

**PEMANFAATAN
ABU BATUBARA (*FLY ASH*) UNTUK *HOLLOW BLOCK*
YANG BERMUTU DAN AMAN BAGI LINGKUNGAN**



Tesis
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-2 pada
Program Studi Ilmu Lingkungan

Misbachul Munir
NIM : L4K 006 022

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2008**

Tesis

PEMANFAATAN ABU BATUBARA (*FLY ASH*)
UNTUK *HOLLOW BLOCK* YANG BERMUTU DAN AMAN
BAGI LINGKUNGAN

Disusun oleh :

Misbachul Munir
NIM : L4K 006 022

Diajukan sebagai salah satu syarat mengikuti ujian tesis
pada Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana
Universitas Diponegoro

Mengetahui:
Komisi Pembimbing,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng

Ir. Syafrudin CES, MT

Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,

Prof. Dr. Ir Purwanto, DEA

LEMBAR PENGESAHAN
PEMANFAATAN ABU BATUBARA (*FLY ASH*)
UNTUK *HOLLOW BLOCK* YANG BERMUTU DAN AMAN
BAGI LINGKUNGAN

Disusun oleh :

Misbachul Munir
NIM : L4K 006 022

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji
pada tanggal 12 Desember 2008
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Ketua

Tanda tangan

Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng

.....

Anggota

1. Ir. Syafrudin, CES, MT

.....

2. Prof. Dr. Ir. Sri Prabandiyani R.W, MSc

.....

3. Ir. Sumarno, MSi

.....

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister dari Program Magister Ilmu Lingkungan, seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain, telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat pada bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, Desember 2008

Misbachul Munir

BIODATA PENULIS



Misbachul Munir lahir tanggal 10 Juli 1954 di Salatiga, merupakan putra kedua dari 7 (tujuh) saudara. Saya menyelesaikan pendidikan SD sampai SMA tahun 1961 - 1972 di Salatiga dan kemudian melanjutkan studi di Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada pada tahun 1974 dan lulus pada tahun 1981.

Mulai tahun 1982 sampai sekarang bekerja di Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Semarang, Jl. Ki Mangunsarkoro No. 6 Semarang, sebagai peneliti dalam bidang Teknologi Lingkungan.

Pada tahun 2006 melanjutkan studi pada Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang. Tesis yang disusun dengan judul “ Pemanfaatan Abu Batubara (*Fly Ash*) untuk *Hollow Block* yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan” dan telah dinyatakan selesai pada tanggal 12 Desember 2008.

PEMANFAATAN ABU BATUBARA (FLY ASH) UNTUK *HOLLOW BLOCK* YANG BERMUTU DAN AMAN BAGI LINGKUNGAN

Misbachul Munir
Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro

Intisari

Abu batubara (*fly ash*) adalah sisa pembakaran batubara yang sangat halus yang berasal dari unit pembangkit uap (*boiler*). Saat ini di Jawa Tengah diperkirakan ada 68 industri yang sudah menggunakan batubara sebagai pengganti BBM dengan jumlah kebutuhan batubara mencapai 125 ribu ton / bulan dan akan dihasilkan abu batubara sebanyak 10 ribu ton per bulan. Kedepan pemakaian batubara sebagai sumber energi akan terus meningkat sehingga dapat menimbulkan permasalahan terhadap lingkungan

Abu batubara mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga abu batubara memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan. Salah satu upaya pemanfaatan abu batubara ini adalah untuk bahan campuran pembuatan *hollow block* (batako).

Dari hasil percobaan dengan berbagai perbandingan antara semen, pasir dan abu batubara yang ditambahkan diperoleh hasil bahwa penggantian semen oleh abu batubara pada produk batako tidak berpengaruh terhadap dimensi ukuran baik panjang, lebar dan ketebalan produk batako (penyimpangan dimensi ukuran masih dibawah ambang batas). Dilihat dari kuat tekan penambahan abu batubara sebagai pengganti semen sebanyak 5 % dan 10 % mampu meningkatkan kuat tekan produk batako 5,6 % dan 2,56 % dibanding tanpa penambahan abu batubara dan penambahan sampai dengan 10 % dapat meningkatkan mutu produk batako dari mutu II menjadi produk batako mutu I serta penambahan abu batubara sebagai pengganti semen sampai dengan 25 % masih memberikan produk batako mutu II.

Ditinjau dari aspek uji TCLP, kualitas produk batako pada berbagai perlakuan (K-1 s/d K-5) masih memenuhi baku mutu TCLP zat pencemar dalam limbah untuk menentukan sifat racun menurut Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999.

Kata kunci : *Abu batubara (fly ash), limbah B-3, pemanfaatan, bahan bangunan, hollow block bermutu, aman bagi lingkungan*

Abstrac

Fly ash is coal combustion residue. It is generated from boiler and it has very small grain size. So far, there are 68 industries in Central Java using coal as oil substitution. The industries needed coal 125,000 tons a month and this will give out 10,000 tons of fly ash. Need of coal as energy source in industries will increase in the future and it may cause severe effect to environment.

Fly ash contains high concentration of SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 and Fe_2O_3 . This characteristic is almost similar to that of cement, and that it is possible to add fly ash in production of hollow block instead of cement.

Experiment of various ratio of cement, sand and fly ash to make hollow block showed that substitution of cement with fly ash did not change dimension of hollow block i.e length, width and thickness. Addition of fly ash 5 to 10 percent increased hollow block strength to 2,56 and 5,6 percent. Addition fly ash as much as 10 percent could increase quality of product hollow block, from quality II to quality I, and even addition of fly ash to 25 percent produced hollow block of quality II.

The hollow block produced during the experiment (K-1 to K-5), according to TCLP (Toxicity Characteristic Leached Procedure) test, based on Government Regulation Number 85 Year 1999, met quality standard of TCLP for pollutant in waste to determine its poison nature.

Key word : Fly ash, hazardous waste, usefull, hollow block, good quality, environment friendly

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusunan tesis ini dapat disusun. Penyusunan tesis ini merupakan salah satu syarat wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa S-2 pada Magister Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Sejak penggunaan batubara sebagai sumber energi pada unit boiler di industri-industri sebagai pengganti BBM yang semakin mahal, persoalan abu batubara (*fly ash*) sebagai hasil samping pembakaran batubara tersebut saat ini mulai dirasakan oleh kalangan industri. Disamping *fly ash* digolongkan kedalam limbah B-3 (PP 18/1999 jo PP 85/1999) juga Jawa Tengah saat ini belum mempunyai tempat pengolahan atau pembuangan yang khusus sebagai tempat penampungan abu batubara (*fly ash*) yang representatif. Oleh karena itu penulis mencoba mengangkat dan meneliti masalah penanganan abu batubara tersebut dengan judul "Pemanfaatan Abu Batubara Sebagai *Hollow Block* yang Aman Bagi Lingkungan" studi kasus di PT. Batamtex, Ungaran

Dengan dimanfaatkannya abu batubara tersebut menjadi bahan bangunan (*Hollow Block*), diharapkan masalah abu batubara yang saat ini menjadi masalah berbagai industri dapat teratasi. Selain itu pemanfaatan ini juga mempunyai nilai ekonomis tersendiri, karena dapat menggantikan sebagian dari semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat dalam pembuatan *hollow block*, disamping menambah kekuatan dari produk tersebut.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan tesis ini, yaitu :

1. Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro
2. Dosen Pembimbing , Magister Ilmu Lingkungan, Undip.

3. Dosen Penguji Tesis, Magister Ilmu Lingkungan, Undip
4. Pada Dosen dan jajaran administrasi, Magister Ilmu Lingkungan, Undip
5. Kepala Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang
6. Direksi PT. Batamtex, Ungaran
7. Sahabat dan teman-teman mahasiswa MIL angkatan XVI

Penulis menyadari akan keterbatasan yang ada, maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan.

Semarang, Desember 2008

Penulis,

DAFTAR ISI

Halaman

INTISARI	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Hipotesis	1
3. Perumusan Masalah	5
4. Tujuan Penelitian	5
5. Manfaat Penelitian	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
1. Abu Batubara	7
2. Pengelolaan Limbah B-3	10
3. Bata Beton Berlubang (<i>Hollow Block</i>)	14
4. Semen Portland	19
5. Air	22
6. Sifat Bata Beton (<i>Concrete</i>)	22
III METODOLOGI PENELITIAN	25
1. Rancangan Penelitian	25
2. Ruang Lingkup Penelitian	28
3. Lokasi Penelitian	28
4. Variabel Penelitian	28
5. Pembuatan Bata Beton Berlubang (<i>Hollow Block</i>)	30
6. Jenis dan Sumber Data	30
7. Pengujian yang Dilakukan	30
8. Analisis Data	34
9. Diagram Alir Penelitian	35
IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
1. Data Awal Penelitian.....	37
2. Produk Batako	40
3. Analisis Biaya	58
V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	62
1. Kesimpulan	62
2. Rekomendasi.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Kandungan logam berat pada abu batubara 9
Tabel 2.2	Persyaratan mutu bata beton berlubang 17
Tabel 2.3	Syarat ukuran standar dan toleransi dimensi produk beton 18
Tabel 2.4	Prosentase Komposisi Semen Portland..... 24
Tabel 4.1	Hasil analisis kandungan logam berat dalam abu batubara PT. Batamtex 39
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Rata-rata Dimensi Produk Batako pada Berbagai Perlakuan 42
Tabel 4.3	Rekapitulasi Hasil Pengukuran Dimensi Produk Batako ... 43
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Rata-rata Kuat Tekan Produk Batako pada Berbagai Perlakuan 45
Tabel 4.5	Hubungan Antara Kuat Tekan Terhadap Umur Produk Batako 46
Tabel 4.6	Hubungan Antara Kuat Tekan Dengan Komposisi Bahan Produk Batako 49
Tabel 4.7	Mutu Produk Batako Umur 28 Hari pada Berbagai Perlakuan 53
Tabel 4.8	Hasil Uji TCLP Produk Batako Pada Berbagai Perlakuan . 54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Abu Batubara (<i>fly ash</i>)	8
Gambar 2.2 Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B-3	13
Gambar 2.3 Bata Beton Berlubang (<i>Hollow Block/Batako</i>)	18
Gambar 2.4 Perkembangan Kekuatan Kuat Tekan Beton	23
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	36
Gambar 4.1 PT. Batambex	38
Gambar 4.2 Grafik Kuat Tekan Produk Batako Kontrol	44
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Dengan Umur Produk Batako	46
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kuat Tekan Dengan Komposisi Produk Batako	50
Gambar 4.4 Grafik Uji TCLP Pada Berbagai Perlakuan	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini banyak industri telah mengganti sumber tenaga pada pembangkit uap/boiler dari minyak (IDO atau MFO) dengan batubara sebagai akibat langka dan mahal nya harga bahan bakar tersebut. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada unit boiler pada industri akhir-akhir ini menjadi pilihan yang paling diminati oleh para pengusaha karena disamping dapat menghemat biaya operasional juga ketersediaannya cukup melimpah di Indonesia.

Saat ini di Jawa Tengah diperkirakan ada 68 industri yang sudah menggunakan batubara sebagai pengganti BBM dengan jumlah kebutuhan batubara mencapai 125 ribu ton per bulannya. Dari penggunaan batubara tersebut akan dihasilkan sisa abu batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) sebanyak 10 ribu ton per bulan. (Suara Pembaharuan, 2006).

Pada penelitian ini dipilih *fly ash* sebagai obyek pemanfaatan dengan beberapa pertimbangan, antara lain jumlah *fly ash* lebih banyak ($\pm 80\%$ dari total sisa abu pembakaran batubara), butiran *fly ash* jauh lebih kecil (200 mesh) lebih berpotensi menimbulkan pencemaran udara, disisi lain *bottom ash* masih mempunyai nilai kalori sehingga masih dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar.

Dewasa ini di Jawa Tengah belum mempunyai tempat penampungan/pengolahan yang khusus sebagai tempat pembuangan limbah padat khususnya abu batubara (*fly ash*) yang representatif sehingga apabila jumlah industri pengguna batubara sebagai bahan bakar semakin meningkat dimasa yang akan datang maka perlu dipikirkan cara pengolahan/pembuangan limbah tersebut agar tidak menjadi masalah di kemudian hari.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999, abu batubara diklasifikasikan sebagai limbah B-3 sehingga penanganannya pun harus memenuhi kaidah-kaidah dalam peraturan tersebut. Penanganan yang direkomendasikan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999 adalah solidifikasi dimana dengan proses tersebut sifat B-3 dalam abu batubara akan menjadi stabil dan dapat dimanfaatkan sebagai produk yang aman bagi kesehatan dan lingkungan. Metode yang perlu dilakukan untuk pengujian limbah B-3 adalah dengan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) dan pengujian ini dilakukan setelah abu batubara tersebut diubah/dibuat terlebih dahulu menjadi bentuk massive, kokoh dan stabil, dengan harapan tidak akan terjadi leaching yang berlebihan.

Pemanfaatan limbah B-3 adalah kegiatan penggunaan kembali (*reuse*) dan/atau daur ulang (*recycle*) dan/atau perolehan kembali (*recovery*) yang bertujuan untuk mengubah limbah B-3 menjadi produk yang dapat digunakan dan harus juga aman bagi lingkungan (PerMen. LH No. 2/2008). Disamping itu dengan pemanfaatan limbah B-3 sekaligus dapat mengurangi jumlah limbah B-3, penghematan sumber daya alam dan meminimisasi potensi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Reuse adalah penggunaan kembali limbah B-3 dengan tujuan yang sama tanpa melalui proses tambahan secara fisika, kimia, biologi, dan/atau secara termal. *Recycle* adalah mendaur ulang komponen-komponen yang bermanfaat melalui proses tambahan secara fisika, kimia, biologi, dan/atau secara termal yang menghasilkan produk yang sama atau produk yang berbeda. *Recovery* adalah perolehan kembali komponen-komponen yang bermanfaat secara fisika, kimia, biologi, dan/atau secara termal.

Skala prioritas pemanfaatan limbah B-3 dimulai dari pemanfaatan secara *reuse*, kemudian dengan cara *recycle* dan terakhir dengan cara *recovery*. Kegiatan pemanfaatan limbah B-3 tersebut dilakukan dengan mengutamakan perlindungan terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta perlindungan lingkungan hidup dengan menerapkan prinsip kehati-hatian.

Menurut Marinda Putri, 2006, abu batubara memiliki berbagai kegunaan seperti bahan baku keramik, gelas dan refraktori, bahan penggosok (*polisher*), filler aspal, plastik dan kertas serta pengganti dan bahan baku semen

Untuk kegunaan yang terakhir ini, PT. Holcim Indonesia Tbk. pada Pebruari 2006 atas persetujuan Kementerian Lingkungan Hidup telah mengadakan MOU dengan 4 industri tekstil yang menggunakan batubara sebagai sumber energi pada pembangkit uap (*boiler*). Tujuan dari MOU tersebut adalah melakukan *feasibility study* penggunaan fly ash/ bottom ash sebagai bahan baku pada industri semen. (PT. Holcim Indonesia Tbk.)

Abu batubara dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu batubara yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batubara bitumes dan abu batubara kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis lignite atau subbitumes. Abu batubara mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , dan Fe_2O_3 namun kandungan SiO_2 cukup tinggi mencapai ± 70 persen. Dengan kandungan silika yang cukup tinggi ini memungkinkan abu batubara memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan.

Penelitian yang telah dilakukan terhadap limbah abu batubara adalah pemanfaatan abu terbang sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kualitas beton (Zeta Eridani, 2004). Hasil penelitian tersebut, beton dengan kandungan abu terbang 10 % - 40 % termasuk beton kedap air agresif sedang, yaitu beton yang tahan terhadap air limbah industri, air payau, dan air laut.

Untuk merubah abu batubara menjadi senyawa "monolit" dan stabil adalah dengan mencampurkannya dengan bahan pengikat (*cement*) dan dengan ditambah bahan pengisi seperti pasir, kapur atau lainnya untuk kemudian dijadikan bahan bangunan antara lain *hollow block* (bata beton berlubang/batako). Pemilihan *hollow block* (batako) dalam penelitian ini didasarkan atas pertimbangan antara lain persyaratan kuat tekan yang lebih rendah daripada *masive block*, jumlah pemakaian semen lebih sedikit, pangsa pasar lebih besar batako daripada *masive block*.

Disamping itu batako memiliki beberapa kelebihan/keunggulan dibandingkan batu bata, dimana beratnya hanya 1/3 dari berat bata untuk jumlah yang sama dan batako dapat disusun lebih cepat dan cukup kuat untuk semua penggunaan yang biasanya menggunakan batu bata. Dinding yang dibuat dari batako mempunyai keunggulan dalam hal meredam panas dan suara (Claudia M. dkk , 2006)

Mengingat bahan bangunan yang dipilih adalah *hollow block* , maka yang perlu diperhatikan adakah kemampuan dalam menahan berbagai beban yang mungkin diterima. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu pengujian kuat tekan *hollow block* yang dibuat dengan berbagai komposisi campuran *fly ash* sebagai bahan agregat. Dengan dilakukan variasi dari komposisi tersebut, maka dapat diketahui apakah dengan melakukan variabel komposisi bahan tambahan (*fly ash*) akan mempunyai pengaruh terhadap kuat tekan dari *hollow block* yang dibuat. Oleh karena abu batubara digolongkan sebagai limbah B-3 maka perlu dilakukan solidifikasi dimana dengan proses tersebut sifat B-3 dalam abu batubara akan menjadi stabil, kokoh dan tidak akan terjadi leaching sehingga aman bagi lingkungan.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih jauh untuk mengetahui apakah dengan dijadikannya abu batubara (*fly ash*)

tersebut sebagai campuran pembuatan bata beton berlubang/batako akan menjadi kuat, nilai ekonomis dan aman bagi lingkungan.

1.2. Hipotesis

Proses solidifikasi membuat cemaran logam berat dalam abu batubara (*fly ash*) akan menjadi stabil (*immobile*)

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Apakah pemanfaatan abu batubara sebagai bahan campuran "*hollow block*" (bata beton berlubang) dapat meminimisasi atau mengurangi jumlah limbah dan dapat meningkatkan kualitas lingkungan dan efisiensi penggunaan sumber daya alam ?
2. Apakah kualitas "*hollow block*" (bata beton berlubang) yang dibuat dengan menggunakan campuran abu batubara tersebut bermutu sesuai dengan standar yang berlaku dan aman bagi lingkungan ?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk meminimisasi abu batubara dengan memanfaatkan limbah tersebut untuk bahan campuran "*hollow block*" (bata beton berlubang) sehingga mengurangi jumlah limbah yang terbentuk dan disisi lain dapat meningkatkan kualitas lingkungan dan efisiensi penggunaan sumber daya alam
2. Untuk memastikan limbah abu batubara adalah layak untuk dijadikan bahan campuran dalam pembuatan "*hollow block*" (bata beton berlubang) yang bermutu sesuai dengan standar yang berlaku dan aman bagi lingkungan, yaitu dengan melakukan pengukuran dimensi, uji kuat tekan dan uji TCLP.

1.5. Manfaat Penelitian

Apabila penelitian ini berhasil, maka diharapkan akan diperoleh beberapa manfaat, yaitu :

1. Memberikan alternatif pemecahan masalah dalam hal penanganan/pengolahan limbah abu batubara yang sekarang ini sudah menjadi masalah bagi industri
2. Produk hasil batako dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan yang bermutu dan aman bagi lingkungan
3. Limbah abu batubara dapat dijadikan sebagai meterial pengganti /campuran bahan bangunan "*hollow block*" untuk digunakan pada proyek pembangunan perumahan rumah sederhana (RS) maupun rumah sangat sederhana (RSS).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Abu batubara

Sejak Indonesia mengalami krisis bahan bakar minyak, nama batubara saat ini begitu terkenal, baik dikalangan masyarakat umum maupun industriawan. Semua sumber tenaga yang menggunakan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi kalau memungkinkan diganti dengan batubara. Berdasarkan data dari BP Statistical Review of Energy, 2004, Indonesia mempunyai cadangan batubara terbesar ke lima dunia setelah Amerika Serikat, Jerman, Afrika Selatan dan Ukraina.

Saat ini penggunaan batubara di kalangan industri semakin meningkat volumenya, karena selain harga yang relatif murah juga kian langka dan harga bahan bakar minyak untuk industri cenderung naik. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pengganti BBM, disatu sisi sangat menguntungkan namun disisi yang lain menimbulkan masalah, yaitu abu batubara yang merupakan hasil samping pembakaran batubara. Dari sejumlah pemakaian batubara akan dihasilkan abu batubara sekitar 2 – 10 % (tergantung jenis batubaranya, *low calory* atau *hight calory*). Sampai saat ini pengelolaan limbah abu batubara oleh kalangan industri hanya ditimbun dalam areal pabrik saja (*ash disposal*).

Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran



Gambar 2.1 : Abu batubara (*fly ash*)

Dari proses pembakaran batubara pada unit penbangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10 - 20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80 - 90 % berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan *electric precipitator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong (Edy B., 2007).

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5 – 27 % dengan *specific gravity* antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu batubara mengandung silika dan alumina sekitar 80 % dengan sebagian silika berbentuk amorf. Sifat-sifat fisik abu batubara antara lain densitasnya 2,23 gr/cm³, kadar air sekitar 4 % dan komposisi mineral yang dominan adalah α -kuarsa dan mullite. Selain itu abu batubara mengandung SiO₂ = 58,75 %, Al₂O₃ = 25,82 %, Fe₂O₃ = 5,30 %, CaO = 4,66 %, alkali = 1,36 %, MgO = 3,30 % dan bahan lainnya = 0,81 %.

Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), chrom (Cr).

Tabel 2.1. : Kandungan logam berat pada abu batubara

No.	Jenis abu batubara	Kandungan logam berat (ppm)				
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
1	Abu batubara Bukit Asam	298	19	391	11	224
2	Abu batubara Ombilin	87	15	153	tt	120

Sumber : Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen ESDM, 2003

Menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, abu batubara (*fly ash*) digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

- Kelas F : Abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis *antrasit* dan *bituminous*.
- Kelas C : Abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis *lignite* dan *subbituminous*.
- Kelas N : *Pozzolan* alam, seperti tanah diatome, shale, tufa, abu gunung berapi atau pumice.

Sebenarnya abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung didalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Djiwantoro, 2001).

Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton. Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton

menjadi lebih kuat. Pada umur sampai dengan 7 hari, perubahan fisik abu batubara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara *hidrasi* semen dan reaksi *pozzolan*. (Jackson, 1977)

Menurut PP 18 tahun 1999 juncto PP 85 tahun 1999 abu terbang (*fly ash*) digolongkan sebagai limbah B-3 (bahan berbahaya dan beracun) dengan kode limbah D 223 dengan bahan pencemar utama adalah logam berat, yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan.

2.2. Pengelolaan Limbah B-3

Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B-3) adalah setiap limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (PP 85 tahun 1999).

Penghasil limbah B-3 baik perorangan maupun badan usaha tidak boleh membuang limbah B-3 yang dihasilkan tersebut secara langsung kedalam media lingkungan (kedalam tanah, air atau udara) tanpa pengolahan terlebih dahulu. Juga tidak boleh melakukan pengenceran untuk maksud menurunkan konsentrasi zat racun dan bahaya limbah B-3, karena pada hekekatnya pengenceran tidak mengurangi beban pencemaran yang ada dan tetap sama dengan sebelum dilakukan pengenceran. Dengan kata lain pengenceran tidak akan menghilangkan sifat berbahaya dan beracunnya limbah B-3 tersebut.

Untuk menentukan termasuk tidaknya suatu limbah kedalam limbah B-3, suatu limbah dapat diidentifikasi menurut sumber dan/atau uji karakteristik dan/atau uji toksikologi (pasal 6, PP 85/1999). Identifikasi limbah ini nantinya akan memudahkan bagi pihak penghasil, pengumpul, pengangkut, pemanfaat, pengolah atau penimbun dalam mengenali limbah B-3 tersebut sedini mungkin.

Identifikasi suatu limbah apakah termasuk dalam katagori limbah B-3 melalui tahapan sebagai berikut :

1. Mencocokkan jenis limbah yang dimaksud dengan daftar jenis limbah B-3 dalam daftar limbah B-3 dari sumber yang tidak spesifik dan dari sumber spesifik (lampiran 1 dan lampiran 2), apabila cocok dengan daftar jenis limbah B-3 maka limbah tersebut termasuk limbah B-3.
2. Apabila tidak cocok dengan daftar jenis limbah B-3 maka diperiksa apakah limbah tersebut memiliki karakteristik mudah terbakar atau mudah meledak atau beracun atau bersifat reaktif atau menyebabkan infeksi atau bersifat korosif
3. Apabila kedua tahapan tersebut sudah dilakukan dan tidak memenuhi ketentuan limbah B-3 maka uji terakhir yang dilakukan adalah uji toksikologi

Pengujian toksikologi limbah B-3 ini dimaksudkan untuk menentukan sifat akut dan atau kronik. Penentuan sifat akut limbah B-3 dilakukan dengan uji hayati untuk mengukur hubungan dosis-respon antara limbah dengan kematian hewan uji untuk menentukan nilai LD_{50} (*Lethal Dose 50*). Apabila nilai LD_{50} secara oral lebih besar dari 50 mg/kg berat badan, maka terhadap limbah yang mengandung salah satu dari zat pencemar pada lampiran III (daftar zat pencemar dalam limbah yang bersifat kronis) perlu dilakukan evaluasi sifat kronis.

Pengolahan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B-3) adalah proses untuk mengubah jenis, jumlah dan karakteristik B-3 yang terdapat dalam limbah menjadi sesuatu yang tidak berbahaya dan/atau tidak beracun atau proses immobilisasi limbah B-3 dan/atau memungkinkan agar limbah B-3 tersebut dapat dimanfaatkan kembali (*recycle*). Proses pengolahan limbah B-3 dapat dilakukan dengan cara fisika dan kimia, insenerasi dan solidifikasi/stabilisasi.

Proses pengolahan secara fisika dan kimia dimaksudkan untuk mengurangi sifat/daya racun dalam limbah B-3 dan/atau menghilangkan sifat limbah B-3 dari berbahaya menjadi tidak berbahaya lagi. Proses pengolahan limbah B-3 dengan cara insenerasi dimaksudkan untuk menghancurkan limbah B-3 dengan cara pemanasan dengan suhu yang tinggi untuk dijadikan senyawa yang mempunyai sifat tidak mengandung B-3 lagi.

Proses solidifikas/stabilisasi pada prinsipnya adalah mengubah sifat fisika dan kimia limbah B-3 dengan cara menambahkan bahan mengikat (*cement*) membentuk senyawa monolit dengan struktur yang kompak agar supaya pergerakan limbah B-3 terhambat atau dibatasi, daya larut diperkecil sehingga daya racunnya limbah B-3 tersebut berkurang sebelum limbah B-3 tersebut ditimbun atau dimanfaatkan kembali.

Bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai pengikat (*cement*) adalah kapur, tanah liat, aspal, semen portland. Tata cara kerja proses stabilisasi/solidifikasi adalah sebagai berikut :

1. Limbah B-3 sebelum dilakukan proses stabilisasi/solidifikasi harus dianalisa karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi /solidifikasi yang akan dilakukan terhadap limbah B-3 tersebut.
2. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap hasil olahan tersebut harus dilakukan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leached Procedure*) untuk mengukur

kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*leached/extrac*) sebagaimana yang tercantum dalam Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995 (lampiran 3)

Hasil uji TCLP yang dilakukan kadarnya tidak boleh melebihi ambang batas sebagaimana yang tercantum dalam tabel 1.

3. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*compressive strength*) dan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² (Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995)

Menurut pasal 10 Peraturan pemerintah Nomor 18/1999, penghasil limbah B-3 dapat menyimpan limbah B-3 yang dihasilkannya paling lama 90 hari sebelum diserahkan kepada pengumpul atau pemanfaat atau pengolah atau penimbun limbah B-3. Namun apabila limbah B-3 yang dihasilkan kurang dari 50 Kg per hari, penghasil limbah B-3 dapat menyimpan limbahnya lebih dari 90 hari dengan persetujuan KLH



Gambar 2.2 : Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B-3

Lebih lanjut pasal 34 menegaskan bahwa penghasil limbah B-3 dimungkinkan untuk melakukan pengolahan limbah B-3 yang dihasilkan dengan cara thermal, stabilisasi dan solidifikasi, secara fisika, kimia, biologi atau cara lainnya sesuai dengan perkembangan teknologi, setelah mendapatkan ijin dari KLH. Pengolahan limbah B-3 dengan cara stabilisasi dan solidifikasi wajib memenuhi syarat serta melakukan analisis prosedur ekstraksi untuk menentukan mobilitas senyawa organik dan anorganik (uji TCLP).

2.3. Bata Beton Berlubang (*Hollow Block*)

Bahan untuk membentuk bata beton berlubang (*hollow block*) adalah pasir (agregat) sebagai bahan pengisi yang banyak mengandung silika (SiO_2), semen portland sebagai bahan pengikat dan air untuk memudahkan bahan-bahan tersebut dapat tercampur dan bereaksi dengan sempurna. Menurut SNI 03-0349-89, tentang Persyaratan mutu bata beton berlubang, yang dimaksud bata beton berlubang (*hollow block*) adalah bata beton yang mempunyai luas penampang lubang lebih dari 25 % luas permukaan batanya dan volume lubangnya lebih dari 25 % dari volume bata secara keseluruhan.

Sifat tahan susut, tidak mudah retak dan kekuatan bata beton berlubang dipengaruhi oleh :

a. Sifat agregat yang digunakan

Beberapa sifat agregat yang berpengaruh terhadap sifat tahan susut, tidak mudah retak dan kekuatan bata beton berlubang adalah :

- Kekerasan agregat

Penggunaan agregat yang mempunyai kekerasan tinggi akan menghasilkan bata beton berlubang dengan kekerasan dan kekuatan yang tinggi pula. Kekerasan agregat dipengaruhi

oleh kandungan silikanya, makin tinggi kandungan silika semakin keras agregat tersebut.

- Susunan besar butir agregat.

Agregat dengan gradasi yang baik yaitu agregat yang terdiri dari berbagai macam ukuran besar butiran (ukuran butiran agregat tidak sama), sehingga bila agregat tersebut digunakan, celah antara butiran yang agak besar akan diisi oleh butiran lain yang lebih kecil sehingga akan saling mengisi. Hal ini akan mengurangi penggunaan semen dan air.

Untuk mendapatkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi diperlukan ukuran butiran agregat lebih besar dari 200 mesh (0,2 mm), karena penggunaan ukuran butiran yang lebih kecil dari 200 mesh dapat meningkatkan kadar air beton sehingga menghalangi ikatan antara semen dan agregat. Disamping itu butiran dengan ukuran yang sangat kecil dapat menambah penyusutan dan akan menyebabkan keretakan pada bata beton tersebut.

- Kebersihan agregat

Kebersihan agregat adalah agregat tersebut tidak mengandung zat organik, garam sulfat, lemak, lumpur dan sebagainya. Bahan organik dan lemak akan menghambat pengikatan semen dengan agregat sehingga proses ikatan tersebut tidak sempurna dan akan menurunkan kekuatan bata beton tersebut. Adanya garam sulfat dalam keadaan basah dapat masuk ke pori-pori adukan dan akan membentuk kristal gips yang mengembang volumenya dan dapat menyebabkan keretakan bata beton.

b. Jumlah semen dan agregat yang digunakan

Penggunaan semen yang lebih banyak akan meningkatkan kekuatan bata beton, akan tetapi akan meningkatkan pula harga per satuan bata beton tersebut. Sebaliknya penggunaan semen yang kurang dalam adukan akan menyebabkan tidak sempurnanya ikatan semen dengan agregatnya karena permukaan agregat tidak dapat seluruhnya terlumasi (tertutupi) oleh perekat semen sehingga akan menurunkan kekuatan bata beton. Semen dapat mengeras dan memberi daya rekat serta memberikan kekuatan disebabkan terjadinya proses hidrasi yaitu proses bereaksinya senyawa semen dengan air yang akan membentuk senyawa hidrat.

Berdasarkan persyaratan mutu bata beton berlubang dibedakan menjadi empat tingkatan mutunya, yaitu mulai tingkat mutu I sampai tingkat mutu IV. (SNI 03-0349-89 tentang Persyaratan Mutu Bata Beton Berlubang)

- Bata beton berlubang mutu I adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang tidak terlindung (diluar atap)
- Bata beton berlubang mutu II adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi dibawah atap)
- Bata beton berlubang mutu III adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang tidak memikul beban, untuk dinding penyekat serta konstruksi lainnya tetapi permukaannya tidak boleh diplester (dibawah atap).
- Bata beton berlubang mutu IV adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi seperti penggunaan dalam mutu III tetapi selalu terlindungi dari hujan dan terik matahari (diplester dan dibawah atap)

Berdasarkan permintaan konsumen terdapat beberapa mutu produk bata beton berlubang (batako) sehingga perbandingan adukanpun bervariasi. Secara umum semakin banyak semen yang digunakan akan diperoleh mutu produk batako semakin tinggi pula, demikian pula sebaliknya.

Namun dengan semakin banyak semen yang digunakan akan mengakibatkan semakin mahal harga produk batako yang harus ditanggung oleh konsumen.

Untuk mendapatkan produk batako dengan kualitas baik yang akan digunakan untuk pembuatan dinding rumah diperlukan perbandingan antara semen dan pasir adalah 1 bagian semen bermutu baik 6 bagian pasir sungai yang bersih + air secukupnya (Claudia M., 2006).

Persyaratan mutu bata beton berlubang menurut SNI 03-0349-89 adalah :

Tabel 2.2. : Persyaratan mutu bata beton berlubang

Persyaratan Mutu	Satuan	Mutu Bata Beton Berlubang			
		I	II	III	IV
1. Kuat Tekan bruto & rata-rata, minimum	Kg/cm ²	70	50	35	20
2. Kuat tekan bruto masing-masing benda uji, minimum	Kg/cm ²	65	45	30	17
3. Penyerapan air rata-rata, maksimum	%	25	35	-	-

Sumber : SNI 03-0349-89



Gambar 2.3 : Produk Bata Beton Berlubang (*Hollow Block/Batako*)

Dari uraian diatas nampak bahwa untuk bata beton berlubang kelas I yang mempunyai peruntukan paling berat, maka syarat kuat tekannya juga harus tinggi, dan sebaliknya untuk bata beton berlubang untuk kelas IV, karena peruntukannya tidak seberat kelas I, maka syarat kuat tekan yang dibutuhkan juga tidak terlalu tinggi . Untuk dimensi (ukuran panjang, lebar dan tebal) terdapat syarat ukuran standar dan toleransi, seperti tabel dibawah ini.

Tabel 2.3. : Syarat ukuran standar dan toleransi dimensi produk beton

Jenis Bata beton berlubang	Ukuran dan Toleransi (mm)			Tebal dinding sekatan lubang Min. (mm)	
	Panjang	Lebar	Tebal	Luar	Dalam
Kecil	400 ± 3	200 ± 3	100 ± 2	20	15
Besar	400 ± 3	200 ± 3	100 ± 2	25	20

Sumber : Standar Spesifikasi Bahan Bangunan,

2.4. Semen Portland

Semen portland mempunyai lima senyawa penyusun utama dan sedikit senyawa lain sebagai tambahan. Kelima bahan penyusun utama tersebut yaitu :

- Trikalsium Silikat (Ca_3SiO_5 atau $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), disingkat C_3S
- Dikalsium Silikat (Ca_2SiO_4 atau $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), disingkat C_2S
- Trikalsium Aluminat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ atau $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), disingkat C_3A
- Tetrakalsium Aluminoferrit ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_{10}$ atau $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), disingkat C_4AF
- Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi trikalsium silikat dan dikalsium silikat adalah 70 – 80 % dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Tri Mulyono, 2005).

Pada saat air ditambahkan dalam semen, setiap senyawa-senyawa tersebut diatas mengalami reaksi hidrasi dan mempunyai andil masing-masing dalam pembentukan *concrete*. Hanya kalsium silikat yang mempunyai sumbangsih terhadap kekuatan *concrete*, dimana tricalcium silicate berperan sebagai pembentukan kekuatan awal (7 hari pertama), sedangkan dikalsium silikat reaksinya lambat dan mempunyai kontribusi dalam pembentukan kekuatan pada tahap berikutnya.

Banyaknya air yang digunakan selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Pada dasarnya jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25 % dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25 %, maka kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan tidak akan tercapai (Neville, 1981)

Faktor air semen (FAS) atau water cement ratio (WCR) merupakan rasio antara berat air yang digunakan dibagi dengan berat semen, yang dituliskan sebagai berikut :

$$FAS = \frac{\text{berat air (gram)}}{\text{berat semen (gram)}} \dots\dots\dots(1)$$

Semakin tinggi nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton, namun demikian nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS yang diberikan sekitar 0,25 dan maksimum 0,65.

Semen yang biasa digunakan dalam pembuatan bahan bangunan adalah jenis Semen Portland. Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland dibagi dalam lima jenis katagori (PUBI, 1982), yaitu :

- Tipe I, untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak memerlukan persyaratan khusus
- Tipe II, untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
- Tipe III, untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi dan dipergunakan pada daerah yang bersuhu rendah
- Tipe IV, untuk konstruksi-konstruksi yang persyaratan panas hidrasi rendah dan digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan besar dan masif

- Tipe V, untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

Menurut Nawy, 1985, komposisi senyawa kimia pada kelima jenis semen diatas adalah sebagai berikut.

Tabel 2.4. : Prosentase Komposisi Semen Portland

Tipe Semen	Komposisi Kimia (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
I, Normal	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
II, Modifikasi	46	29	6	12	2,8	0,6	3	Digunakan untuk struktur besar
III, Kekuatan awal tinggi	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Dipakai pada daerah temperatur rendah
IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Dipakai pada bendungan
V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai untuk bangunan tahan asam sulfat

Sumber : Nawy, 1985

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen dan bila ditambah dengan agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*).

2.5. Air

Air merupakan bahan pembuat beton yang sangat penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air hanya diperlukan 25 % dari berat semen saja. Selain itu, air juga digunakan untuk perawatan beton dengan cara pembasahan setelah dicor (Tjokrodinuljo, 1996).

Kebutuhan kualitas air untuk beton mutu tinggi tidak jauh berbeda dengan air untuk beton normal. Pengerasan beton dipengaruhi reaksi semen dan air, maka air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Air yang memenuhi persyaratan air minum merupakan air yang memenuhi syarat untuk bahan campuran beton, tetapi air untuk campuran beton adalah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % dari kekuatan beton yang menggunakan air suling.

Persyaratan air yang digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

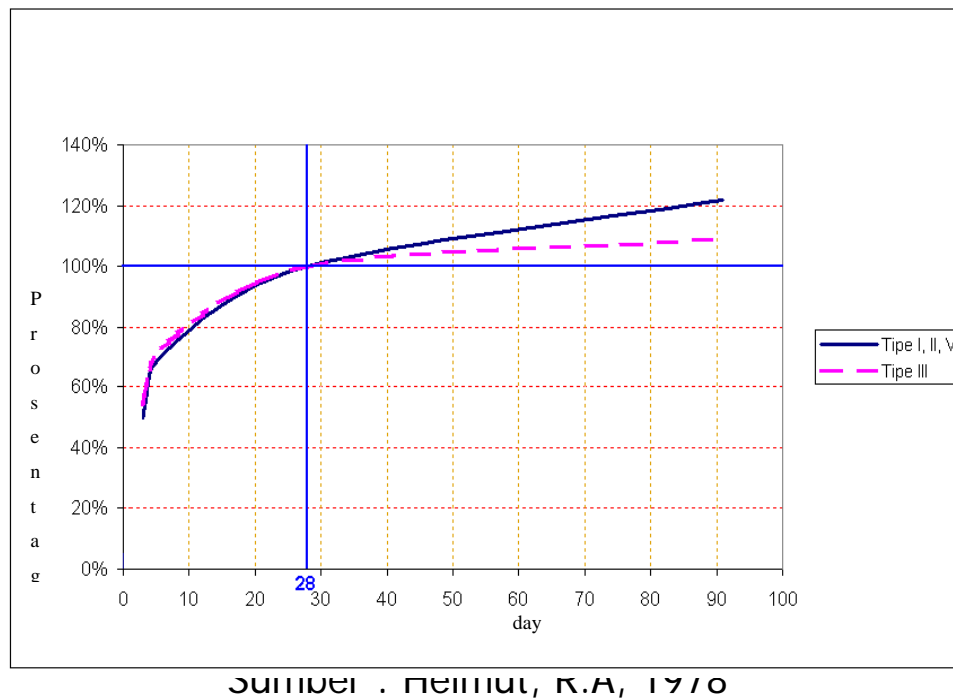
- Air tidak boleh mengandung lumpur (benda-benda melayang lain) lebih dari 2 gram/liter.
- Air tidak boleh mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

2.6. Sifat-Sifat Bata Beton (*Concrete*)

Bata beton (*concrete*) adalah campuran yang terdiri dari “paste semen” dan “agregat”, dan kadang ditambahkan beberapa bahan tambahan (*admixture*) untuk memperbaiki sifat/kualitas *concrete* yang diinginkan. Agregat diartikan sebagai materail inert seperti pasir, kerikil atau batuan yang telah dipecah menjadi ukuran tertentu. Ada

dua jenis agregat yaitu agregat kasar (coarse) yang mempunyai ukuran $\frac{3}{4}$ " sampai 1" dan agregat halus (*fine*) dengan ukuran sampai dengan $\frac{5}{8}$ ". Sedangkan pasta semen merupakan campuran dari semen portland dan air. Kekuatan concrete sangat ditentukan oleh ratio perbandingan antara semen dan air atau FAS.

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Pada umur awal, kekuatan tekan beton akan naik secara cepat (linier) dan mencapai maksimum pada umur 28 hari dan setelah itu kenaikannya akan kecil. Pada kasus-kasus tertentu kekuatan tekan beton akan terus bertambah sampai beberapa bulan dimuka Oleh karena itu pengukuran kuat tekan beton dihitung setelah beton mencapai umur 28 hari. (Helmut, R.A, 1978).



Gambar 2.4 : Perkembangan Kekuatan Kuat Tekan Beton

Sifat-sifat bata beton yang berhubungan dengan kualitas dari *concrete* tersebut adalah :

a. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan (*strength*) merupakan sifat fisik yang paling penting dan merupakan metoda yang sangat umum digunakan dalam menentukan kualitas dari bata beton. Kekuatan (*strength*) didefinisikan sebagai daya tahan maksimum dari bata beton dalam menerima beban secara tegak lurus (*axial*).

b. *Durability*

Durability adalah daya tahan *concrete* terhadap pengaruh lingkungan sekitarnya seperti pembekuan dan pencairan bata beton pada saat basah terutama pada saat penghilangan es atau *deicing chemical* digunakan.

c. *Permeability and Watertightness*

Permeability adalah kemampuan bata beton didalam menahan masuknya air atau bahan lain seperti cairan, gas, ion dan sebagainya. Sedang *watertightness* adalah kemampuan bata beton didalam menahan air atau cairan lainnya tanpa terjadi kebocoran.

d. Ketahanan abrasi

Ketahanan abrasi pada bata beton sangat erat hubungannya dengan kuat tekan beton. Semakin tinggi ketahanan abrasi akan semakin kuat menahan abrasi. Ketahanan abrasi sangat dipengaruhi oleh FAS, proses pengeringan (*curing*) dan tipe agregat.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang akan dilakukan dalam pemanfaatan abu batubara untuk bahan bangunan (bata beton berlubang) yang bermutu dan aman bagi kesehatan dan lingkungan, merupakan penelitian yang bersifat kuantitatif yaitu dengan cara melakukan percobaan di laboratorium.

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

3.1.1. Pengambilan Data Awal Penelitian

Yang dimaksud dengan pengambilan data awal adalah untuk mengetahui bahan uji yang akan digunakan sebagai obyek penelitian, yang tujuannya sebagai *reference* atau pembanding dengan data yang diperoleh setelah dilakukan percobaan. Untuk itu langkah yang perlu dilakukan dalam pengambilan data awal ini adalah identifikasi unsur bahan B-3 (logam berat Pb, Cd, dan Cr) yang terkandung dalam abu batubara

3.1.2. Penelitian

Sebelum dilakukan penelitian terlebih dahulu ditentukan variabel-variabel yang akan digunakan, baik variabel *dependen* maupun variabel *independen* nya.

Urutan dalam pembuatan bata beton berlubang adalah sebagai berikut :

a. Persiapan bahan

Sebelum pembuatan bata beton berlubang dilakukan, semua bahan yang akan digunakan disiapkan, seperti semen, pasir Muntilan, abu batubara dan air.

Semua bahan-bahan tersebut kemudian dilakukan pembagian sesuai dengan variabel yang telah ditentukan, kemudian dicampur dengan merata.



Abu Batubara (*Fly Ash*)



Pasir Muntilan



Pencampuran bahan

b. Pencetakan bata beton berlubang

Setelah tercampur dengan sempurna (homogen) kemudian dilakukan pencetakan dengan menggunakan alat cetakan (press) bata beton berlubang.



Alat Cetak (Pres) Batako

c. Penyemaian bata beton berlubang (*curing time*)

Bata beton dari campuran abu batubara yang telah dicetak, kemudian diangin-anginkan selama kurang lebih satu hari untuk memastikan bahwa bata beton berlubang tersebut telah kering dan tidak hancur bila diangkat/dipindah

d. Pengawetan bata beton berlubang

Setelah masa *curing time* dianggap sudah mencukupi, bata beton berlubang tersebut disimpan pada tempat yang terlindung dari sinar matahari agar supaya penguapan dapat terjadi secara perlahan-lahan

e. Pengujian-pengujian

Pengujian ini dilakukan terhadap kuat tekan bata beton berlubang tersebut sesuai dengan variabel-variabel yang digunakan. Setelah ditemukan kondisi yang optimal selanjutnya dilakukan pengujian toksisitas bata beton berlubang tersebut (uji TCLP)

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini dibatasi pada :

- a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batubara (*fly ash*) yang merupakan abu sisa pembakaran batubara pada boiler pada industri tekstil dan pasir yang digunakan adalah pasir Muntilan
- b. Pengawetan produk bata beton berlubang dilakukan pada tempat yang terlindung dari sinar matahari dan pada temperatur kamar
- c. Perlakuan penyimpanan batu bata berlubang yang telah dicetak dilakukan pada ruangan terbuka (suhu kamar)
- d. Pengujian kuat tekan dengan metode yang berlaku (SNI) dan uji TCLP menggunakan metode US EPA

3.3. Lokasi Penelitian

- a. Identifikasi senyawa yang terkandung dalam abu batubara dilakukan di laboratorium Balai Basar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang
- b. Pembuatan bata beton berlubang (batako) dilakukan pada salah satu perusahaan swasta di Semarang Timur

3.4. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah kuat tekan terhadap bata beton berlubang yang dibuat. Dengan salah satu sifat abu batubara yang memiliki kemampuan untuk mengikat seperti halnya semen maka dalam penelitian ini sebagian semen akan digantikan oleh abu batubara dan sebagai dasar perbandingan awal bahan baku semen dan pasir yang dipakai adalah perbandingan 1 : 6. (Claudia, 2006) dan penambahan/penggantian semen oleh abu batubara berkisar antara 5 – 30 % (Agung B. dan Triwulan, 1993 ; Andriati A.H., 1987).

Secara lengkap variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

3.4.1. Perbandingan bahan

Pada penelitian ini adalah perbandingan bahan antara semen, pasir dan abu batubara yang digunakan adalah :

- a. K-0 (Kontrol) = 5,0 bagian : 30 bagian : 0 bagian (tanpa penggantian abu batubara)
- b. K-1 = 4,75 bagian : 30 bagian : 0,25 bagian (penggantian abu batubara = 5 % dari semen)
- c. K-2 = 4,50 bagian : 30 bagian : 0,50 bagian (penggantian abu batubara = 10 % dari semen)
- d. K-3 = 4,25 bagian : 30 bagian : 0,75 bagian (penggantian abu batubara = 15 % dari semen)
- e. K-4 = 4,00 bagian : 30 bagian : 1,00 bagian (penggantian abu batubara = 20 % dari semen)
- f. K-5 = 3,75 bagian : 30 bagian : 1,25 bagian (penggantian abu batubara = 25 % dari semen)
- g. K-6 = 3,50 bagian : 30 bagian : 1,50 bagian (penggantian abu batubara = 30 % dari semen)

3.4.2. Umur bata beton berlubang

Umur bata beton berlubang pada penelitian ini (Helmut, R.A, 1978) adalah :

- a. 7 hari
- b. 14 hari
- c. 21 hari
- d. 28 hari

3.5. Pembuatan Bata Beton Berlubang (Batako)

- a. Siapkan semua bahan dan peralatan untuk pembuatan batako seperti semen, pasir dan abu batubara serta cetakannya
- b. Timbang masing-masing bahan tersebut dengan perbandingan antara semen : pasir : abu batubara = 5,0 : 30 : 0 (5,0 bagian : 30 bagian : 0 bagian)
- c. Campur semua bahan-bahan tersebut dengan cara diaduk hingga adonan dianggap homogen dan tambahkan air secukupnya.
- d. Masukkan adonan tersebut kedalam mesin cetakan batako, kemudian dilakukan pengepresan
- e. Diamkan hasil cetakan batako tersebut sampai kering atau cukup kuat untuk dipindahkan (kurang lebih satu hari)
- h. Ulangi langkah (b) sampai (e) untuk perbandingan antara semen : pasir : abu batubara =

4,75 : 30 : 0,25

4,50 : 30 : 0,50

4,25 : 30 : 0,75

4,00 : 30 : 1,00

3,75 : 30 : 1,25

3,50 : 30 : 1,50

3.6 Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang akan dipergunakan diperoleh dari data primer (hasil percobaan) kemudian dibandingkan dengan standar atau acuan yang digunakan

3.7. Pengujian yang dilakukan

Pengukuran dimensi, pengujian kuat tekan dan uji TCLP dilakukan di laboratorium Balai Basar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang.

Pengujian tersebut meliputi :

1. Pengukuran dimensi / ukuran (Standar Spesifikasi Bahan Bangunan)



Pengukuran Dimensi Batako

- a. Ambil contoh uji (batako) dengan perbandingan semen : pasir dan abu batubara = 5,0 : 30 : 0 sebanyak 5 buah
- b. Masing-masing diukur panjang, lebar dan ketebalannya
- c. Dari hasil pengukuran kemudian diambil rata-ratanya.
- d. Ulangi langkah b dan c untuk perbandingan :
 $4,75 : 30 : 0,25$
 $4,50 : 30 : 0,50$
 $4,25 : 30 : 0,75$
 $4,00 : 30 : 1,00$
 $3,75 : 30 : 1,25$
 $3,50 : 30 : 1,50$
- e. Ulangi langkah b sampai dengan c untuk umur batako 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari
- f. Penyimpangan dimensi/ukuran bata beton berlubang diperkenankan ± 3 mm (untuk panjang dan lebar) dan ± 2 mm (untuk ketebalan).

2. Pengujian kuat tekan (SNI 15-2094-2000, tentang Persyaratan mutu bata beton berlubang)



Persiapan Pengujian Kuat Tekan



Produk Batako Siap Diuji Kuat tekan



Pengujian Kuat tekan



Pengujian Kuat tekan

- a. Ambil batako dengan perbandingan semen : pasir dan abu batubara = 5,0 : 30 : 0 sebanyak 5 buah
- b. Letakkan satu persatu benda uji secara sentris pada meja uji alat press *concrete compressive strength*
- c. Kencangkan alur penekan alat uji tekan sampai menekan batu bata berlubang, kemudian “no!” kan jarum penunjuk kuat tekan
- d. Jalankan mesin kuat tekan dengan penambahan beban sebesar $2 - 4 \text{ kg/cm}^2$ perdetik, sampai benda uji pecah (hancur).

- e. Catat penunjukan daya kuat tekan dari benda uji (batako) tersebut, dalam satuan kg/cm^2
- f. Ulangi pengujian sampai 5 buah sampel benda uji
- g. Ulangi langkah (b) sampai (f) untuk batako dengan perbandingan semen : pasir : abu batubara =
 - 4,75 : 30 : 0,25
 - 4,50 : 30 : 0,50
 - 4,25 : 30 : 0,75
 - 4,00 : 30 : 1,00
 - 3,75 : 30 : 1,25
 - 3,50 : 30 : 1,50
- h. Ulangi langkah (b) sampai (f) untuk umur batako 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari
- i. Perhitungan kuat tekan :

$$\text{Kuat tekan (Kg / cm}^2\text{)} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2)$$

P = beban maksimum (Kg)

A = luasan batako (cm^2)

2. Uji TCLP (US EPA)

Uji TCLP bertujuan untuk mengetahui tingkat perliindian (leached) suatu limbah B-3/bahan beracun.

Prosedur analisis uji TCLP adalah :

- Timbang minimal 100 gram contoh uji yang telah dicampur homogen.
- Tuang larutan ekstraksi yang telah disesuaikan dengan pH contoh sedikit demi sedikit uji kedalam botol ekstraktor, sebanyak 20 kali berat fasa padat contoh uji.

- Apabila contoh mempunyai pH > 5,0 digunakan larutan ekstraksi HCl 1 N dan bila pH contoh < 5,0 digunakan larutan ekstraksi campuran NaOH dan Asam acetat glacial.
- Tutup botol ekstraksi dengan rapat dan jalankan alat ekstraktor selama 18 ± 2 jam pada putaran 30 ± 2 rpm pada suhu 25 ± 2 °C.
- Setelah 18 jam, pisahkan padatan dan cairannya dengan menggunakan saringan fiber glas
- Filtrat yang diperoleh (ekstrak TCLP), untuk analisa logam diasamkan dengan HNO₃ sampai pH < 2. dan selanjutnya dilakukan analisis kandungan logam dengan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*)

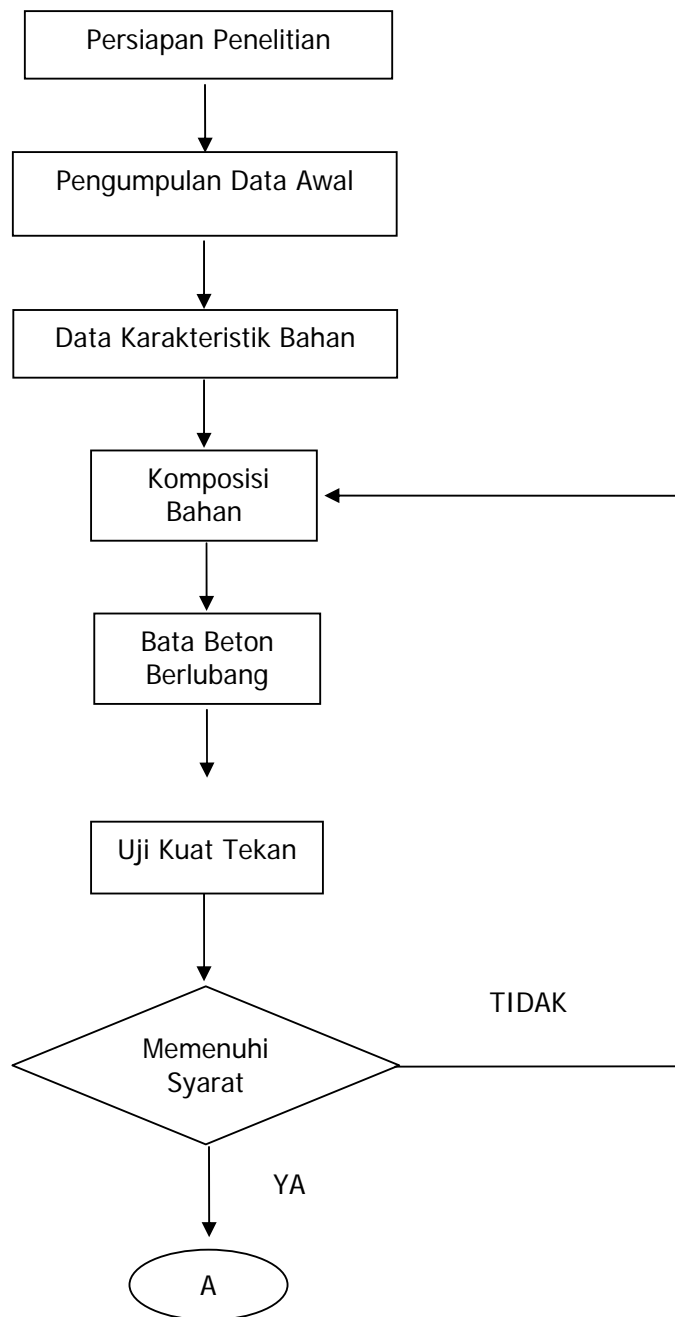
Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu TCLP menurut PP 85/1999 tentang Baku Mutu TCLP Zat Pencemar Dalam Limbah Untuk Penentuan Karakteristik Sifat Racun..

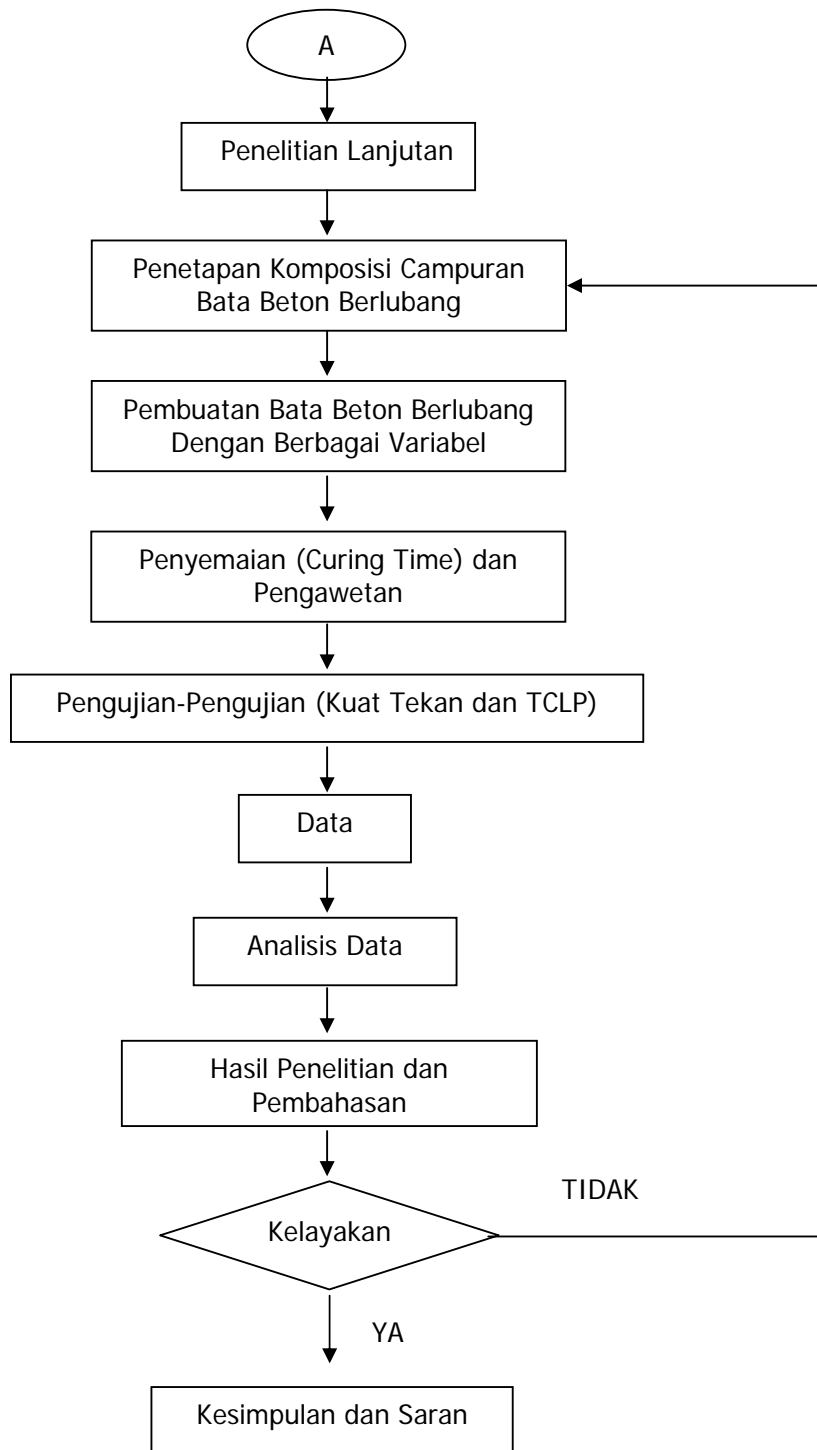
3.8. Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini, kemudian dianalisis secara statistik untk mengetahui ada tidaknya pengaruh (interaksi) antara variabel, sebagai berikut :

- a. Hubungan antara komposisi kandungan abu batubara dalam bata beton berlubang dengan kuat tekan
- b. Hubungan antara umur produk bata beton berlubang dengan kuat tekan

3.9. Diagram Alur Penelitian





Gambar 3.1 : Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Awal penelitian

Pengambilan data awal tentang abu batubara ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi apakah bahan tersebut termasuk dalam katagori B-3 (bahan berbahaya dan beracun) atau bukan. Dari hasil identifikasi yang dilakukan dengan mencocokkan jenis limbah yang dimaksud dengan daftar jenis limbah B-3 dalam daftar lampiran 2, ternyata abu batubara (*fly ash*) termasuk dalam limbah B-3 dari sumber spesifik dari jenis kegiatan yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar (kode kegiatan 4010) dengan kode limbah D223, dengan bahan pencemar utama adalah logam berat.

Dalam penelitian ini abu batubara (*fly ash*) yang diambil dari salah satu industri tekstil yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar dalam pembangkit uap (boiler) yaitu dari PT. Batamtex, Jl. Raya Semarang – Bawen, Karangjati, Kabupaten Semarang.

PT. Batamtex merupakan industri tekstil terpadu (*integrated*) dimana dalam industri tersebut terdapat proses pembuatan benang (*spinning*), penganjian (*sizing*), penenunan (*weaving*), penghilangan kanji (*desizing*), pemutihan (*bleaching, finishing*), dan pewarnaan (*dyeing, printing*).

Dalam rangka penghematan biaya produksi sebagai akibat meningkatnya harga BBM akhir-akhir ini, maka PT. Batamtex sejak 3 (tiga) tahun terakhir mengganti bahan bakar pada unit pembangkit uap panas (boiler) dengan batubara.



Gambar 4.1 : PT. Batamtex, Jl. Raya Semarang – Bawen, Karangjati, Kabupaten Semarang

Jenis batubara yang digunakan berasal dari Kalimantan dengan spesifikasi :

- kadar air (*moisture*) : 16 %
- kadar abu (*ash*) : 1,1 %
- *volatile matter* : 40,5 %
- *fix carbon* : 42,4 %
- total sulfur : 0,1 %
- nilai kalor : 7150 k.cal

(Sumber : PT. Adaro Indonesia, Jakarta)

PT. Batamtex menggunakan batubara setiap harinya sebanyak 20 ton/hari dan jumlah abu batubara (*fly ash*) yang dihasilkan sebanyak 8 % atau sekitar 1,6 ton/hari. Berdasarkan data dari suplier abu batubara yang dihasilkan mengandung $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,47 \%$, $\text{SiO}_2 = 61,92 \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,00 \%$, $\text{CaO} = 6,85 \%$, $\text{MgO} = 7,90 \%$ dan beberapa senyawa lainnya seperti Na_2O_3 , K_2O , P_2O_5 , yang jumlahnya relatif kecil (PT. Sucofindo)

Karena abu batubara digolongkan dalam limbah B-3, sehingga pengelolaan terhadap limbah tersebut harus mengacu pada PP 85/1999. Mengacu pada Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995, tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah B-3 pada bab tata cara kerja proses stabilisasi/solidifikasi pada poin 1 bahwa limbah B-3 sebelum dilakukan proses stabilisasi / solidifikasi harus dianalisa karakteristiknya guna menentukan proses stabilisasi / solidifikasi yang akan dilakukan.

Untuk mengetahui karakteristik abu batubara (kandungan cemaran B-3) maka dilakukan analisis terhadap kandungan cemaran logam beratnya. Dari hasil analisis yang dilakukan terhadap abu batubara diperoleh hasil seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.1 : Hasil analisis kandungan logam berat dalam abu batubara

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode uji
Timbal (Pb)	ppm	5,9201	SM 3111B dan AAS
Kadmium (Cd)	ppm	0,9796	SM 3111B dan AAS
Khromium (Cr)	ppm	134,5801	SM 3111B dan AAS
Tembaga (Cu)	ppm	31,5305	SM 3111B dan AAS
Seng (Zn)	ppm	84,2110	SM 3111B dan AAS

Sumber : BBTPI Semarang, 2008

Sifat kimia dari abu batubara sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan dan penanganannya. Dari data diatas menunjukkan bahwa kandungan cemaran logam tertinggi adalah logam khrom (Cr) sebesar 134,58 ppm, seng (Zn) sebesar 84,21 ppm, tembaga (Cu) sebesar 31,53 ppm dan sedangkan logam lainnya relatif kecil.

Dibandingkan dengan abu batubara dari Bukit Asam, kandungan logam dalam abu batubara PT. Batamtex sedikit lebih rendah, namun apabila dibandingkan dengan abu batubara dari Ombilin kandungan logam beratnya hampir sama. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena perbedaan jenis dan sumber / tambang batubaranya. Jenis batubara yang digunakan di PT. Batamtex adalah *hight calory* dan berasal dari Kalimantan Selatan.

4.2. Produk Batako

Setelah data awal diperoleh selanjutnya dilakukan pembuatan batako tahap awal untuk mengetahui, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian-pengujian terhadap dimensi ukuran (panjang, lebar dan ketebalan) dan kuat tekan produk batako tanpa abu batubara (kontrol).

Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa produk batako yang akan dibuat dengan penggantian abu batubara mempunyai dimensi dan kekuatan yang lebih tinggi atau tidak sama dengan produk batako kontrol.

Pedoman pembuatan batako mengacu pada Modul Pelatihan Pembuatan Ubin atau Paving Block dan Batako (Claudia, 2006) dengan perbandingan antara semen dan pasir adalah 1 : 6. Selanjutnya pada penelitian ini dilakukan penggantian semen dengan abu batubara berkisar antara 5 – 30 % (Agung B. dan Triwulan, 1993 ; Andriati A.H., 1987).

Secara lengkap perlakuan penggantian abu batubara sebagai pengganti semen dengan prosentase adalah sebagai berikut :

- a. Komposisi 1 (K-1), penggantian abu batubara = 5 % dari berat semen
- b. Komposisi 2 (K-2), penggantian abu batubara = 10 % dari berat semen
- c. Komposisi 3 (K-3), penggantian abu batubara = 15 % dari berat semen

- d. Komposisi 4 (K-4), penggantian abu batubara = 20 % dari berat semen
- e. Komposisi 5 (K-5), penggantian abu batubara = 25 % dari berat semen
- f. Komposisi 6 (K-6), penggantian abu batubara = 30 % dari berat semen



Perlakuan 1 dan 2 (K1 dan K2)



Perlakuan 3 dan 4 (K3 dan K4)



Perlakuan 5 dan 6 (K5 dan K6)



Produk Batako

4.2.1. Dimensi Ukuran

Produk batako yang baik adalah batako yang mempunyai dimensi ukuran yang sesuai dengan standar baik panjang, lebar dan ketebalannya serta sisi-sisinya yang lurus dan tajam / tidak rusak dibagian sudut atau tepinya. (Claudia, 2006).

Dari hasil pengukuran dimensi yang meliputi panjang, lebar dan ketebalan diperoleh hasil bahwa produk batako kontrol tidak dijumpai adanya penyimpangan dimensi ukuran (masih memenuhi syarat karena dibawah batas toleransi yang diperkenankan), dimana batas toleransi untuk panjang, lebar dan ketebalan adalah + 0,3 cm dan - 0,3 cm (Standar Spesifikasi Bahan Bangunan)

Hasil pengukuran produk batako secara lengkap adalah sebagai berikut..

Tabel 4.2. : Hasil Pengukuran Rata-Rata Dimensi Produk Batako pada Berbagai Perlakuan

Umur Batako	Perlakuan	Perbandingan Bahan			Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)
		Semen	Pasir	Abu batubara			
7	Kontrol	5,0	30	-	40,18	10,22	20,18
7	Komposisi 1	4,75	30	0,25	40,18	10,12	20,08
7	Komposisi 2	4,50	30	0,50	40,22	9,96	20,12
7	Komposisi 3	4,25	30	0,75	40,16	10,18	20,06
7	Komposisi 4	4,00	30	1,00	40,30	10,20	20,14
7	Komposisi 5	3,75	30	1,25	40,28	10,14	20,16
7	Komposisi 6	3,50	30	1,50	39,98	9,98	20,10
14	Kontrol	5,0	30	-	40,22	10,18	20,22
14	Komposisi 1	4,75	30	0,25	40,24	10,08	20,22
14	Komposisi 2	4,50	30	0,50	40,22	9,96	20,16
14	Komposisi 3	4,25	30	0,75	40,18	10,12	20,10
14	Komposisi 4	4,00	30	1,00	40,08	9,98	19,96
14	Komposisi 5	3,75	30	1,25	40,12	10,22	20,12
14	Komposisi 6	3,50	30	1,50	40,16	10,18	20,14
21	Kontrol	5,0	30	-	40,12	10,14	20,20
21	Komposisi 1	4,75	30	0,25	40,16	10,12	20,30
21	Komposisi 2	4,50	30	0,50	40,14	10,20	20,28
21	Komposisi 3	4,25	30	0,75	40,06	10,10	20,24
21	Komposisi 4	4,00	30	1,00	40,18	10,08	20,18
21	Komposisi 5	3,75	30	1,25	40,02	9,96	19,98
21	Komposisi 6	3,50	30	1,50	40,28	10,22	20,12
28	Kontrol	5,0	30	-	40,16	10,16	20,16
28	Komposisi 1	4,75	30	0,25	40,24	10,12	20,18
28	Komposisi 2	4,50	30	0,50	40,16	10,14	20,22
28	Komposisi 3	4,25	30	0,75	40,24	10,06	20,12
28	Komposisi 4	4,00	30	1,00	40,22	10,16	20,14

28	Komposisi 5	3,75	30	1,25	40,18	10,22	20,18
28	Komposisi 6	3,50	30	1,50	40,08	10,18	20,22

Sumber : Hasil penelitian, 2008

Dari Tabel 4.2. diatas apabila direkapitulasi berdasarkan perlakuan (komposisi) hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.3. berikut.

Tabel 4.3. : Rakapitulasi Hasil Pengukuran Dimensi Produk Batako

Produk Batako	Hasil Pengukuran Rata-Rata (cm)		
	Panjang	Lebar	Tebal
Kontrol	40,170	10,175	20,190
Komposisi 1	40,205	10,140	20,195
Komposisi 2	40,190	10,065	20,185
Komposisi 3	40,160	10,115	20,130
Komposisi 4	40,195	10,105	20,105
Komposisi 5	40,150	10,135	20,110
Komposisi 6	40,125	10,140	20,145
Standar	40 ± 0,3	10 ± 0,3	20 ± 0,2

Sumber : Hasil penelitian, 2008

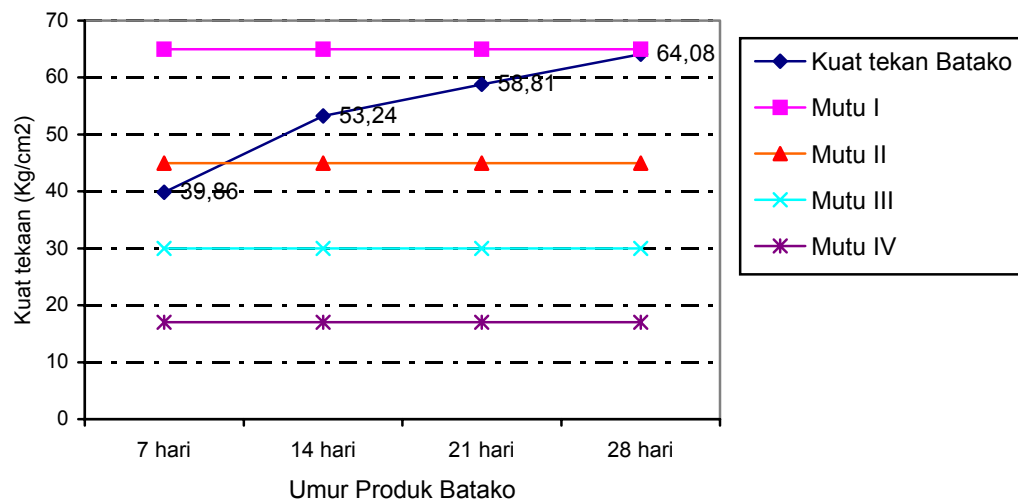
Dari hasil diatas menunjukkan bahwa hasil pengukuran dimensi ukuran produk batako pada berbagai komposisi hasilnya masih dibawah nilai toleransi baik untuk ukuran panjang, lebar maupun ketebalan. Penggantian abu batubara sebanyak 5 % sampai 30 % dari berat semen yang digunakan, tidak mempengaruhi dimensi ukuran produk batako yang dibuat. Hal ini dimungkinkan karena butiran abu batubara yang cukup halus dan lebih kecil dari butiran semen sehingga dapat mengisi rongga antara butiran agregat dan dapat memperkecil pori-pori yang ada (Aswin, B.S, 2007). Dengan demikian adanya penggantian abu batubara tersebut tidak banyak mempengaruhi demensi ukuran produk batako yang dibuat.

4.2.2. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan produk batako untuk menerima gaya tekan persatuan luas, sehingga kuat tekan tersebut mengidentifikasi mutu produk batako. Semakin tinggi nilai kuat tekan produk batako akan semakin tinggi pula mutu produk tersebut..

Kekuatan tekan produk batako akan bertambah dengan naiknya umur batako tersebut. Dari hasil pengujian kuat tekan produk batako kontrol dihasilkan kenaikan kuat tekan pada tahap awal kenaikan (minggu I) berjalan dengan cepat sebesar 36,30 % dan melambat pada minggu II dan III yaitu sebesar 10,46 % dan 8,96 %.

Gambar 4.2 : Grafik Kuat Tekan Produk Batako Kontrol



Dari hasil uji diatas menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata dari produk batako kontrol setelah umur 28 hari adalah 64,08 Kg/cm². Dengan hasil ini berarti produk batako kontrol memenuhi syarat batako mutu II menurut SNI 15-2094-2000 yaitu batako yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban tetapi penggunaannya hanya konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi dibawah atap), dimana standar rata-rata minimum untuk mutu II adalah 45 Kg/cm².

Hasil pengujian kuat tekan selengkapnya produk batako pada berbagai perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 : Hasil Pengukuran Rata-Rata Kuat Tekan Produk Batako pada Berbagai Perlakuan

Umur Batako	Variabel	Perbandingan Bahan			Rata-Rata Kuat Tekan (Kg/cm ²)
		Semen	Pasir	Abu batubara	
7	Kontrol	5,0	30	-	39,86
7	Komposisi 1	4,75	30	0,25	47,10
7	Komposisi 2	4,50	30	0,50	45,02
7	Komposisi 3	4,25	30	0,75	38,51
7	Komposisi 4	4,00	30	1,00	34,63
7	Komposisi 5	3,75	30	1,25	31,39
7	Komposisi 6	3,50	30	1,50	28,55
14	Kontrol	5,0	30	-	53,24
14	Komposisi 1	4,75	30	0,25	54,69
14	Komposisi 2	4,50	30	0,50	49,81
14	Komposisi 3	4,25	30	0,75	43,19
14	Komposisi 4	4,00	30	1,00	37,36
14	Komposisi 5	3,75	30	1,25	33,62
14	Komposisi 6	3,50	30	1,50	30,97
21	Kontrol	5,0	30	-	58,81
21	Komposisi 1	4,75	30	0,25	61,66
21	Komposisi 2	4,50	30	0,50	57,86
21	Komposisi 3	4,25	30	0,75	49,91
21	Komposisi 4	4,00	30	1,00	43,78
21	Komposisi 5	3,75	30	1,25	38,82
21	Komposisi 6	3,50	30	1,50	36,10
28	Kontrol	5,0	30	-	64,08
28	Komposisi 1	4,75	30	0,25	67,68
28	Komposisi 2	4,50	30	0,50	65,72
28	Komposisi 3	4,25	30	0,75	58,44
28	Komposisi 4	4,00	30	1,00	50,56
28	Komposisi 5	3,75	30	1,25	45,56
28	Komposisi 6	3,50	30	1,50	40,52

Sumber : Hasil penelitian, 2008

4.2.2.1. Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Produk Batako

Berdasarkan data yang didapat dari percobaan (tabel 4.6) maka dengan menggunakan statistik (*one way anova*), hubungan antara umur produk batako dan rata-rata kuat tekan pada berbagai komposisi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5. Hubungan Antara Kuat Tekan Terhadap Umur Produk Batako

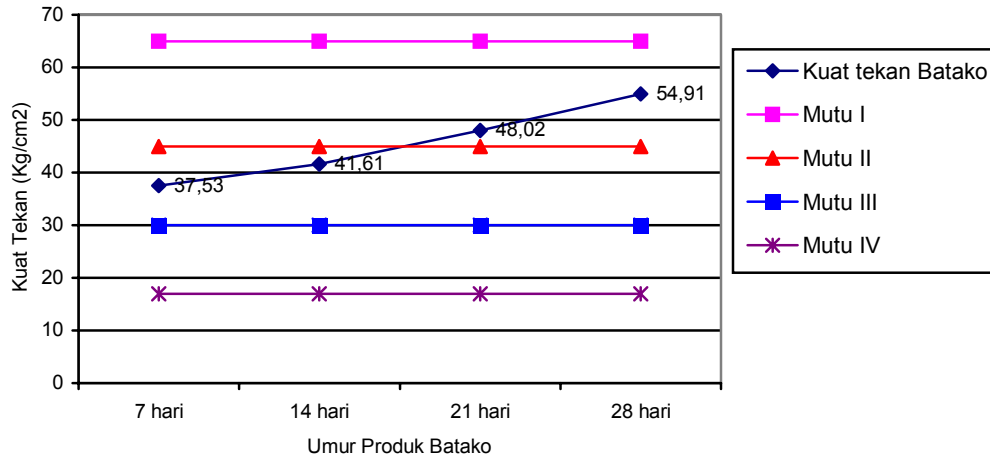
	N	Mean	Std Deviation	Std. Error	95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					Umur 7 hari	6		
Umur 14 hari	6	41,6067	9,33740	3,81198	31,8077	51,4057	30,97	54,69
Umur 21 hari	6	48,0217	10,30681	4,20774	37,2053	58,8380	36,10	61,66
Umur 28 hari	6	54,9133	10,75199	4,38948	43,6298	66,1969	41,52	67,68
Kontrol	4	53,9975	10,41249	5,20624	37,4289	70,5661	39,86	64,08
Total	28	46,7300	11,27733	2,13121	42,3571	51,1029	28,55	67,68

Dari perhitungan statistik diatas, dapat dilihat bahwa :

- Kuat tekan yang paling rendah adalah 37,53 Kg/cm² (umur batako 7 hari)
- Kuat tekan yang paling tinggi adalah 54,91 Kg/cm²(umur batako 28 hari)
- Kuat tekan rata-rata adalah 46,73 Kg/cm²

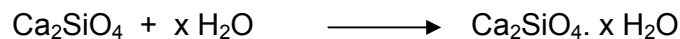
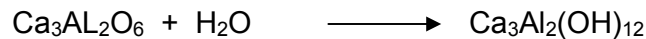
Hubungan antara kuat tekan dengan umur produk batako ditunjukkan seperti pada gambar berikut :

Gambar 4.3: Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Dengan Umur Produk Batako



Dari gambar 4.3. diatas terlihat kuat tekan produk batako semakin meningkat dengan bertambahnya umur produk batako tersebut, dan tertinggi pada umur 28 hari.

Apabila semen bercampur dengan air maka akan terjadi reaksi kimia hidrasi dan akan melepaskan panas (eksotermis). Reaksi kimia tersebut adalah sebagai berikut :



Dari reaksi diatas tersebut dapat dijelaskan bahwa proses pengerasan semen adalah bukan dari pengeringan, akan tetapi terjadi karena adanya proses hidrasi. Proses hidrasi terjadi bila semen bersentuhan dengan air dan proses ini terjadi dengan arah kedalam dan keluar. (Tri Mulyono, 2004).

Pada saat air ditambahkan dalam semen, setiap senyawa-senyawa tersebut diatas mengalami reaksi hidrasi dan mempunyai andil masing-masing dalam pembentukan *concrete*. Hanya kalsium

silikat yang mempunyai sumbangsih terhadap kekuatan *concrete*, dimana tricalcium silicate berperan sebagai pembentukan kekuatan awal (7 hari pertama), sedangkan dikalsium silikat reaksinya lambat dan mempunyai kontribusi dalam pembentukan kekuatan pada tahap berikutnya.

Senyawa C_3S (trikalsium silikat) yang ada dalam semen apabila terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas dan panas yang timbul ini akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke 14. Sedangkan senyawa C_2S (dikalsium silikat) berfungsi memberikan ketahanan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan. Senyawa C_3A (trikalsium aluminat) bereaksi secara eksotermis dan berlangsung dengan cepat yang memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama.

Oleh karena itu untuk menjaga proses hidrasi dapat berjalan dengan sempurna, maka produk batako tersebut dijaga agar tetap basah. Oleh karena itu perlu diperhatikan bahwa setelah pencetakan produk batako selesai, proses hidrasi akan berlangsung terus selama masih ada air atau uap air dan semen yang belum terhidrasi masih ada. Oleh karena itu kekuatan produk batako akan bertambah sejalan dengan bertambahnya umur produk batako, sampai proses hidrasi sudah tidak berjalan lagi.

Dari hasil percobaan diatas, rata-rata kuat tekan produk batako pada umur 14 hari akan mengalami kenaikan yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan produk batako pada umur 7 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses hidrasi pada produk batako masih berjalan.

Demikian juga produk batako pada umur 21 hari dan 28 hari dimana kuat tekannya akan terus meningkat dan tertinggi pada umur 28 hari.

Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah *internal kohesi* dan

mengurangi porositas sebagai daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Disamping itu abu batubara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara *hidrasi* semen dan reaksi *pozzolan*. (Jackson, 1977)

4.2.2.2. Hubungan Kuat Tekan dengan Komposisi Bahan Produk Batako

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) dan akan mencapai maksimum pada umur 28 hari dan setelah itu kenaikan akan kecil, walaupun pada kasus-kasus tertentu, kekuatan tekan beton akan terus bertambah sampai beberapa bulan kedepan. Untuk itu kekuatan tekan beton dihitung setelah umur mencapai 28 hari, (Helmut, R.A, 1978).

Dengan pertimbangan diatas maka pada pembahasan hubungan kuat tekan dengan komposisi bahan produk batako ini hanya ditekankan pada umur produk batako setelah 28 hari.

Dari hasil percobaan kuat tekan pada beberapa komposisi penggantian abu batubara untuk pembuatan produk batako (tabel 4.6), maka dengan menggunakan statistik (*one way anova*) , hubungan antara rata-rata kuat tekan dengan komposisi bahan dalam pembuatan produk batako pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.6. Hubungan Antara Kuat Tekan Dengan Komposisi Bahan Produk Batako

Descriptive

Kuat Tekan batako umur 28 hari

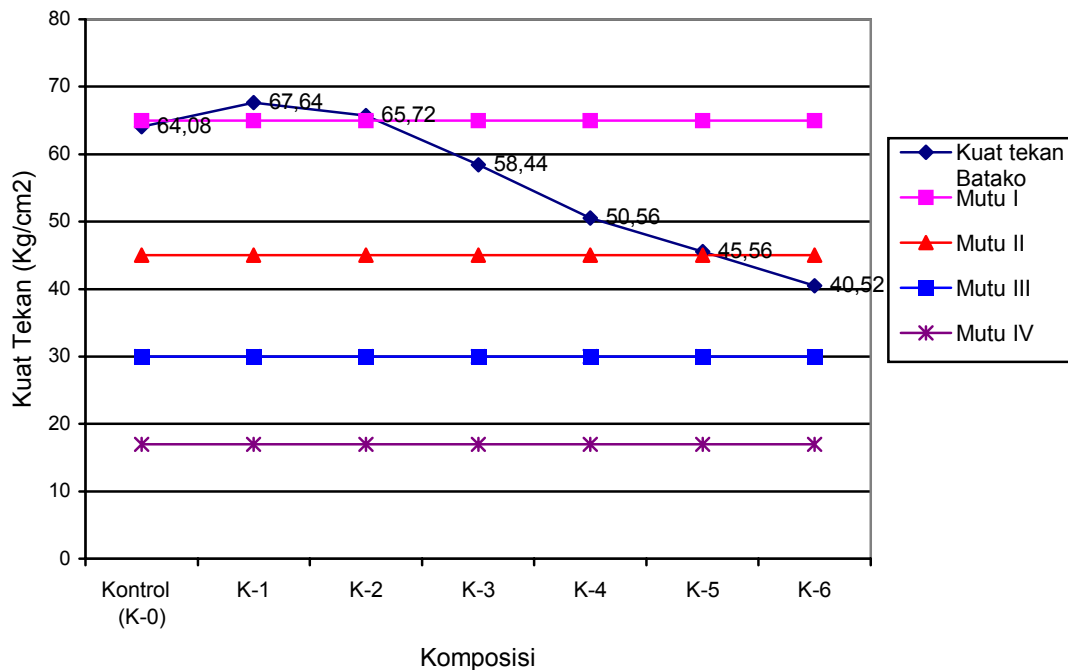
	N	Mean	Std Deviation	Std. Error	95 % Confidence Interval for Mean		Mini mun	Maxi mun
					Lower Bound	Upper Bound		
Komposisi 1	5	67,6400	,81875	,36616	66,6234	68,6566	66,6	68,5

Komposisi 2	5	65,7200	,62416	,27914	64,9450	66,4950	64,9	66,6
Komposisi 3	5	58,4400	,53912	,24110	57,7706	59,1094	57,8	59,2
Komposisi 4	5	50,5600	,58065	,25967	49,8390	51,2810	49,8	51,2
Komposisi 5	5	45,5600	,89585	,40064	44,4477	46,6723	44,2	46,4
Komposisi 6	5	41,5200	1,13119	,50589	40,1154	42,9246	40,2	43,2
Kontrol	5	64,0800	,61939	,27700	63,3109	64,8491	63,1	64,7
Total	35	56,2171	9,79539	1,65572	52,8523	59,5820	40,2	68,5

Dari perhitungan statistik diatas, dapat dilihat bahwa :

- ◇ Kuat tekan yang paling rendah adalah 41,52 Kg/cm², yaitu pada komposisi 6 (penggantian abu batubara 30 % dari berat semen)
- ◇ Kuat tekan yang paling tinggi adalah 67,64 Kg/cm², yaitu pada komposisi 1 (penggantian abu batubara 5 % dari berat semen)
- ◇ Kuat tekan rata-rata adalah 56,2171 Kg/cm²

Gambar 4.4 : Grafik Hubungan Kuat Tekan Dengan Komposisi Bahan



Dari gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa dengan penggantian abu batubara sebagai pengganti semen pada pembuatan produk

batako, mula-mula akan meningkatkan kuat tekan produk batako, namun dengan semakin banyak jumlah abu batubara yang ditambahkan akan menurunkan kuat tekan produk batakonya.

Pada percobaan tersebut dibandingkan dengan Kontrol (K-0), pada komposisi 1 (K-1) dan komposisi 2 (K-2) kuat tekan produk batako meningkat, namun mulai pada komposisi 3 (K-3) nilai kuat tekan produk batako semakin menurun, demikian seterusnya hingga mencapai titik minimum pada komposisi 6 (K-6). Dengan demikian penggantian jumlah abu batubara sampai 10 % dari jumlah semen akan meningkatkan kuat tekan produk batako, dan kondisi optimum dicapai pada komposisi 1 (K-1 yaitu penggantian abu batubara sebanyak 5 %).

Menurut Djedejen Achmad, 1994, adanya abu batubara dalam campuran semen dapat meningkatkan kekuatan batako, hal ini kemungkinan dikarenakan adanya SiO_2 reaktif yang ada dalam abu batubara yang bereaksi dengan kapur sisa yang dibebaskan pada reaksi antara senyawa semen dengan air dan membentuk CaO SiO_2 atau senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memiliki sifat keras dan mempunyai sifat kelarutan yang rendah

Pengaruh abu batubara sebagai bahan tambah mengakibatkan terjadi reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam abu batubara. Selain itu, butiran abu batubara yang jauh lebih kecil membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh abu batubara sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari abu batubara untuk memperbaiki mutu produk batako. Abu batubara merupakan bahan tambah yang bersifat aktif bila dicampur dengan kapur atau semen, dan batako dengan campuran abu batubara memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada beton normal pada komposisi tertentu. Penggunaan abu batubara memperlihatkan dua pengaruh di dalam batako yaitu

sebagai agregat halus dan sebagai pozzolan. Selain itu abu batubara di dalam batako menyumbang kekuatan yang lebih baik dibanding dengan batako normal (Aswin, 2006)

Lebih lanjut Lea, 1970; Mehta, 1986 dalam I Made Alit, 2007 mengatakan dengan adanya sifat pozzolan pada abu batubara yang mengandung silika reaktif dapat berfungsi untuk mereduksi kapur bebas (Ca(OH)_2) hasil hidrasi trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S) dan sekaligus menghasilkan produk hidrasi tambahan yang bersifat “perekat.” Adanya tambahan bahan “perekat” ini akan mengisi rongga-rongga kapiler besar yang terbentuk pada proses hidrasi semen portland pada umumnya. Hal ini mengakibatkan porositas dari pasta semen hidrat maupun daerah transisi antara pasta semen hidrat dan agregat akan berkurang secara signifikan. Konsekuensinya secara simultan produk batako akan meningkat.

Penggantian abu batubara sebagai pengganti jumlah semen sampai 10 % ternyata meningkatkan mutu produk batako dari mutu II menjadi mutu I dan penggantian sampai 25 % dari jumlah semen yang digunakan menunjukkan mutu produk batako yang dihasilkan tetap pada mutu II, sedang penggantian sebanyak 30 % akan menurunkan dari mutu II menjadi III.

Dari kenyataan diatas dapat dikatakan bahwa penggantian abu batubara pada campuran bahan dalam pembuatan produk batako dapat dipakai sebagai bahan pengganti (substitusi) sebagian semen. Pasta semen bersama abu batubara akan mengisi setiap ruangan, rongga atau celah pada agregat (pasir) sehingga membentuk produk batako yang kompak dan kuat. Penggantian jumlah semen dengan abu batubara sampai dengan 10 % ternyata mampu meningkatkan kuat tekan produk batako dibandingkan dengan produk batako hanya dengan campuran semen dan pasir saja.

Dari hasil percobaan, penggantian abu batubara sebanyak 5 % dari jumlah semen yang digunakan (komposisi 1), rata-rata kuat

tekannya naik menjadi $67,64 \text{ kg/cm}^2$ dan penggantian abu batubara sebanyak 10 % (komposisi 2), rata-rata kuat tekannya naik menjadi $65,72 \text{ kg/cm}^2$ dari rata-rata kuat tekan kontrol (di pasaran) yaitu $64,08 \text{ kg/cm}^2$. Hal tersebut dapat meningkatkan mutu produk batako tersebut dari mutu II menjadi mutu I, sehingga akan meningkatkan pula nilai jual produk batako tersebut.

Namun demikian, penambah jumlah abu batubara pada pembuatan produk batako secara berlebih justru akan menurunkan kekuatan produk batako itu sendiri. Hal ini disebabkan karena semakin besar jumlah abu batubara yang ditambahkan berarti semakin sedikit jumlah semennya, sehingga trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S) yang merupakan senyawa yang bertanggung jawab terhadap kekuatan beton akan menurunkan dan daya ikatan (*setting*) atau proses pengikatan antar agregat/pasir tidak berjalan dengan sempurna. Adanya penurunan daya ikat ini mengakibatkan kekuatan produk batako yang dihasilkan menjadi berkurang. Dari hasil percobaan, diperoleh kondisi mulai adanya penurunan pada komposisi 3 (penggantian abu batubara sebanyak 15 % dari jumlah semen yang digunakan) dan seterusnya sampai pada komposisi 6 (penggantian abu batubara sebanyak 30 % dari jumlah semen yang digunakan).

Walaupun terjadi penurunan kuat tekan pada produk batako tersebut, namun bila dilihat dari aspek mutunya ternyata sampai pada komposisi 5 (penggantian abu batubara sebanyak 25 % dari jumlah semen yang digunakan) masih sama dengan produk batako kontrol yaitu mutu II. Dengan demikian penggantian abu batubara sampai sebanyak 25 % dari jumlah semen yang digunakan akan menghasilkan produk batako yang mempunyai mutu yang sama dengan produk batako kontrol (tanpa penggantian abu batubara) seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.7 : Mutu produk Batako umur 28 hari pada Berbagai Komposisi

Perbandingan semen : pasir = 1 : 6	Penggantian abu batubara sebagai pengganti semen						
	0 % (Kontrol)	5 % (K-1)	10 % (K-2)	15 % (K-3)	20 % (K-4)	25 % (K-5)	30 % (K-6)
Mutu Produk	II	I	I	II	II	II	III

4.2.3. Uji TCLP

Pengujian TCLP ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keluruhan (*leached*) dari sifat B-3 dalam bahan (abu batubara) setelah mengalami proses stabilisasi dan solidifikasi dengan dijadikan produk batako. Hal ini dilakukan dengan maksud untuk memenuhi pasal 34 ayat 3 PP 18/1999 dan PP 85/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (limbah B-3) dan Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995, tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah B-3, dimana setiap pengolahan limbah B-3 dengan cara stabilisasi dan solidifikasi wajib memenuhi persyaratan uji TCLP.

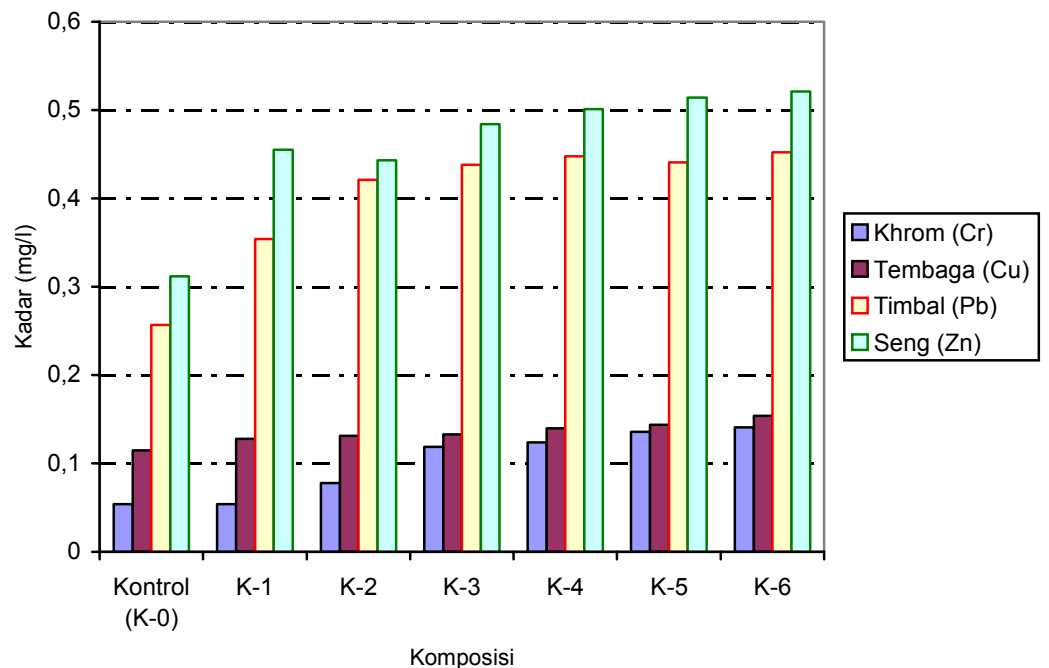
Dari hasil pengujian TCLP terhadap contoh produk batako pada komposisi 1 s/d 5 (K-1 s/d K-5) pada umur 28 hari, hasilnya tersaji pada tabel berikut.

Tabel 4.8 : Hasil Pengujian TCLP Produk Batako Pada Berbagai Komposisi

Bahan / Produk	Hasil Analisa (ppm)				
	Cr	Cu	Cd	Pb	Zn
Abu batubara	134,58	31,53	0,98	5,92	84,21
1 Komposisi	0,054	0,128	< 0,030	0,354	0,455
2 Komposisi	0,078	0,131	< 0,030	0,421	0,443
3 Komposisi	0,119	0,133	< 0,030	0,438	0,484
4 Komposisi	0,124	0,140	< 0,030	0,448	0,501
5 Komposisi	0,136	0,144	< 0,030	0,441	0,514

6	Komposisi	0,141	0,154	< 0,030	0,452	0,521
	Kontrol	0,054	0,115	< 0,030	0,257	0,312
	Baku Mutu TCLP (PP 85/1999)	5,0	10,0	1,0	5,0	50,0

Gambar 4.4 : Grafik Uji TCLP Pada Berbagai Komposisi



Dari Table 4.10 diatas memperlihatkan bahwa hasil uji TCLP produk batako yang berasal dari campuran pasir, semen dan abu batubara pada semua komposisi jauh dibawah ambang batas baku mutu TCLP Zat Pencemar Dalam Limbah untuk menentukan sifat racun menurut Peraturan pemerintah Nomo 85 Tahun 1999.

Dari Gambar 4.4 terlihat adanya hubungan antara kadar logam berat yang terlindi (*terleached*) dengan komposisi bahan dalam pembuatan produk batako mulai komposisi K-2 sampai K-6. Hal ini terjadi karena

semakin banyak jumlah penggantian abu batubara kedalam campuran bahan pembuatan produk batako yang berarti juga terjadi pengurangan jumlah semen sehingga akan menurunkan kuat tekan produk batako. Dengan banyaknya jumlah abu batubara yang ditambahkan, maka kemampuan semen yang berfungsi sebagai pengikat akan semakin berkurang yang mengakibatkan pengikatan semen terhadap agregat menjadi tidak sempurna yang pada akhirnya akan mengurangi stabilitas logam yang ada dalam produk batako. Meskipun demikian secara keseluruhan percobaan mulai dari komposisi 1 (K-1) sampai dengan komposisi (K-6), kandungan logam berat yang terlindi (*leached*) masih dibawah ambang batas baku mutu TCLP.

Apabila dilihat dari kandungan logam berat pada bahan awal (abu batubara) cukup tinggi dan pada uji TCLP produk batako dengan hasil yang cukup rendah maka proses stabilisasi dan solidifikasi dengan penggantian bahan semen mampu mengikat logam berat pada abu batubara menjadi lebih stabil dan menjadikan mobilitas logam berat pada produk batako menjadi sangat berkurang. Dengan demikian usaha pemanfaatan limbah padat yang berupa abu sisa pembakaran batu bara untuk bahan bangunan (batako) layak ditinjau dari aspek teknis (memenuhi SNI) dan aspek lingkungan (lolos uji TCLP).

Dengan dimanfaatkannya abu batubara sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan batako, keuntungan bagi lingkungan yang dapat diperoleh adalah terhindarnya lingkungan dari pencemaran limbah B-3 terutama unsur logam beratnya. Seperti diketahui bahwa logam berat termasuk zat karsinogenik yang dapat menyebabkan kanker pada manusia. Disamping itu dengan semakin banyaknya abu batubara yang digunakan sebagai pengganti semen secara tidak langsung dapat mengurangi emisi gas CO₂ keudara.

Menurut Djwantoro H, 2001, setiap produksi 1 ton semen akan dihasilkan 1 ton gas CO₂ yang dilepaskan ke udara. Nampaknya perbaikan teknologi produksi semen saat ini tidak terlalu bisa diharapkan dapat menekan produksi CO₂ secara signifikan. Apabila penggantian sebagian semen dengan abu batubara dalam proses

pembuatan beton dapat berjalan dengan baik dan meluas maka secara tidak langsung dapat mengurangi produksi semen dan sekaligus dapat mengurangi emisi CO₂ ke udara.

Menurut data International Energy Authority, World Energy Outlook, industri semen menyumbang 6,4 % dari keseluruhan CO₂ yang dihasilkan dari berbagai sumber. Diperkirakan pada tahun 2010 produksi semen di dunia mencapai 2,2 milyar ton, dengan demikian emisi gas CO₂ ke atmosfer juga sebanyak 2,2 milyar ton apabila tidak ada perubahan yang berarti dalam teknologi produksi semen. Apabila pemanfaatan abu batubara sebagai pengganti semen sampai sebanyak 25 % ini dapat dilaksanakan secara menyeluruh, maka emisi CO₂ ke atmosfer dapat dikurangi sebanyak 25 % nya atau setara 0,55 milyar ton menjadi 1,65 milyar ton. Dengan jumlah emisi yang menurun (25 %) maka industri semen hanya menyumbang 4,7 % dari keseluruhan emisi gas CO₂ yang dikeluarkan dari berbagai sumber di dunia.

Dikaitkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 2 Tahun 2008 Tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, pemanfaatan abu batubara untuk *hollow block* telah memenuhi pasal 6 ayat 3 dimana produk dari pemanfaatan tersebut sebagai produk akhir yang harus memenuhi SNI (standar Nasional Indonesia) atau standar lain yang setara. Dari hasil penelitian diatas dengan penggantian abu batubara sebagai pengganti semen sampai 25 % (K-5) masih dapat memenuhi standar produk batako mutu II (kuat tekan terkecil 40 kg/cm²).

Sesuai dengan SNI 15-2094-2000 produk batako mutu II dapat digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi dibawah atap) dan sebaiknya tidak digunakan untuk dinding diluar (*out dor*). Namun apabila terpaksa digunakan untuk *out dor* pun tidak menjadi masalah karena dari aspek teknis

tidak akan terjadi peluruhan unsur B-3 (logam berat) ke lingkungan, dikarenakan sudah memenuhi uji TCLP. Dengan lolosnya uji TCLP tersebut menunjukkan bahwa produk batako dijamin keamanannya bagi kesehatan dan lingkungan karena uji TCLP pada hakekatnya diperuntukkan untuk pengujian sifat racun dari limbah B-3.

Apabila pengolahan limbah B-3 secara benar seperti diatas memungkinkan abu batubara tersebut dapat dikeluarkan dari daftar limbah B-3 (*delisting*). Disamping itu di beberapa seperti Amerika dan Belanda, abu batubara tidak dikategorikan sebagai limbah B-3.

Untuk itu diusulkan agar Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 direvisi atau dibuat peraturan-peraturan teknis operasional khususnya yang berkaitan dengan abu batubara. Jika tidak pemerintah daerah dimungkinkan untuk membuat sebuah regulasi untuk mengelola limbah abu batubara tersebut sehingga bisa dikelola/dimanfaatkan dengan benar. Karena selama ini semua urusan yang berkaitan dengan limbah B-3 masih menjadi wewenang pemerintah pusat.

4.3. Analisis Biaya

Analisis biaya ini didasarkan pada “daftar harga bahan bangunan di Semarang, September 2008) :

- 1 zak semen 50 kg = Rp 41.500,-
- 1 m³ pasir = Rp 105.000,-
- Harga jual batako mutu I = Rp 1.100,-
- Harga jual batako mutu II = Rp 1.000,-

Perhitungan biaya pembuatan produk batako dengan penggantian abu batubara adalah sebagai berikut :

1. Biaya yang harus dikeluarkan bila abu batubara dikirim ke PPLI, Bogor

- Jumlah abu batubara yang dihasilkan = 1.600 Kg/hari
- Biaya pengolahan abu batubara oleh PPLI = US \$ 1.700/ton
(termasuk biaya transportasi)
- Total biaya yang harus dikeluarkan untuk pengolahan abu batubara = $1,6 \times 1.700 \times \text{Rp } 9.300,-$ = Rp 25.296.000,-/hari
(Catatan : 1 US \$ = Rp 9.300,-)

2. Biaya pembuatan produk batako kontrol

- Setiap adonan yang terdiri dari campuran 1 zak semen dan 300 kg pasir (setara 0,165 m³), akan menghasilkan rata-rata 65 buah batako
- Biaya untuk menghasilkan setiap produk batako =
= $(1 \times \text{Rp } 41.500,-) + (0,165 \times \text{Rp } 105.000,-)/65$
= Rp 905 ,
- Tenaga kerja = Rp 50,-/buah
- Total biaya untuk memproduksi 1 produk batako
= Biaya bahan + biaya tenaga kerja
= Rp 905,- + Rp 50,- = Rp 955,-

3. Biaya pembuatan produk batako dengan abu batubara

- a. Untuk menghasilkan produk batako dengan mutu I (penggantian / substitusi semen sampai maksimal 10 %
 - Setiap adonan yang terdiri dari campuran 0,9 zak semen, 0,1 bagian abu batubara dan 300 kg pasir, akan menghasilkan rata-rata 65 buah batako
 - Semen 1 zak = Rp 41.500,- (0,9 zak = $0,9 \times \text{Rp } 41.500,-$ = Rp 37.350,-

- Biaya untuk menghasilkan setiap produk batako =
 $= (1 \times \text{Rp } 37.350,-) + (0,165 \times \text{Rp } 105.000,-)/65$
 $= \text{Rp } 841,15$ dibulatkan menjadi $\text{Rp } 842,50-$
- Tenaga kerja = $\text{Rp } 50,-/\text{buah}$
- Total biaya untuk memproduksi 1 produk batako
 $= \text{Biaya bahan} + \text{biaya tenaga kerja}$
 $= \text{Rp } 842,50,- + \text{Rp } 50,- = \text{Rp } 892,50,-$
- Apabila seluruh abu batubara dibuat produk batako maka jumlah yang diperoleh = $0,1 \times 1.600 \times 65 \text{ buah} = 10.400 \text{ buah}$
 $= 10,400 \times \text{Rp } 892,50,-$
 $= \text{Rp } 9.282.000,-$

b. Untuk menghasilkan produk batako dengan mutu II (penggantian / substitusi semen sampai maksimal 25 %

- Setiap adonan yang terdiri dari campuran 0,75 zak semen, 0,25 bagian abu batubara dan 300 kg pasir, akan menghasilkan rata-rata 65 buah batako
- Semen 1 zak = $\text{Rp } 41.500,-$ ($0,75 \text{ zak} = 0,75 \times \text{Rp } 41.500,-$)
 $= \text{Rp } 31.125,-$
- Biaya untuk menghasilkan setiap produk batako =
 $= (1 \times \text{Rp } 31.125,-) + (0,165 \times \text{Rp } 105.000,-)/65$
 $= \text{Rp } 745,38$ dibulatkan menjadi $\text{Rp } 745,-$
- Tenaga kerja = $\text{Rp } 50,-/\text{buah}$
- Total biaya untuk memproduksi 1 produk batako
 $= \text{Biaya bahan} + \text{biaya tenaga kerja}$
 $= \text{Rp } 745,- + \text{Rp } 50,-$
 $= \text{Rp } 795,-$
- Apabila seluruh abu batubara dibuat produk batako maka jumlah yang diperoleh = $0,25 \times 1.600 \times 65 \text{ buah} = 26.000 \text{ buah}$
 $= 26.000 \times \text{Rp } 795,-$
 $= \text{Rp } 20.670.000,-$

4. Apabila harga produk batako dipasarkan dengan mutu I = Rp 1.250,- / buah dan mutu II = Rp 1.000,-/buah, maka

a. Produk batako dengan mutu I

Harga jual = $10.400 \times \text{Rp } 1.100,-$ = Rp 11.440.000,-

Biaya produksi = Rp 9.282.000,-

Keuntungan = Rp 2.158.000,-

b. Produk batako dengan mutu II

- Harga jual = $26.000 \times \text{Rp } 1.000,-$ = Rp 26.000.000,-

- Biaya produksi = Rp 20.670.000,-

Keuntungan = Rp 5.330.000,-

Dari hasil analisis biaya diatas, apabila harus mengolah limbah abu batubara sesuai dengan peraturan pemerintah (ke PPLI, Cileungsi, Bogor), perusahaan harus mengeluarkan biaya sebesar Rp 25.296.000,-/hari, dan ini sangat memberatkan perusahaan. Dengan dimanfaatkan abu batubara tersebut menjadi batako justru perusahaan akan mendapatkan keuntungan.

Apabila semua abu batubara dibuat batako dengan mutu I dengan jumlah 10.400 buah, keuntungan yang akan diperoleh sebesar Rp 2.158.000,-/hari atau Rp 207,50,-/buah. Apabila semua abu batubara dibuat batako dengan mutu II dengan jumlah 26.000 buah, keuntungan yang akan diperoleh sebesar Rp 5.330.000,-/hari atau Rp 205,-/buah. Nilai keuntungan ini jauh melebihi dari keuntungan apabila produk batako tanpa tambahan abu batubara (kontrol) yaitu sebesar Rp 45,-/buah.

Dikaitkan dengan upaya minimisasi jumlah abu batubara yang dihasilkan, maka pembuatan batako dengan mutu II merupakan solusi /pilihan yang paling menguntungkan baik bagi lingkungan maupun dari aspek finansial.

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari uji karakteristik abu batubara mengandung cemaran logam berat yang berpotensi dapat mencemari lingkungan
2. Penggantian semen oleh abu batubara pada produk batako tidak berpengaruh terhadap dimensi ukuran baik panjang, lebar dan ketebalan produk batako (penyimpangan dimensi ukuran masih dibawah ambang batas)
3. Hasil uji kuat tekan, penggantian semen oleh abu batubara sebanyak 5 % dan 10 % mampu meningkatkan kuat tekan produk batako 5,6 % dan 2,56 % dibanding tanpa penambahan abu batubara (perlakuan kontrol). Penggantian sampai 25 % masih menghasilkan produk batako mutu II seperti pada perlakuan kontrol.
4. Dari uji TCLP, produk batako hasil proses solidifikasi/stabilisasi limbah B-3 (abu batubara) menunjukkan nilai dibawah ambang batas baku mutu TCLP menurut PP 85/1999 sehingga produk tersebut aman untuk penggunaan in door maupun out door
5. Dengan dimanfaatkannya abu batubara sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan batako, lingkungan akan terhindar dari pencemaran logam berat dan dengan pengurangan penggunaan semen secara tidak langsung dapat mengurangi emisi gas CO₂ keudara.
6. Dari hasil analisis ekonomi, pemanfaatan abu batubara untuk bahan campuran pembuatan *hollow block* akan memberikan keuntungan

Rp 207,50 untuk mutu I dan Rp 205,- untuk mutu II dibanding hanya Rp 45,- bila tanpa penambahan abu batubara.

5.2. Rekomendasi

1. Perlu disosialisasikan pemanfaatan limbah abu batubara sebagai produk yang bermanfaat namun aman bagi lingkungan
2. Memberdayakan masyarakat untuk membuat produk batako dari abu batubara, sekaligus dapat mengurangi jumlah limbah abu batubara yang kian hari cenderung meningkat jumlahnya
3. Pemerintah baik pusat maupun daerah setempat memberikan arahan terhadap penghasil limbah abu batubara dalam rangka mewujudkan industri yang berwawasan lingkungan.
4. Diusulkan agar Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dapat direvisi atau dibuat peraturan-peraturan teknis operasional khususnya yang berkaitan dengan abu batubara atau jika tidak, pemerintah daerah dimungkinkan untuk membuat regulasi untuk mengelola limbah B-3 di daerah masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 1977 : Annual Book of ASTM Standard-American Society for Testing and Material, Revision Issued Annually. C.618-77
2. -----, 1995 : Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995, tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah B-3, Bapedal, Jakarta.
3. -----, 1999 : Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Sekretariat Bapedal, Jakarta
4. -----, 1999 : Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999, tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Sekretariat Bapedal, Jakarta
5. -----, 2003 : Toksisitas Abu terbang PLTU Batubara yang Berada di Sumatra dan Kalimantan, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen ESDM, Jakarta
6. -----, 2006 : Berbahaya, Limbah Batubara Non Industri, Suara Pembaharuan, 26 Pebruari 2006
7. Agung B. dan Triwulan, 1993 : Pengaruh Pemakaian Abu Terbang ex Batubara Pada Campuran Semen Terhadap Sifat Fisika Beton, Seminar Hasil Penelitian Bahan, PAU-UGM, Yogyakarta.
8. Andriati A.H., 1987 : Pemanfaatan Limbah Untuk bahan Bangunan, Puslitbang Pemukiman Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
9. Aswin, B.S., 2007 : Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Dengan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
10. Claudia Muller, Eva F. , Halimah, 2006 : Modul Pelatihan Pembuatan Ubin Atau Paving Block dan Batako, International Labour Organization.
11. Djedjen Achmad, 1994 : Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Fisik Beton yang Dirawat Dengan Uap, LPUI, Jakarta.

12. Djiwantoro H., 2001 : Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen, Sinar Harapan, Jakarta
13. Edy B., 2007 : Fly Ash - Bottom Ash dan Pemanfaatannya, <http://b3.menlh.go.id/3r/artikel.php>.
14. Firdaus, 2007 : Pembakaran Batubara, www.firdousharif.com.
15. G.E Troxell and Davis H., 1995 : Composition and Properties of Concrete, 2nd edition, Mc. Graw Hill Book Co. New York.
16. Helmut, R.A, 1978 : The Nature of Concrete, John Wiley & Son, Inc, New York.
17. I Made Alit K., 2007 : Perbandingan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton yang Menggunakan Semen Portland Pozzolan dengan yang Menggunakan Semen Portland Tipe I, Bahan Seminar Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia, Yogyakarta.
18. Jackson, N., 1977 : Civil Engineering Material, Great Britain, Unwin Brothers, England
19. J.W. Figgi, 1992 : Chemical Attack on Hardened Concrete of Sulphate and Chlorides, Harry Stanger Ltd. England.
20. Marinda Putri, 2006 : Kumpulan Artikel Abu Batubara, <http://www.pu.go.id>
21. Nawy, E.G, 1985 : Reinforce Concrete a Fundamental Approach, Mac Graw-Hill Book Company, Sidney
22. Neville, A.M, 1981 : Properties of Concrete, 3rd Edition, USA Wisnu A.W., 2002 : Polutan Radioaktif dari Batubara, Batan, Jakarta.
23. Tri Mulyono, 2005 : Teknologi Beton, Penerbit ANDI, Yogyakarta
24. Zeta Eridani, 2004 : Pemanfaatan Abu Terbang Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kualitas Beton, Program Studi Ilmu Lingkungan UGM.

DAFTAR PUSTAKA

25. Anonim, 1977 : Annual Book of ASTM Standard-American Society for Testing and Material, Revision Issued Annually. C.618-77
26. -----, 1995 : Keputusan Kepala Bapedal Nomor 03/Bapedal/09/1995, tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah B-3, Bapedal, Jakarta.
27. -----, 1999 : Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Sekretariat Bapedal, Jakarta
28. -----, 1999 : Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999, tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Sekretariat Bapedal, Jakarta
29. -----, 2003 : Toksisitas Abu terbang PLTU Batubara yang Berada di Sumatra dan Kalimantan, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen ESDM, Jakarta
30. -----, 2006 : Berbahaya, Limbah Batubara Non Industri, Suara Pembaharuan, 26 Pebruari 2006
31. Agung B. dan Triwulan, 1993 : Pengaruh Pemakaian Abu Terbang ex Batubara Pada Campuran Semen Terhadap Sifat Fisika Beton, Seminar Hasil Penelitian Bahan, PAU-UGM, Yogyakarta.
32. Andriati A.H., 1987 : Pemanfaatan Limbah Untuk bahan Bangunan, Puslitbang Pemukiman Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
33. Aswin, B.S., 2007 : Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Dengan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
34. Claudia Muller, Eva F. , Halimah, 2006 : Modul Pelatihan Pembuatan Ubin Atau Paving Block dan Batako, International Labour Organization.
35. Djedjen Achmad, 1994 : Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Fisik Beton yang Dirawat Dengan Uap, LPUI, Jakarta.

36. Djiwanto H., 2001 : Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen, Sinar Harapan, Jakarta
37. Edy B., 2007 : Fly Ash - Bottom Ash dan Pemanfaatannya, <http://b3.menlh.go.id/3r/artikel.php>.
38. Firdaus, 2007 : Pembakaran Batubara, www.firdousharif.com.
39. G.E Troxell and Davis H., 1995 : Composition and Properties of Concrete, 2nd edition, Mc. Graw Hill Book Co. New York.
40. Helmut, R.A, 1978 : The Nature of Concrete, John Wiley & Son, Inc, New York.
41. I Made Alit K., 2007 : Perbandingan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton yang Menggunakan Semen Portland Pozzolan dengan yang Menggunakan Semen Portland Tipe I, Bahan Seminar Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia, Yogyakarta.
42. Jackson, N., 1977 : Civil Engineering Material, Great Britain, Unwin Brothers, England
43. J.W. Figgi, 1992 : Chemical Attack on Hardened Concrete of Sulphate and Chlorides, Harry Stanger Ltd. England.
44. Marinda Putri, 2006 : Kumpulan Artikel Abu Batubara, <http://www.pu.go.id>
45. Nawy, E.G, 1985 : Reinforce Concrete a Fundamental Approach, Mac Graw-Hill Book Company, Sidney
46. Neville, A.M, 1981 : Properties of Concrete, 3rd Edition, USA Wisnu A.W., 2002 : Polutan Radioaktif dari Batubara, Batan, Jakarta.
47. Tri Mulyono, 2005 : Teknologi Beton, Penerbit ANDI, Yogyakarta
48. Zeta Eridani, 2004 : Pemanfaatan Abu Terbang Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kualitas Beton, Program Studi Ilmu Lingkungan UGM.

