

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Batako

Batako adalah salah satu bahan bangunan dengan bahan pembentuk berupa pasir dan agregat (campuran pasir, kerikil dan air). Batako dicetak melalui proses pemadatan menjadi bentuk balok-balok dengan ukuran dan persyaratan tertentu dan proses pengerasannya ditempatkan pada tempat yang lembab atau tidak terkena sinar matahari langsung atau hujan (Wattimena dkk, 2011).

Batako tergolong suatu komposit dengan matriks adalah perekat (semen) dan pengisinya (filler) adalah agregat. Pada batako proses penguatan ikatan antara agregat dari proses hidrasi semen, dalam proses reaksi tersebut akan terbentuk Calcium Silikat (CS fasa), Calcium aluminat (CA fasa) dan Calcium Alumina Silikat (CAS fasa) (Simbolon, 2009).

Menurut SNI 03-0349-1989 mengenai bata beton untuk pasangan dinding, "Conblock (concrete block) atau batu cetak beton adalah komponen bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau pozoan, pasir, air dan atau tanpa bahan tambahan lainnya (additive), dicetak sedemikian rupa hingga memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai bahan untuk pasangan dinding".

Menurut bentuknya batako digolongkan menjadi 2 kelompok utama, yaitu batako pejal dan batako berlubang. **Gambar 2.1** menunjukkan bentuk fisik dari batako pejal dan berlubang, Batako berlubang memiliki sifat penghantar panas yang lebih baik dari batako pejal dengan menggunakan bahan dan ketebalan yang sama.



(a) Pejal



(b) Berlubang

Gambar 2.1 Batako

Batako berlubang memiliki beberapa keunggulan dari batu bata, beratnya hanya 1/3 dari batu bata dengan jumlah yang sama dan dapat disusun empat kali lebih cepat lebih kuat untuk semua penggunaan yang biasanya menggunakan batu bata. Di samping itu keunggulan lain batako berlubang adalah kedap panas dan suara (Muller dkk, 2006).

Berdasarkan SNI 03-0349-1989, batako harus memenuhi syarat fisik yang telah ditentukan. Syarat fisis batako dijelaskan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Syarat–syarat fisik batako

Syarat Fisis	Satuan	Tingkat Mutu Bata Beton Berlubang			
		I	II	III	IV
Kuat Tekan Bruto Rata – Rata Min	Kg/cm ²	70	50	35	20
Kuat Tekan Bruto Masing – Masing Benda Uji Min.	Kg/cm ²	65	40	30	17
Penyerapan Air Rata – Rata Maks	%	25	35	-	-

Sumber: SNI 03-0349-1989

Keterangan:

Kuat tekan bruto adalah beban tekan keseluruhan pada waktu benda uji coba pecah, dibagi dengan luas ukuran nyata dari bata termasuk luas lubang serta cekungan tepi.

Berdasarkan persyaratan mutu bata beton 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)

(Misbachul, 2008).

Pembuatan batako berbeda dengan pembuatan bata merah. Bata merah dibuat dengan cara dibakar, sedangkan batako dibuat dengan mencetaknya hingga padat kedalam cetakan yang ukurannya standar dan sudah ditentukan. Batako sendiri merupakan bahan alternatif bangunan sebagai pengganti bata merah pada pekerjaan pemasangan dinding. Sehingga batako dapat dikategorikan sebagai bahan bangunan non struktural. Walaupun dikategorikan sebagai bahan non struktural, namun di dalam proses pembuatannya tetap harus memenuhi syarat-syarat sebagai bahan bangunan seperti syarat kekuatan tekan minimum pada uji tekan dan syarat jumlah maksimum penyerapan air yang sudah diatur di dalam SNI 03-0349-1989 sehingga layak digunakan untuk bahan bangunan.

Batako diklasifikasikan menjadi dua golongan yaitu batako normal dan batako ringan. Batako normal tergolong batako yang memiliki densitas sekitar 2200-2400 kg/m³ dan kekuatannya tergantung komposisi campuran (mix design). Sedangkan untuk beton ringan adalah suatu batako yang memiliki densitas < 1800 kg/m³, begitu juga kekuatannya biasanya disesuaikan pada penggunaan dan pencampuran bahan bakunya (mix design). Karakteristik bata beton yang umum ada dipasaran adalah memiliki densitas rata-rata > 2000kg/m³, dengan kuat tekan bervariasi 3-5 Mpa. Ditinjau dari densitasnya batako tergolong cukup berat sehingga untuk proses pemasangan sebagai konstruksi dinding memerlukan tenaga yang cukup kuat dan waktu yang lama (Simbolon. 2009).

Pada umumnya, kekuatan batako akan meningkat seiring dengan pertambahan umurnya. Pada pengujian, digunakan standar waktu 28 hari sebagai acuan. Kekuatan dari batako juga dipengaruhi oleh tingkat kepadatannya. Untuk mendapatkan kekuatan yang maksimal, pada saat pembuatan batako harus benar-benar dipadatkan sampai benar-benar padat. Hal ini bertujuan agar campuran air, semen, dan pasir dapat bercampur dan merekat satu sama lain.

Apabila dilihat dari permukaannya, batako yang mempunyai mutu yang baik adalah batako yang permukaannya rata, tidak cacat dan saling tegak lurus. Rusuk-rusuknya siku antara yang satu dan yang lainnya dan sudut rusuknya tidak mudah dirapikan dengan kekuatan jari tangan.

Menurut Muller (2006), sebagai bahan bangunan pengganti bata, batako mempunyai beberapa keuntungan:

1. Beratnya hanya $\frac{1}{3}$ dari batu bata untuk jumlah yang sama.

2. Batako dapat disusun 4 kali lebih cepat dan cukup kuat untuk semua penggunaan yang biasanya menggunakan batu bata
3. Dinding yang dibuat dari batako mempunyai keunggulan dalam hal meredam panas dan suara
4. Semakin banyak produksi beton semakin ramah lingkungan dari pada produksi bata tanah liat karena tidak harus dibakar.

Menurut Muller dkk (2006) 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.

Setelah dibuat, batako harus diberikan perawatan (curing). Hal ini bertujuan sebagai langkah pencegahan terhadap kehilangan air yang terlalu cepat pada batako. Menurut Murdock dan Brock (1996) yang dikutip dari Yuliwati dan Syarifuddin, penguapan air yang terjadi pada beton dapat berakibat penyusutan kering yang terlalu cepat. Penyusutan kering dapat menimbulkan tegangan tarik dan retak. Agar kekuatan meningkat maka harus tersedia air untuk hidrasi. Sebab pengerasan beton terjadi karena hidrasi dan bukan karena pengeringan. Selama proses hidrasi, akan terjadi pelepasan panas. Untuk itulah batako haruslah tetap basah untuk menjamin pengerasan yang baik. Ada beberapa cara yang biasa dilakukan untuk perawatan batako:

- a. Batako dibasahi air secara terus menerus
- b. Batako diletakan di dalam genangan air.
- c. Batako dilapis atau ditutup dengan karung basah.

Sedangkan menurut Yanuar Azis (2012), ada tiga jenis utama perawatan yang digunakan pada sektor konstruksi, yaitu:

a. Curing Air

Curing air adalah yang paling banyak digunakan. Sistem ini sangat cocok untuk konstruksi karena tidak memerlukan infrastuktur dan keahlian khusus. Untuk mengekonomiskan penggunaan air, perlu dilakukan pengukuran untuk mencegah penguapan air pada produk semen. Misalnya beton harus dilindungi dari sinar matahari langsung dan angin untuk mencegah penguapan air yang cepat. Biasanya digunakan plastik ataupun goni untuk mencegah penguapan air dengan cepat.

Sangat penting seluruh produk semen (batako, paving blok, batu pondasi, pekerjaan plester, pekerjaan lantai, dll) dijaga tetap basah dan jangan pernah kering.

Jika tidak kekuatan akhir produk semen tidak dapat dipenuhi. Jika proses hidrasi berakhir secara dini akibat kelebihan panas (tanpa curing), air yang disiram pada produk semen yang telah kering tidak akan mengaktifkan kembali proses hidrasi, kehilangan kekuatan akan permanen.

b. Curing Uap Air

Curing uap air dilakukan apabila air sulit diperoleh. Curing uap air menurunkan waktu curing dibandingkan dengan curing air biasa kurang lebih sekitar 50-60%. Prinsip kerja dari curing air adalah dengan menjaga produk semen pada lingkungan lembab dan panas sehingga semen dapat mencapai kekuatan maksimal dengan lebih cepat daripada curing biasa. Untuk mencapai kondisi tersebut diperlukan suatu ruang tersendiri yang berfungsi sebagai ruang pemanasan sederhana dengan dinding dan lantai yang mampu menahan air. Dinding dan lantai ini ditutup dengan menggunakan plastik sehingga matahari dapat menghangatkan ruangan dan juga berfungsi untuk mencegah air menguap. Tinggi permukaan air dari lantai sekitar 5 sampai 7 cm dijaga setiap waktu agar prinsip kerja sistem penguapan dapat bekerja.

c. Curing Uap Panas

Cara curing ini biasanya hanya digunakan pada pabrik yang sudah canggih yang memproduksi semen secara massal. Sistem curing uap panas mahal dan membutuhkan banya kenergi untuk membangkitkan panas yang dibutuhkan sebagai uap panas. Bagaimanapun, produk curing uap panas dapat digunakan setelah kira-kira 24-36 jam setelah produksi, yang mempunyai keunggulan dibandingkan curing sistem lainnya.

2.2 Bahan-Bahan Penyusun Batako

2.2.1 Bottom Ash (abu dasar)

Bottom Ash adalah abu yang dihasilkan pada proses pembakaran batubara sebagai sumber energi pada unit pembangkit uap (boiler) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Bottom Ash* berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolan. Terdapat tiga tipe metode pembakaran pada proses penghasilan energi, yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace*. Apabila batubara dibakar dengan type *dry bottom boiler*, maka kurang lebih 80% dari abu meninggalkan pembakaran sebagai *fly ash* dan masuk dalam corong gas. Apabila batubara dibakar dengan *wet-bottom boiler* sebanyak 50% dari abu tertinggal di pembakaran dan 50% lainnya masuk dalam corong gas. Pada *cyclon furnace*, dimana potongan batubara digunakan sebagai bahan bakar, 70-80 % dari abu tertahan sebagai *boiler slag* dan hanya 20-30% meninggalkan

pembakaran sebagai *dry ash* pada corong gas (Prabandiyani, 2008). *Bottom ash* pada **Gambar 2.2** merupakan contoh *bottom ash* yang didapat dari PLTU Rembang.



Gambar 2.2 *Bottom ash*

Bottom ash merupakan abu yang biasa didapatkan dari pembakaran batu bara di dalam tungku pada industri utilitas listrik. Ketika terjadi proses pembakaran di dalam boiler, akan terbentuk abu sisa pembakaran. Sekitar 20 persen akan jatuh dan menjadi *bottom ash*. *Bottom ash* memiliki partikel dengan tekstur permukaan yang sangat berpori. Ukuran partikel *bottom ash* berada di antara kerikil halus dan pasir halus. *Bottom ash* memiliki kandungan lumpur yang sangat rendah. Umumnya *bottom ash* memiliki ukuran partikel yang baik dan rata, meskipun kadang ditemukan variasi dalam distribusi ukuran partikel. *Bottom ash* didominasi pasir berukuran sedang, umumnya sekitar 50 sampai 90 persen melewati ayakan ukuran 4,75 mm (No. 4), 10 sampai 60 melewati ayakan ukuran 0,42 mm (No 40), 0 sampai 10 persen melewati ayakan ukuran 0,075 mm (No. 200). *Bottom ash* sebagian besar terdiri dari silika, alumina, dan besi. Kandungan lainnya adalah kalsium, magnesium, sulfat, dan senyawa lainnya, akan tetapi persentasenya lebih kecil. Nilai kepadatan maksimum *bottom ash* biasanya 10 sampai 25 persen lebih rendah dari bahan alami granular. Nilai optimal kelembaban konten *bottom ash* lebih tinggi dari bahan alami granular. Sedangkan nilai gesekan partikelnya berada dalam kisaran yang sama dengan pasir (fhwa.dot.gov diakses pada 20 April 2012).

Tabel 2.2 Sifat Fisik *Bottom Ash*

Sifat fisik <i>Bottom ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori

Tabel 2.2 Sifat Fisik *Bottom Ash* (lanjutan)

Ukuran (%lolos ayakan)	No.4 (90 – 100%)	1,5 s/d ¾ in (100%)
	No.10 (40 – 60%)	No.4 (50 – 90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10 – 60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0 – 10%)
Specific gravity	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³

Sumber: Coal Bottom Ash/ Boiler Slag-Material Description, 2000

Sifat fisik *bottom ash* meliputi bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, dan *dry unit weight* dari *wet* dan *dry bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 2.2**. *Bottom ash* yang digunakan sebelumnya telah diuji di Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang. Dari hasil uji didapatkan data bahwa *bottom ash* dapat digunakan sebagai pengganti semen karena memiliki kandungan Silikat sebesar 29,42 %. Kandungan ini lebih besar jika dibandingkan kandungan silikat pada semen yang hanya berkisar sebesar 17 - 25%. Secara lebih detail kandungan yang terdapat pada *bottom ash* akan dijelaskan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Hasil analisa kandungan *bottom ash*

No.	Parameter	Hasil Analisa	
		Kadar	Satuan
1.	Si	29,4 ± 0,03	%
2.	Al	0,2576 ± 0,0001	%
3.	Fe	590,33 ± 0,89	ppm
4.	Mg	1,17 ± 0,00	%
5.	Ca	14,55 ± 6,13	%

Berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), *fly ash* dan *bottom ash* dikategorikan sebagai limbah B3. Yang dimaksud dengan bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya 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 lain. 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).

Berdasarkan penelitian, abu batubara memiliki beberapa kandungan logam berat seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), chrom (Cr). Kandungan logam berat pada batubara dijelaskan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Kandungan logam berat pada 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	11	120

Sumber : Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen ESDM 2003

2.2.2 Semen

Semen (Portland Cement) adalah bahan pengikat hidrolis yang bersifat perekat, mengeras dan mengikat apabila bereaksi dengan air. Semen diperoleh dari hasil penghalusan butiran-butiran klinker (bahan yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis) dengan tambahan gypsum. Fungsi utama semen portland adalah sebagai perekat butir-butir agregat sehingga terjadi suatu massa yang padat. Jika semen portland dicampur dengan air, dalam beberapa waktu dapat menjadi keras. Campuran antara air dengan semen portland tersebut dinamakan pasta semen. Semen portland dibuat dengan memanaskan suatu campuran yang terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, oksida, besi, dan oksida-oksida lain secara baik dan merata (Samekto & Rahmadiyanto, 2001).

Semen mempunyai kandungan senyawa dan mineral. Secara umum kandungan tersebut biasa disebut senyawa semen. Senyawa semen secara lebih detail dijelaskan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Kandungan Senyawa dan Mineral Pada Semen

Mineral – Mineral Klinker	Rumus Kimia	Rumus Singkatan	Kadar Rata-Rata (%)
Trikalsium Silikat	3 CaO,SiO ₂	C ₃ S	13-60
Dikalsium Silikat	2 CaO,SiO ₂	C ₂ S	15-37
Trikalsium Aluminat	3 CaO,Al ₂ O ₃	C ₃ A	7-15
Tetrakalsium Alumina Ferit	3 CaO,Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	10-20
Kapur Bebas	CaO	-	≤ 1
Gips	CaCo ₄	-	≤ 3

Sumber : Teknologi Beton, Wuryati S dan Candra R, 2001.

Dari senyawa-senyawa yang seperti disebutkan pada **Tabel 2.5**, senyawa C₃S dan C₂S merupakan senyawa yang dominan sebagai senyawa penyusun semen portland karena kedua bahan tersebut adalah senyawa yang mengakibatkan bahan bersifat semen atau mengikat. Kadar senyawa C₃S dan C₂S dalam semen mencapai 70% - 80%. Sedangkan sisa senyawa lainnya merupakan senyawa bawaan yang tidak mempunyai sifat semen, tetapi senyawa tersebut akan membantu proses pencairan (*flux*) bahan dasar pada saat dibakar (Utomo, 2010).

Jika semen portland diberi air, air akan berangsur-angsur mengadakan persenyawaan dengan senyawa-senyawa semen terutama senyawa C₃S dan C₂S. Senyawa tersebut beraksi dengan membentuk gel atau agar-agar sebagai senyawa kalsium silikat hidrat, dan membebaskan sebagai kapur. Senyawa C₃A dan C₄AF juga bersenyawa dengan air, senyawa tersebut membentuk 17 senyawa trikalium aluminat hidrat. Untuk senyawa C₃A bila terkena air akan segera beraksi dan mengeluarkan panas untuk kemudian hancur. Apabila didalam semen portland terkandung senyawa C₃A lebih dari 18%, maka semen portland tidak memiliki sifat kekal bentuk (Karena mengembang) akibat panas yang terlalu tinggi pada waktu pengerasan. Untuk memperendah kadar C₃A dalam semen portland, biasanya ditambahkan bijih besi dalam pembuatannya sehingga kadar C₄AF menjadi tinggi pula. Senyawa C₄AF tidak mempunyai sifat yang membahayakan terhadap semen portland, hanya saja akan memperlambat proses pengerasan (Samekto & Rahmadiyanto, 2001).

Pada penelitian ini digunakan produk semen dengan merk dagang Semen Gresik ukuran 40 kg. Kandungan kimia Semen Gresik tidak berbeda jauh dengan dengan yang tertera pada **Tabel 2.5**. Spesifikasi dari Semen Gresik ditunjukkan pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Spesifikasi semen

Jenis Pengujian		SNI	ASTM	Hasil Uji
		15-2049-04	C 150-02a	
		PC I	PC I	
Komposisi Kimia:				
Silikon Dioksida	(SiO ₂),%	-	-	20,92
Aluminium Oksida	(Al ₂ O ₃),%	-	-	5,49
Ferri Oksida	(Fe ₂ O ₃),%	-	-	3,78
Kalsium Oksida	(CaO),%	-	-	65,21
Magnesium Oksida	(MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	0,97
Sulfur Trioksida	(SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	2,22
Hilang Pijar	(LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	1,35
Kapur Bebas	,%	-	-	0,59
Bagian Tidak Larut	,%	≤ 3,00	≤ 0,75	0,43
Alkali	(Na ₂ O + 0,685K ₂ O),%	≤ 0,60	≤ 0,60	0,19
Tricalcium Silicate	(C ₃ S),%	-	-	57,82
Dicalcium Silicate	(C ₂ S),%	-	-	16,36
Tricalcium Aluminate	(C ₃ A),%	-	-	8,16
Tetracalcium Aluminate Ferrit	(C ₄ AF),%	-	-	11,50
Pengujian Fisika:				
Kehalusan:				
Dengan Alat Blaine	(M ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	320
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat:				
Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	148
Akhir	(menit)	≤ 375	≤ 375	245
Kekekalan dengan alat Autoclave:				
Pemuai	(%)	≤ 0,80	≤ 0,80	0,06
Penyusutan	(%)	-	-	-
Kuat Tekan				
3 hari	(Kg/cm ²)	≥ 125	≥ 122	230
7 hari	(Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 194	320
28 hari	(Kg/cm ²)	≥ 280	-	410
Pengikatan semu, (False Set):				
Penetrasi Akhir	(%)	50	50	73,79

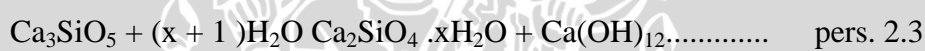
Jenis Pengujian		15-2049-04		C595-03	Hasil Pengujian
		PPC Tipe IP-U	PPC Tipe IP-K	PPC Tipe IP	
Komposisi Kimia:					
Silikon Dioksida	(SiO ₂),%	-	-	-	23,13
Aluminium Oksida	(Al ₂ O ₃),%	-	-	-	8,76
Ferri Oksida	(Fe ₂ O ₃),%	-	-	-	4,62
Kalsium Oksida	(CaO),%	-	-	-	58,66
Magnesium Oksida	(MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	≤ 6,00	0,90
Sulfur Trioksida	(SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	≤ 3,50	2,18
Hilang Pijar	(LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	≤ 3,00	1,69
Kapur Bebas	,%	-	-	-	0,69
Bagian Tidak Larut	,%	-	-	-	0,82
Pengujian Fisika:					
Kehalusan:					
Sisa di atas ayakan 0,09 mm	(%)	-	-	(A)	
Dengan Alat Blaine	(M ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	(A)	325
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat:					
Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	≥ 45	153
Akhir	(menit)	≤ 420	≤ 420	≤ 420	249

Tabel 2.6 Spesifikasi Semen Gresik (lanjutan)

Kehalusan:				
Sisa di atas ayakan 0,09 mm (%)	-	-	(A)	
Dengan Alat Blaine (M ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	(A)	325
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat:				
Awal (menit)	≥ 45	≥ 45	≥ 45	153
Akhir (menit)	≤ 420	≤ 420	≤ 420	249
Kekekalan dengan alat Autoclave:				
Pemuaihan (%)	≤ 0,80	≤ 0,80	≤ 0,80	0,043
Penyusutan (%)	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	-
Kuat Tekan				
3 hari (Kg/cm ²)	≥ 125	≥ 110	≥ 130	205
7 hari (Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 165	≥ 200	290
28 hari (Kg/cm ²)	≥ 250	≥ 205	≥ 250	385
Panas Hidrasi				
7 hari (cal/gr)	-	≤ 70	≤ 70 (B)	68,15
28 hari (cal/gr)	-	80	≤ 80 (B)	78,40
Kandungan Udara (%)	< 12 [C]	< 12 [C]	≤ 12	6,40

Keterangan: (A) = Sesuai permintaan.
 (B) = Berlaku bila diperlukan panas hidrasi rendah atau sedang, dan syarat kuat tekan minimum menjadi 80% dari syarat di atas.
 (C) = Bila diperlukan/diminta oleh konsumen atau produsen.

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



Dari reaksi pada persamaan 2.1, 2.2 dan 2.3 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. (Mulyono, 2004).

2.2.3 Bottom ash sebagai pengganti semen

Pada penelitian ini, bottom ash digunakan sebagai pengganti semen. Kedua campuran tersebut akan dikombinasikan dengan pasir dan air untuk kemudian dibuat menjadi batako. Bottom ash dianggap dapat menjadi pengganti semen karena mempunyai salah satu unsur kimia semen yang penting pada proses pengikatan yaitu silika. Pada **Tabel 2.7** dapat dilihat bahwa kandungan silika bottom ash mencapai 29,04%. Jumlah tersebut mendekati jumlah kandungan semen yang berkisar antara 17-25 %.

Tabel 2.7 Perbandingan sifat kimia

Parameter	<i>Bottom Ash</i> ⁽¹⁾	<i>Fly Ash</i> ⁽²⁾	Semen ⁽³⁾
Si	29.40±0.03	52.00	23.13
Al	0.2576±0.0001	31.86	8.76
Fe	0.0590.33±0.0000.89	4.89	4.62
Mg	1.17±0.00	4.66	0.9
Ca	14.55±6.13	2.68	58.66

(sumber: 1. Hasil Pengujian Laboratorium FMIPA UB, Malang, Jawa Timur

2. PJB Paiton(<http://www.siskaela.blog.uns.ac.id/2010/04/15/fly-ash-sebagai-adsorben-limbah-batik>, diakses pada tanggal 10 April 2012)
3. Hasil Pengujian Komposisi kimia Semen Gresik, Semen Portland Pozolan(<http://www.semen.web44.net/v.2.0/layananelanggan/komposisipengujian.php>, diakses pada tanggal 10 April 2012)

2.2.4 Pasir

Pasir merupakan agregat halus untuk campuran beton sebagai hasil disitegrasi alami dari batu-batuan. Agregat halus ialah agregat yang semua butirannya lolos ayakan berlubang 4.8 mm atau 5 mm (berdasarkan ASTM C-33). Berdasarkan PUBI 1982, pasir atau agregat halus adalah agregat langsung dari alam yang berupa butiran-butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dan ukuran butirannya sebagian besar terletak antara 0,075-5 mm, dan kadar bagian yang ukurannya lebih kecil dari 0,063 mm tidak lebih dari 5 %.

Pasir merupakan hasil penghancuran oleh alam dari batuan induknya, dan terdapat dekat atau sering kali jauh dari asalnya karena terbawa oleh arus air atau angin, dan mengendap di suatu tempat. Pasir yang digunakan dalam campuran beton jika dilihat dari sumbernya dapat berasal dari sungai atau dari galian tambang (*quarry*). Agregat yang berasal dari tanah galian, yaitu tanah dibuka lapisan penutupnya (*pre-striping*), biasanya berbentuk tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Pada khusus tertentu, agregat yang terletak pada lapisan paling atas harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan (Utomo,2010).

Menurut Persyaratan Bangunan Indonesia agregat halus sebagai campuran untuk pembuatan beton bertulang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butir-butir kasar, tajam dan keras serta bersifat kekal terhadap pengaruh cuaca yang dapat merusaknya.

2. Pasir harus mempunyai kekerasan yang sama.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila lebih dari 5% maka agregat tersebut harus dicuci dulu sebelum digunakan. Adapun yang dimaksud lumpur adalah bagian butir yang melewati ayakan 0,063 mm.
4. Pasir harus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
5. Pasir harus tidak mudah terpengaruh oleh perubahan cuaca.
6. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk beton.

(Wijanarko,2008)

Menurut SNI 03-6861 – 2002 agregat halus memiliki persyaratan sebagai berikut :

1. Agregat halus harus berupa butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pernah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % (ditentukan terhadap berat keringnya). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,06 mm. apabila kadar lumpur melampaui 5 % maka agregat harus dicuci.
4. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari badan pemeriksaan bahan-bahan yang diakui

Masalah gradasi sangat penting, sehingga sedapat mungkin gradasinya harus tetap, sebab jika tidak tetap akan berpengaruh pada pengerjaan dan mutu beton yang akan dihasilkan. Gradasi pasir dan semen berpengaruh pada sifat pengerjaan dan mutu beton yang dihasilkan. Jika keadaan tersebut diatas tidak dapat dipenuhi maka proses pengerjaan dapat tetap dilaksanakan dengan mempertimbangkan faktor teknis ataupun ekonomisnya.

Pada penelitian ini, pasir yang digunakan adalah Pasir Lumajang. Umumnya pasir tersebut merupakan pasir yang berasal dari Gunung Semeru. Ciri khas pasirnya yaitu hitam dengan kandungan besi (Fe) sekitar 30%-40% dan yang tertinggi mencapai 60%.

2.2.5 Air

Air merupakan komponen yang sangat penting di dalam pembuatan batako. Air mempunyai fungsi utama sebagai pengaktif semen sehingga semen dapat bereaksi untuk kemudian mengikat agregat. Air juga berfungsi untuk mempermudah pada saat pengerjaan karena air akan memperlincin antara semen, *bottom ash* dan agregat sehingga mudah dikerjakan. Untuk mendapatkan kebutuhan efektif air, biasanya dilakukan langkah mix desain terlebih dahulu dengan didahului penetapan faktor air semen (fas) yang nantinya akan digunakan di dalam adukan.

Air merupakan salah satu unsur penting sebagai bahan penyusun batako. Agar kestabilan dan kekuatan campuran batako terpenuhi, maka salah satu cara adalah dengan meninjau atau menetapkan faktor air semen (fas) yang digunakan dalam adukan. Air berfungsi untuk reaksi semen memulai pengikatan serta menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan di padatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25 persen berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai f.a.s. yang dipakai sulit kurang 0,35. Kelebihan air yang dipakai sebagai pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah. Faktor air semen merupakan konstanta pembandingan antara jumlah air bebas dan berat semen. Semakin kecil nilai faktor air semen dalam adukan maka tingkat kekentalan adukan semakin tinggi. Hal ini menyebabkan sifat adukan tidak mudah untuk dikerjakan, sifat susut adukan menjadi kecil dan tingkat kekuatan tekan adukan semakin tinggi (Utomo,2010).

2.3 Pengujian Agregat Halus

2.3.1 Analisa Gradasi

Berdasarkan ASTM C-33, agregat halus ialah agregat yang semua butirannya lolos ayakan berlubang 4,8 mm atau 5 mm. Tujuan dilakukannya analisa gradasi agregat halus adalah untuk mengetahui dapat tidaknya agregat halus untuk digunakan pada bahan campuran batako sesuai dengan SK SNI T-15 1990-03 (tentang Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal) dan ASTM C 35 – 37. Masalah gradasi merupakan hal yang penting dalam setiap pekerjaan batako karena akan berpengaruh pada pengerjaan dan mutu batako yang dihasilkan.

2.3.2 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan harga berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (ssd) dan berat jenis semu, dan mendapatkan harga penyerapan air pada agregat halus dan untuk mengetahui kondisi pasir apakah dapat dipakai sebagai campuran beton atau tidak, sesuai dengan syarat-syarat atau standar yang terdapat dalam ASTM 128-77. Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C. Sedangkan penyerapan/absorpsi adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terdapat berat agregat kering, dinyatakan dalam persen. Untuk standar penyerapan agregat halus khususnya pasir adalah lebih kecil dari 3,1%.

2.4 Pengujian Batako

Untuk dapat menjamin mutu serta kualitas, batako harus memenuhi syarat-syarat pengujian seperti yang diisyaratkan pada SNI 03-0349-1989.

2.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar kuat tekan batako. Sesuai SNI 03-0349-1989, pengujian ini menggunakan 5 buah benda uji. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, batako terlebih dahulu harus diratakan agar permukaannya rata. Sehingga pada saat pengujian, beban akan terdistribusi secara rata ke permukaan batako. Tebal dari lapisan penerap kurang lebih 3 mm. Benda uji ditentukan kuat tekannya apabila pengerasan lapisan penerap sedikitnya telah berumur 3 hari. Bahan penerapan terbuat dari campuran 1 (satu) bagian semen portland ditambah dengan 1 atau 2 (satu atau dua) bagian pasir halus tembus ayakan 0,3 mm. Pemakaian bahan lain diperbolehkan, asalkan kekuatannya sama atau lebih dari benda uji.

Pada penentuan kuat tekan, arah tekanan pada bidang tekan benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaian. Bidang tekan haruslah rata dan sejajar satu dengan yang lain. Benda uji dibuat dalam bentuk kubus dan benda uji yang telah siap ditentukan kuat tekannya dengan mesin tekan yang dapat diatur kecepatan penekanannya. Kecepatan penekanan dari mulai member beban sampai benda uji diatur sehingga tidak kurang dari 1 menit dan tidak lebih dari 2 menit. Kuat tekan

benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum (pada waktu benda hancur), dengan luas bidang tekan bruto, dinyatakan dalam kg/cm². Kuat tekan tadi dilaporkan masing-masing untuk setiap benda uji dan juga harga rata-rata dari 5 buah benda uji.

2.4.2 Pengujian Penyerapan Air

Untuk pengujian penyerapan air, dipakai 5 buah benda uji dalam keadaan utuh. Pengujian ini bertujuan mengetahui besar penyerapan air pada benda uji. Pengujian ini dilakukan sesuai SNI 03-0349-1989 dengan cara membandingkan berat antara benda uji pada kondisi kering dan pada kondisi basah.

2.5 Metode Analisis

2.5.1 Analisis anova

Analisis variansi (ANOVA) yang digunakan adalah analisis variansi satu arah (*one way*-ANOVA) dengan kontrol perlakuan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan stabilitas pada kondisi variasi campuran *bottom ash* pada setiap perlakuan.

Bila kita menganggap perlakuan kedua sebagai perlakuan 1, 2, 3, ... dst dengan nilai rata-rata $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots$ dst sedangkan yang tanpa campuran *bottom ash* dengan nilai rata-rata = μ_0 sebagai kontrol.

Maka hipotesis dari kejadian tersebut dapat ditulis dengan :

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \text{ dst}$$

$$H_1 : \mu_0 < \mu_1 < \mu_2 < \mu_3 \dots \text{ dst}$$

Uji ANOVA yang dipergunakan untuk menguji hipotesis nol lazim juga disebut dengan uji F. Harga F diperoleh dari rata-rata jumlah kuadrat antara kelompok yang dibagi dengan rata-rata jumlah kuadrat dalam kelompok.

Perumusan secara statistic dinyatakan sebagai berikut :

$$Z = \mu + \beta_i + \beta_{ij} + \xi_{ij}$$

dengan:

μ : nilai rata-rata

β_i : pengaruh kadar *bottom ash* ke-i

β_{ij} : pengaruh varian

ξ_{ij} : kesalahan

Hipotesis statistik yang diuji adalah

$$H_0 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$$

H_1 : paling sedikit satu pasang $\mu\alpha_i$ yang tidak sama $\neq 0$

$$H_0 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_j$$

H_1 : paling sedikit satu pasang $\mu\beta_j$, yang tidak sama $\neq 0$

Dengan:

H_0 = Hipotesis nol, yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh faktor kadar *bottom ash* terhadap parameter campuran bahan baku.

H_1 = Hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari faktor kadar *bottom ash* terhadap parameter campuran semen.

Indikator diterima atau ditolaknya hipotesis yakni apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak, begitu juga sebaliknya, apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima. Selain itu dapat dilihat dari taraf signifikan datanya. Apabila signifikansi_{hitung} $> 0,05$, maka terima H_0 . Begitu juga sebaliknya apabila signifikansi_{hitung} $< 0,05$, maka tolak H_0 .

2.5.2 Analisis regresi

Analisis regresi digunakan terutama untuk tujuan peramalan, yaitu untuk mengetahui hubungan di antara dua variabel numerik atau lebih. Dalam analisis regresi akan dikembangkan suatu persamaan regresi dengan mencari nilai variabel terikat dari variabel bebas yang diketahui. Dalam penelitian ini, variabel-variabel penyusun persamaan regresi terdiri atas satu variabel terikat dan dua variabel bebas sehingga dipilih persamaan regresi linier dengan rumus umum sebagai berikut :

$$Z_i = b_0 + b_1x$$

dengan :

Z : nilai-nilai yang diukur (variabel respon)

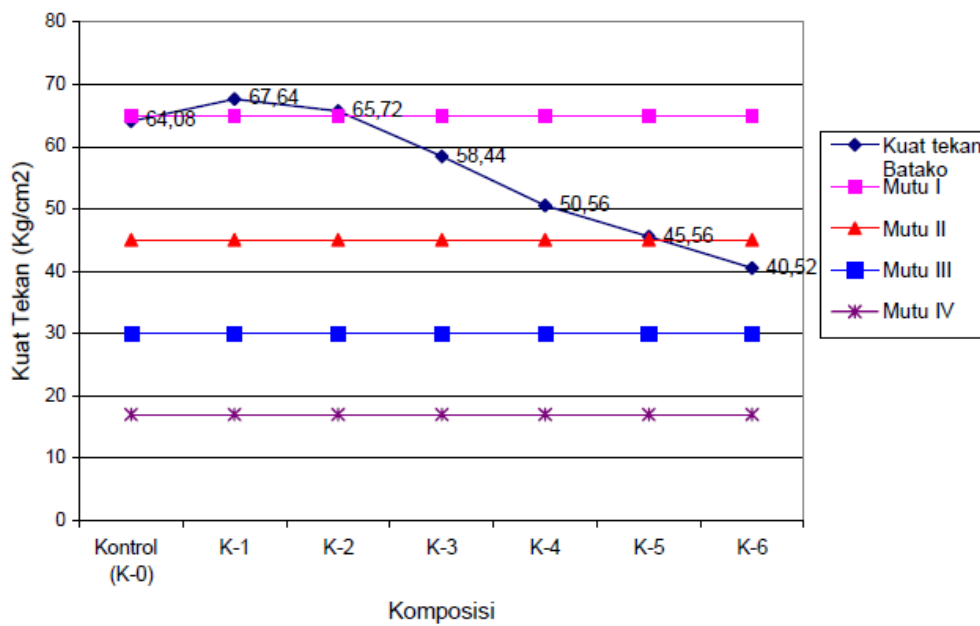
x : variasi kadar *bottom ash* (variabel penjelas)

b_0 dan b_1 = parameter yang dicari.

2.6 Penelitian Terdahulu

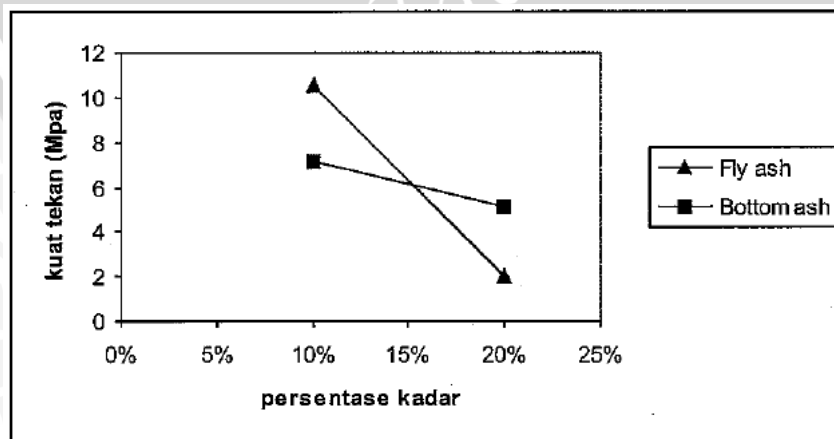
1. Misbachul Munir, 2008. Dalam penelitiannya, semen digantikan dengan *fly ash* pada proses pembuatan batako jenis *hollow block* (batako berlubang) dengan variasi campuran 5% sampai 30%. Hasilnya, didapatkan kesimpulan bahwa pencampuran *fly ash* sebagai pengganti semen mampu meningkatkan kuat tekan produk batako 5,6 % dan 2,56 % dibanding tanpa penambahan *fly ash* 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. Sedangkan kuat tekan yang paling tinggi adalah 67,64 Kg/cm², yaitu pada komposisi 1 (penggantian abu batubara 5 % dari berat semen).



Gambar 2.4 Hubungan kuat tekan dengan komposisi bahan

2. Triastuti dkk, 2006. Dalam penelitiannya, *fly ash* dan *bottom ash* digunakan sebagai bahan pengganti semen pada proses pembuatan beton ringan. Prosentase penggunaan bervariasi dari 10% hingga 20% dari total semen. Hasil yang didapatkan, pada pengujian tekan saat beton berumur 28 hari kuat tekan dengan campuran *fly ash* sebesar 10% adalah 10,55 Mpa dan pada campuran sebesar 20% adalah 2,02 Mpa. Sedangkan pada *bottom ash*, campuran 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 7,14 Mpa dan campuran 20% menghasilkan kuat tekan sebesar 4,14 Mpa.



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Persentase Kadar.

2.7 Hipotesis

Setelah mempelajari tinjauan pustaka mengenai batako, semen dan *bottom ash*, maka dapat diambil hipotesis awal penelitian sebagai berikut:

1. *Bottom ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti semen pada batako karena dapat menambah kekuatan tekan.
2. *Bottom ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti semen pada batako karena dapat mengurangi penyerapan air.

