	tt	tt	0,010	500	50
<i>Selenium (Se)</i>	0,119	tt	1,600	100	10
<i>Silver (Ag)</i>	1,060	0,300	3,530	-	-
<i>Zinc (Zn)</i>	85,030	213,300	232,000	5,000	500
<i>Cyanide (CN)</i>	34,000	tt	10,400	500	50
<i>Fluoride (F)</i>	7,000	tt	0,050	4,500	450
<b>TCPL (mg/L):</b>					
<i>Arsenic (As)</i>	0,010	0,002	0,020	5,0	
<i>Barium (Ba)</i>	7,200	0,360	1,420	100,0	
<i>Boron (Bo)</i>	0,100	0,100	4,500	500,0	
<i>Cadmium (Cd)</i>	0,040	0,050	0,220	1,0	
<i>Chromium (Cr)</i>	0,120	0,070	0,170	5,0	
<i>Copper (Cu)</i>	0,010	0,100	4,610	10,0	
<i>Cyanide (CN)</i>	0,010	0,430	0,140	20,0	
<i>Fluoride (F)</i>	1,300	0,510	0,740	150,0	
<i>Lead (Pb)</i>	0,730	0,080	0,900	5,0	
<i>Mercury (Hg)</i>	0,010	0,010	0,040	0,2	
<i>Selenium (Se)</i>	0,420	0,010	0,080	1,0	
<i>Silver (Ag)</i>	0,020	0,010	0,010	5,0	
<i>Zinc (Zn)</i>	0,400	0,330	9,740	50,0	
<b>LD<sub>50</sub> (mg/kg)</b>	11480	3195	1836	50	
	(praktis tak beracun)	(agak beracun)	(agak beracun)		

Tabel 5. Hasil uji abu pembakaran (*fly ash & bottom ash*) dari *power boiler* dan *incinerator*

Parameter uji	Nilai hasil uji			
	Power boiler	Insinerator	Baku mutu	
			A	B
<b>On-waste (mg/kg):</b>				
<i>Arsenic (As)</i>	tt	0,100	300	30
<i>Cadmium (Cd)</i>	2,020	tt	50	5
<i>Chromium (Cr)</i>	25,180	2,500	2500	250
<i>Copper (Cu)</i>	19,430	1,500	1000	100
<i>Cobalt (Co)</i>	tt	0,400	500	50
<i>Lead (Pb)</i>	tt	0,500	3000	300
<i>Mercury (Hg)</i>	tt	0,500	20	2
<i>Molybdenum (Mo)</i>	10,110	tt	400	40
<i>Nickel (Ni)</i>	26,810	0,400	1000	100
<i>Tin (Sn)</i>	tt	0,400	500	50
<i>Selenium (Se)</i>	tt	0,700	100	10
<i>Silver (Ag)</i>	tt	tt	-	-
<i>Zinc (Zn)</i>	105,820	0,400	5000	500
<i>Cyanide (CN)</i>	tt	tt	500	50
<i>Fluoride (F)</i>	tt	tt	4500	450
<b>TCLP (mg/L):</b>				
<i>Arsenic (As)</i>	0,001	0,004		5
<i>Barium (Ba)</i>	1,200	tt		100
<i>Boron (Bo)</i>	0,451	tt		500
<i>Cadmium (Cd)</i>	0,005	0,009		1
<i>Chromium (Cr)</i>	0,050	0,840		5
<i>Copper (Cu)</i>	0,110	0,030		10
<i>Cyanide (CN)</i>	0,010	tt		20
<i>Fluoride (F)</i>	1,280	tt		150
<i>Lead (Pb)</i>	0,010	0,090		5
<i>Mercury (Hg)</i>	0,001	0,001		0,2
<i>Selenium (Se)</i>	0,015	0,007		1
<i>Silver (Ag)</i>	0,030	0,002		5
<i>Zinc (Zn)</i>	0,380	0,030		50
<b>LD<sub>50</sub> (mg/kg):</b>	13495 (praktis tak beracun)	8307 (agak beracun)		50

Tabel 6. Karakteristik dan potensi pemanfaatan lumpur IPAL

Komponen/Parameter	Nilai uji		
	Pulp dan kertas terpadu	Kertas dari pulp	Kertas dari kertas bekas
Organik total (%)	60 – 80	60 – 80	70 – 85
Nilai kalor (cal/gr)	2000 – 3500	3000 – 4000	3500 – 4000
Kadar abu (%)	20 – 40	20 – 40	15 – 30
<b>Makro nutrien (mg/kg)</b>			
Nitrogen (N)	2000 – 4000	1000 – 5000	500 – 6000
Phosphor (P)	5 – 50	2.5 – 40	5 – 40
Kalium (K)	600 – 2000	100 – 1500	400 – 1800
Calcium (Ca)	1000 – 40000	1000 – 55000	1500 – 55000
Magnesium (Mg)	500 – 30000	5000 – 60000	4000 – 55000
Sulfur (S)	250 – 7000	200 – 800	200 – 300
<b>Mikro nutrien (mg/kg)</b>			
Besi (Fe)	2000 – 5000	1000 – 5000	1000 – 5000
Mangan (Mn)	50 – 300	50 – 400	30 – 45
Natrium (Na)	1000 – 7000	150 – 500	400 – 700

Tabel 7. Karakteristik abu pembakaran dan potensi pemanfaatan

Komponen/Parameter	Nilai Uji	
	Fly ash	Bottom ash
<b>Elemen Agregat (%)</b>		
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	55.38	71.78
Alumunium dan besi (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	22.34	18.84
Kalsium (CaO)	11.38	4.90
Magnesium (MgO)	3.48	2.17
<b>Makro &amp; mikro nutrien (%)</b>		
Kalium (K)	0.2	0.2-0.8
Sulfur (S)	0	0
Natrium (Na)	0.2-1.0	0.1-0.4
Mangan (Mn)	0.01-0.1	0.001

Pemanfaatan sebagai bahan bakar didasarkan atas potensi yang dimiliki lumpur, yaitu mempunyai kadar organik total minimal 60% dan nilai kalor minimal 3000 kal/gram. Efisiensi pembakaran tergantung pada kadar abu lumpur yang relatif cukup tinggi, yaitu >30% dan kadar air lumpur yang masih terlalu tinggi untuk dibakar (BBS, 1996) Kadar air lumpur sebagai bahan bakar sebaiknya maksimal 60%, sedangkan pada umumnya lumpur keluaran *belt press* masih mengandung kadar air sekitar 70-80% sehingga perlu rancangan proses pengeringan Lumpur (Setiadji, 2001).

#### Abu Pembakaran

Karakteristik abu pembakaran yang berkaitan dengan potensi pemanfaatannya ditampilkan pada Tabel 7.

Berdasarkan hasil uji karakteristik abu pembakaran yang dibedakan atas *fly ash* dan *bottom ash* (Tabel 7), menunjukkan adanya kandungan unsur-unsur sebagai bahan agregat yang dapat menghasilkan struktur yang kuat sebagai bahan campuran untuk pembuatan bahan bangunan atau bahan konstruksi. Potensi ini dapat dilihat dari kandungan silikat, alumunium, besi, kalsium, dan magnesium yang cukup tinggi (BBS, 2002).

Pemanfaatan lain yang didasarkan atas kandungan unsur makro dan mikro nutrien, abu pembakaran mempunyai potensi untuk memperbaiki sifat tanah, baik sifat fisik maupun kimiawi tanah. Abu pembakaran berpotensi untuk menstabilkan tanah yang bersifat labil dan berpotensi pula untuk memperbaiki sifat tanah yang kurang subur dengan tersedianya nutrien

makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman (Truter, 2002).

## TEKNOLOGI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT INDUSTRI PULP DAN KERTAS

### Pemanfaatan Lumpur IPAL sebagai Kompos

Teknologi pengkomposan pada prinsipnya sama untuk berbagai jenis bahan atau biomassa yang digunakan, baik yang dilakukan secara konvensional di lapangan terbuka atau tanpa reaktor maupun yang menggunakan reaktor.

Beberapa faktor lingkungan yang diperlukan untuk mendukung keberhasilan proses pengkomposan adalah (Cambell, 1991).

- Kandungan bahan organik > 60%
- pH antara 5-9
- Kadar air bahan antara 50-80%
- Temperatur awal sekitar 30°C
- Tersedianya oksigen, perlu aerasi
- Tersedianya nutrisi yang cukup, khususnya N dan P
- Terdapatnya mikroorganisma pengompos.

### Tahapan Proses

Kegiatan yang dilakukan diawali dengan persiapan lahan untuk tempat pengkomposan yang harus mempertimbangkan aspek lingkungan, diantaranya yang penting adalah mencegah terjadinya kontaminasi bahan pencemar dari timbunan lumpur yang terbawa oleh rembesan air (*leached*). Urutan proses pengkomposan adalah sebagai berikut (BBS, 2003).

### Pencampuran

Lumpur IPAL yang kadar airnya terlalu tinggi ataupun sifat lumpur yang liat dan menggumpal memerlukan bahan pencampur seperti serbuk kayu, jerami atau bahan-bahan lain yang berfungsi sebagai penyerap air dan bersifat porous. Perbandingan lumpur dengan bahan pencampur sekitar 75% : 25%, kemudian dibuat tumpukan dengan ketinggian 1 - 2 meter.

Terhadap bahan campuran dilakukan pengaturan pH untuk yang bersifat asam atau basa dengan penambahan kapur atau asam fosfat. Sebagai nutrisi, pupuk urea ditambahkan apabila C/N ratio lumpur terlalu tinggi (C/N >30) dan pupuk NPK dapat ditambahkan pula untuk mendapatkan hasil kompos kualitas baik.

### **Pengkomposan**

Selama proses pengkomposan, dilakukan pembalikan untuk mempertahankan kondisi aerobik. Suhu dan kadar air dikontrol dengan sewaktu-waktu dilakukan penyiraman. Proses pengkomposan berlangsung sekitar 2 - 3 bulan, dianggap kompos sudah matang apabila sudah terjadi perubahan fisik, diantaranya penyusutan volume tumpukan dan perubahan bentuk butiran lumpur. Disamping itu, persyaratan kimiawi kompos sudah mencapai C/N ratio <20 dan nilai kapasitas tukar kation (KTK) > 20 meq/100 gr.

### **Penyaringan dan Pengemasan**

Untuk mendapatkan kompos dengan penampilan yang baik, diperlukan penyaringan dan pemisahan dari pengotor untuk kemudian dikemas dalam karung plastik dan ditimbang beratnya. Kompos dalam kemasan siap digunakan sebagai media tanaman dengan petunjuk dan informasi yang jelas mengenai spesifikasi kompos dan cara penggunaannya.

### **Kualitas Kompos dengan Tinjauan Aspek Teknis dan Lingkungan**

#### **Aspek Teknis**

Produk kompos yang dihasilkan dari proses pengkomposan lumpur IPAL industri kertas yang pernah diteliti menggunakan bahan baku kertas bekas memberikan kualitas seperti terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kualitas kompos konvensional dari lumpur IPAL industri kertas bahan baku kertas bekas

Parameter	Satuan	Kompos lumpur IPAL	Persyaratan kompos <sup>*)</sup>
pH	-	7,7 – 8,0	6,5 – 7,5
C - total	%	26,1 – 28,4	8 – 50
N - total	%	1,04 – 1,06	0,4 – 35
C/N ratio	%	20,3 – 22,0	10 – 20
P - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,06 – 0,07	0,3 – 3,5
K – K <sub>2</sub> O	%	0,07 – 0,10	0,5 – 1,8
KTK	meq/100gr	30,7 – 33,7	>20

\*) Sumber: WHO, 1980

Dibandingkan terhadap persyaratan kompos yang ditetapkan oleh WHO, kompos yang dihasilkan dari pemanfaatan lumpur IPAL umumnya cukup baik. Untuk meningkatkan kualitas kompos, upaya yang perlu dilakukan adalah

- Menambahkan nutrisi pupuk NPK dalam jumlah mencukupi kebutuhan

mikro-organisma untuk pengomposan dan menghasilkan kualitas kompos sesuai persyaratan.

- Mengatur pH pada kondisi netral agar penyerapan unsur unsur hara kompos oleh tanaman optimal.

Hasil kompos setelah diuji-cobakan pada tanaman jagung memberikan pengaruh sebagai berikut (BBS, 2002; Rina, 2002).

- Pemakaian kompos hingga 60% berat media menunjukkan dapat memanfaatkan pertumbuhan vegetatif tanaman secara signifikan
- Pengaruh terhadap hasil generatif tanaman menunjukkan kecenderungan lebih baik dibandingkan hasil kompos (kontrol).

### **Aspek Lingkungan**

Keberadaan logam berat dalam lumpur IPAL selama proses pengkomposan bersifat tetap (immobilitas) sehingga akan terakumulasi dalam kompos yang dihasilkan namun demikian, kadar logam berat dalam kompos dari lumpur IPAL masih menunjukkan lebih rendah dibandingkan kadar logam berat dalam pupuk kandang ataupun dibandingkan terhadap keberadaan logam berat pada tanah, seperti terlihat pada Tabel 9.

Pengaruh penggunaan kompos lumpur IPAL terhadap tanaman yang dikonsumsi dapat dilihat dari hasil uji kadar logam berat pada hasil panen jagung yang ditampilkan pada Tabel 10.

Dari hasil uji kadar logam berat, menunjukkan bahwa jagung hasil panen dari tanaman yang diberi kompos lumpur IPAL dapat dikonsumsi karena memenuhi persyaratan sebagai makanan dengan kadar cemaran logam lebih rendah dari batasan yang diperbolehkan menurut SK. Dirjen POM No. 03725/SK/VII/89. Demikian pula hasil uji toksisitas akut, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jagung hasil panen memberikan nilai LD<sub>50</sub> >15.884 mg/kg berat badan, berarti termasuk kriteria “praktis tidak beracun”(BBS, 2002; Rina, 2002).

Pengaruh penggunaan kompos lumpur IPAL terhadap kemungkinan adanya rembesan logam ke dalam air tanah telah diuji coba dengan alat “lysimeter” dan uji TCLP yang ditampilkan pada Tabel 11.

Berdasarkan data hasil uji TCLP dan air perkolat dari percobaan lysimeter, menunjukkan tidak terjadi pencemaran logam berat pada air tanah dari akibat penggunaan kompos lumpur IPAL (Rina, 2002).



Tabel 9. Kadar logam berat dalam kompos, pupuk kandang dan tanah

Logam berat	Hasil uji (mg/kg)		
	Kompos	Pupuk	Tanah <sup>*)</sup>
1. Arsenic (As)	<0,005	<0,005	5 – 3000
2. Cadmium (Cd)	0,939	2,63	0,05 – 0,07
3. Chromium (Cr)	6,23	3,98	0,10 – 100
4. Copper (Cu)	10,92	32,34	2 – 300
5. Cobalt (Co)	3,31	9,86	1 – 40
6. Lead (Pb)	14,96	194,90	2 – 200
7. Nickel (Ni)	292,50	9,60	10 – 1000
8. Mercury (Hg)	<0,0002	0,009	0 – 0,03
9. Silver (Ag)	<0,005	<0,005	-
10. Zinc (Zn)	30,15	266,30	10 – 300

\*) Sumber : Alloway, 1995

Tabel 10. Kandungan logam berat dalam hasil panen jagung yang diberi kompos lumpur IPAL

Logam berat	Hasil uji (mg/kg)		
	Dengan kompos	Tanpa kompos	Batas maksimal <sup>*)</sup>
1. Arsenic (As)	<0,005	<0,005	1,0
2. Cadmium (Cd)	0,058	0,008	-
3. Chromium (Cr)	<0,05	<0,05	-
4. Copper (Cu)	1,212	0,065	5,0
5. Cobalt (Co)	<0,01	0,176	-
6. Lead (Pb)	<0,01	0,170	2,0
7. Nickel (Ni)	1,259	<0,01	40,0
8. Mercury (Hg)	<0,0002	<0,0002	0,03
9. Silver (Ag)	<0,005	<0,005	-
10. Zinc (Zn)	9,37	0,512	40,0

\*) Batasan maksimum cemaran logam dalam makanan kelompok sayuran  
SK. Dirjen POM No. 03725/SK/VII/89

Tabel 11. Hasil uji TCLP kompos dan air perkolat lysimeter

Logam berat	Hasil uji (mg/L)		
	TCLP	Perkolat	Baku mutu TCLP <sup>*)</sup>
1. Arsenic (As)	<0,05	<0,05	5
2. Cadmium (Cd)	<0,05	0,05-0,50	1
3. Chromium (Cr)	<0,01	0,05 – 0,06	5
4. Copper (Cu)	<0,218	0,005-0,137	10
5. Lead (Pb)	<0,001	0,001 – 0,285	5
6. Mercury (Hg)	<0,0002	<0,001	0,2
7. Silver (Ag)	<0,005	<0,005	5
8. Zinc (Zn)	0,410	0,020 – 0,117	50

\*) PP. No. 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3

## Pemanfaatan Abu Pembakaran sebagai Bahan Campuran Pembuatan Bata Merah

Bata merah adalah produk bahan bangunan yang dibuat dengan teknologi sederhana dan diproduksi dalam skala industri kecil. Pada prinsipnya bata merah dibuat dari tanah liat yang tersusun dari oksida-oksida sebagai berikut (Randing, 1997)

SiO <sub>2</sub>	: 50 – 70%
Al <sub>2</sub> O	: 10 – 35%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: 2 – 8%
CaO	: 5 – 15%
MgO	: 0,2 – 5%
SO <sub>3</sub>	: 0 – 0,5%
Hilang pijar (total organik)	: 3 – 12%

Berdasarkan data hasil uji *fly ash* dan *bottom ash* seperti yang ditampilkan pada Tabel 7, maka kedua limbah padat abu pembakaran tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pencampur atau substitusi tanah untuk pembuatan bata merah.

### Tahapan Proses

Pembuatan bata merah dilakukan dengan proses yang terdiri dari tahapan sebagai berikut (BBS, 2002)

### Pembuatan Adonan

Tanah dengan bahan pencampur *fly ash* atau *bottom ash* maksimum 60% berat dibuat adonan dengan menambahkan air dalam jumlah tertentu hingga homogen dan bersifat plastis, kemudian dibiarkan semalam sebelum dicetak. Pembuatan adonan bisa dilakukan secara manual atau menggunakan mesin (ekstruder).

### Pencetakan

Proses pencetakan dengan ukuran sesuai SNI 15-2094-2000 dapat dilakukan secara manual atau dengan mesin pencetak. Formulasi adonan sangat menentukan dalam pembentukan atau pencetakan bata. Pada proses pembuatan adonan dan pencetakan ini merupakan proses solidifikasi membentuk ikatan massa yang padat.

### Pembakaran

Dari bata merah yang sudah tercetak dan kering udara selama 2 minggu dilanjutkan dengan proses pembakaran. Pembakaran dilakukan pada

suhu 850 - 950°C dengan cara penyusun bata merah sedemikian rupa di dalam tungku pembakar. Waktu pembakaran berlangsung antara 2 - 4 hari dan dibongkar setelah suhu turun secara bertahap.

## Kualitas Produk Bata Merah dan Tinjauan Aspek Teknis dan Lingkungan

### Aspek Teknis

Ditinjau dari penampilan fisiknya, bata merah yang dihasilkan dari pencampuran *fly ash* dan *bottom ash*, secara keseluruhan memberikan warna merah muda, bentuk segi empat siku, permukaan halus datar, padat tidak berongga dan tidak retak-retak. Dari hasil evaluasi kekuatan tekan menunjukkan bahwa bata merah yang dibuat dengan mesin mempunyai kekuatan tekan lebih tinggi dari nilai minimal kelas 25 kgf/cm<sup>2</sup> sesuai dengan persyaratan SNI 15-2094-2000. Bata merah yang dibuat secara konvensional, walaupun penampilan secara fisiknya baik, tetapi mempunyai kekuatan tekan di bawah persyaratan SNI. Rendahnya kualitas kekuatan bata merah konvensional hasil penelitian tidak menutup kemungkinan disebabkan oleh teknik pembuatannya yang memerlukan pekerja dengan pengalaman khusus (BBS, 2002).

Kualitas bata merah *press* yang dibuat dengan pencampuran *fly ash* 20-60% menunjukkan kekuatan tekan antara 33-59 kgf/cm<sup>2</sup>, sedangkan yang dibuat dengan pencampuran *bottom ash* memberikan kekuatan tekan lebih rendah, yaitu berkisar antara 31-41 kgf/cm<sup>2</sup>. Kualitas bata merah terbaik diperoleh dari pencampuran *fly ash* 20% yang memberikan kekuatan tekan 58,4 kgf/cm<sup>2</sup> hampir mendekati bata merah *press* kualitas tinggi di pasaran yang memberikan hasil uji kekuatan tekan 60,5 kgf/cm (BBS, 2002).

### Aspek Lingkungan

Di dalam penggunaan bata merah untuk bahan bangunan, umumnya sebelum digunakan perlu dilakukan perendaman dalam air. Hal ini diutamakan untuk sifat bata merah yang mempunyai kecepatan penyerapan air dengan nilai lebih besar dari 20 gr/dm<sup>2</sup>/menit (Randing, 1997).

Mengingat bahwa *fly ash* dan *bottom ash* adalah limbah padat yang mengandung cemaran logam berat, maka terhadap air hasil rendaman bata merah selama 24 jam telah diuji kadar logam beratnya seperti dapat dilihat pada Tabel 12.

Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya indikasi rembesan logam berat dalam air tanah.

Tabel 12. Kadar logam berat air rendaman bata merah

Logam berat	Kadar logam berat, mg/L			Baku mutu <sup>*)</sup>
	Bata (FA-60%)	Bata (BA-60%)	Bata di pasaran	
1. Besi (Fe)	0,10	0,10	0,041	-
2. Mangan (Mn)	0,061	<0,01	<0,01	-
3. Copper (Cu)	0,004	0,005	<0,001	10,0
4. Zinc (Zn)	0,332	0,026	<0,01	50,0
5. Chromium (Cr)	0,140	0,046	0,034	5,0
6. Cadmium (Cd)	<0,001	<0,001	<0,001	1,0
7. Mercury (Hg)	<0,001	<0,001	<0,001	0,2
8. Lead (Pb)	0,004	0,007	<0,001	5,0
9. Arsenic (As)	0,003	0,003	0,003	5,0
10. Selenium (Se)	0,002	0,002	0,002	1,0
11. Nickel (Ni)	0,048	0,002	0,002	-

\*) Baku mutu : TCLP

Hasil uji air rendaman bata merah yang dibuat dari campuran *fly ash/bottom ash* 60% menunjukkan nilai lebih rendah dari persyaratan baku mutu TCLP yang ditetapkan dan juga relatif tidak berbeda dengan kadar logam berat dari rendaman bata dipasaran, berarti pembuangan air rendaman tidak menimbulkan risiko pencemaran lingkungan khususnya terhadap air tanah (BBS, 2002).

### Pemanfaatan Lumpur IPAL sebagai Bahan Bakar

Salah satu alternatif pengelolaan limbah padat yang efisien adalah memanfaatkannya sebagai bahan bakar padat di boiler. Keuntungan pengelolaan dengan sistem pembakaran yang diperoleh adalah (Carl, 1990)

- Mendapatkan energi panas
- Mengurangi biaya pengelolaan lumpur
- Mengurangi kebutuhan lahan
- Mengurangi cemaran bau di lokasi penimbunan

Kendala dan permasalahan yang perlu dipertimbangkan cara penanganannya adalah:

- Kadar padatan lumpur IPAL masih relatif rendah
- Nilai kalor yang relatif rendah membuat pembakaran kurang efektif
- Kadar abu yang relatif tinggi dan mengandung cemaran logam berat
- Emisi gas yang dapat menimbulkan pencemaran udara.

### Proses Pengeringan Lumpur IPAL

Bertitik-tolak dari kelemahan yang ada pada lumpur IPAL untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat di boiler, diperlukan peralatan yang mampu meningkatkan kadar padatan lumpur dengan nilai kalor yang relatif tinggi. Untuk keperluan tersebut, dapat diupayakan alat ulir tekan (*screw press*) dengan desain selain mengeringkan lumpur sekaligus membentuk briket (Setiadji, 2002).

Untuk meningkatkan nilai kalor dan sekaligus kadar kering lumpur IPAL sebagai bahan bakar dapat ditambahkan bahan pengisi yang berupa serbuk kayu atau serbuk batu bara sebelum diumpankan ke alat *screw press*. Hasil rekayasa alat pengering lumpur yang dilengkapi dengan pemasangan cetakan (*discs*) pada bagian akhir ulir tekan mampu menghasilkan briket lumpur yang berukuran  $\Phi$  5 cm dengan kadar padatan kering mencapai 45% dan nilai kalor lebih besar dari 4.000 cal/gr (Setiadji, 2002).

### Proses Pembakaran Lumpur IPAL

Pembakaran lumpur IPAL perlu mempertimbangkan berbagai faktor, mengingat lumpur IPAL adalah limbah padat yang karakteristiknya mempunyai nilai kisaran yang cukup lebar. Ada beberapa tipe alat pembakar yang umum dipakai untuk membakar lumpur, di antaranya adalah (Dickens, 1989).

### **Pembakaran Bertahap (Multiple Hearth Incinerator)**

Alat pembakar ini dapat menangani lumpur dengan kandungan air tinggi antara 50-80% karena mempunyai ruang bakar bertingkat antara 5-12 susunan ruang bakar. Bagian atas ruang bakar terdiri dari atas daerah pengeringan yang akan menguapkan kandungan air lumpur.

Di bagian poros pusat, tempat pengaliran udara yang didistribusikan ke masing-masing ruang bakar. Sistem pembakaran ini relatif kompleks karena kebutuhan pengawasan dari berbagai peralatan.

### **Pembakaran Berputar (Rotary Furnace)**

Alat pembakar ini mempunyai ruang bakar tunggal yang bergerak. Lumpur dipompakan masuk ke dalam ruang bakar secara tangensial. Udara secara tangensial dimasukkan melalui lubang yang mengakibatkan aliran udara berbentuk siklon sehingga terjadi pencampuran yang baik antara udara dan umpan lumpur.

### **Pembakaran Sistem Fluidisasi (Fluidized Bed Incinerator)**

Ruang bakar dengan sistem fluidisasi merupakan bentuk konstruksi yang rapat dan kedap udara untuk menjaga sistem pada tekanan positif dan mencegah kebocoran panas dari gas hasil pembakaran. Ruang bakar ini berisi tumpukan pasir yang akan terfluidisasi oleh hembusan udara.

Udara yang dimasukkan biasanya dipanaskan dulu oleh gas hasil pembakaran, sedangkan lumpur disimpan masuk melalui *conveyor* dengan pemanfaatan udara panas yang kontak sepanjang *conveyor* hingga lumpur mengalami pengeringan lanjut untuk meningkatkan kadar padatan. Umpan lumpur dijatuhkan pada tumpukan pasir yang kemudian terfluidisasi oleh aliran udara masuk dengan turbulensi tinggi. Dengan sistem fluidisasi ini, kontak terjadi secara maksimum antara pasir panas dengan lumpur hingga air yang terkandung berubah menjadi uap dan akhirnya pembakaran dapat optimum.

Bagian dalam ruang bakar perlu dilapisi bahan tahan api, demikian pula pipa-pipa harus dibuat dari baja tahan karat untuk mencegah kerusakan dan erosi akibat pengaruh gas hasil pembakaran. Sistem dirancang pula untuk mencegah abu dan pasir ikut terbawa aliran gas hasil pembakaran.

## **KESIMPULAN**

- 1) Industri pulp dan kertas menghasilkan limbah padat yang jumlahnya cukup besar yang dapat digolongkan sebagai limbah B3 dan limbah padat non-B3. Menurut Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999, yang termasuk kategori limbah B3 adalah:
  - Lumpur dari IPAL yang mengolah *effluent* dari proses yang berkaitan dengan tinta
  - Abu pembakaran (*fly ash* dan *bottom ash*) dari unit PLTU yang menggunakan bahan bakar batu bara
  - Abu pembakaran (*fly ash* dan *bottom ash*) dari unit pengoperasian insinerator limbah
- 2) Karakteristik limbah padat lumpur IPAL dan abu pembakaran dari *power boiler* maupun insinerator, dari kelompok industri pulp dan kertas terpadu, kelompok industri kertas dengan bahan baku *virgin pulp*, dan industri kertas dengan bahan baku kertas bekas, menurut PP. No. 85 tahun 1999 tidak teridentifikasi sebagai limbah B3. Berdasarkan atas uji on-waste dan TCLP, limbah padat tersebut pengelolaannya dapat ditimbun dengan *landfill* kategori ringan.
- 3) Limbah padat lumpur IPAL, menunjukkan potensi untuk dimanfaatkan menjadi produk kompos yang secara teknis telah diuji hasilnya dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman. Pengujian dari aspek lingkungan menunjukkan tidak menyebabkan indikasi pencemaran terhadap tanah dan air tanah. Namun penggunaan kompos lumpur IPAL untuk tanaman yang dikonsumsi, masih perlu adanya pengujian lanjut terhadap toksisitas kronis hasil panen.
- 4) Limbah padat abu pembakaran, baik *fly ash* maupun *bottom ash*, berdasarkan hasil uji, mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi pembuatan produk bata merah, yang ditinjau dari aspek teknis dan lingkungan mempunyai prospek dapat dikembangkan secara komersial.
- 5) Pemanfaatan limbah padat dari lumpur IPAL sebagai bahan baker mempunyai keuntungan menghasilkan uap air (*steam*). Namun demikian diperlukan biaya investasi yang cukup

tinggi, serta perancangan operasi dan peralatan khusus untuk menangani permasalahan rendahnya nilai kalor lumpur, tingginya kadar air dan dihasilkannya emisi gas dan abu yang mengandung cemaran B3.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Allan, M. Springer. 1993. *“Industrial Environ-mental Control”*, Pulp and Paper Industry, 2<sup>nd</sup> Edition, Tappi Press
2. Alloway, CJ, 1995. *“Heavy Metal in Soil”*, 2<sup>nd</sup> ed, Blakce Academic & Professional, London
3. Badan Standardisasi Nasional – BSN. *“Standar Nasional Indonesia, SNI 15-2094-2000. Bata merah pijar untuk pasangan dinding”*
4. Balai Besar Selulosa. *“Laporan Penelitian Karakteristik dan Kemungkinan Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas”*, 1996. Kerjasama BBS – APKI
5. Balai Besar Selulosa. *“Laporan Penelitian Pemanfaatan Limbah Padat Fly ash dan Bottom Ash sebagai Bahan Baku Pembuatan Bata Merah”*, 2002 Kerjasama BBS - PT. RAPP
6. Balai Besar Selulosa. *“Laporan Penelitian Pemanfaatan Limbah Padat Industri Kertas”*, 2002. Kerjasama BBS - PT. IKPP-Serang
7. Bradley, A. James and Patrick W. Kane. 1991 *“Sludge Dewatering and Incineration”*, Tappi Journal
8. Campbell, AG., Engebritson, R.R. 1991 *“Composting a Combined TMP/CMP Pulp and Paper Sludge”*, Tappi Journal
9. Carl, E. Linderoth. *“Paper mill Sludge as a Valuable Fuel”*, Energy Engineering and Management in the Pulp and Paper Industry
10. Tappi Press Anthology of Published Papers, 1986-1990
11. Kementerian Lingkungan Hidup. *“Himpunan Peraturan dan Perundangan di Bidang Pengelolaan Lingkungan Hidup”*, 2002
12. Nancy, J. Sell and Thomas H. McIntosh. *“Technical and Economic Feasibility of Briquetting Mill Sludge for Boiler Fuel”*, Energy Engineering and Management in the Pulp and Paper Industry, a Tappi Press Anthology of Published Papers, 1986-1990
13. Randing. 1997. *“Laporan Penelitian Tanah Liat dan Bahan Gambut untuk Bahan Bangunan”*, Puslitbang Pemukiman, Departemen Pekerjaan Umum
14. Rina S. Soetopo, Sri Purwati, Henggar H., Aep S., 2002. *“Pengaruh Kompos dari Limbah Lumpur IPAL Industri Kertas terhadap Tanaman dan Tanah”* Prosiding Seminar Teknologi Selulosa, ISBN: 979-95271-0, hal. 55-64, Bandung
15. Dickens, BR Wallis, J. Arundel, 1989. *“Fluidized Bed Incineration of Sewage Sludge”*, Water Pollution Control,
16. Setiadji, 2001. *“Perekayasa Alat Pengering Limbah Lumpur Pabrik Kertas untuk Industri Kecil”*, Prosiding Seminar Nasional IV: Kimia dalam Pembangunan, ISSN: 0854-4778, Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, hal. 349-354, Yogyakarta, Maret
17. Setiadji, 2002. *“Sistem Pembakaran Limbah Lumpur Pabrik Pulp dan Kertas untuk Boiler”*, Prosiding Seminar Teknologi Selulosa, ISBN: 979-95271-0, hal. 165-170, Bandung
18. Sri Purwati, Rina S. Soetopo, 2001. . *“Kajian Karakteristik Lumpur IPAL Industri Pulp dan Kertas Berkaitan dengan Peraturan Pengelolaan Limbah B3”*, Prosiding Seminar Teknologi Selulosa, hal. 77-84, Bandung
19. Truter, WF. at.al : , 2002. The Manufacture and Use of a Soil Ameliorant Based on Fly ash and Sewage Sludge, Departement of Plant Production and Soil Science, Pretoria, South Africa
20. Wisley Eckenfelder, 1989. *“Industrial Water Pollution Control”*, McGrawHill Company, 2<sup>nd</sup> Edition, Toronto
21. World Health Organization, united Nations. *“Composting, Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes”*, WHO-Manograph.

