



## POTENSI DAN KARAKTERISTIK LIMBAH PADAT FLY ASH DAN BOTTOM ASH HASIL PEMBAKARAN BATUBARA PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY TERHADAP KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Enda Kartika Sari<sup>1</sup>, Yuliantini Eka Putri<sup>2\*</sup>, Lindawati<sup>3</sup>, Ferry Desromi<sup>4</sup>,  
Revianty Nurmeyliandari<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Baturaja

<sup>5</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri

\*Corresponding Author , Email: [yuliantini6773@gmail.com](mailto:yuliantini6773@gmail.com)

### ABSTRAK

*PT. Bakti Nugraha Yuda Energy memiliki pembangkit tenaga uap dengan menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. Limbah Hasil Pembakaran Batubara (LHPB) terus bertambah tetapi terbatas penyimpanannya. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi potensi dan karakteristik limbah hasil pembakaran batubara yang dihasilkan dan potensinya untuk paving block. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar penggunaan fly ash dan bottom ash yang optimal untuk paving block dan karakteristiknya. Metode yang dilakukan berupa survey langsung. Data yang dari pengujian langsung di laboratorium terhadap kuat tekan paving block pada campuran fly ash dan bottom ash. Data sekunder berupa data karakteristik fly ash dan bottom ash dan literatur lainnya. Dari pengujian, kuat tekan tertinggi pada paving block pada substitusi fly ash dan bottom ash 30 % sebesar 105.38 MPa. Peningkatan kuat tekan terjadi akibat kandungan silika yang tinggi yang terdapat pada fly ash dan bottom ash. Karakteristik batubara di PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy adalah silika dan besi sebagai unsur kandungan utama, dan unsur lainnya yaitu aluminium, kalsium, titanium dan kalium. Fly ash dan bottom ash memiliki kandungan mineral yang tinggi yaitu didominasi oleh fasa quartz 61,8% dengan struktur kristal trigonal (hexagonal axes).*

**Kata Kunci :** Fly ash; bottom ash, batu bara, paving block

### ABSTRACT

*PT. Bakti Nugraha Yuda Energy has a steam power plant using coal as the main fuel. Coal Combustion Waste (LHPB) continues to grow but its storage is limited. This research was conducted to identify the potential and characteristics of the resulting coal combustion waste and its potential for paving blocks. This study aims to determine the optimal use of fly ash and bottom ash for paving blocks and their characteristics. The method used is a direct survey. Data from direct testing in the laboratory on the compressive strength of paving blocks in a mixture of fly ash and bottom ash. Secondary data in the form of data on the characteristics of fly ash and bottom ash and other literature. From the test, the highest compressive strength in paving blocks with 30% fly ash and bottom ash substitution was 105.38 MPa. The increase in compressive strength occurs due to the high silica content found in fly ash and bottom ash. Characteristics of coal in PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy is silica and iron as the main constituents, and the other constituents are aluminum, calcium, titanium and potassium. Fly ash and bottom ash have a high mineral content, which is dominated by phase quartz 61.8% with a trigonal crystal structure (hexagonal axes).*

**Keywords:** Fly ash; bottom ash; coal; paving blocks

## PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik untuk keperluan industri maupun masyarakat sehari-hari semakin meningkat. Ini menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi dan krisis bahan bakar minyak sehingga muncul beberapa penggunaan energi alternatif. Penggunaan bahan bakar batubara bagi industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang akan banyak menghasilkan limbah padat hasil pembakaran berupa abu terbang (*fly ash*), slag (*bottom ash*) dan lumpur *flue gas desulfurization* (Taufik, 2014). Meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah padat juga akan meningkat. Jumlah limbah PLTU pada tahun 2000 telah mencapai 1,66 juta ton dan pada tahun 2006 mencapai 2 juta ton. Di Indonesia, produksi limbah abudasar dan abu layang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku untuk proses pembakaran di industri (Harijono, 2016).

PLTU berbahan bakar batubara biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Abu batubara yang merupakan limbah dari proses pembangkit tenaga listrik tersebut dapat berupa abu terbang, abu dasar dan lumpur *flue gas desulfurization* (Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, 2007). Jumlah abu batubara yang dihasilkan per hari dapat mencapai 500-1000 ton. Partikulat debu melayang (*fly ash*) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang tersebar di udara dengandiameter yang sangat kecil, mulai dari <1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan.

*Fly ash* dan *bottom ash* adalah terminologi umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly ash* dan *bottom ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. *Fly ash/bottom ash* yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh= 1 lubang/inch<sup>2</sup>). Ukuran ini relatif kecil dan ringan, sedangkan *bottom ash* berukuran 20-50 mesh. Secara umum ukuran *fly ash* dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan trass dengan memasukkannya pada *cement mill* menggunakan udara tekan (*pneumatic system*).

Persoalan lingkungan muncul dari *bottom ash* yang menggunakan *fixed bed* atau *grate system*. Bentuknya berupa bongkahan-bongkahan besar dan masih mengandung *fixed carbon* (catatan: *fixed carbon* dalam batubara dengan nilai kalori 6500-6800 kkal/kg sekitar 41%-42%). Jika *bottom ash* ini langsung dibuang ke lingkungan maka lambat laun akan terbentuk gas Metana (CH<sub>4</sub>) yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya (*self burning dan self exploding*). Jumlah *fly ash* dan *bottom ash* yang sangat banyak menjadi permasalahan besar yang sedang dihadapi industri-industri pembangkit listrik salah satunya adalah PT. Bakti Nugraha Yuda Energy.

PT. Bakti Nugraha Yuda Energy memiliki pembangkit tenaga uap dengan menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. Pembakaran batubara di dalam boiler selain menghasilkan uap, juga menghasilkan abu dan slag. Kendala yang dihadapi perusahaan dalam memakai batubara adalah pengelolaan Limbah Hasil Pembakaran Batubara (LHPB) dan terbatasnya lahan untuk penyimpanan sementara LHPB, sedangkan LHPB setiap hari terus bertambah. Jika limbah tersebut tidak dimanfaatkan

secara maksimal akan menimbulkan dampak sosial dan lingkungan. Dari permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi potensi dan karakteristik limbah hasil pembakaran batubara yang dihasilkan oleh PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy dan potensi limbah tersebut terhadap kuat tekan pada paving block. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* yang optimal terhadap kekuatan paving block hasil dari pembakaran batubara di PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy dan mengetahui potensi dan karakteristik limbah padat *fly ash* dan *bottom ash*.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan adalah metode survey atau pengamatan langsung di lapangan. Data yang diperlukan adalah data primer dan dan sekunder. Data perimer diperoleh dengan melakukan pengujian langsung di laboratorium dengan melakukan pengujian kuat tekan paving block pada campuran *fly ash* dan *bottom ash*. Data sekunder yang diperoleh adalah data karakteristik *fly ash* dan *bootom ash* yang berasal dari PT. Bakti Nugraha Yuda Energy dan literature lainnya. Pengujian kuat tekan beton menggunakan *Concrete Compressive Machine* di Laboratorium PT Semen Baturaja (SIG) Tbk.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* berdasarkan kadar penggunaan dan uji kuat tekan pada paving block

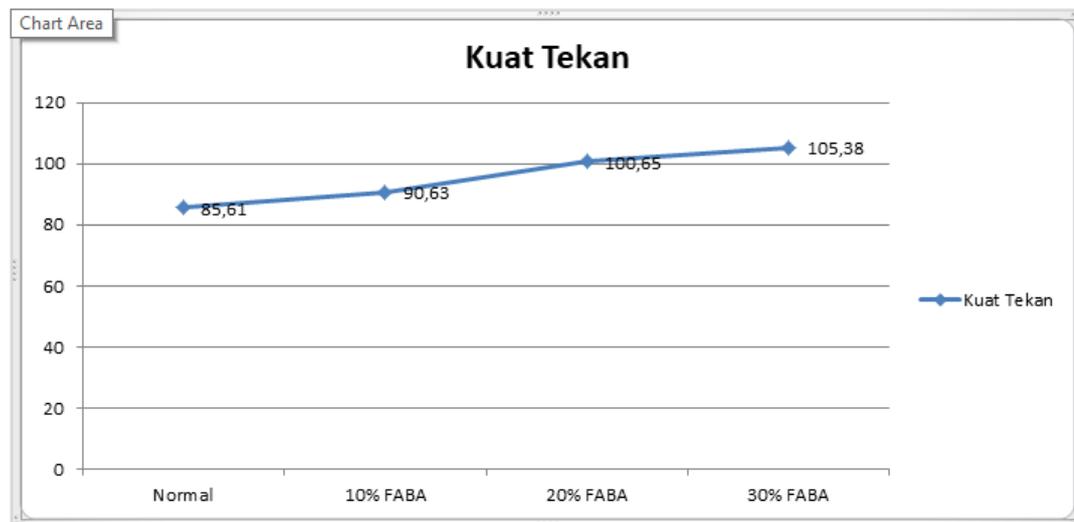
Kuat tekan adalah kemampuan paving block untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Pengujian kuat tekan ini dilakukan untuk mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur yaitu dari paving block. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu paving block yang harus dihasilkan. Pengujian kuat tekan yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan paving block normal (tanpa campuran) dan pengujian kuat tekan paving block dengan campuran *fly ash* dan *bottom ash* dari hasil pembakaran batubara dengan penambahan sebesar 10%, 20% dan 30 %. Hasil pengujian kuat tekan paving block dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan *paving block* dengan tambahan *fly ash* dan *bottom ash*

No.	Paving Block dengan substitusi Fly Ash dan Bottom Ash		Kuat Tekan		Rata-rata Kuat Tekan (MPa)
			kN	MPa	
1	Paving Block Normal	Sampel I	116	84,63	85,61
		Sampel II	108	84,88	
		Sampel III	118	87,34	
2	FABA 10%	Sampel I	126	89,23	90,63
		Sampel II	116	89,32	
		Sampel III	128	93,34	
3	FABA 20%	Sampel I	136	96,32	100,65
		Sampel II	122	99,43	
		Sampel III	149	106,20	
4	FABA 30%	Sampel I	149	106,20	105,38
		Sampel II	140	100,32	
		Sampel III	155	109,62	

Dari Tabel 1 terlihat bahwa komposisi paving block yang diuji dengan 3 kali perlakuan, nilai kuat tekan terkecil terjadi paving block normal dengan nilai kuat tekan sebesar 85.61 MPa, sedangkan untuk nilai kuat tekan terbesar terjadi pada substitusi *fly ash* dan *bottom ash* 30% dengan nilai kuat tekan sebesar 105.38 MPa. Nilai rata-rata kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari pengujian kuat tekan sampel didapat kuat tekan tertinggi pada paving block dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* 30 % dengan kuat tekan mencapai 105.38 MPa. Peningkatan kuat tekan terjadi akibat kandungan silika yang tinggi yang terdapat pada *fly ash* dan *bottom ash*, silika secara fisik lebih halus dari pada semen dan secara kimia mengandung unsur SiO<sub>2</sub> yang tinggi, akan dapat menambah kekuatan pada paving block (Harris, dkk, 2013).



Gambar 1. Nilai rata-rata kuat tekan paving block

Secara mekanik silika akan mengisi rongga antara butiran semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi. sehingga butiran *fly ash* dan *bottom ash* yang lebih halus mampu mengisi pori yang lebih kecil, dan selain itu, di dalam agregat halus terdapat kandungan senyawa SiO<sub>2</sub> yang memberikan kontribusi dalam proses pengerasan maupun peningkatan kuat tekan pada paving block dengan demikian paving block yang dihasilkan lebih padat dan solid (Soeswanto, Bambang, 2011). Demikian juga penambahan *superplasticizer* juga meningkatkan *workability* dari paving block, penambahan *admixture* ini mengakibatkan kemudahan pengerjaan (*workability*). Pada proporsi tertentu *superplasticizer* akan mendispersi semen menjadi lebih merata, sehingga akan menghasilkan reaksi hidrasi yang lebih sempurna. Reaksi ini akan membuat campuran menjadi lebih kompak dan padat sehingga daya ikat campuran menjadi lebih kuat dan meningkatkan kekuatan Paving Block yang dihasilkan.

## Potensi limbah padat fly ash dan bottom ash

Unsur yang terdapat pada *fly ash* dan *bottom ash* adalah silika (Si), besi (Fe), aluminium (Al) dan kalsium (Ca) dalam jumlah besar, dan unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil (Aziz, A, 2015). Unsur tertinggi pada *fly ash* adalah silika (Si) sedangkan pada *bottom ash* adalah besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan oleh PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy adalah pengujian di Laboratorium FMIPA Universitas Hasanudin (2021) dengan menggunakan alat XRF dapat menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dengan menggunakan metode spektrometri. Efek samping dari dosis zat besi yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kesehatan tubuh manusia, dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mensekresi zat besi (Mufrodi, Z, 2015). Akumulasi masuknya zat besi dalam jumlah besar dapat merusak dinding usus pada manusia. Oleh karena itu penanganan fly ash dan bottom ash dari hasil pembakaran batubara ini harus segera dilakukan.

Tabel 2. Analisis Kimia Berdasarkan Uji Karakteristik XRF

No	Unsur Kimia	<i>Fly ash</i>		<i>Bottom ash</i>	
		BTG 1 (%)	BTG 2(%)	BTG 1 (%)	BTG 2 (%)
1	Si	40.43	<b>41.78</b>	35.67	35.30
2	Fe	36.13	37.56	<b>46.51</b>	39.01
3	Al	<b>10.58</b>	8.48	4.51	9.03
4	Ca	8.12	7.44	8.61	<b>12.30</b>
5	Ti	<b>1.77</b>	1.39	1.62	1.55
6	K	1.30	<b>1.51</b>	0.96	1.29
7	LOI	0.66	0.21	<b>41.8</b>	13.37

*Loss Of Ignition* (LOI) adalah suatu ukuran dari kadar karbon yang tidak terbakar dan tertinggal dalam *fly ash* dan *bottom ash* yang dapat diidentifikasi dengan cara kasat mata dengan warna yang bervariasi dimana pada BTG I berwarna coklat keabu-abuan sampai coklat kehitaman dan BTG II berwarna abu-abu sampai abu-abu gelap kehitaman, tergantung pada kadar karbon yang tidak terbakar dalam *fly ash* dan *bottom ash* (Samijo, 2016). Semakin terang warna abu-abu yang dihasilkan dari sampel, semakin rendah kadar karbonnya. *Fly ash* mengandung karbon rendah sehingga cocok digunakan sebagai bahan semen, dan sebaliknya *bottom ash* yang berkadar karbon tinggi cocok untuk bahan pengisi (*filler*) dalam industri polimer atau karet. Selain melihat kadar unsur kimia juga dapat dilakukan pengujian kadar mineral yang terkandung pada *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batubara pada PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy. Untuk melihat jenis dan komposisi mineral dapat menggunakan metode menggunakan difraktometer type XRD7000 SHIMADZU dilengkapi dengan software APD (*Automatic Powder Diffraction*) yang XRD menggunakan tabung anod Cu. Jenis dan komposisi mineral dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa mineral-mineral yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batubara pada PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy didominasi oleh fasa *quartz*. Proses pembakaran batubara di PLTU yang menggunakan temperatur tinggi menyebabkan *fly ash* dan *bottom ash* mendapatkan nilai persentase mineral fasa *quartz* yang tinggi dan dapat dimanfaatkan seperti sebagai bahan bangunan,

substitusi semen, jalan, tambang bawah tanah atau underground mining serta restorasi tambang. *Quartz* atau kuarsa adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu bagian silikon dan dua bagian oksigen atau biasa disebut silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ).

Tabel 2. Jenis dan Komposisi Mineral pada Fly Ash dan Bottom Ash

No	Sampel	Formula	Nama Mineral	(%)	Sistem Kristal	Ukuran Kristal (nm)
1	Fly ash BTG 1	$\text{O}_2\text{Si}$	<i>Quartz</i>	<b>61.8</b>	<i>trigonal (hexagonalaxes)</i>	24,38321
		$\text{Al}_{10.8}\text{Bi}_2\text{Ga}_{3.2}\text{O}_9$	<i>Mullite</i>	19.4	<i>Orthorhombic</i>	28,349
		$\text{Fe}_3\text{O}_4$	<i>Magnetite</i>	9.4	<i>Cubic</i>	32,96094
		$\text{Ca O}$	<i>Lime</i>	9.3	<i>Cubic</i>	25,94989
2	Fly ash BTG 2	$\text{O}_2\text{Si}$	<i>Quartz</i>	<b>48.4</b>	<i>trigonal (hexagonal axes)</i>	21,84855
		$\text{Al}_{12.383}\text{Ge}_{0.617}\text{O}_{4.80}\text{Si}_{0.75}$	<i>Mullite</i>	42.6	<i>Orthorhombic</i>	23,99399
		$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Iron(III) Oxide hematite	9.0	Rhombohedral	15,93631
3	Bottomash BTG 1	$\text{O}_2\text{Si}$	<i>Quartz</i>	<b>42.2</b>	<i>trigonal (hexagonalaxes)</i>	18,49087
		$\text{Mn}_2\text{O}_3$	<i>Manganese (III) oxide</i>	24.6	<i>Cubic</i>	29,44869
		$\text{Al O}_4\text{P}$	<i>Berlinite</i>	23.1	<i>trigonal (hexagonalaxes)</i>	20,40659
		$\text{Fe}_2\text{O}_3$	<i>Maghemite</i>	10.1	<i>Cubic</i>	11,07986
4	Bottomash BTG 2	$\text{O}_2\text{Si}$	<i>Quartz</i>	<b>45.6</b>	<i>trigonal (hexagonalaxes)</i>	19,28126
		$\text{Ga}_{2.31}\text{Ge}_{0.69}\text{O}_{4.84}$	<i>Mullite</i>	28.7	<i>Orthorhombic</i>	24,29009
		$\text{Al O}_4\text{P}$	Berliniite	17.0	<i>trigonal (hexagonal axes)</i>	34,08584
		$\text{Fe}_2\text{O}_3$	<i>Maghemite</i>	8.7	<i>Tetragonal</i>	16,71448

Selain kuarsa terdapat pula mineral *mullite* yang merupakan mineral silikat berserat dari ekspansi termal yang sangat rendah. *Mullite* terbentuk didalam tubuh porselen selama penembakan dan di industri dengan cara kalsinasi. Morfologi *mullite* juga penting untuk penerapannya. Dalam kasus Kondisi yang paling penting berhubungan dengan komposisi kimia keramik.

Berdasarkan data XRF diketahui bahwa unsur besi pada *bottom ash* sangat besar dibandingkan dengan *fly ash*, ini dibuktikan dengan diperolehnya mineral *maghemite* dari hasil analisis XRD pada *bottom ash* BTG I dan II. *Maghemite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) adalah anggota keluarga oksida besi, memiliki struktur ferit spinel yang sama dengan magnetit dan juga ferrimagnetik, sedangkan pada *fly ash* terdapat mineral *hematite* yaitu salah satu mineral yang paling melimpah di permukaan bumi maupun di kerak bumi yang dangkal.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah:

1. Dari pengujian kuat tekan tertinggi pada paving block dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* 30 % dengan kuat tekan mencapai 105.38 MPa. Peningkatan kuat tekan terjadi akibat kandungan silika yang tinggi yang terdapat pada *fly ash* dan *bottom ash*, silika secara fisik lebih halus dari pada semen dan secara kimia mengandung unsur SiO<sub>2</sub> yang tinggi, akan dapat menambah kekuatan pada paving block.
2. Karakteristik limbah padat *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara di PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda Energy meliputi;
  - a. Silika dan besi sebagai unsur kandungan utama pada sampel *fly ash* dan *bottom ash*. Selain kedua unsur tersebut, terdapat pula unsur-unsur yang kecil seperti aluminium, kalsium, titanium dan kalium. *Fly ash* memiliki kadar karbon yang rendah sehingga digunakan sebagai pencampur semen sedangkan *bottom ash* mengandung kadar karbon tinggi sehingga cocok diaplikasikan ke bahan polimer.
  - b. *Fly ash* dan *bottom ash* mengandung unsur mineral yaitu didominasi oleh fasa *quartz* dengan struktur kristal *trigonal (hexagonal axes)*, selain itu juga terdapat fasa *mullite* dengan struktur kristal *orthorombic* dan mineral pembentuk senyawa besi yang dominan terdapat pada *bottom ash* yaitu *maghemite* dengan struktur *cubic* dan *tetragonal*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, Abdul. *Pengaruh Ph Dan Tegangan Listrik dalam Elektrolisis Limbah Padat Baja (Slag Eaf) Sebagai Upaya Mereduksi Kandungan Logam Fe pada Limbah Padat Industri Galvanis*. Semarang: Universitas Islam Negeri Walisongo, 2015.
- Harijono, D. *Fly ash dan Pemanfaatannya*. Seminar Nasional Batubara. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2016.
- Harris, dkk. *Studi Pemanfaatan Limbah Padat dari Perkebunan Kelapa Sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2013.
- Mufrodi, Z. *Modifikasi Limbah Abu Terbang sebagai Material Baru Adsorben*. Yogyakarta: Universitas Pendidikan Negeri Yogyakarta, 2015
- Pusat Penelitian Lingkungan Hidup. *Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan PLTU Batubara 2x30 MW PT Makmur Sejahtera Wisesa*. Lembaga Penelitian Universitas Lambung Mangkurat, 2007.
- Samijo. *Pembuatan Paving Block Dengan Menggunakan Limbah Abu Boiler PKS Gunung Bayu Sebagai Bahan Pengisi Dengan Perikat Alternatif Limbah Fly ash PLTU Sibolga*. Medan: Universitas Sumatera Utara, 2016.

Soeswanto, Bambang. *Pengaruh Parameter Proses Pada Pemungutan Kembali Silika Dari Abu Batubara*. 2011. Tesis, S-2 Pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Diponegoro Semarang, 2011.

Taufik, Muhammad, dkk. *Laporan Praktek Kerja Lapangan Pembangkit Listrik(Pltu) PT. Semen Tonasa*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2014.



*Jurnal Deformasi is licensed under  
a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License*