

ENVIRONMENTAL AND INFRASTRUCTURE SUSTAINABILITY TOWARD NEW INDUSTRIAL ERA 4.0

**Yuwono Budi Pratiknyo
Wahyono Hadi
Maritha Nilam Kusuma
Irvandy Andriansyah
Mohammad Razif
Maritha Nilam Kusuma
Didik Suprawito
Yauwan Tobing Lukiyon
Nurul Khomariyah**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
INSTITUT TEKNOLOGI ADHI TAMA SURABAYA**

**ENVIRONMENTAL AND INFRASTRUCTURE
SUSTAINABILITY TOWARD
NEW INDUSTRIAL
ERA 4.0**

Cetakan Pertama: November 2019
Surabaya, Jawa Timur

Penulis: Yuwono Budi Pratiknyo, dkk
Penata Letak: Kanaka
Penata Sampul: Kanaka
Pemeriksa Aksara: Asroful A
Sumber Gambar: pixabay.com

Penerbit:



CV. KANAKA MEDIA
WA : 0895384076090
FB : PENERBIT KANAKA
IG : cetakbuku_sby
katalog_knk
Blog : www.kanakamedia.blogspot.com

ISBN: 978-623-7569-48-0
Tebal: 67 hlm

hak cipta dilindungi undang-undang.
dilarang memperbanyak sebagian atau
seluruh isi buku tanpa seizin tertulis
dari penulis dan penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga *Book Chapter: Environmental and Infrastructure Sustainability Toward New Industrial Era 4.0* telah dapat diselesaikan. *Book Chapter* ini merupakan edisi perdana, sebagai literature tambahan bagi mahasiswa Program Studi Magister Teknik Lingkungan ITATS dalam menyusun thesis serta memberikan ide peneitian secara jelas untuk penyelesaian tesis.

Terimakasih disampaikan kepada seluruh dosen dan mahasiwa Magister Teknik Lingkungan ITATS yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku serta semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelesaian buku ini.

Kami menyadari masih terdapat kekurangan dalam buku ini untuk itu kritik dan saran terhadap penyempurnaan buku ini sangat diharapkan. Semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi mahasiswa Magister Teknik Lingkungan ITATS khususnya dan bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Maret 2019

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I STUDI OPTIMASI ALTYERNATIF PEMANFAATAN LIMBHA ASH PLTU DITINJAU DARI ASPEK PRODUKSI, ASPEKLINGKUNGAN DAN ASPEK EKONOMI.....	1
BAB II PENGOLAHAN KEKERUHAN AIR TELAGA DESA PADENGAN PLOSO KABUPATEN LAMONGAN DENGAN PROSES FILTRASI DAN ADSORPSI.....	15
BAB III INOVASI KOAGULAN ALAMI DARI SERBUK BIJI PEPAYA SEBAGAI BAHAN PENDUKUNG KOAGULAN KOMERSIL (SINTETIS)	28
BAB IV INTEGRASI METODE SUSPENDED GROWTH DAN ATTACHED GROWTH UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM PATOLOGI KLINIK	36
BAB V REDESAIN TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA (TPS) LIMBAH OLI BEKAS DI PT XIZ MOJOKERTO DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS, LINGKUNGAN DAN KELEMBAGAAN.	46



BAB I

STUDI OPTIMASI ALTERNATIF PEMANFAATAN LIMBHA ASH PLTU DITINJAU DARI ASPEK PRODUKSI, ASPEK LINGKUNGAN DAN ASPEK EKONOMI

Oleh :

**Yuwono Budi Pratiknyo, Wahyono Hadi,
Maritha Nilam Kusuma**

Ringkasan

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat konsumsi listrik Indonesia pada 2018 sebesar 1.064 kilo Watt hour (kWh) per kapita. Konsumsi listrik nasional terus menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya elektrifikasi di semua daerah serta perubahan gaya hidup masyarakat. Pemerintah melalui program kelistrikan 35.000 MW terus berupaya memenuhi kebutuhan listrik nasional melalui pembangunan pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan salah satu alternatif karena ketersediaan batubara yang masih besar di Indonesia. Saat ini ketersediaan batubara sebesar 166 miliar ton sumber daya dan 37 miliar ton cadangan. Berbicara pembakaran batu bara maka tidak akan terlepas dari limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*). Penelitian tentang pemanfaatan limbah ini sudah banyak dilakukan, demikian juga dengan pemanfaatan limbah ini untuk dibuat produk lain (batako, bata ringan, *paving* dll). Namun sampai saat ini masing-masing PLTU belum secara terintegrasi memanfaatkan limbah *ash* ini secara maksimal. PLTU hanya melakukan proses penimbunan atau membayar kepada pihak ketiga yang memiliki ijin pemanfaatan limbah B3 untuk dibuang. Potensi pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) sangat besar di Indonesia dan tersebar di berbagai wilayah Indonesia. Hal tersebut memunculkan suatu studi optimasi dan alternatif pemanfaatan limbah *ash*. PLTU Kapasitas 1.000 MW dipilih karena pada saat ini merupakan PLTU dengan kapasitas terbesar di Indonesia. Studi optimalisasi dan pemanfaatan limbah *ash* dilakukan dengan melakukan perhitungan teknis, analisi aspek ekonomi dan lingkungan. Berbagai alternatif yang dikaji selanjutnya akan dipilih alternatif terbaik. Pada kasus pemanfaatan limbah *ash* pada PLTU 1.000 MW, alternatif yang terbaik adalah dengan memanfaatkan limbah *ash* menjadi Mortar dengan nilai ekonomis : NPV Rp 4.023.813.107.398, IRR 15 %, Payback Period 0,48 Tahun dan Benevit Cost Ratio Sebesar 12,27 %.

Keywords: *optimasi, fly ash, bottom ash, PLTU, hazardous material.*

A. Latar Belakang

Konsumsi listrik nasional terus menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya akses listrik atau elektrifikasi serta perubahan gaya hidup masyarakat. Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik Indonesia 2017 mencapai 1.012 Kilowatt per *hour* (KWh)/kapita, naik 5,9 persen dari tahun sebelumnya. Untuk tahun ini, pemerintah menargetkan konsumsi listrik masyarakat akan meningkat menjadi 1.129 kwh/kapita. Penjualan listrik pada 2027 diproyeksikan mencapai 434 ribu Giga Watt hour (GWh) dengan pertumbuhan rata-rata 6,86%/tahun dalam 10 tahun ke depan. Berdasarkan data Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2018-2027 Perusahaan Listrik Negara (PLN), jumlah tersebut terdiri atas kebutuhan listrik rumah tangga sebesar 184 ribu GWh, bisnis 88 ribu GWh, publik 28 GWh dan industri 133 ribu GWh. Dengan konsumsi listrik per kapita mencapai 1.235 kWh/kapita (RUPTL 2018-2027, 2018).

Berbicara limbah PLTU maka tidak akan terlepas dari limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*). Penelitian tentang pemanfaatan limbah ini sudah banyak dilakukan, demikian juga dengan pemanfaatan limbah ini untuk dibuat produk lain (batako, bata ringan, *paving* dll). Namun sampai saat ini masing-masing PLTU belum secara terintegrasi memanfaatkan limbah *ash* ini secara maksimal. PLTU hanya melakukan proses penimbunan atau membayar kepada pihak ketiga yang memiliki ijin pemanfaatan limbah B3 untuk dibuang. Potensi pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) sangat besar di Indonesia dan tersebar di berbagai wilayah Indonesia.

Penelitian ini sangat bermanfaat untuk melakukan optimasi dan pemilihan alternatif pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) sehingga memiliki nilai manfaat dengan mengkaji

pemanfaatan limbah secara detail dari sisi aspek produksi, aspek lingkungan dan aspek ekonomi.

B. Tujuan

1. Pemilihan alternatif pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) pada PLTU yang sesuai dengan kapasitas dan jenis limbah *ash* secara detail dari sisi aspek produksi dan aspek lingkungan.
2. Pemilihan pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) secara optimal dengan suatu sistem terintegrasi pemanfaatan limbah PLTU.
3. Kajian optimalisasi pemanfaatan limbah *ash* ditinjau dari aspek produksi, aspek lingkungan dan aspek ekonomi.
4. Penurunan efek limbah *fly ash* dan *bottom ash* secara global

C. Tinjauan Pustaka

Batubara sebagai sumber penghasil *fly ash*, berdasarkan ASTM D.388 dikelompokkan menjadi 4, yaitu: Batubara *Lignitic* Merupakan kategori terendah dari batubara, mempunyai kemampuan menghasilkan panas terendah dan kadar air tertinggi, sering disebut "*brown coal*" karena bersifat agak lunak dan berwarna coklat atau hitam, dan pada umumnya digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Batubara *sub-bituminous* merupakan kategori menengah (*intermediate*) di antara *lignite* dan *bituminous coal*. Batubara jenis ini mempunyai kemampuan membangkitkan panas, pembakaran dan kadar kelembaban sedang dan digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Mempunyai kadar karbon 71% - 77% dalam abu kering dan kemampuan membangkitkan panas antara 8.300 - 13.000 British Thermal Units per pound batubara. Merupakan jenis batubara yang paling umum, disebut juga batubara hitam (*black coal*), pada umumnya batubara jenis ini mempunyai kemampuan menghasilkan panas yang tinggi dan kelembaban yang rendah, dapat digunakan untuk menghasilkan

tenaga listrik atau melebur bijih besi. Mempunyai kadar karbon antara 77% - 87% dalam abu kering, kemampuan membangkitkan panas di atas 13.000 *British Thermal Unit* per pound batubara. Batubara *Antrachite* merupakan jenis batubara yang mempunyai kadar karbon tertinggi dan kadar air dan abu terendah dan bersifat lambat terbakar. Kadar karbon di atas 87% dalam abu kering dan kemampuan membangkitkan panas tertinggi.

Fly ash dan *bottom ash* merupakan limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga uap. *Fly ash* merupakan debu terbang yang ditangkap menggunakan *electrostatic precipitator*. Sedangkan *bottom ash* adalah sisa pembakaran yang tidak terbang.

Limbah pembakaran batu bara sendiri terbagi atas 2 kelompok:

- a. *Bottom ash*, yaitu abu berat
- b. *Fly ash*, yaitu abu terbang/ringan

Bagan pemisahan & penampungan *fly ash* di *power plant* dapat dijelaskan pada gambar berikut :

a) ***Fly ash* kelas F**

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau *bitumen* batubara (*bituminous*).

Kadar $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$.

Kadar CaO < 10% (ASTM 20%, CSA 8%)

Kadar karbon (C) berkisar antara 5% -10%

Fly ash kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

b) *Fly ash kelas C*

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batubara (batubara muda /*sub-bituminous*).

Kadar $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$.

Kadar CaO > 10% (ASTM 20%, CSA menetapkan angka 8-20% untuk tipe CI dan di atas 20% untuk CH)

Kadar karbon (C) sekitar 2%

Fly ash kelas C disebut juga *high-calcium fly ash* Karena kandungan CaO yang cukup tinggi, fly ash tipe C mempunyai sifat *cementitious* selain juga sifat *pozzolan*. Oleh karena *fly ash* tipe C mengandung kadar CaO yang cukup tinggi dan mempunyai sifat *cementitious*, jika terkena air atau kelembaban, akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

c) *Fly ash kelas N*

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, jenis ini diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

D. Metode Penelitian

Sistem optimasi pemanfaatan limbah *ash* disusun untuk memudahkan dalam penentuan jenis limbah *ash*, pemilihan alternatif penggunaan limbah *ash* dan optimalisasi penggunaan limbah *ash*. Sistem besar ini dibagi lagi ke dalam sub sistem yang lebih kecil yaitu :

1. Sub Sistem I: Penentuan jenis limbah *ash* PLTU ditinjau dari karakteristik *ash*
 - a. Sub sistem I, merupakan sistem yang berfungsi untuk menentukan jenis limbah *ash* termasuk dalam golongan *fly ash* atau *bottom ash*.
 - b. Input : Kandungan kimia pada limbah *ash*. Penentuan jenis limbah *fly ash* atau *bottom ash* dilakukan dengan melihat kandungan kimia yang ada pada limbah *ash*.
 - c. Output : Jenis limbah *ash*, apakah termasuk *fly ash* atau *bottom ash*

2. Sub Sistem II : Pemilihan alternatif pemanfaatan limbah *ash*.
 - a. Sub sistem II, merupakan sistem yang berfungsi untuk memilih alternatif pemanfaatan limbah *ash*.
 - b. Input : Output yang dihasilkan pada sub sistem I menjadi input pada sub sistem II.

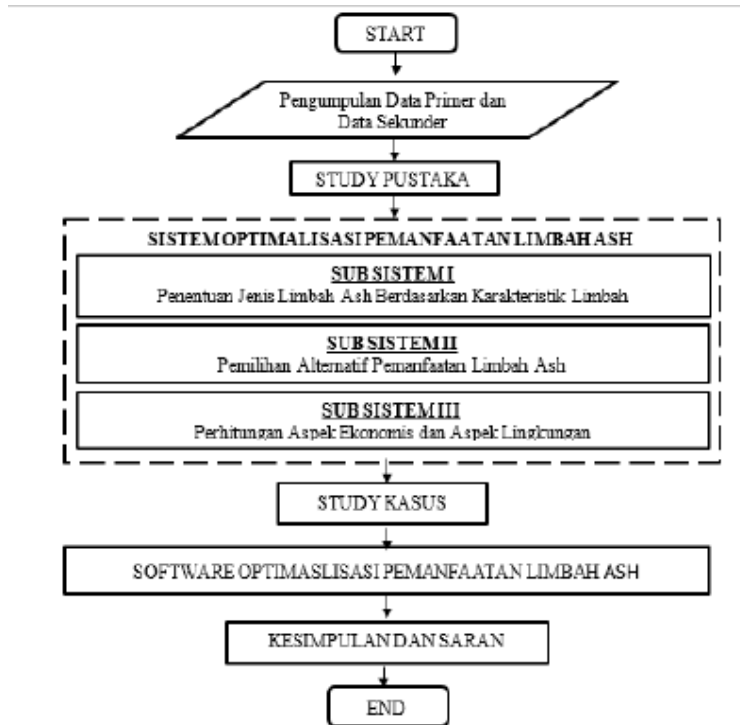
3. Sub Sistem III : Perhitungan nilai ekonomis dan *environmental*.

Perhitungan aspek ekonomis dilakukan dengan menghitung beberapa parameter yang terkait dengan nilai ekonomis yaitu :

 - *Net Present Value (NPV)* yang memiliki nilai terbesar.
 - *Internal Rate of Return (IRR)* yang memiliki nilai terbesar.
 - *Payback Period* yang memiliki nilai terkecil.
 - *Benefit Cost Ratio* yang memiliki nilai terbesar

Tahapan penelitian disusun dalam suatu *flowchart* agar permasalahan yang diangkat dalam paper ini dapat terselesaikan

dan tujuan yang diinginkan dapat tercapai. *Flowchart* penelitian disusun sebagai berikut :



Gambar 1. *Flowchart Penelitian*

E. Pembahasan

Fly Ash adalah bahan limbah yang sebagian besar dihasilkan dalam produksi listrik (Escheetz *et al.*, 1998). *Fly ash* memiliki potensi yang baik untuk digunakan dalam industri konstruksi yaitu dapat meningkatkan nilai CBR yang cukup tinggi dan dapat digunakan sebagai media adsorben (Ahmaruzzaman. 2010; Karthik *et al.*, 2014). Nilai CBR tinggi memberikan arti bahwa potensi stabilisasi campunran seman dan fly ash menghasilkan beton dengan kepadatan dan kekuatan yang lebih tinggi (Amu *et*

al., 2005; Misra, 1998; Swamy. 1990). Apalagi dengan menambahkan phosphogypsum dapat memberikan produk konstruksi yang murah dan menguntungkan (Degirmenci *et al.*, 2007). Selain itu penambahan fly ash meningkatkan nilai pH dan sehingga akan terjadi imobilisasi logam berat pada bahan yang akan disolidifikasi (Dermatas *et al.*, 2003; Fernández-Jiménez and Palomo. 2003; Xenidis *et al.*, 2002; Bertocchi *et al.* 2010). *Fly ash* yang dicampur dengan benyinite memiliki permeabel ($k < 1,00 \times 10^{-7}$ cm / s) yang dapat digunakan sebagai geopolimer pada pengolahan limbah (Mollamahmutoğlu. 2001). Geopolimer ini dibuat dengan mencampurkan abu terbang, kaolinit, larutan natrium silikat, NaOH dan air (wanepoel and Strydom,. 2002; Ram *et al.*, 2010; Van Jaarsveld *et al.*, 1999; Van Jaarsveld *et al.*, 1999). Aplikasi *fly ash* pada lahan pertanian, memberikan suplai tambahan Ca, S, B, Mo, dan Se ke tanah (Adriano *et al.*, 1980); Mitra *et al.*, 2005; Pandey *et al.*, 2010).

Pemanfaatan limbah ash pada PLTU dilakukan pada Pembangkit Listrik 2 x 1.000 MW. Produksi limbah *ash* perhari sekitar 1.350 ton. Dengan kualitas *ash* sebagai berikut:

Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) = 70%.

Kadar CaO = 8 %

Kadar karbon (C) = 9 %

Dari kualitas ash tersebut maka dapat digolongkan ke dalam fly ash kelas F, dengan beberapa alternatif pilihan pemanfaatan limbah ash antara lain adalah membran filtrasi, batako, bata ringan, *paving block*, *ready mix*, *mortar* dan *raw fly ash*.

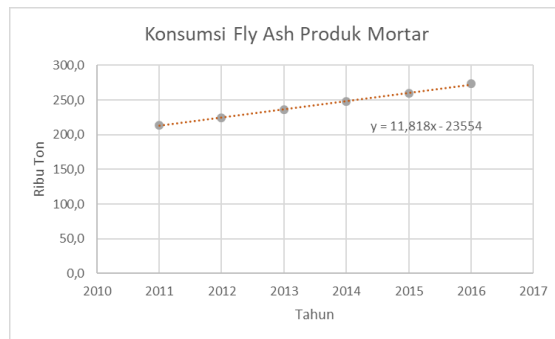
Nilai ekonomis pemanfaatan limbah ash PLTU 1 x 1.000 MW dilakukan dengan menghitung *feasibility study* beberapa alternatif pemanfaatan limbah ash yang secara ekonomis dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 : Nilai Ekonomis Pemanfaatan Limbah ash PLTU 2 x 1.000 MW

No	Alternatif Pemanfaatan	Aspek Ekonomis			
		NPV (Rp)	IRR (%)	PP (Tahun)	BCR (%)
1	Mimbran Filtrasi	Rp 3.500.000.000,-	15	2,3	2,28
2	Batako	Rp 9.072.777.989,-	15	5,4	1,1
3	Bata Ringan	Rp 1.327.319.616,-	15	5,44	1.16
4	Paving Block	Rp 17.495.885.292,-	15	5,44	1.16
5	Ready Mix	Rp 33.988.272.437,-	15	5,65	2,18
6	Mortar	Rp 4.023.813.107.398,-	15	0,48	12,27
7	Raw Fly Ash	Rp 7.391.250.000,-	15	1	3,28

NPV= Net Present Value, (IRR)=Internal Rate of Return () yang memiliki nilai terbesar, (PP)=Payback Period, (BCR)=Benefit Cost Ratio.

Pada alternatif pemanfaatan limbah ash terlihat produk mortar memiliki nilai ekonomis yang paling tinggi, selain itu konsumsi fly ash untuk produk mortar juga mengalami prospek pasar yang semakin meningkat dari tahun ke tahun, seperti terlihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Konsumsi Fly Ash Produk Mortar
Sumber: Market Rresearch Indonesia

Dengan menggunakan hasil persamaan regresi yang diperoleh, maka pada tahun 2033 atau 15 tahun yang akan datang dihitung dari 2018 nilai pasar untuk mortar 7953.8 Milyar Ton.

F. Kesimpulan dan Saran

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari studi optimasi pemanfaatan limbah ash PLTU 2 x 1.000 MW adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan alternatif pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) pada PLTU yang sesuai dengan kapasitas dan jenis limbah *ash* secara detail dari sisi aspek produksi dan aspek lingkungan dapat dilakukan lebih cepat sehingga lebih memudahkan pengambil keputusan dalam memilih alternatif pemanfaatan limbah *ash*.
2. Pemilihan pemanfaatan limbah *ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) secara optimal dengan suatu sistem terintegrasi pemanfaatan limbah PLTU dapat memberikan keuntungan yang lebih bagi perusahaan.
3. Kajian optimalisasi pemanfaatan limbah *ash* ditinjau dari aspek produksi, aspek lingkungan dan aspek ekonomi dapat dilakukan secara terintegrasi.
4. Penurunan efek limbah *Fly ash* dan *bottom ash* secara global dapat dilakukan, Sehingga dalam jangka waktu 10 tahun kedepan jumlah limbah ash yang dihasilkan oleh PLTU sebesar 62,95 - 125,9 milyar Ton, dengan rincian limbah *Fly ash* sebesar 50,36 - 113,31 Milyar ton dan limbah *bottom ash* sebesar 6,295-25,18 milyar ton.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmaruzzaman, M. 2010. A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*. Volume 36, Issue 3, June 2010, Pages 327-363.
- Bertocchi, Anna F., Ghiani, Marcello., Peretti, Roberto and Zucca, Antonio. 2006. Red mud and fly ash for remediation of mine sites contaminated with As, Cd, Cu, Pb and Zn. *Journal of Hazardous Materials* Volume 134, Issues 1–3, 30 June 2006, Pages 112-119
- Adriano , D. C., Page, A. L., Elsewi, A. A., Chang, A. C and Straughan, I. 1980. Utilization and Disposal of Fly Ash and Other Coal Residues in Terrestrial Ecosystems: A Review. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 9 No. 3, p. 333-344
- Amu, O.O., Fajobi, A.B. and Afekhuai, S.O. 2005. Stabilizing Potential of Cement and Fly Ash Mixture on Expansive Clay Soil. *Journal of Applied Sciences* Volume 5 (9): 1669-1673, 2005
- Degirmenci, Nurhayat., Okucu, Arzu andTurabi, Ayse. 2007. Application of phosphogypsum in soil stabilization. *Building and Environment* Volume 42, Issue 9, September 2007, Pages 3393-3398
- Dermatas, Dimitris and Meng, Xiaoguang. 2003. Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology* Volume 70, Issues 3–4, November 2003, Pages 377-394
- Escheetz, Barry and Earle, Russell. 1998. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. Current Opinio in Solid Stateand Materials.

- Fernández-Jiménez, A and Palomo, A. 2003. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements. *Fuel* Volume 82, Issue 18, 1 December 2003, Pages 2259-2265
- Karthik., kumar, Ashok., Elango, Gowtham., Thangaraj, Gokul. 2014. Soil Stabilization By Using Fly Ash. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 10, Issue 6 (Jan. 2014), PP 20-26
- Misra, Anil. 1998. Stabilization Characteristics of Clays Using Class C Fly Ash. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. First Published January 1, 1998
- Mitra, B.N., Karmakar, S., Swain, D.K and Ghosh,B.C. 2005. Fly ash—a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. *Fuel* Volume 84, Issue 11, August 2005, Pages 1447-1451
- Mollamahmutoglu, Murat dan Yilmaz, Yüksel. 2001. Potential use of fly ash and bentonite mixture as liner or cover at waste disposal areas. *Environmental Geology* October 2001, Volume 40, Issue 11–12, pp 1316–1324
- Pandey , Vimal Chandra Pandey and Singh, Nandita. 2010. Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* . Volume 136, Issues 1–2, 15 February 2010, Pages 16-27
- Ram, Lal C and Masto, Reginald E. 2010. An appraisal of the potential use of fly ash for reclaiming coal mine spoil. *Journal of Environmental Management* Volume 91, Issue 3, January–February 2010, Pages 603-617
- Swanepoel, J.C. and Strydom, C.A. 2002. Utilisation of fly ash in a geopolymeric material. *Applied Geochemistry* Volume 17, Issue 8, August 2002, Pages 1143-1148

- Swamy , R. N. . 1990. Fly ash concrete-potential without misuse. Materials and Structures November 1990, Volume 23, Issue 6, pp 397–411
- Van Jaarsveld, J.G.S., Van Deventer J.S.J and Schwartzman A. 1999, The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part II. Material and leaching characteristics. Minerals Engineering Volume 12, Issue 1, January 1999, Pages 75-91