

Studi Komparasi Kelayakan Teknis dan Lingkungan Pemanfaatan Limbah B3 *Sandblasting* terhadap Limbah B3 *Sandblasting* dan *Fly Ash* sebagai Campuran Beton

Denny Dermawan, Moch. Luqman Ashari

Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail : denny.dermawan@ppns.ac.id

Abstrak

Limbah fly ash dan sandblasting secara luas digunakan sebagai material penyusun beton karena mengandung silika (SiO_2) cukup tinggi sebesar 58,20% dan 98,97%. Limbah fly ash dan sandblasting dapat meningkatkan kuat tekan beton dan memiliki karakteristik seperti semen. Metode dari penelitian ini adalah uji laboratorium. Sampel beton memperoleh dua perlakuan. Sampel beton yang pertama hanya dicampur dengan limbah sandblasting. Sampel beton yang kedua dicampur dengan limbah fly ash dan sandblasting. Metode pembuatan sampel beton dan uji kelayakan teknis pada penelitian ini menggunakan standar SNI (SNI 03-2834-2000). Metode uji kelayakan lingkungan menggunakan Toxicity Characteristic Leaching Procedur (TCLP) berdasarkan PP No. 101 tahun 2014. Hasil dari penelitian ini menunjukkan jika pemanfaatan limbah sandblasting dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kuat tekan beton dengan campuran limbah sandblasting sebesar 5%; 10%;15%; dan 20% adalah 16,32 MPa; 17,81 MPa; 18,89 MPa; and 15,24 MPa. Pemanfaatan limbah sandblasting dan fly ash dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kuat tekan beton dengan campuran 5% limbah sandblasting dan 30% fly ash;10% limbah sandblasting dan 25% fly ash, 15% limbah sandblasting dan 20% fly ash, dan 20% limbah sandblasting dan 15% fly ash adalah 18,53 MPa; 16,08 MPa; 17,20 MPa; dan 15,91 MPa. Berdasarkan hasil uji TCLP, konsentrasi logam berat keseluruhan sampel berada dibawah baku mutu TCLP. Hasil ini menunjukkan secara ilmiah terbukti jika beton dengan campuran 10% dan 15% limbah sandblasting dan 5% limbah sandblasting and 30% fly ash; 15% limbah sandblasting and 20% fly ash layak secara teknis dan lingkungan.

Kata kunci: limbah sandblasting, fly ash, kuat tekan beton, uji TCLP

Abstract

Fly ash and sandblasting slag widely used as concrete's builder because it contains quite high silica (SiO_2) approximately 58,20% and 98,97%. Fly ash and sandblasting slag can increase concrete strength and contains characteristic like cement. The methods of this research based on laboratory analyses. Concrete samples have two kind different treatments. First sample mixed only with sandblasting slag. Second samples mixed with fly ash and sandblasting slag. Method of concrete samples making and technical feasibility test on this research use SNI standar (SNI 03-2834-2000). Environmental feasibility test use Toxicity Characteristic Leaching Procedur (TCLP) according PP No. 101 tahun 2014. The results of this research show that the use of sandblasting slag can increase compressive strenght. Compressive strength with 5%; 10%;15%; and 20% sandblasting slag are 16,32 MPa; 17,81 MPa; 18,89 MPa; and 15,24 MPa. The use of sandblasting slag and fly ash can increase compressive strength at age of immersion 28 days. Compressive strength with 5% sandblasting slag and 30% fly ash; 10% sandblasting and 25% fly ash,15% sandblasting and 20% fly ash, and 20% sandblasting and 15% fly ash are 18,53 MPa; 16,08 MPa; 17,20 MPa; and 15,91 MPa. Based on the TCLP test, the concentration of heavy metal substances in all samples are below the TCLP standard. Thus, it is scientifically proven to conclude that concrete with 10% and 15% sandblasting slag and 5% sandblasting slag and 30% fly ash; 15% sandblasting and 20% fly ash are technically proper and safe for the environment.

Keywords: sandblasting slag, fly ash, concrete strength, TCLP test

PENDAHULUAN

Sandblasting merupakan metode membersihkan atau mengupas lapisan yang menutupi sebuah obyek yang biasanya berbahan dasar metal/ besi dengan bantuan butiran pasir kuarsa yang ditembakkan langsung dari sebuah kompresor

bertekanan tinggi ke obyek, efeknya serupa dengan penggunaan amplas. *Sandblasting* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meminimalisir korosi dan banyak digunakan di industri perkapalan. Limbah *sandblasting* tergolong kategori bahan berbahaya dan beracun (B3), karena

mengandung unsur logam berat melebihi baku mutu berdasarkan PP No 101 Tahun 2014. Pada penelitian limbah *sandblasting* di industri perkapalan di Bahrain, diperoleh data yaitu kandungan logam berat yang tinggi (Madany and Raveendran, 1992). Tidak hanya mengandung logam berat, limbah *sandblasting* mengandung unsur utama debu silika (SiO_2). Apabila debu silika dihirup terus menerus, maka dapat menyebabkan penyakit silikosis.

Abu terbang (*fly ash*) dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah beracun dan berbahaya (B3). Abu terbang (*fly ash*) banyak dihasilkan oleh limbah kegiatan PLTU berbahan bakar batu bara. Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah abu terbang juga akan meningkat yaitu jumlah limbah PLTU pada tahun 2000 sebanyak 1,66 juta ton, sedangkan pada tahun 2006 diperkirakan akan mencapai sekitar 2 juta ton. Khusus untuk limbah abu dari PLTU Suralaya, sejak tahun 2000 hingga tahun 2006, diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun (Maryanto, 2008). Dalam konteks dunia, pada tahun 1989, total abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton. Sekitar 75 persen adalah abu terbang. Produsen utama adalah negara-negara bekas Uni Soviet (99 miliar ton), diikuti Cina (55 miliar ton), Amerika Serikat (53 miliar ton), dan India (40 miliar ton). Produksi abu ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Cina sendiri menghasilkan lebih dari 110 miliar ton abu di tahun 2000, dengan total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton. Kuantitas abu terbang (*fly ash*) yang semakin banyak dalam konteks nasional dan global akan menjadi masalah dan ancaman bagi lingkungan dan manusia.

Kurniasari (2008); Silitonga (2008); Syamsiah (2008); Li dkk. (2014) telah mempelajari konsentrasi unsur-unsur logam berat pada limbah dapat diturunkan dengan metode solidifikasi. Menurut Madany dkk. (1991), limbah *sandblasting* pada industri perkapalan dapat dijadikan tambahan campuran beton. Pada penelitian lain Asavapisit dkk. (2001); Mohamed (2011); Susanti (2011), Dewi dkk. (2016), Dermawan dan Ashari (2016) telah dijelaskan penambahan debu silika dapat meningkatkan nilai kuat tekan campuran beton.

Abu terbang (*fly ash*) sering dimanfaatkan dalam produksi semen, meski tingkat pemanfaatannya saat ini masih tergolong rendah. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton. Pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) dapat mengurangi penggunaan semen portland dalam pembuatan beton.

Penelitian ini akan membahas pengaruh perbedaan perlakuan sampel beton terhadap kelayakan teknis dan lingkungan-nya. Sampel beton akan mendapatkan 2 (dua) perlakuan yaitu perlakuan pertama sampel beton dicampurkan hanya dengan limbah *sandblasting*, sedangkan perlakuan yang kedua sampel beton dicampurkan dengan limbah *sandblasting* dan *fly ash*. Produk beton akan di uji kelayakan teknis dan lingkungan. Kelayakan teknis di uji melalui pengujian tekanan dilakukan dengan menggunakan alat *universal testing machine* kapasitas 2000 kN, sedangkan kelayakan lingkungan di uji melalui pengujian toksisitas beton dengan metode *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP).

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah langkah yang dilakukan dalam penelitian Studi Komparasi Kelayakan Teknis dan Lingkungan Pemanfaatan Limbah B3 *Sandblasting* terhadap Limbah B3 *Sandblasting* dan *Fly Ash* sebagai Campuran Beton adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi potensi pemanfaatan limbah B3 *sandblasting* dan *fly ash* sebagai bahan campuran beton.
2. Mempersiapkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini. Persiapan meliputi mempersiapkan cetakan silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm sebanyak 30 buah, mesin uji kuat tekan, dan peralatan uji TCLP.
3. Memeriksa bahan-bahan yang akan digunakan meliputi:
 - a) Pemilihan agregat halus. Agregat halus dipilih dengan cara diayak dengan menggunakan ayakan 4.75mm, 2.36mm, 1.19mm, 0.60mm, 0.30mm, 0.15mm, 0.075mm. Pemilihan agregat halus ini disesuaikan dengan standart yang berlaku yakni PBI 1971.
 - b) Pemilihan agregat kasar. Agregat kasar yang dipilih berasal dari paserpan dengan ukuran 5-10 mm dan 10-20 mm.

- c) Pemilihan *fly ash*. *Fly ash* yang dipilih adalah yang berwarna abu-abu dan mengandung unsur silika yang baik.
- d) Pemilihan limbah *sandblasting*.
- e) Perencanaan komposisi. Komposisi yang digunakan ada lima. Tujuan dari adanya variasi ini adalah untuk mengetahui komposisi yang terbaik guna menghasilkan kuat tekan yang sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Adapun komposisi yang akan digunakan adalah sebagaimana terdapat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.
- g) Perendaman. Kegiatan dilakukan pada bak-bak perendaman yang terhindar dari matahari dengan tujuan mengurangi penguapan dan menghindari keretakan pada beton. Perendaman dilakukan selama 7 dan 28 hari.
- h) Pengujian kuat tekan. Kegiatan dilakukan menggunakan alat *universal testing machine*. Pembebanan dilakukan hingga benda uji retak/ hancur sehingga didapatkan kekuatan maksimal dari beton
- i) Pengujian kadar logam berat. Kadar logam berat dalam benda uji dianalisis konsentrasinya dengan uji TCLP. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat bahaya benda uji bagi lingkungan sesuai dengan PP 101 tahun 2014.

Tabel 1. Variasi Komposisi Campuran Semen dengan Limbah *Sandblasting*

Komposisi	Semen	<i>Sandblasting</i>
Blangko/Kontrol	100%	0%
Komposisi 1	95%	5%
Komposisi 2	90%	10%
Komposisi 3	85%	15%
Komposisi 4	80%	20%

Tabel 2. Variasi Komposisi Campuran Semen dengan Limbah *Sandblasting* dan *Fly Ash*

Komposisi	Semen	<i>Sandblasting</i>	<i>Fly Ash</i>
Blangko/Kontrol	100%	0%	0%
Komposisi 1	95%	5%	30%
Komposisi 2	90%	10%	25%
Komposisi 3	85%	15%	20%
Komposisi 4	80%	20%	15%

- f) Pembuatan benda uji. Benda uji dibuat dengan cara mencampurkan semen, agregat kasar, agregat halus, air dan limbah sesuai komposisi yang telah ditentukan. Semua bahan dicampur dengan rata lalu isikan campuran beton yang akan dibuat benda ujinya ke dalam cetakan secara bertahap 3 (tiga) lapis. Masing-masing ditumbuk sebanyak 25 kali. Beton dikeringkan dengan cara di angin-anginkan dan tandai masing-masing sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan campuran beton pada penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000 yang telah diadopsi dari metode DOE 1975.

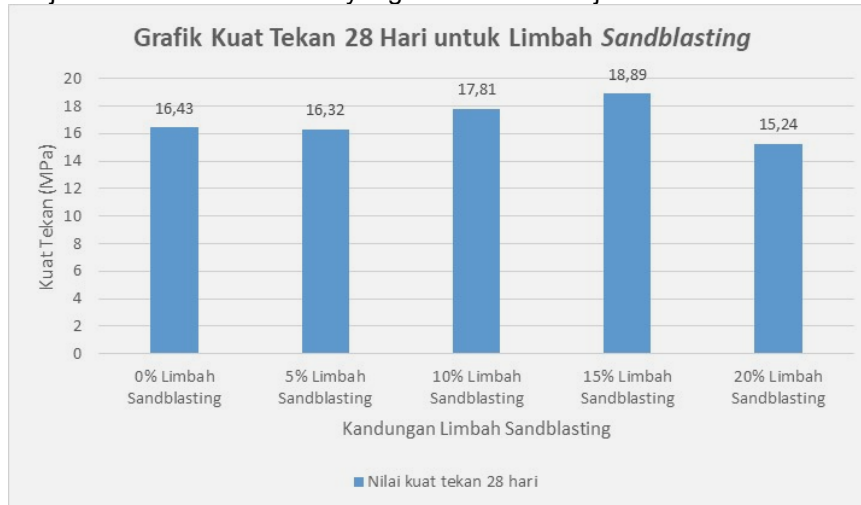
Analisa Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton mengalami perawatan pada umur 28 hari. Hal ini sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Uji kuat tekan bertujuan untuk mengontrol komposisi bahan penyusun terutama penambahan limbah *Sandblasting* saja dan limbah *Sandblasting* beserta *Fly Ash* sudah memenuhi mutu yang direncanakan yaitu beton dengan kuat tekan karakteristik 15 MPa. Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Campuran Limbah *Sandblasting* pada Umur 28 Hari dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Pada umur 28 hari beton normal mempunyai nilai kuat tekan sebesar 16,43 MPa, sedangkan beton dengan campuran limbah *sandblasting* sebesar 5%; 10%; 15%; dan 20% masing-masing mempunyai kuat tekan 16,32 MPa; 17,81 MPa; 18,89 MPa; dan 15,24 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa beton dengan campuran limbah *sandblasting* sebesar 10% dan 15% mempunyai peningkatan nilai kuat tekan 8,4% dan 14,97 % dari beton normal, sedangkan pada beton dengan campuran limbah *sandblasting* sebesar 5% dan 20% terjadi penurunan kuat tekan sebesar 0,67% dan 8,25%. Pada penelitian Asavapisit dkk. (2001) juga menunjukkan hasil pada penambahan debu silika 20% terjadi penurunan kuat tekan beton. Hal ini disebabkan, karena penambahan debu

silika menyebabkan semakin berkurangnya ukuran pori dan dan mengurangi ketersediaan ruang untuk proses hidrasi. Berdasarkan **Gambar 1**, maka beton yang layak untuk uji TCLP adalah beton yang

memiliki kelayakan teknis atau yang memiliki nilai kuat tekan diatas beton normal yaitu beton dengan campuran limbah *sandblasting* 10% dan 15% dari berat semen saja.



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan Beton Campuran Limbah *Sandblasting* pada Umur 28 Hari (Sumber : *Pengujian Kuat Tekan*, 2016)

Pada umur 28 hari beton normal (A_{4-6}) mempunyai nilai kuat tekan sebesar 16,43 MPa, sedangkan beton dengan campuran limbah *sandblasting* dan *fly ash* dengan campuran B_{4-6} (5% *Sandblasting*:30% *Fly Ash*) mempunyai kuat tekan sebesar 18,53 MPa, campuran C_{4-6} (10% *Sandblasting*:25% *Fly Ash*) mempunyai kuat tekan sebesar 16,08 MPa, campuran D_{4-6} (15% *Sandblasting*:20% *Fly Ash*) mempunyai kuat tekan sebesar 17,20 MPa, dan campuran E_{4-6} (20% *Sandblasting*:15% *Fly Ash*) mempunyai kuat tekan sebesar 15,91 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa beton dengan campuran limbah B_{4-6} dan D_{4-6} yang mempunyai peningkatan nilai kuat tekan 12,78% dan 4,69% dari beton

normal. Sedangkan pada beton dengan campuran limbah C_{4-6} dan E_{4-6} terjadi penurunan kuat tekan sebesar 2,18% dan 3,27%. Penelitian ini menunjukkan pengaruh penambahan limbah *sandblasting* dan *fly ash* menunjukkan terdapat trend kenaikan dan penurunan. Pada penelitian Mohamed (2011), peningkatan kandungan debu silika dan *fly ash* secara jelas menurunkan pola penurunan kuat tekan beton. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dengan kadar tertentu dapat mempengaruhi sifat *workability* dari campuran beton yang di hasilkan. Hal ini dikarenakan *fly ash* meningkatkan luas permukaan agregat, sehingga pasta semen dapat berfungsi sebagai pelumas dan perekat dengan baik.



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton Campuran Limbah *Sandblasting* dan *Fly Ash* pada Umur 28 Hari (Sumber : *Pengujian Kuat Tekan*, 2016)

Sedangkan limbah *sandblasting* pada kadar tertentu akan mengalami kenaikan dan penurunan disebabkan apabila kondisi *sandblasting* terlalu banyak akan mengalami perekatan yang kurang. Hal ini disebabkan *sandblasting* memiliki permukaan lebih kasar dibanding dengan *fly ash* dan semen sehingga, *sandblasting* tidak bisa maksimal dalam pengikatan maupun mengisi celah pori pori pada beton. Beton yang layak di uji TCLP adalah beton yang memiliki kelayakan teknis yaitu beton B₄₋₆ (5% *Sandblasting*:30% *Fly Ash*) dan D₄₋₆ (15% *Sandblasting*:20% *Fly Ash*), hal ini bisa dilihat pada **Gambar 2**.

Analisa Uji TCLP

Uji TCLP bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat pada beton dengan campuran limbah *sandblasting*. Beton yang mempunyai kandungan logam berat di bawah baku mutu TCLP berdasarkan PP No. 101 Tahun 2014, maka dinyatakan aman dari segi lingkungan atau layak lingkungan dan diperbolehkan untuk digunakan sebagai bahan bangunan. Hasil pengujian TCLP untuk limbah *sandblasting* atau kombinasi limbah *sandblasting* dan *fly ash* dilakukan pada campuran beton yang memiliki kelayakan teknis. Hasil uji TCLP dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Hasil Uji TCLP untuk Beton dengan Campuran Limbah *Sandblasting*

Kandungan Limbah	Parameter Logam Berat (mg/L atau ppm)			
	Cr	Cu	Pb	Zn
10% Limbah <i>Sandblasting</i>	0,185	0,201	1,31	17,765
15% Limbah <i>Sandblasting</i>	0,104	0,231	1,248	14,973
PP No 101 Tahun 2014	5	10	5	50

Tabel 4. Hasil Uji TCLP untuk Betondengan Campuran Limbah *Sandblasting* dan *Fly Ash*

Kandungan Limbah	Parameter Logam Berat (mg/L atau ppm)			
	Cr	Zn	Pb	Cu
B ₄₋₆ (5% <i>Sandblasting</i> : 30% <i>Fly Ash</i>)	0,181	14,011	1,310	0,201
D ₄₋₆ (15% <i>Sandblasting</i> : 20% <i>Fly Ash</i>)	0,095	12,822	1,232	0,282
PP No 101 Tahun 2014	5	10	5	50

Tabel 3 dan 4 menunjukkan, bahwa kandungan logam berat pada beton campuran semuanya menunjukkan nilai di bawah baku mutu TCLP, artinya keseluruhan campuran yang telah memiliki kelayakan teknis dinyatakan aman bagi lingkungan dan dapat digunakan sebagai alternatif penggunaan beton untuk pekerjaan pelat, balok, kolom dan dinding dengan mutu *f_c* 15 MPa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Uji TCLP, beton dengan campuran limbah *sandblasting* sebesar 10% dan 15% dan beton dengan campuran limbah *sandblasting* sebesar 5% *Sandblasting*:30% *Fly Ash* (B₄₋₆) dan 15% *Sandblasting*:20% *Fly Ash* (D₄₋₆) mempunyai kandungan logam berat (Cr, Cu, Pb, Zn) di bawah baku mutu TCLP sehingga layak secara teknis dan lingkungan. Beton dengan campuran limbah *sandblasting* terbaik dengan beton dengan campuran limbah *sandblasting* dan *fly ash* terbaik, jika dikomparasikan maka diperoleh beton dengan campuran limbah *sandblasting* sebesar 15% menunjukkan hasil yang terbaik dibandingkan dengan campuran limbah *sandblasting* dan *fly ash* sebesar 5% *Sandblasting*:30% *Fly Ash* (B₄₋₆).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan terutama ditujukan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas kontribusi pendanaan penelitian Skema Penelitian Dosen Pemula. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Direksi, Unit P3M, dan Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. serta kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asavapisit, S., Nanthamontry, W., Polprasert, C. 2001. *Influence of Condensed Silica Fume on the Properties of Cement-Based Solidified Wastes*. Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp. 1147-1152.
- Aswad, N. 2013. *Penggunaan Limbah Las Karbit Dan Fly ash Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Paving Block*. *Metropilar*, Vol. 11.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Standart Nasional Indonesia Nomor 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana*

- Campuran Baton Normal. Jakarta: Republik Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Standart Nasional Indonesia Nomor 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. (2002). Jakarta: Republik Indonesia.
- Budiarto. 2007. *Pengaruh Limbah Karbit dan Fly Ash Terhadap Kekuatan Mortar*. Bachelor Thesis, Universitas Kristen Petra
- Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-08) and commentary*. 2008. U.S.A: American Concrete Institute.
- Connor, R.J. 1990. *Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Waste*. Mc. Graw-Hill Inc. Unite States.
- Dermawan, D., Ashari, M.L. 2016. *Studi Komparasi Kelayakan Teknis Pemanfaatan Limbah B3 Sandblasting terhadap Limbah B3 Sandblasting dan Fly Ash sebagai Campuran Beton*. Seminar Nasional Maritim, Sains dan Teknologi Terapan 21 November 2016. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Dewi, N. R., Dermawan, D., Ashari, M.L. 2016. *Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit dan Fly Ash sebagai Bahan Campuran Beton Siap Pakai (BSP) (Studi Kasus: PT. Varia Usaha Beton)*. Jurnal Teknik Lingkungan UNDIP Vol.13 / No.1 / Maret 2016. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I-2*. Bandung: Republik Indonesia.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian dan Pengembangan. 2002. *Metode, Spesifikasi, dan Tata Cara bagian 3 : Beton, Semen, Pengkerasan Beton Semen*. Jakarta.
- Duggal, S.K. 2008. *Bulding Materials*, Third Revised Edition. New Age International Publishes.
- Gunawan., S. F. 2011. *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang yang Ramah Lingkungan Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Dasar*. Pusbalitbang Jalan dan Jembatan.
- Guyen, O., Ozdemir, O., Karaagacioglu, I. E., Celik, M.S. 2014. *Surface Morphologies and Floatability of Sand-Blasted Quartz Particles*. Minerals Engineering, Vol. 70, pp. 1-7.
- Hazardous Substance Fact Sheet*. 2009. United States: New Jersey Departemen of Health.
- Madany, I. M., Raveendran, E. 1992. *Leachability of Heavy Metals from Copper Blasting Grit Waste*. Waste Management & Research, Vol. 10, 87-91
- Madany, I. M., Al-Sayed, M. H., Raveendran, E. 1991. Utilization of Copper Blasting Grit Waste as A Contruction Material. Waste Management, Vol. 11, pp 35-40.
- Makaratat, N. e. 2010. *Effects of Calcium Carbide Residue–Fly Ash Binder on Mechanical Properties of Concrete*. Journal of Materials in Civil.
- Muthoharoh, I. 2012 . *Self Healing Capability Beton Dengan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Ditinjau Dari Workability, Kuat Tekan, dan Permeabilitas*. Universitas Sebelas Maret.
- Ogunbode, E. B. 2013. *Feat of Blended Sorghum Husk Ash-Calcium Carbide Sludge Cment Laterized Concrete*. Nigeria: School of Environmental Technology.
- Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. 2014 . Jakarta: Republik Indonesia.
- Setyawan, D. 2012. *Pemanfaatan Beton Ringan Dari Agregat Pumice Dengan Penambahan Fly ash Sebagai Pengganti Beton Biasa Untuk Struktur Bangunan*. Wahana Teknik Sipil vol. 17 No.2 .
- Sudarmaji. 2006. *Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya*. Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol. 2, No. 2 , Januari 2006:129 -142 .
- Susanti, R. 2011. *Teknologi Bahan Konstruksi*. Medan: Institut Teknologi Medan.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- U.S. EPA. 1975. *Process Design Manual for Nitrogen Control*. Washington DC : Office of Technology Transfer.
- Verstraete, W and Alexander, M. 1972. *Heterotrophic nitrification by Arthrobacter sp.* 110: 955.