

# PEMANFAATAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATU BARA SEBAGAI BAHAN CAMPURAN KONSTRUKSI PERKERASAN JALAN

## THE USE OF FLY ASH AS A MATERIAL COMPONENT IN A ROAD PAVEMENT MIXTURE

Djoko Sulistiono<sup>1)</sup>, Widjonarko<sup>1)</sup> dan Amalia FM<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Laboratorium Uji Material Program Diploma Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS  
email: djoko\_its@yahoo.com

### Abstrak

Abu terbang batu bara merupakan material buangan dari sisa hasil pembakaran batu bara. Salah satu alternatif pembuangan adalah dimanfaatkan sebagai bahan campuran konstruksi perkerasan jalan. Penelitian ini tentang variasi proporsi abu terbang terhadap pemenuhan persyaratan dalam penggunaan stabilisasi tanah dasar dan campuran ATB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 25% abu terbang bila dicampur dengan tanah dasar jalan jenis lempung plastisitas tinggi memberikan hasil penurunan batas cair (LL) dari semula 100% menjadi 80% dan indeks plastisitas (PI) dari semula 65% menjadi 45%. Hasil lain berupa peningkatan kekuatan ( $q_u$ ) dari semula 2 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 6 kg/cm<sup>2</sup>, waktu curing 28 hari. Secara sepintas terlihat peningkatan sifat fisiknya, tetapi belum bisa digunakan sebagai tanah dasar jalan, karena harga  $PI = 45\% > PI_{max} = 10\%$  (syarat Bina Marga). Abu terbang batu bara memenuhi persyaratan sebagai *filler Asphalt Treated Base* (ATB), karena sifatnya non plastis, sebagian besar (95%) lolos ayakan no. 200 anorganik dan kondisinya kering. Setelah dilakukan pencampuran dengan bahan pembentuk lainnya, pada variasi kadar *filler* 3% - 7% masih memenuhi syarat stabilitas, flow dan air void, tetapi dalam penelitian dipilih kadar *filler* 6% dengan pertimbangan kecilnya air void dan masih masuk dalam rentang persyaratan *filler* 4,5% sampai dengan 7%.

Kata kunci : abu terbang, *filler*, perkerasan jalan, tanah dasar

### Abstract

Fly ash is a waste material from a coal processing. One alternative way of disposal, is used as material component of pavement mixtures. This paper discusses about various proportion of fly ash in order to fulfill the requirement of sub-grade stabilization and ATB mixtures. The study showed that 25% fly ash while mixed with high plasticity clay yields lower Liquid Limits (LL) decreased from 100% to 80%, while PI decreased from 65% to 45%. PI increment of bearing capacity increased from 2 kg/cm<sup>2</sup> to 6 kg/cm<sup>2</sup> with 28 days curing period. In fact, the result was 10% still can not comply of the Bina Marga requirements while  $PI = 45\%$ . Coal fly ash can fulfill as filler of ATB, since it is a non-plastic, major proportion (95%) passes No. 200 sieve, inorganic, and dry condition. After mixing with other ATB materials with filler proportion of 3%-7%, it can comply with stability, flow and air voids requirements. The study showed that 6% coal fly ash yields lowest air void, and still fulfills the range of filler proportion requirements between 4,5 % and 7%.

Keywords : filler, fly ash, road pavement, subgrade

### 1. PENDAHULUAN

Konstruksi perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan yaitu, tanah dasar (*subgrade*), pondasi bawah (*subbase*), pondasi atas (*base*) dan lapis permukaan (*surface*). Tanah dasar merupakan lapisan paling bawah yang perlu mendapat perhatian, karena sangat menentukan tebal/tipisnya lapis perkerasan di atasnya. Tanah dasar yang jelek dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi kimia diantaranya dengan mencampur dengan bahan abu terbang batu

bara. Selanjutnya lapis pondasi atas (*base*), menurut Saodang (2005) dapat digunakan ATB (*Asphalt Treated Base*), yaitu campuran panas agregat kasar, agregat halus, *asphalt cement* dan *filler*. Bahan *filler* biasanya abu batu, semen, tetapi dalam penelitian abu terbang batu bara dicoba sebagai *filler* ATB. Permasalahan sampai sejauhmana manfaat abu terbang batu bara tersebut sebagai bahan stabilisasi tanah dasar jalan, juga sebagai *filler* campuran ATB. Hal ini akan terjawab melalui

pengujian di laboratorium sesuai prosedur yang diatur menurut AASHTO atau Bina Marga.

Proses pembakaran batubara menghasilkan limbah abu dengan perbandingan 14:1. Limbah tersebut paling banyak berupa abu terbang (*fly ash*). Abu terbang merupakan butiran halus seperti bedak. Batubara dalam keadaan tidak murni biasanya mengandung *clay*, *quartz* dan lainnya, yang ketika terjadi pembakaran akan berfusi dan memadat menjadi partikel berselubung gelas. Abu terbang kemudian ditangkap oleh *electrostatic precipitator* (EP) pada saat gas sisa hasil pembakaran dikeluarkan melalui cerobong asap. Menurut Rozas (1997) dalam Damayanti (2001) sifat fisik dari abu terbang sangat bervariasi. Warna abu terbang umumnya dari abu-abu sampai coklat. Hal ini bergantung pada kandungan besi dan karbonnya. Semakin gelap warnanya, maka semakin banyak kandungan besi di dalamnya. Sedangkan semakin terang warnanya, maka kandungan karbon dan besinya juga semakin rendah. Abu terbang dari batubara jenis *lignite* dan *subbitumionus* biasanya berwarna coklat terang hingga krem (coklat muda).

Selain abu terbang, hasil pembakaran batubara juga menghasilkan abu berupa abu dasar (*bottom ash*). *Bottom ash* adalah abu hasil pembakaran batubara yang jatuh secara periodik di bagian bawah boiler sebelum dilewatkan melalui *electrostatic precipitator* menuju cerobong atau *stack*. Perbandingan antara abu terbang dan abu dasar yang di buang ke lahan penimbunan adalah 20 sampai 23%. Sisanya adalah ampas atau terak yang keluar bersamaan dengan abu dasar (*boiler slag*) dan sedikit lumpur dari *preheater*. Metoda penimbunan abu batubara di AS menurut Black dan Veatch (1996) antara lain. *Pertama*, *wet ponding* atau *sedimentation system*. Pada sistem ini dibuat suatu penampung air (*water impoundment*) untuk mengumpulkan limbah berupa lumpur, sehingga terjadi proses sedimentasi di dalamnya. Selain itu, penampung air ini juga digunakan sebagai penghubung aliran air menuju badan air, laut atau bahkan diteruskan ke *Wastewater Treatment Plant (WWTP)*. Penimbunan dengan sistem di atas sudah tidak pernah digunakan lagi, walaupun sistem ini memberikan keuntungan utama dalam kemudahan pengangkutan. Hal tersebut memberikan efek buruk terhadap lingkungan. Ada potensi yang sangat besar dalam perpindahan lindi ke dalam tanah yang disebabkan air bebas dalam kolam pembuangan. *Kedua*, *dry landfill system* yang dibagi dalam dua jenis, yaitu

penimbunan abu pada lahan yang topografinya tinggi dan memanfaatkan lahan yang topografinya rendah, seperti lembah (*ash valley*), untuk diisi dengan limbah abu batubara. Sistem ini memberikan dampak lingkungan yang lebih sedikit dibandingkan sistem basah, karena lindi yang terbentuk lebih sedikit. Keuntungan dari sistem *dry landfill* adalah dengan sistem pemadatan yang dilakukan, akan membuat permeabilitas dari abu batubara tersebut menjadi rendah, sehingga infiltrasi air hujan dapat berkurang, sedikit air yang masuk ke dalam *landfill*, karena metode transpor yang digunakan tidak menggunakan *wet slurry method*. Dibandingkan dengan *wet slurry method* air yang masuk ke dalam *landfill* dapat berkurang hingga 85%, air hujan ditampung pada sistem drainase bertingkat (*terase-ring*).

Abu terbang dan abu dasar sebagai produk samping pembakaran batubara termasuk ke dalam klasifikasi limbah B3, sedangkan USEPA di Amerika Serikat tidak menggolongkan abu batubara sebagai limbah B3 (Gray dkk, 1997). Karena kedua hal yang berbeda tersebut maka perlu dilakukan uji karakteristik, guna menentukan karakteristik abu batubara dan untuk menentukan pengelolaan selanjutnya. Pembuangan limbah abu batubara harus dilakukan secara tepat, apalagi jika terbukti bahwa limbah abu batubara tergolong limbah B3. Teknik pembuangannya harus sesuai dengan peraturan dan standar desain yang berlaku.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 85 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), hasil pembakaran batubara termasuk limbah B3. Hal ini tertera dalam Lampiran I tabel 2 daftar limbah B3 dari sumber spesifik dengan kode limbah 223. Oleh karena itu, pengelolaan *fly ash* harus mengikuti tata cara dan persyaratan penimbunan yang diatur dalam KEP 04/BAPEDAL/09/1995. Meskipun *fly ash* digolongkan sebagai limbah B3, namun dari hasil uji karakterisasi tidak ditunjukkan sifat yang berbahaya.

Mengandung  $\text{CaO} < 10\%$ , berasal dari pembakaran antracite atau bitumen batu bara. Senyawa lain yang terkandung adalah  $\text{SiO}_2$  45-60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dan sedikit  $\text{Na}_2\text{O}$ . Memiliki spesifik gravity 2,15-2,45  $\text{ton/m}^3$ . Menurut ASTM C618 (Xequan dkk, 1999), Fly Ash kelas F memiliki kandungan kapur yang rendah dan kandungan ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) lebih besar dari 70%. Fly

Ash ini tidak dapat mengadakan sedimentasi secara langsung dengan air karena CaO-nya sedikit. Cenderung memperlambat setting time yang berarti menurunkan kekuatan awal campuran.

Menurut Regourd (1982) dalam Alfizon, (1999), ketika Fly Ash dicampur dengan air terjadi reaksi dalam jumlah sangat kecil, terutama pembebasan ion-ion kalsium aluminium pada larutan. Reaksi ini akan berhenti samapi ketersediaan alkali atau kalsium hidroksida atau sulfat habis untuk bereaksi. Pada umumnya reaksi Fly Ash dengan semen pada campuran terjadi dua tahap. Pada tahap permulaan dan selama curing awal bereaksi alkali hidroksida dan tahap selanjutnya terjadi reaksi utama, yaitu dengan kalsium hidroksida (Jdan, 1984 dalam Alfizon, 1999).

*Fly ash* yang digunakan untuk stabilisasi tanah mengembang kemungkinan dapat mencemari air tanah serta badan air di sekitarnya. Zat-zat pencemar yang dikandung di dalam *fly ash* dikhawatirkan dapat larut dengan air. Larutan ini kemudian dapat melalui tanah secara horizontal hingga mencapai air tanah di sekitarnya.

Pada prinsipnya yang dimaksud dengan stabilisasi *fly ash* adalah mencampurkan secara langsung antara *fly ash* dan tanah yang telah dihancurkan, kemudian menambahkannya dengan air dan kemudian dipadatkan. Dari hasil campuran tanah - *fly ash* - air ini, diharapkan dapat menghasilkan tanah yang memiliki sifat atau karakteristik teknis yang lebih baik dibandingkan sebelumnya.

Penggunaan bahan kimia organik dari *fly ash* menjanjikan harapan sebagai bahan tambah (*stabilizing agent*) yang akan mampu mengurangi perilaku yang merugikan dari tanah mengembang. Menurut Panjaitan (2000), penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap karakteristik pengembangan tanah, baik pada kondisi slurry maupun kondisi awal dipadatkan. Tanah lempung campuran yang dicampur dengan 15% *fly ash* akan cenderung memiliki kekuatan mengembang yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah lempung campuran tanpa *fly ash* atau dengan penambahan 5% *fly ash*.

Selain itu menurutnya, tanah lempung yang distabilisasi dengan 15% *fly ash* akan memiliki kuat tekan dan modulus tegangan regangan ( $E_s$ ) yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah lempung campuran atau yang distabilisasikan de-

ngan 5% *fly ash*. Fenomena ini terjadi akibat peristiwa hidrasi dari CaO akibat reaksi penambahan *fly ash* dan menghasilkan struktur kepadatan yang lebih tinggi dan harga kepadatan kering yang lebih besar.

Penambahan bahan mineral dalam campuran semen dapat memperbaiki pemadatan dan membatasi jumlah volume rongga beton. Penambahan Fly Ash 15% sebagai pengganti semen pada beton mutu tinggi dengan metode Moise Curing dapat meningkatkan kuat tekan dan dengan metode *Steam Curing* pada temperatur 70° kuat tekan meningkat 16%.

Abu terbang (*fly ash*) batu bara adalah material yang sangat halus dengan gradasi yang uniform. Abu terbang batu bara menurut Gogot (2003) juga disebut pozzolanic material karena mengandung bahan-bahan pozzolan seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Kalsium oksida (CaO), Magnesium oksida (MgO). Penambahan abu terbang batu bara pada tanah lempung plastisitas tinggi ( $LL > 50\%$ ) dimaksud agar terdapat reaksi pozzolanic antara Kalsium pada abu terbang batu bara dengan alumina dan Silika pada tanah, sehingga menghasilkan tanah yang keras/kaku. Persyaratan Bina Marga untuk bisa dipakai sebagai tanah dasar jalan (*subgrade*) adalah *Plasticity Index* (PI) maksimum 10% dan CBR minimum 6%.

Pemanfaatan abu terbang batu bara sebagai *filler* ATB, dapat dilakukan asalkan memenuhi semua persyaratan *filler* yaitu non plastis, sebagian besar (>75%) lolos ayakan 200, anorganik dan kering. Fungsi *filler* dalam campuran adalah mengisi rongga antara agregat, bersama asphalt cement membentuk binder, sehingga campuran lebih rapat dan kedap air. Kadar *filler* dalam campuran ATB sudah tertentu, menurut spesifikasi Bina Marga antara 4,5% - 7,5%.

Ketentuan campuran ATB lain yang harus dipenuhi adalah stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, *skid resistance workability*, *fatigue resistance* (Sukirman, 1993).

Stabilitas adalah kemampuan campuran dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang bersifat tetap seperti alur, gelombang. Nilai stabilitas untuk ATB sesuai spesifikasi adalah min 750 kg.

Durabilitas adalah ketahanan campuran terhadap pengaruh cuaca dan gesekan kendaraan. Faktor yang mempengaruhi diantaranya *Film Thickness*.

Fleksibilitas adalah kemampuan campuran mengikuti deformasi akibat beban lalu lintas tanpa mengalami retak. Faktor yang mempengaruhi rongga antar butir, aspal yang digunakan, rongga dalam campuran. Menurut spesifikasi ATB, *air void* berkisar 4% - 8%.

*Skid resistance* adalah kekesatan campuran, sehingga kendaraan tidak mudah selip. Kekesatan dipengaruhi kadar aspal dan bentuk/permukaan agregat.

*Workability* adalah kemudahan campuran untuk dikerjakan, yang dipengaruhi gradasi agregat, kandungan *filler*.

Campuran ATB dengan *filler* abu terbang batu bara harus dapat memenuhi kriteria campuran yang telah ditetapkan.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini hanya terbatas menguji kelayakan abu terbang batu bara sebagai bahan stabilisasi kimia tanah dasar jalan (*subgrade*) dan sebagai *filler* ATB.

Stabilisasi tanah dasar jalan dengan abu terbang batu bara dilakukan dengan melakukan *test Atterberg*, *Unconfined Compression* terhadap tanah asli (sebelum distabilisasi). Tanah asli dicampur dengan berbagai variasi abu terbang batu bara (10%, 15%, 20%, dan 25%) dan dipadatkan. Tanah asli dicampur dengan abu terbang batu bara dalam kondisi padat dan diperam untuk selanjutnya dilakukan *Test Atterberg* dan *Test Unconfined Compression*.

Sedangkan untuk abu terbang batu bara sebagai *filler* ATB dilakukan dengan melakukan test terhadap bahan pembentuk campuran seperti agregat kasar, agregat halus, asphalt cement penetrasi 60/70 dan *filler*. Menetapkan proporsi agregat berdasarkan atas hasil test saringan agregat kasar dan agregat halus. Berdasarkan proporsi agregat yang telah ditetapkan, kadar *filler* 4,5% dilakukan variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7% untuk mencari kadar aspal optimum. Sesuai kadar aspal optimum dan proporsi agregat yang ada, dilakukan variasi kadar *filler* 3%; 4%; 5%; 6%; 7% untuk mengeta-

hui karakteristik campuran sehubungan perubahan kadar *filler* tersebut.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan di laboratorium menunjukkan bahwa batas cair (LL) tanah lempung plastisitas tinggi lokasi Surabaya Barat mengalami penurunan dari semula LL = 100% menjadi LL = 80% pada 25% abu terbang batu bara. Demikian pula harga Indeks Plastisitas (PI) mengalami penurunan dari semula PI = 65% menjadi PI = 45% pada kadar abu terbang batu bara 25%.

Melalui test *Unconfined compression* terhadap tanah yang sama ditunjukkan pula, bahwa semakin banyak kadar abu terbang batu bara semakin meningkatkan kekuatan tanah dasar jalan. Harga  $q$  semula 2 kg/cm<sup>2</sup> meningkat menjadi 6 kg/cm<sup>2</sup> (CBR 2,5%) pada waktu curing = 28 hari.

Melihat capaian harga LL = 80%, PI = 45% dan harga CBR = 2,5%, walau ada manfaat penambahan abu terbang batu bara, akan tetapi masih belum memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar jalan karena harga LL = 80% > 50%, PI = 45% > PI<sub>max</sub> = 10% dan CBR = 2,5% < CBR<sub>min</sub> 6%.

Apabila dipaksakan sebagai tanah dasar, maka perkerasan tidak stabil, karena masih terkena pengaruh kembang susut tanah dasar. Hal ini disebabkan oleh tingginya PI > PI<sub>max</sub> = 10%. Abu terbang batu bara, setelah melalui pengujian di Laboratorium Program Diploma III Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, ternyata material tersebut bersifat non plastis, anorganik, 95% > 75% lolos saringan no. 200. Selanjutnya setelah dilakukan pencampuran dengan variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; dan 7%, hasil test Marshall menunjukkan bahwa spesifikasi campuran ATB sebagian besar dipenuhi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Gambar 2. menunjukkan rentang persyaratan ATB yang diuji.

**Tabel 1.** Sifat Sampuran ATB pada Variasi Kadar Aspal

Sifat campuran	Kadar aspal 60/70					Spesifikasi Bina Marga
	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
-Stabilitas (kg)	1087	1376	1376	1571	1345	Min 750 kg
-Flow (inch)	2,96	2,75	2,23	1,98	3,99	2 mm-4 mm
-Marshall quotient (kN/mm)	3,60	4,88	6,04	7,70	3,31	1,8-5 kN/mm
- Air void (%)	8,09	6,33	5,02	2,88	2,51	4% - 8%

Sumber : Sulistiono dkk, (1994)

Stabilitas	5	5,5	6	6,5	7
Flow					
Marshall Quotient					
Air Void					

Gambar 1. Rentang persyaratan ATB yang diuji

Mempertimbangkan syarat spesifikasi ATB pada Tabel 1 dan melalui Gambar 1 diperoleh kadar aspal optimum 5,74%. Kemudian berdasarkan kadar aspal optimum dan proporsi agregat yang telah ditetapkan dilakukan variasi kadar abu terbang sebagai filler yaitu 3%, 4%, 5%, 6%, 7% dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat campuran dengan variasi kadar filler

Sifat campuran	Kadar (%) abu terbang batu bara					Spesi-fikasi Bina Marga
	3%	4%	5%	6%	7%	
-Stabilitas (kg)	1402	1402	1144	1219	1098	Min 750 kg
-Flow (inch)	3,82	3,55	4,05	3,75	3,15	2 mm-4 mm
-Marshall quotient (kN/mm)	3,59	3,87	2,76	3,18	3,41	1,8-5 kN/mm
- Air void (%)	5,57	3,57	5,97	5,20	6,40	4% - 8%

Sumber : Sulistiono dkk, (1994)

Memperhatikan Tabel 2 di atas, ternyata semua variasi kadar abu terbang telah memenuhi persyaratan ATB dari Bina Marga yang berarti material tersebut dapat dimanfaatkan sebagai filler ATB. Apabila dicari yang optimum dari kadar filler abu terbang batu bara, sesuai Tabel 2 adalah 6%, dengan pertimbangan kecilnya air void dan masing-masing dalam rentang persyaratan filler 4,5% - 7%.

#### 4. KESIMPULAN

Abu terbang batu bara, dengan kadar 25% mampu menurunkan batas cair (LL) tanah lempung plastisitas tinggi lokasi Surabaya Barat, semula 100% menjadi 80%, Indeks Plastisitas (PI) semula 65% menjadi 45%. Kemudian, sesuai hasil test *Unconfined Compression*, abu terbang batu bara pada kadar 25% mampu menaikkan kekuatan tanah (qu) dari semula 2 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 6 kg/cm<sup>2</sup> (CBR = 2,5%), dengan waktu curing 28 hari. Sesuai hasil di atas, ternyata abu terbang batu bara bermanfaat, walaupun belum memenuhi syarat sebagai tanah dasar jalan karena harga PI = 45% > PI<sub>max</sub> = 10% dan harga CBR = 2,5% < CBR<sub>min</sub> = 6% (syarat Bina Marga). Abu terbang batu bara memenuhi syarat sebagai filler ATB, karena bersifat non plastis, anorganik, 95% > 75% lolos ayakan no. 200, selanjutnya pada kadar aspal yang optimum, 5,74% di-

berikan variasi abu terbang sebagai filler, yaitu 3%, 4%, 5%, 6%, 7% ternyata semua variasi memenuhi persyaratan ATB dari Bina Marga, yang berarti dapat dimanfaatkan sebagai filler ATB. Berdasarkan pertimbangan air void yang kecil dan rentang persyaratan filler 4,5% - 7%, maka kadar abu terbang batu bara optimum adalah 6%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alfizon. (1999). **Pengaruh Agregat Slag Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton yang Dicampur Fly Ash**. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Black dan Veatch. (1996). **Power Planning Engineering**. An International Thompson Publishing Company. Florence. KY. USA.
- Damayanti, E. (2001). **Uji Kelayakan Pembuatan Paving Block Dari Timbunan Sampah TPA Keputih**. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Djoko Sulistiono, M.Munir dan A. Mutasim (1994). **Penelitian Kualitas Campuran ATB dengan Menggunakan Fly Ash Batu Bara sebagai Filler**. LPPU-ITS.
- Gogot SB. (2003). **Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Expansif. Dimensi Teknik Sipil. Vol. 5.(1)**.
- Gray, T.A., Kyper, T.N., dan Snodgrass, J.L. (1997). **Disposal of Coal Combustion By-products in Underground Coal Mines. Jurnal Energeia. Vol. 8, No. 6**. University of Kentucky. USA.
- Panjaitan, S.R. (2000). **Pengaruh Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Kuat Tekan Tanah Mengembang yang Distabilisasi dengan Fly Ash**. Jurusan Teknik Sipil. FTSP. ITS. Surabaya.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 85 tahun 1999.
- Sukirman, S (1993). **Perkerasan Lentur Jalan Raya**. Penerbit Nova Bandung.

Saodang, S (2005). **Konstruksi Jalan Raya**.  
Penerbit Nova Bandung.

Xequan W., Hong Z., Xinkai H., dan Husen L.  
(1999). **Study on Steel Slag and Fly Ash**

**Composite Portland Cement**. *Cement  
and Concentrate Research* 29. Hal: 1103-  
1106.