

# Pemanfaatan Limbah Padat (fly ash) untuk Mencegah Cemaran Mikrobiologis dan Kimiawi Sampah Kota pada Ekosistem Rawa

Hilda Zulkifli

Pengajar pada Jurusan Biologi FMIPA dan Program Studi Pengelolaan Lingkungan  
Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya  
Telpon : +62811715041

## Abstract

The research on the utilization of solid waste (fly ash) has been conducted to avoid the further effect of microbial and of the municipality solid waste in the wetland ecosystem. The purpose of this research is to utilize the fly ash, the solid waste of the PLTU industry, as protective layer (geosynthetic liners/GCLs) at waste disposal areas in order to avoid microbial and chemical pollution to the environment. During the research, ponds with 6x6x4 m in size was added with GCLs (layer of 30 sacs of fly ash 25 kg/sac at each 2 meters of pile waste) and a control pond. The result shows that fly ash with the composition of SiO<sub>2</sub> (42,92 %) and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (29,45%) can be utilized as a protective layer (geosynthetic liners), because after 3 weeks it can minimize the contamination of bacteria (total decrease of coliform bacteria > 50%) to the environment, and also reduce some toxic compound, especially heavy metal such as Pb (30,1%) and Cu (43,54%), and the content of nitrate (32,1%). Hence fly ash has economic and ecological values as a protection layer at the solid waste disposal area to avoid the environmental contamination of bacteria's and chemicals.

**Key words:** municipality solid waste, GCLs, microbiological pollution, chemical pollution

## Pendahuluan

Permasalahan pengelolaan limbah padat perkotaan telah lama dirasakan di Indonesia, khususnya di kota-kota besar. *Sanitary Landfill* merupakan salah satu metoda pengolahan limbah padat perkotaan yang banyak diadopsi karena memiliki tingkat keamanan lingkungan yang sangat tinggi, namun demikian membutuhkan investasi yang mahal. Kota Palembang dengan tipologi ekosistem rawa merupakan ekosistem dengan porositas tinggi sehingga pembuatan tempat pembuangan limbah memerlukan teknologi khusus. Lahan pembuangan di daerah dengan porositas tinggi harus dilapisi dengan lapisan kedap air dengan kriteria koefisien permeabilitas < 10<sup>-6</sup> cm/detik (SNI No. T-11-1991-03). Lapisan atau geomembran yang dapat digunakan adalah : PVC, CSPE-R, HDPE, VLDPE dan yang relatif baru adalah *Polypropylene* (PP) dan *Fully Cross-linked Elastomeric Alloy* (FCEA), namun jika diterapkan pada ekosistem rawa memiliki banyak kelemahan baik dari aspek ekonomis maupun aspek ekologis. Oleh karenanya diperlukan teknologi yang terjangkau secara ekonomi dan ekologi untuk mengantisipasi cemaran lindi yaitu pemilihan *geosynthetic clay liners* (GCLs). Beberapa bahan seperti bentonit dan zeolit juga tergolong ke dalam GCLs.

Abu terbang (*fly ash*) umumnya dibuang ke landfill atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Pemanfaatannya adalah sebagai Penyusun beton untuk jalan dan bendungan; penimbun lahan bekas tambang; *recovery* magnetik; *cenosphere* dan karbon; bahan baku keramik, gelas batu bata dan refraktori; bahan penggosok; filter aspal dan bahan baku semen; aditif dalam sistem pengolahan limbah dan juga potensi konversi menjadi zeolit dan adsorben. Komponen utama daripada abu terbang ini adalah alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dengan rumus empiris abu terbang dari batubara ini adalah Si<sub>1,0</sub>Al<sub>0,45</sub>Ca<sub>0,51</sub>Na<sub>0,074</sub>Fe<sub>0,039</sub>Mg<sub>0,020</sub>K<sub>0,013</sub>Ti<sub>0,011</sub>.

*Fly ash* dari batubara pada umumnya terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran >0.0075 mm dengan kerapatan antara 2100-3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifik antara 170-1000 m<sup>2</sup>/kg (Pratama, 2007). Hasil

penelitian juga menunjukkan bahwa abu terbang dapat digunakan sebagai adsorban untuk penyisihan logam berat terutama Pb, Ni, Cr, Cu, Cd dan Hg (Bayat, 2002). Secara teknis abu terbang dapat dikonversi menjadi zeolit melalui proses hidrotermal alkali treatment yaitu dengan memanaskan abuterbang dengan larutan alkali (KOH, NaOH) dalam variasi waktu, suhu dan tekanan tertentu.

Tabel 1. Komposisi kimia abu terbang batubara (Putri, 2009)  
Table 1. Chemical composition of coal fly ash (Putri, 2009)

Komponen	Bituminous	Sub bituminous	Lignite
SiO <sub>3</sub>	20-60	40-60	15-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35	20-30	10-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO <sub>3</sub>	0-4	0-2	0-10
Na <sub>2</sub> O	0-4	0-2	0-6
K <sub>2</sub> O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Fly ash memiliki komposisi yang relatif lebih baik dibanding bahan zeolit. Fly ash terbukti dapat menurunkan kekeruhan, total padatan tersuspensi, COD, sulfat, Fe, Mn, Zn, dan beberapa unsur yang tergolong logam berat seperti Cd, Ni, Cu dan Pb dari hasil degradasi sampah perkotaan dalam waktu relatif singkat (14 hari). Lapisan pelindung sintesis (GCLs) ini memiliki koefisien permeabilitas yang sangat kecil ( $k = 0,5 \times 10^{-10} - 0,5 \times 10^{-13}$  cm/detik) dapat berfungsi mencegah kontaminasi cairan dan gas. Oleh karenanya pemanfaatan *fly ash* yang tergolong limbah padat kegiatan PLTU Bukit Asam dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya.

## Materi dan Metode

Pengujian dilakukan di lahan TPA Desa Sukajaya, Kecamatan Sukarame, Kota Palembang. Pengukuran data awal kualitas lindi dilakukan dengan membuat bak semen berukuran (1x2x1,25) m<sup>3</sup> yang menampung sampah segar sekitar 3 m<sup>3</sup>, dan lindi yang terbentuk dilakukan pengujian laboratorium terhadap parameter sesuai Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 18 Tahun 2005 tentang Peruntukan air dan Baku Mutu Air Sungai serta Baku Mutu Limbah Cair (BMLC) Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara (Lampiran II).

Bahan uji yang digunakan berupa abu terbang yang diperoleh dari limbah Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. PLN (Persero) Sektor Bukit Asam, Tanjung Enim, Propinsi Sumatra Selatan. Bak uji berupa lubang galian berukuran (6x6x4) m<sup>3</sup> sebanyak 2 buah (perlakuan dengan lapisan GCLs dan kontrol) yang digali dengan excavator. Pada lantai bak perlakuan diletakkan lapisan pelindung (GCLs) yang berfungsi sebagai adsorben (*fly-ash*). Adsorben dikemas dalam karung goni dengan volume masing-masing 25 kg. Sejumlah 30 karung diletakkan secara merata pada dasar bak, selanjutnya ditimbun sampah setinggi 2 meter. Selanjutnya ditutup kembali dengan adsorben yang sama seperti pada dasar bak, bagian atas ditimbun kembali dengan sampah hingga penuh. Penimbunan sampah dilakukan juga pada bak kontrol. Bagian atas kedua bak ditutup dengan plastik untuk mencegah terjadinya rembesan air hujan dan gas dari timbunan.

Bak penampung lindi dibuat masing-masing berukuran (2x2x4) m<sup>3</sup> berfungsi untuk menampung lindi dari masing-masing bak. Pengambilan sampel di permukaan dan kedalaman satu meter dilakukan pada awal dan tiga minggu perlakuan untuk melihat fungsi GCLs terhadap cemaran lindi. Analisis laboratorium mencakup analisis mikrobiologis (*coliform total*) serta analisis parameter kimiawi (BOD<sub>5</sub>, COD, pH, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>-N, serta logam berat Pb, dan Cu) dilakukan di laboratorium sesuai standar SNI

dan dibandingkan dengan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 18 Tahun 2005 tentang Peruntukan air dan Baku Mutu Air Sungai serta Baku Mutu Limbah Cair (BMLC) Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara.

### Hasil dan Pembahasan

Hasil riset pembentukan lindi dari sekitar 3 m<sup>3</sup> sampah kota pada skala kecil (bak semen) menunjukkan bahwa lindi mulai terbentuk setelah 3 hari perlakuan dengan indikasi cairan yang telah berwarna hitam pekat. Pada percobaan ini juga telah dideteksi volume lindi yang terbentuk sebagai hasil proses dekomposisi aerobik yang berlangsung. Dari hasil percobaan sampah kota tersebut diketahui bahwa kejenuhan kelarutan senyawa dan unsur dalam sampah tercapai dalam volume 4 liter air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan cemaran organik yang dihasilkan dari proses degradasi tersebut : pH: 5,32; COD: 16.625 mg/l; TDS: 16.520 mg/l; TSS: 12.000 mg/l; amoniak: 625,03 mg/l; nitrat: 972,12; nitrit: 428,42 mg/l; Mn: 120 mg/l; Mg: 190 mg/l; K: 714 mg/l; Na: 420,82 mg/l; Cl: 1200,03 mg/l mg/l; Fe: 156,53 mg/l; Cu: 52,16 mg/l; Cd: 8,07 mg/l dan Pb:85,63 mg/l, semuanya melampaui standar yang telah ditetapkan. Hal ini disebabkan karena komposisi sampah kota di TPA lokasi penelitian mengandung sampah organik tinggi seperti: sampah sisa makanan (38,9%); kertas (15%); daun-daun (8,5%); kulit (2,6%) dan potongan kain (2,1%), dan sisanya berupa plastik (14,5%) dan lainnya. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Yeoh (2006) yang menyebutkan bahwa TPA di Indonesia menampung sampah kota yang rata-rata memiliki komposisi dengan kandungan organik tinggi (70-80%) dan anorganik (20-30%).

Sebagai bandingan penelitian yang dilakukan di lapangan TPA Ibb city (Yemen) pada lokasi terdekat TPA, pada jarak 15 dan 20 meter tercatat kandungan pH berturut-turut 8,46; 8,45 dan 8,42; kandungan BOD mencapai 2060; 2030; dan 2000 mg/l ; kandungan COD: 19.880 ; 19.860 dan 19.840 mg/l ; kandungan NO<sub>2</sub>: 11.000 mg/l; kandungan NO<sub>3</sub>: 1.500; 1.200 dan 1.000 mg/l ; kandungan NH<sub>4</sub>-N: 1379,160; 1199,600 dan 1020,000 mg/l. Kandungan logam berat Pb: 2850; 2750 dan 2600 mg/l serta kandungan Cu : 21.500 mg/l (Esmail *et al.*, 2009). Selain itu penelitian lain juga menunjukkan bahwa umur TPA berpengaruh terhadap kualitas lindi, dimana umur TPA akan menentukan kualitas lindi. TPA dengan umur >10 tahun memiliki kandungan bahan organik lebih rendah dibanding TPA dengan umur <10 tahun (Virgin *et al.*, 1993 dalam Departemen Pekerjaan Umum, 2006).

Bakteri coliform merupakan bakteri indikator biologis pada pencemaran. *Fecal coliform bacteria* merupakan bakteri indigenous pada saluran pencernaan manusia dan mengindikasikan adanya kontaminasi fecal/tinja dan kemungkinan kehadiran mikroorganisme patogen seperti entero-rota dan reovirus dan dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti tipus, cholera, disentri, dan penyakit saluran pencernaan lainnya yang diakibatkan oleh *waterborne disease* ataupun penyakit pernafasan seperti meningitis dan polio (Pepper *et al.*, 1996). Hasil penelitian kandungan bakteri termasuk *fecal coliform* telah diidentifikasi dari 6 station sampling di Cheney *reservoir watershed* di Kanada menunjukkan adanya kandungan coliform >10.000 koloni/100 ml dan diduga berasal dari deposisi peternakan atau dari septik tank domestik, dan data ini tercatat 34 % lebih tinggi dibandingkan pada tahun 1997. Oleh karenanya *Kansas City Department of Health Environment* (KDHE) menetapkan bahwa kriteria kualitas air dengan standar 200 koloni/100 ml (Mau and Pope, 1999). Penelitian lain pada TPA di Ibb city dengan luas 0,8 km<sup>2</sup> di Yemen juga menunjukkan tingginya angka bakteri *coliform* yaitu mencapai 2400 MPN/100 ml pada analisis contoh lindi (Esmail *et al.*, 2009). Penelitian Noriko *dkk.* (1999). di lokasi TPA Bantar Gebang Bekasi pada sampel air sumur yang berjarak sekitar 1 km dari sumber sampah juga menunjukkan adanya kontaminasi oleh bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella thyposa*; *Salmonella thyposa* dengan konsentrasi di atas baku mutu lingkungan.

Tabel 2. Karakteristik *leachate* di beberapa kota di Indonesia (Damanhuri, 1995)  
 Table 2. Leachate characteristic from at several cities in Indonesia (Damanhuri, 1995)

No	Kota	pH (-)	COD (mg/L)
1.	Bogor	7,5	28723
		8	4303
2.	Cirebon	7	3648
		7	13575
3.	Jakarta	7,5	6839
		7	413
		8	1109
4.	Bandung (Leuwigajah)	6	58661
		7	7379
5.	Bandung (Sukamiskin)	6,39	4426
		8,6	9374
5.	Solo	6	6166
6.	Magelang	8,03	24770
7.	Surabaya (Keputih)	8,26	3572
8.	Surabaya (Benowo)		
	umur < 1 tahun	8,14	8580
	umur 2 tahun	7,87	6160
	umur > 3 tahun	8,14	2200

Pada penelitian di TPA Palembang ini menunjukkan bahwa kualitas mikrobiologis (*coliform total*) lindi pada bak kontrol tercatat >10.000 (MPN/100 ml.), tidak memenuhi standar (<10.000 MPN/100 ml.). Hal ini diduga berkaitan dengan pertumbuhan biomassa bakteri pada media sampah organik sejalan dengan fungsi waktu. Sebaliknya pada bak perlakuan dengan menggunakan GCLs, setelah 3 minggu perlakuan, kandungan bakteri golongan coliform mengalami penurunan hingga mencapai <5.000 (MPN/100 ml.). Hal ini diduga terkait dengan keberadaan GCLs yaitu dapat menghambat perkembangbiakan biomassa bakteri.

Pada penelitian ini dengan menggunakan bak kontrol (tanpa GCLs) menunjukkan adanya perubahan kandungan kimiawi lindi pada bagian permukaan dan kedalaman satu meter setelah 3 (tiga) minggu percobaan, berupa peningkatan kandungan pH; NO<sub>3</sub>-N; NO<sub>2</sub>-N; NH<sub>3</sub>-N; COD; BOD; maupun kandungan logam berat Pb dan Cu (Tabel 3).

Tabel 3. Kualitas lindi dari bak kontrol  
 Table 3. Leachate quality of control pond

No	Percobaan	Parameter (mg/L)								
		Coli MPN/100ml	pH unit	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>3</sub> -N	COD	BOD <sub>5</sub>	Pb	Cu
1.	Awal	> 10.000	7,03	148,62	98,07	199,48	629,37	205,42	12,04	28,67
2.	3 minggu percobaan (permukaan)	> 10.000	7,55	192,03	135,72	535,02	832,95	218,52	16,64	30,19
	(kedalaman 1m)	> 10.000	7,93	210,63	128,09	718,04	1075,17	335,07	22,68	26,00
	Perubahan (%) pd kedalaman 1m			+41,30	+30,68	+260	+ 70,81	+ 63,11	+88,37	-9,31
	BML*	< 10.000	6-9	20	1	1	100	50	0.1	2

Fenomena yang sama terjadi pada kualitas lindi pada kedalaman timbunan sampah sedalam satu meter. Hal ini diduga terjadi sebagai akibat adanya aliran lindi di bawah tanah yang lebih pekat dibanding pada lapisan permukaan. Dengan demikian tanpa perlakuan menunjukkan bahwa hampir semua parameter uji mengalami peningkatan kandungan setelah 3 minggu perlakuan, dan kandungan awal lindi memang sudah tidak memenuhi persyaratan (Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Selatan Nomor 18 tahun 2005).

Pada penelitian ini di TPA di Palembang dengan perlakuan *fly ash* (GCLs) diperoleh penurunan kandungan beberapa parameter cemaran lindi, khususnya pada parameter logam berat Pb dan Cu. Kedua parameter ini memang kerap dijumpai dalam lindi sampah di Indonesia. Hasil analisis laboratorium kualitas lindi pada bak perlakuan dengan pemasangan GCLs *fly ash* secara lengkap disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kualitas lindi dari bak perlakuan dengan GCLs *fly ash*  
Table 4. Leachate quality of treatment pond with GCLs *fly ash*

No	Waktu Percobaan	Parameter (mg/L)								
		Coli MPN/100ml	pH unit	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>3</sub> -N	COD	BOD <sub>5</sub>	Pb	Cu
1.	Awal	>10.000	7,11	185,03	120,18	252,09	839,03	314,03	18,09	35,67
2.	<b>Akhir percobaan (3 minggu)</b>	<b>6.000</b>	<b>7,84</b>	<b>235,08</b>	<b>155,81</b>	<b>640,02</b>	<b>860,03</b>	<b>375,67</b>	<b>15,03</b>	<b>22,64</b>
	(kedalaman 1m)	4.800	7,16	125,64	121,07	418,73	1531,06	390,61	12,64	20,14
	Perubahan (%) pd sample dari kedalaman 1m.		6-9	-32,1	-0,74	+66,1	+82,5	+24,39	-30,1	-43,54
	BML *	<10.000	6-9	20	1	1	100	50	0.1	2

Data di atas menunjukkan bahwa dibandingkan dengan kontrol, perlakuan GCLs telah menurunkan kandungan cemaran lindi khususnya kandungan logam berat Pb (30,1%) dan Cu (43,54%), serta kandungan NO<sub>3</sub>-N (32,1%) dan NO<sub>2</sub>-N (0,74%) walaupun tidak signifikan. Sebaliknya sampai dengan akhir percobaan belum diperoleh perubahan kandungan zat cemar lain yaitu tercatat peningkatan kandungan NH<sub>3</sub>-N (66,1%) ; BOD (24,39), walaupun peningkatan ini tidak sebesar pada kontrol kecuali parameter COD (82,5%) . Data lengkap perubahan dimaksud disajikan pada Tabel 2. Dari data di atas tampak perubahan kualitas lindi baik pada permukaan timbunan sampah maupun pada kedalam satu meter ke bawah, telah terjadi pada bak kontrol maupun bak eksperimen, setelah 3 minggu percobaan, walaupun dengan fenomena perubahan yang berbeda.

Fenomena berbeda terjadi pada bak eksperimen dimana semakin dalam lapisan sampah, setelah 3 minggu percobaan, dengan adanya lapisan GCLs, maka kualitas lindi semakin baik meskipun masih belum dapat mencapai ambang batas yang diperkenankan. Perubahan tampak pada bak perlakuan dimana terjadi penurunan konsentrasi logam berat seperti Pb dan Cu pada baik eksperimen. Hal ini sesuai dengan data awal perlakuan, bahwa GCLs secara nyata dapat dimanfaatkan untuk menyerap logam berat yang bersifat toksik. Penelitian lain menunjukkan bahwa pengolahan sampah kota dengan menggunakan zeolit yang disintesa dari *fly ash* batubara telah dilakukan dan menghasilkan penyisihan kandungan COD; NH<sub>4</sub>-N dan kepadatan tersuspensi berturut-turut sebesar 43; 53 dan 82%. Senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Hendrawan (1996) pada lokasi TPA terjadi penurunan signifikan pada kualitas air sungai terdekat lokasi TPA. Peningkatan tercatat pada parameter DHL; BOD; COD; dengan konsentrasi di atas baku mutu lingkungan.

## Kesimpulan

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kualitas lindi yang dihasilkan dari proses degradasi sampah kota mengandung berbagai senyawa toksik sehingga tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan tanpa mengalami pengolahan. Bahan uji *fly ash* yang merupakan limbah pada industri PLTU dapat dimanfaatkan sebagai lapisan pelindung (*Geosynthetic liners/GCLs*) untuk mereduksi senyawa toksik yang terlarut dalam lindi di TPA. Dalam percobaan selama 3 minggu GCLs ini ternyata dapat menurunkan pencemaran mikrobiologis (penurunan total bakteri coliform >50%), mereduksi parameter Pb (30,1%) dan Cu (43,54%), selain pada penurunan kandungan nitrat dan nitrit maka parameter lain seperti amoniak, BOD dan COD belum tampak penurunannya.

## Daftar Pustaka

- Bayat, B., 2002. Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes. *J. of Hazardous Materials* 95 (3): 275-290.
- Damanhuri, E., 1995. Pengkajian laju timbunan sampah di Indonesia (kota sedang dan kecil). LPM ITB, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2006. Teknis Pengelolaan Sistem Persampahan Pola Regional. Modul Pendidikan dan Pelatihan Teknis Bidang PLP. Satuan kerja non-vertikal tertentu pengembangan kinerja pengelolaan persampahan dan drainase propinsi Sumatera Selatan, Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum. Departemen Pekerjaan Umum.
- Esmail Al Sabahi, Rahim, S., Wan Z.,W.Y., Fadhl, A.N., and Fares A., 2009. The characteristics of leachate and groundwater pollution at municipal solid waste landfill of Ibb City, Yemen, *Am.J. Environ.Sci.* 5(3):256-266.
- Hendrawan, I.D., 1996. Dampak lokasi pembuangan akhir (LPA) sampah sistem *sanitary landfill terhadap pencemaran lingkungan* (studi kasus di Bantar Gebang Bekasi). Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia.
- Mau, D.P., and Pope, L.M., 1999. Occurrence of fecal coliform bacteria in the cheney reservoir watershed, south central Kansas. USGS, Kansas Water Science Center, Kansas city.
- Noriko, N., Attila A., dan Ayu P.I., 1999. Perbandingan kualitas air setelah penyaringan dengan karbon aktif dan arang tempurung kelapa di lokasi pembuangan akhir Bantar Gebang Bekasi. Yayasan Pesantren Islam Al Azhar. Pusat Penelitian SDM IPB,Bogor.
- Pepper, I.L., Gerba, C.P., and Brusseau, M.L., 1996. An approach to wastewater treatment in organized industrial districts: a pilot-scale example from Turkey. *Int. J. of Env. and Pollution* 21(6): 603-611.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 18 Tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai serta Baku Mutu Limbah Cair (BMLC) Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara.
- Pratama, Y., 2007. Coal fly ash conversion to zeolite to removal of chromium and nickel from wastewaters. Tesis Program Pascasarjana ITB (Central Library Institute Technology Bandung).
- Putri, M., 2009. Abu terbang batubara sebagai adsorben. *Majari Magazine*. Penerbit: Majari Magazine. p:1. *e-Magazine* diakses 30 Oktober 2009
- Yeoh, B.G., 2006. Municipal solidwaste Generation and Composition. Asean Committee on Science & Technology, Sub Committee on Non Conventional Energy Research, Singapore.