

repository.ub.ac.id

**PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI
SEMEN TERHADAP KUAT LENTUR DAN IMPERMEABILITAS
GENTENG BETON**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

Dimas Setyo Yuliandoko

NIM. 0810610009

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

MALANG

2012

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT LENTUR DAN IMPERMEABILITAS GENTENG BETON

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

DIMAS SETYO YULIANDOKO

NIM. 0810610009-61

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT

NIP. 19751122 199903 1 003

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS

NIP. 19511211 198103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT LENTUR DAN IMPERMEABILITAS GENTENG BETON

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

DIMAS SETYO YULIANDOKO
NIM. 0810610009-61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 6 Agustus 2012

DOSEN PENGUJI :

Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT

NIP. 19751122 199903 1 003

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS

NIP. 19511211 198103 2 001

Ir. Ristinah S., MT

NIP. 19491227 197603 2 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sugeng Pravitno Budio, MS

NIP. 19610125 198601 1 001

PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dimas Setyo Yuliandoko

NIM : 0810610009

Jurusan : Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul:

“PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT LENTUR DAN IMPERMEABILITAS GENTENG BETON”

Dalam sepengetahuan saya sampai saat membuat surat pernyataan ini, di dalam skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi. Serta tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dari daftar pustaka

Apabila terdapat dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Sarjana Teknik) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, Agustus 2012

Mahasiswa

Dimas Setyo Yuliandoko

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT LENTUR DAN IMPERMEABILITAS GENTENG BETON”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata 1 (S1) di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak dan pada kesempatan ini penulis dengan tulus dan ikhlas ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Ir. Sugeng P. Budio, MS selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
2. Ir. Siti Nurlina, MT selaku Sekretaris Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
3. Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng selaku Dosen Wali.
4. Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Prof.Dr.Ir. Sri Murni Dewi, MS selaku Dosen Pembimbing II.
6. Seluruh staff dan keluarga besar Sipil terutama teman-teman angkatan 2008, serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu itu sangat mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun.

Akhirnya penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak.

Malang, Agustus 2012

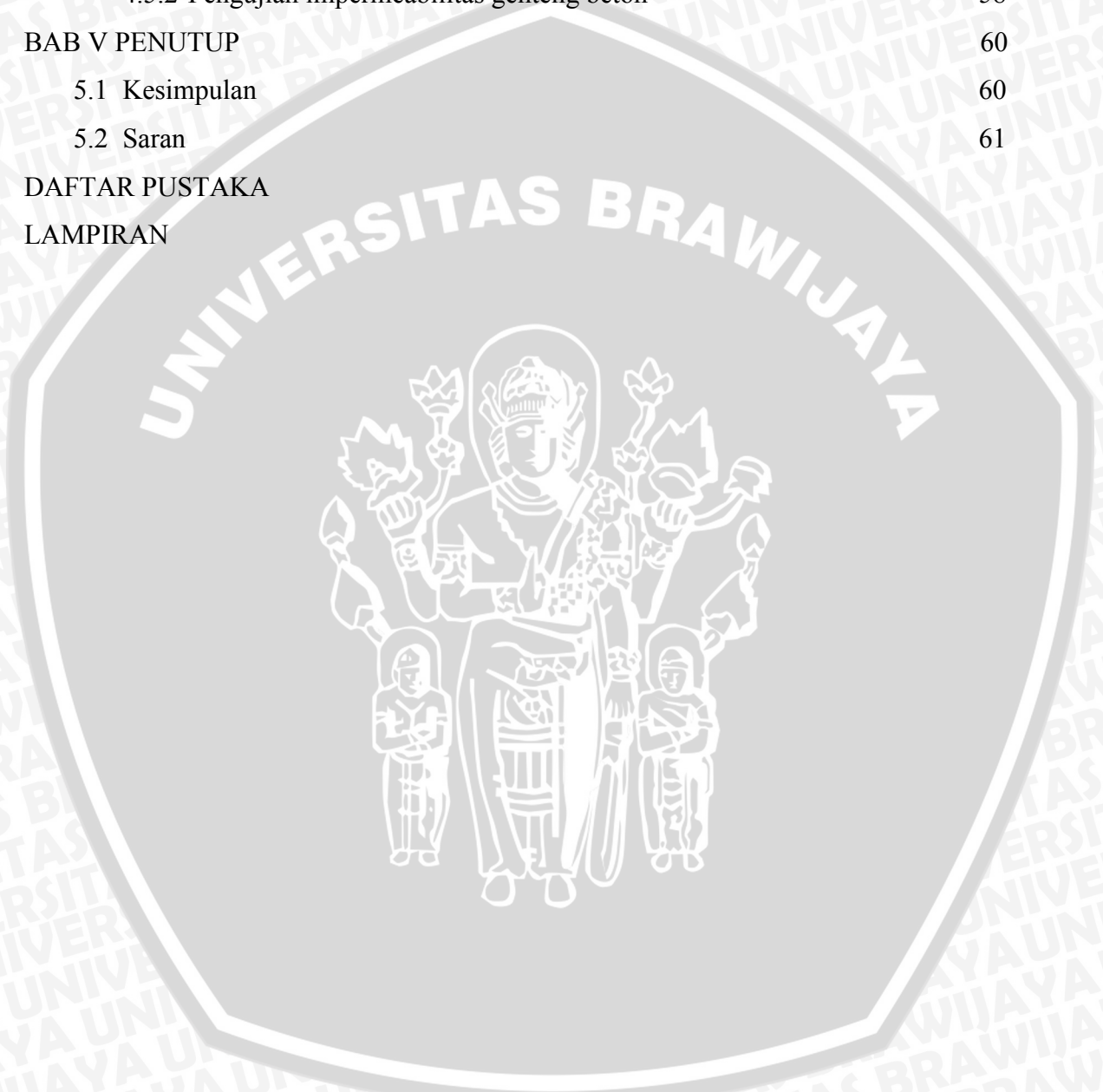
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Bottom Ash	6
2.2 Genteng Beton	8
2.2.1 Proses pembuatan genteng beton	9
2.2.2 Jenis genteng beton	9
2.3 Bahan-Bahan Penyusun Genteng Beton	10
2.3.1 Semen	10
2.3.2 Agregat halus	12
2.3.3 Air	13
2.4 Pengujian Bahan Dasar	14
2.4.1 Analisis gradasi agregat halus	14
2.4.2 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus	14
2.5 Pengujian Genteng Beton	15
2.5.1 Pengujian kuat lentur genteng beton	15
2.5.2 Pengujian impermeabilitas genteng beton	15
2.6 Penelitian Terdahulu	16
2.6.1 Penelitian terdahulu tentang <i>bottom ash</i> dan pemanfaatannya	16
2.6.2 Penelitian terdahulu tentang genteng	19

2.7	Perumusan dan Pengujian Hipotesis	19
2.7.1	Pengujian hipotesis	19
2.7.2	Langkah-langkah pengujian hipotesis	21
2.8	Hipotesis Penelitian	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2	Variabel Penelitian	23
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	23
3.3.1	Alat penelitian	23
3.3.2	Bahan penelitian	24
3.4	Pengujian Bahan Dasar Penelitian	24
3.4.1	Analisis gradasi agregat halus	24
3.4.2	Analisis berat jenis dan penyerapan air agregat halus	25
3.5	Rancangan penelitian	26
3.6	Pelaksanaan Penelitian	27
3.6.1	Pengujian kuat lentur genteng beton	27
3.6.2	Pengujian impermeabilitas genteng beton	28
3.7	Analisis Data	29
3.7.1	Analisis varian	29
3.7.2	Analisis Regresi	31
3.7.3	Uji hipotesis nilai rata-rata	31
3.8	Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Hasil Pengujian Bahan Dasar	35
4.1.1	Pengujian gradasi agregat halus	35
4.1.2	Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus	36
4.2	Proses Pembuatan Genteng Beton	36
4.2.1	Penentuan berat genteng beton	36
4.2.2	Penentuan berat komposisi benda uji	36
4.2.3	Pencampuran bahan dan pembuatan benda uji	37
4.3	Pengujian Genteng Beton	39
4.3.1	Pengujian kuat lentur genteng beton	39
4.3.2	Pengujian impermeabilitas genteng beton	41

4.4 Hasil Pengujian Genteng Beton	42
4.4.1 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton	42
4.4.2 Hasil pengujian impermeabilitas genteng beton	45
4.5 Analisis Data	45
4.5.1 Pengujian kuat lentur genteng beton	45
4.5.2 Pengujian impermeabilitas genteng beton	58
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Bottom ash</i> dari PLTU Rembang, Jawa Tengah.	6
Gambar 2.2 Tipe pembakaran <i>dry bottom boiler</i> dengan elektrostatis precipitator.	7
Gambar 2.3 (a)Genteng beton <i>flat</i> , (b)Genteng beton bergelombang (garuda).	9
Gambar 2.3 (b)Genteng beton bergelombang (garuda).	9
Gambar 2.4 Sampel dari <i>cenocell</i> yang dibuat dengan variasi komposisi kimia dan waktu <i>curing</i> .	16
Gambar 2.5 Perbandingan kuat lentur dan prosentase <i>bottom ash</i> pada mortar.	17
Gambar 2.6 Perbandingan kuat tekan dan prosentase <i>bottom ash</i> pada mortar.	17
Gambar 2.7 Perbandingan kuat tekan dan <i>curing time</i>	18
Gambar 3.1 Tampak isometris skema uji kuat lentur untuk genteng beton	28
Gambar 3.2 Tampak isometris skema uji ketahanan terhadap rembesan (impermeabilitas).	29
Gambar 4.1 Grafik lengkung ayakan pasir zona 2.	35
Gambar 4.2 <i>Bottom ash</i> yang telah ditimbang.	37
Gambar 4.3 Proses pencampuran bahan-bahan dasar.	37
Gambar 4.4 Pelumas untuk genteng beton.	38
Gambar 4.5 Proses pencetakan genteng beton dengan mesin hidrolis.	38
Gambar 4.6 Rak untuk penyimpanan dan pengeringan benda uji.	39
Gambar 4.7 Alat uji lentur untuk genteng beton.	40
Gambar 4.8 Proses pengujian kuat lentur genteng beton.	40
Gambar 4.9 Proses pengujian impermeabilitas genteng beton	41
Gambar 4.10 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton normal.	42
Gambar 4.11 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 10% <i>bottom ash</i> .	43
Gambar 4.12 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 20% <i>bottom ash</i> .	43
Gambar 4.13 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 30% <i>bottom ash</i> .	43
Gambar 4.14 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 40% <i>bottom ash</i> .	44
Gambar 4.15 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 50% <i>bottom ash</i> .	44
Gambar 4.16 Kuat lentur rata-rata genteng beton.	44
Gambar 4.17 Analisis regresi polinomial non linier	48
Gambar 4.18 Daerah tolakan I.	52
Gambar 4.19 Daerah tolakan II.	53
Gambar 4.20 Daerah tolakan III.	53

Gambar 4.21 Daerah tolakan IV.	54
Gambar 4.22 Daerah tolakan V.	54
Gambar 4.23 Daerah tolakan VI.	55
Gambar 4.24 Daerah tolakan VII.	55
Gambar 4.25 Kuat lentur rata-rata genteng beton.	56



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hasil Pengujian Kimia <i>Bottom Ash</i> dari PLTU Rembang, Jawa Tengah	7
Tabel 2.2 Perbandingan Komposisi Kimia <i>Bottom Ash</i> , <i>Fly Ash</i> , dan Semen	8
Tabel 2.3 Ukuran Genteng Beton dalam Perdagangan	10
Tabel 2.4 Spesifikasi Genteng Beton Jenis Rata (<i>Flat</i>) dan Bergelombang (<i>Garuda</i>)	10
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Semen Gresik, Semen Portland Pozolan	12
Tabel 2.6 Gradasi Agregat Halus	14
Tabel 2.7 Karakteristik Beban Lentur Genteng Minimal	15
Tabel 2.8 Jenis Kesalahan Menolak dan Menerima Hipotesis Nol	20
Tabel 3.1 Perhitungan Berat Benda Uji	26
Tabel 3.2 Variasi Komposisi <i>Bottom Ash</i> -Semen	27
Tabel 3.3 Analisis Ragam	30
Tabel 4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	36
Tabel 4.2 Kebutuhan Semen dan <i>Bottom Ash</i>	37
Tabel 4.3 Beban Lentur Genteng Beton	42
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton	45
Tabel 4.5 Beban Lentur Maksimum Genteng Beton	46
Tabel 4.6 Tabel Anova	46
Tabel 4.7 Perhitungan Regresi Polinomial Non Linier	47
Tabel 4.8 Karakteristik Beban Lentur	56
Tabel 4.9 Impermeabilitas Genteng Beton	59

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data Gradasi Agregat Halus	L-1.1
Lampiran 2 Kalibrasi <i>Proving Ring</i> untuk Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton	L-2.1
Lampiran 3 Hasil Uji Kimia <i>Bottom Ash</i>	L-3.1
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton Normal	L-4.1
Lampiran 5 Grafik Lendutan Akibat Beban Lentur	L-5.1
Lampiran 6 Data Impermeabilitas Genteng Beton	L-6.1
Lampiran 7 Dokumentasi	L-7.1
Lampiran 8 Tabel Distribusi F untuk Probabilitas 0,05	L-8.1
Lampiran 9 Tabel Distribusi T untuk Probabilitas 0,05	L-9.1
Lampiran 10 Uji Anova	L-10.1



RINGKASAN

Dimas Setyo Yuliandoko, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2012, *Pemanfaatan Bottom Ash sebagai Bahan Pengganti Semen terhadap Kuat Lentur dan Impermeabilitas Genteng Beton*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT dan Prof.Dr.Ir. Sri Murni Dewi, MS

Produksi semen dunia telah menyumbang tujuh persen gas rumah kaca (CO₂) atau sekitar 1,5 miliar ton pada tahun 1995 (*International World Energy Outlook*). Jumlah ini akan terus bertambah seiring berkembangnya industri semen di dunia. *Bottom ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan oleh PLTU. Limbah ini mempunyai komposisi kimia yang hampir sama dengan semen. Menindak lanjuti hal tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah *bottom ash* bisa digunakan sebagai bahan pengganti semen sehingga bisa berperan serta mengurangi pemanasan global dan pencemaran lingkungan secara tidak langsung.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat lentur dan impermeabilitas dari sebuah produk yang dalam hal ini adalah genteng beton. Proporsi *bottom ash* yang digunakan adalah 0%,10%,20%,30%,40%, dan 50% dari berat semen, dengan jumlah masing-masing perlakuan benda uji adalah 10 buah untuk uji kuat lentur dan 3 buah untuk uji impermeabilitas (sesuai SNI 0096:2007). Jenis genteng beton yang digunakan adalah tipe rata (*flat*) dengan dimensi 420 mm x 330 mm.

Dari hasil penelitian dan uji statistik dapat disimpulkan bahwa kuat lentur rata-rata yang dihasilkan genteng beton tidak mengalami penurunan pada proporsi *bottom ash* 0%-30%, sementara pada proporsi 30%-50% terjadi penurunan yang signifikan. Adapun karakteristik beban lentur yang dihasilkan baik genteng beton normal maupun dengan *bottom ash* masih berada di bawah yang ditetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI 0096:2007) yaitu 1200 N. Proporsi optimum dari uji lentur diperoleh pada proporsi *bottom ash* 19,60%. Untuk pengujian impermeabilitas genteng beton, semua perlakuan genteng beton baik yang normal maupun dengan *bottom ash* tahan terhadap rembesan (tidak ada air yang menetes).

Kata kunci: Genteng beton, *bottom ash*, kuat lentur, impermeabilitas

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semen tidak hanya berperan penting dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil, tetapi juga berperan sebagai penyumbang gas karbondioksida yang tergolong besar di dunia. Dijelaskan dalam harian (Sinar Harapan, 29 Oktober 2001) bahwa, dalam Konferensi Bumi yang diselenggarakan di Rio de Janeiro, Brasil tahun 1992 dan di Kyoto, Jepang tahun 1997 dinyatakan bahwa emisi gas rumah kaca ke atmosfer yang tak terkendali tidak bisa lagi diterima dari sudut pandang kepentingan sosial dan kelestarian lingkungan dalam kerangka pembangunan yang berkelanjutan. Gas rumah kaca yang menjadi sorotan utama adalah gas karbon dioksida karena jumlahnya yang jauh lebih besar dari gas lainnya seperti oksida nitrat dan metan. Dalam produksi satu ton semen Portland, akan dihasilkan sekitar satu ton gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Dari data tahun 1995, jumlah produksi semen di dunia tercatat 1,5 miliar ton. Hal ini berarti industri semen melepaskan karbon dioksida sejumlah 1,5 miliar ton ke alam bebas. Menurut *International Energy Authority: World Energy Outlook*, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 miliar ton. Angka itu menunjukkan produksi semen portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida yang dihasilkan berbagai sumber. Tampaknya proporsi ini akan terus bertahan atau bahkan meningkat sesuai dengan peningkatan produksi semen kalau tidak ada perubahan berarti dalam teknologi produksi semen atau didapatkan bahan pengganti semen.

Indonesia terkenal akan sumber daya alamnya yang melimpah, salah satunya adalah batubara. Jumlah sumber daya batubara Indonesia tahun 2005 berdasarkan perhitungan pusat Sumber daya Geologi, Departemen Energi dan Sumber daya mineral adalah sebesar 61,366 miliar ton. Sumber daya batubara tersebut tersebar di 19 provinsi (Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2006). Keberadaannya yang melimpah berbanding lurus dengan adanya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batubara sebagai sumber energinya, yang mana akan terus berkembang. Proses pembakaran batubara menghasilkan banyak produk sisa/ buangan atau yang dikenal dengan limbah batubara.

Bottom ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran pada pembangkit listrik tenaga uap. Secara kimiawi *bottom ash* memiliki kesamaan dengan *fly ash* yang mana sering digunakan untuk pengganti semen. Menurut (Prabandiyani S., 2008) penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian berat semen pada umumnya terbatas pada *fly ash* kelas F. *Fly ash* tersebut dapat menggantikan semen sampai 30% berat semen yang dipergunakan dan dapat menambah daya tahan dan ketahanan terhadap bahan kimia. Berdasarkan hal di atas maka perlu dilakukan penelitian mengenai apakah *bottom ash* dapat juga berperan sebagai pengganti semen seperti halnya pada *fly ash*. Hal ini didasarkan pada uji kandungan senyawa yang dilakukan pada *bottom ash* dari PLTU Rembang, Jawa Tengah yang diuji di Laboratorium Jurusan Kimia Fakultas Mipa Universitas Brawijaya, diketahui bahwa *bottom ash* tersebut mempunyai komposisi kimia yang hampir sama dengan *fly ash* dan semen. Di samping itu, Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Herni Khaerunnisa, 2007) yang berjudul “Toksitas Abu Terbang dan Abu Dasar PLTU Batubara yang berada di Sumatra dan Kalimantan secara Biologi”, setelah melalui tahapan-tahapan dalam penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa keseluruhan uji hayati contoh abu batubara tersebut terhadap kutu air, ikan mas, dan mencit memberikan hasil bahwa bahan-bahan uji tersebut relatif tidak berbahaya bagi makhluk hidup.

Genteng ialah unsur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap, agar bangunan tidak terkena air hujan, panas matahari, dan lainnya. Genteng merupakan salah satu unsur penting dalam suatu bangunan. Meskipun ada bangunan berlantai tinggi yang tidak menggunakan genteng sebagai penutup atap, tetapi sebagian besar perumahan di Indonesia masih menggunakan penutup atap ini. Hal ini dikarenakan biaya yang lebih terjangkau, selain itu juga dari segi estetika yang mana sampai saat ini sudah banyak berkembang varian dari genteng itu sendiri. Ada beberapa macam genteng penutup atap yang disebutkan dalam Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI-1982), diantaranya genteng keramik, genteng beton, genteng kaca, dan genteng bambu. (Kardiyono, 1995)

Genteng beton adalah unsur bangunan yang dipergunakan untuk atap terbuat dari campuran merata antara semen Portland atau sejenisnya dengan agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan pigmen (SNI 0096-2007). Genteng ini tidak memerlukan proses pembakaran seperti halnya pada genteng keramik, dikarenakan adanya semen yakni dengan sifatnya yang mengeras bila bereaksi dengan air. Dengan

mengacu pada penjelasan tersebut dapat diartikan bahwa semen merupakan bagian penting pada proses pembuatan genteng beton.

Penelitian terdahulu berkaitan dengan pemanfaatan limbah sebagai bahan alternatif campuran telah banyak dilakukan. Salah satunya adalah pemanfaatan lumpur lapindo sebagai pengganti tanah liat pada genteng, dengan prosentase terhadap tanah liat antara 30–70% (Widodo A.W., 2008). Selain itu juga pemanfaatan limbah industri piropilit sebagai campuran dalam pembuatan genteng dengan prosentase terhadap tanah liat antara 0-30% (Kharisma I.S., 2011). Dari kedua penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa bahan-bahan tersebut ternyata dapat dijadikan alternatif campuran dalam pembuatan genteng.

Berdasarkan uraian-uraian di atas, penulis mencoba untuk melakukan penelitian mengenai pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen pada pembuatan genteng beton terhadap sifat mekanik/kualitas yang dihasilkan, yang dalam penelitian ini dibatasi pada kekuatan menahan beban lentur (kuat lentur) dan ketahanan terhadap rembesan (impermeabilitas). Sehingga ke depannya, pemanfaatan *bottom ash* ini diharapkan bisa menjadi produk ramah lingkungan yang bermanfaat, terutama bagi industri genteng beton skala besar maupun rumah tangga sehingga bisa menekan biaya produksi dengan mengurangi penggunaan semen.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Semen sebagai salah satu penyumbang gas karbondioksida yang besar dikhawatirkan akan berdampak pada lingkungan di masa mendatang, sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi penggunaan semen dengan cara mencari bahan alternatif pengganti semen.
2. Perlunya upaya untuk mengurangi dampak pemanasan global akibat perusakan lingkungan, penggunaan sumber daya alam secara terus-menerus, sehingga muncul gagasan untuk membuat produk-produk yang bersifat *green technology* dengan cara memanfaatkan sisa-sisa/limbah yang tidak terpakai supaya mempunyai nilai guna dan ekonomis.
3. Kekhawatiran terhadap keberadaan dari bahan baku genteng beton khususnya semen, yang mana sebagian besar dari unsur pembentuk semen berasal dari alam, sehingga

apabila digunakan secara terus menerus akan berkurang dan habis di masa mendatang.

4. Besarnya jumlah limbah yang dihasilkan oleh PLTU, terutama limbah abu, yang mana bisa mencemari lingkungan apabila tidak ditangani dan dikelola dengan baik.
5. Bottom ash yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki komposisi kimia yang sama dengan *fly ash* yang sering dipakai sebagai pengganti sebagian berat semen, yakni mengandung unsur senyawa Silika dan Kalsium dalam jumlah yang besar.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada di atas, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen pada pembuatan genteng beton ditinjau dari kuat lentur dan impermeabilitas yang dihasilkan?
2. Berapakah proporsi *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur genteng beton yang masih memenuhi standar?
3. Berapakah proporsi *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap impermeabilitas genteng beton yang masih memenuhi standar?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berfokus pada tujuan yang ingin dicapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan pengganti semen yang digunakan yaitu berupa *bottom ash* yang berasal dari limbah PLTU di Rembang, Jawa Tengah.
2. Agregat halus yang digunakan untuk komposisi campuran dengan *bottom ash* adalah agregat yang dipakai pada industri rumah tangga genteng yang ditinjau. Dalam hal ini menggunakan pasir lumajang.
3. Komposisi *bottom ash* yang dipakai untuk campuran pembuatan genteng beton adalah 0% dan maksimum 50%.
4. Standar kuat lentur dan impermeabilitas genteng beton adalah sesuai dengan SNI 0096:2007.
5. Genteng beton yang digunakan adalah genteng beton buatan industri rumah tangga yang ditinjau.

6. Spesifikasi ukuran genteng beton berdasarkan standar industri rumah tangga yang ditinjau.
7. Proses pembuatan genteng beton dilakukan oleh industri rumah tangga yang ditinjau.
8. Pengujian dilakukan setelah genteng beton berumur 28 hari dan dinyatakan siap oleh Industri pakai oleh industri rumah tangga yang ditinjau.
9. Pembahasan dititik beratkan pada pengaruh pemanfaatan *bottom ash* terhadap kualitas genteng beton yang ditinjau.
10. Pembahasan dibatasi seputar analisis hasil percobaan, tidak membahas reaksi kimia dari *bottom ash*.
11. Perubahan sifat *bottom ash* akibat proses pengangkutan dari tempat asalnya tidak mempengaruhi proses-proses penelitian yang akan berlangsung.
12. *Bottom ash* sebagai pengganti semen dalam hal ini ditinjau dari komposisi kimia penyusunnya, tidak meninjau dari sifat fisik.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen pada pembuatan genteng beton ditinjau dari kuat lentur dan impermeabilitas yang dihasilkan.
2. Untuk mengetahui proporsi *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur genteng beton yang masih memenuhi standar.
3. Untuk mengetahui proporsi *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap impermeabilitas genteng beton yang masih memenuhi standar.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan pengetahuan kepada peneliti, praktisi, dan produsen genteng beton mengenai pemanfaatan limbah yang selama ini tidak terpakai yaitu *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen pada genteng beton, sehingga bisa mengurangi biaya produksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bottom Ash*

Bottom ash merujuk pada bagian yang tidak terbakar dari batubara atau material lain dan umumnya menempel pada bagian bawah atau tembok tungku pembakaran yang ditemukan setelah pembakaran/ insinerasi. Sebagian abu yang terbang dari proses pembakaran melalui cerobong asap disebut dengan *fly ash*.

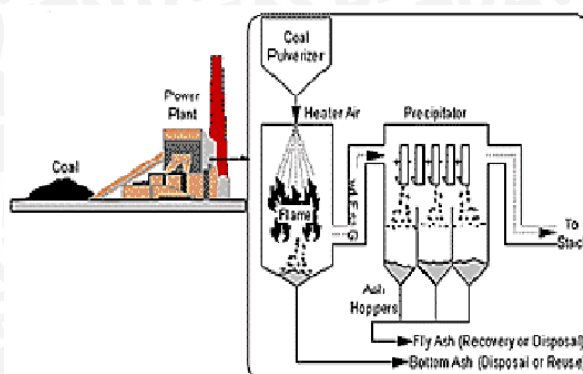
Bottom ash dapat didaur ulang menjadi bahan konstruksi jalan atau menjadi semen atau beton. Bahan ini banyak dipergunakan di London untuk pembangunan rumah susun di tahun 1960. (id.wikipedia.org/wiki/Abu_padat, diakses 10 April 2012)



Gambar 2.1 *Bottom ash* dari PLTU Rembang, Jawa Tengah.

Fly ash dan *bottom ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga tipe pembakaran batubara pada Industri listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace*.

Apabila batubara dibakar dengan tipe *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*, di mana 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. Tipe yang paling umum untuk pembakaran batubara adalah pembakaran *dry bottom* seperti dapat dilihat pada **Gambar 2.2** (Prabandiyani S., 2008:6).



Gambar 2.2 Tipe pembakaran *dry bottom boiler* dengan elektrostatis precipitator. (Sumber: Prabandiyani S., 2008:6)

Limbah batubara ternyata bisa digunakan sebagai campuran bahan baku atau bahkan bahan alternatif untuk pengganti semen. Pemanfaatan limbah batu bara sebagai bahan bangunan non-struktural seperti batako, paving block, atau bata press dan juga sebagai substitusi parsial semen dalam pembuatan beton telah dilakukan oleh industri. (Setyawan A., dkk, 2009:2)

Bottom ash dan *boiler slag* terdiri dari senyawa dasar berupa silika, alumina, dan besi, dengan prosentase lebih kecil yang terdiri dari kalsium, magnesium, sulfat, dan senyawa lain. Komposisi dari partikel *bottom ash* atau *boiler slag* pada dasarnya dikendalikan oleh sumber dari batubara, bukan dari jenis tungku.

Berdasarkan hasil pengujian *bottom ash* dari PLTU Rembang yang diuji di laboratorium Mipa Universitas Brawijaya diperoleh data-data seperti yang tercantum pada **Tabel 2.1** di bawah ini.

Tabel 2.1 Hasil Pengujian Kimia *Bottom Ash* dari PLTU Rembang, Jawa Tengah

No	Ko de.	Para- meter	Hasil Analisis		Metode	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1	B	Si	29.40±0.03	%	Aquaregia	Gravimetri
2	B	Al	0.2576±0.0001	%	Aquaregia- Aluminon	Spektrofotometri
3	B	Fe	590.33±0.89	Ppm	HNO ₃	AAS
4	B	Mg	1.17±0.00	%	HNO ₃	AAS
5.	B	Ca	14.55±6.13	%	HNO ₃	AAS

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium FMIPA UB, Malang, Jawa Timur)

Adapun perbandingan komposisi kimia dari *bottom ash*, *fly ash*, dan Semen (Portland Pozolan) dapat dilihat pada **Tabel 2.2** di bawah ini.

Tabel 2.2 Perbandingan Komposisi Kimia *Bottom Ash*, *Fly Ash*, dan Semen

Parameter	<i>Bottom Ash</i> ⁽¹⁾	<i>Fly Ash</i> ⁽²⁾	Semen PPC ⁽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/layanpelanggan/komposisi_pengujian.php, diakses pada tanggal 10 April 2012)

Unsur senyawa Si dan Ca merupakan unsur dengan prosentase yang terbesar. Unsur-unsur ini adalah unsur utama dari semen, sehingga berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa *bottom ash* tersebut memiliki kesamaan sifat kimia dengan semen.

2.2 Genteng Beton

Genteng ialah unsur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap, agar bangunan tidak terkena air hujan, panas matahari, dan lainnya (Nurlina S., 2008). Jenis genteng di pasaran ada berbagai macam, diantaranya genteng tanah liat, genteng keramik, genteng kaca, genteng baja (logam), genteng aspal, dan genteng beton. (Kardiyono, 2005)

Genteng beton adalah unsur bangunan yang dipergunakan untuk atap terbuat dari campuran merata antara semen portland atau sejenisnya dengan agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan pigmen. (SNI 0096:2007)

Genteng beton, menurut perusahaan pembuatnya pertama di Indonesia sering juga dinamakan genteng Monier. Ciri-ciri genteng beton adalah ukuran yang lebih besar

daripada genteng tanah liat. Pada dua sisi memanjang ada alur yang letaknya berlawanan arah sehingga bila disusun genteng tersebut akan saling bertangkapan/ menutup. Permukaannya yang rata biasanya dilapisi cat genteng sehingga tidak tembus air. (Frick H., dkk, 1999:107)

2.2.1 Proses pembuatan genteng beton

Bahan mentah adalah semen portland, pasir yang diayak perlahan-lahan dengan ayakan $\emptyset 1.9$ mm dan air. Pasir dan semen portland dicampur dalam keadaan kering (campuran 1:3–1:4) kemudian dicampur dengan air sehingga terdapat campuran yang plastis. Adukan tersebut dimasukkan cetakkan (dengan tekanan 17.5N/mm^2). Keluar dari cetakan, genteng beton diangin-anginkan selama 24 jam, kemudian selama 7 hari ditempatkan dalam gudang penyimpanan. Setelah 28 hari diadakan pengujian terhadap bunyi, perembesan air, dan beban lentur sebelum dijual. (Frick H., dkk, 1999:108)

2.2.2 Jenis genteng beton

Secara umum, genteng beton di pasaran dibedakan menjadi dua jenis, yaitu rata (*flat*) dan bergelombang (*garuda*), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3** (Salah satu Industri di daerah Malang, Jawa Timur).



(a)

(b)

Gambar 2.3 (a)Genteng beton *flat*, (b)Genteng beton bergelombang (*garuda*).
(Sumber: Salah satu Industri di Malang, Jawa Timur)

Adapun ukuran genteng beton dalam perdagangan dapat dilihat pada **Tabel 2.3 dan 2.4**.

Tabel 2.3 Ukuran Genteng Beton dalam Perdagangan

Bagian	Ukuran genteng beton	Keterangan
Panjang berguna (Jarak reng)	350 mm	Penyimpangan harus > 6 mm
Panjang genteng	425 mm	
Lebar berguna	300 mm	
Lebar genteng	330 mm	
Kaitan: tinggi	13 mm	
panjang	30 mm	
lebar	21 mm	
Bobot	4.4 kg/genteng	

(Sumber: Frick H., dkk, 1999:108)

Tabel 2.4 Spesifikasi Genteng Beton Jenis Rata (*Flat*) dan Bergelombang (*Garuda*)

	Rata	Bergelombang
Panjang genteng	420 mm	390 mm
Lebar genteng	330 mm	290 mm
Jarak reng	350 mm	320 mm

(Sumber: Salah satu Industri di Malang, Jawa Timur)

2.3 Bahan-Bahan Penyusun Genteng Beton

2.3.1 Semen

Semen merupakan bahan bangunan yang dibuat dari batu kapur dan tanah liat yang telah mengalami proses kalsinasi (proses pemanasan suatu benda hingga temperaturnya tinggi, tetapi masih di bawah titik lebur untuk menghilangkan kandungan yg dapat menguap) sampai menjadi bubuk yang halus. Semen umumnya telah tersedia di seluruh dunia, akan tetapi kualitasnya berbeda-beda di tiap-tiap tempat. Satuan ukuran dari semen biasanya 94 94-lbs (1 ft³) atau 50-Kg per bag (33liter).

Semen seharusnya selalu digunakan sesegera mungkin setelah pembelian, jika tidak maka perlu disimpan di atas lantai di ruangan yang kering, yang terlindung dengan baik dari air hujan. Ketika sudah mulai muncul kerak di permukaan kantong semen, kerak tersebut harus dibuang karena dapat menurunkan kekuatan dari campuran apabila

nanti digunakan. Kantong semen harus ditumpuk sedemikian rupa sehingga kantong semen yang lebih lama ditumpuk akan bisa digunakan terlebih dahulu. (Rollins C., dkk, 2005)

Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu: 1). Semen non-hidrolik dan 2). Semen hidrolik. Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur. Sedangkan semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozolan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portland pozolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen ekspansif. Contoh lainnya adalah semen portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus. (Mulyono T., 2004:20-22)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland pozolan. Hal ini dikarenakan semen ini banyak dan umum digunakan di lapangan. Semen portland pozolan adalah suatu semen hidrolik yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan.

Sementara pozolan itu sendiri adalah bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

Jenis dan penggunaan semen portland pozolan antara lain:

1. Jenis IP-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.
2. Jenis IP-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis P-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.

4. Jenis P-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

(SNI 15-0302-2004)

Adapun untuk syarat mutu dari semen portland pozolan adalah sesuai dengan SNI 15-0302-2004. Sebagai contoh adalah hasil uji kimia dari semen gresik dapat dilihat pada **Tabel 2.5** di bawah ini.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Semen Gresik, Semen Portland Pozolan

Jenis Pengujian	SNI 15 0302-2004		ASTM	Hasil Pengujian
	PPC Tipe IP-U	PPC Tipe IP-K	C595-03 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	-	-	-	58.66
Magnesium Oksida (CaO)%	≤ 6.00	≤ 6.00	≤ 6.00	0.90
Sulfur Trioksida (MgO)%	≤ 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

(Sumber: <http://www.semen.web44.net/v.2.0/layananpelanggan/komposisipengujian.php>, diakses pada tanggal 14 Mei 2012)

2.3.2 Agregat halus

Agregat halus adalah pengisi yang berupa pasir, agregat yang terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. (Istimawan Dipohusodo, 1999)

Menurut (Amri S., 2005:10) Yang dimaksud dengan agregat halus yaitu agregat yang memiliki ukuran butir dari 0.075 – 4.8 atau 5 mm.

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. (PBBI 1971 N.I.-2:23)

Dalam pembuatan genteng beton, agregat yang digunakan adalah agregat halus. Hal ini dikarenakan genteng harus bisa tahan terhadap rembesan air, terutama air hujan. Oleh karena itu agregat yang digunakan haruslah mampu menutup pori dari genteng itu sendiri, maka dari itu digunakan agregat yang memiliki ukuran butir lebih kecil dari 4.75 mm.

Berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971 N.I.-2), sesuai dengan syarat-syarat pengawasan mutu agregat untuk berbagai mutu beton, maka agregat halus harus memenuhi satu, beberapa atau semua syarat-syarat sebagai berikut:

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat harus dicuci.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak.
4. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus memenuhi syarat-syarat berikut:
 - a. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% dari berat;
 - b. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% dari berat;
 - c. Sisa di atas ayakan 0.25 mm, harus berkisar antara 80% dan 95% dari berat;
5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

2.3.3 Air

Air merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan genteng beton, karena merupakan sebagai pencampuran antara agregat halus yaitu pasir dan semen. Tanpa air, semen tidak dapat berfungsi sebagai perekat. Adapun beberapa persyaratan yang ditentukan dalam Peraturan Umum untuk Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI 1970 N I-3) :

1. Air tawar yang dapat diminum.
2. Air sungai yang tidak mengandung lumpur yang cepat mengendap.
3. Air yang tidak mengandung minyak dan benda-benda yang mengapung.
4. Air yang beraksi netral terhadap kertas lakmus.
5. Air yang tidak mengandung:
 - a. Sulfat, lebih dari 5 g/liter dihitung sebagai SO_3 .
 - b. Chlorida, lebih dari 15 g/liter, dihitung sebagai Cl.
6. Air yang tidak memerlukan kalium permanganate (K.Mn.O_4) lebih dari 1000 mg/liter untuk mengoksidasi benda-benda organik di dalamnya.

2.4 Pengujian Bahan Dasar

2.4.1 Analisis gradasi agregat halus

Analisis gradasi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus. Agregat halus yang digunakan harus memenuhi standar ASTM dan SK SNI T-15 1990-03 dalam campuran mortar, dan juga menentukan pembagian butir gradasi (gradasi) agregat halus. Untuk lebih jelas mengenai gradasi agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2.6** di bawah ini.

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Halus

Lubang	Prosentase Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
Ayakan (mm)				
9.500	100	100	100	100
4.760	90-100	90-100	90-100	95-100
2.380	65-95	75-100	85-100	95-100
1.190	30-70	55-90	75-100	90-100
0.590	15-34	35-59	60-79	80-100
0.297	5-20	8-30	12-40	15-50
0.149	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber: SK SNI-T-15-1990-03)

2.4.2 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus.

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 terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen. (SK SNI M-10-1989-F)

2.5 Pengujian Genteng Beton

Genteng beton memiliki peraturan yang menjelaskan mengenai syarat-syarat dan pengujian yang terdapat pada SNI 0096:2007. Untuk menghasilkan genteng yang baik dan kontrol terhadap mutu genteng, maka genteng harus memenuhi persyaratan dan pengujian sesuai yang disyaratkan.

2.5.1 Pengujian kuat lentur genteng beton

Kuat lentur genteng yang dimaksudkan adalah kemampuan genteng beton menahan beban lentur yang disyaratkan sesuai standar. Berdasarkan SNI 0096-2007, genteng beton harus mampu menahan beban lentur minimal seperti yang disebutkan pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Karakteristik Beban Lentur Genteng Minimal

Tinggi profil (mm)	Genteng interlok						Genteng non interlok
	Profil				Rata		
	T > 20		20 ≥ t ≥ 5		T < 5		
Lebar penutup (mm)	≥ 300	≤ 200	≥ 300	≤ 200	≥ 300	≤ 200	
Beban lentur (N)	2000	1400	1400	1000	1200	800	550

(Sumber: SNI 0096-2007)

2.5.2 Pengujian impermeabilitas genteng beton

Pada pengujian ini, disyaratkan bahwa tidak boleh ada tetesan air dari permukaan bawah genteng dalam waktu 20 jam ± 5 menit.

2.6 Penelitian Terdahulu

2.6.1 Penelitian terdahulu tentang *bottom ash* dan pemanfaatannya

Penelitian terdahulu dengan memanfaatkan limbah batu bara, khususnya *bottom ash* telah banyak dilakukan, diantaranya:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Mulalo Doyoyo, asisten profesor dari George Institute of Technoloy yang ditulis dalam jurnal yang berjudul “*New Coal Ash Use: Strong, Lightweight Alternative Concrete Without Cement*”. Dalam penelitiannya, dihasilkan sebuah material alternatif yang diberi nama *cenocell*. *Cenocell* dihasilkan dari campuran limbah abu batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) yang direaksikan dengan bahan kimia organik, tanpa menggunakan semen atau agregat (pasir dan batu) dan digunakan dalam pembuatan beton. Berbeda dengan beton pada umumnya, beton yang dibuat dari material ini tidak memerlukan waktu *curing* yang panjang untuk mencapai kekuatan yang maksimum.

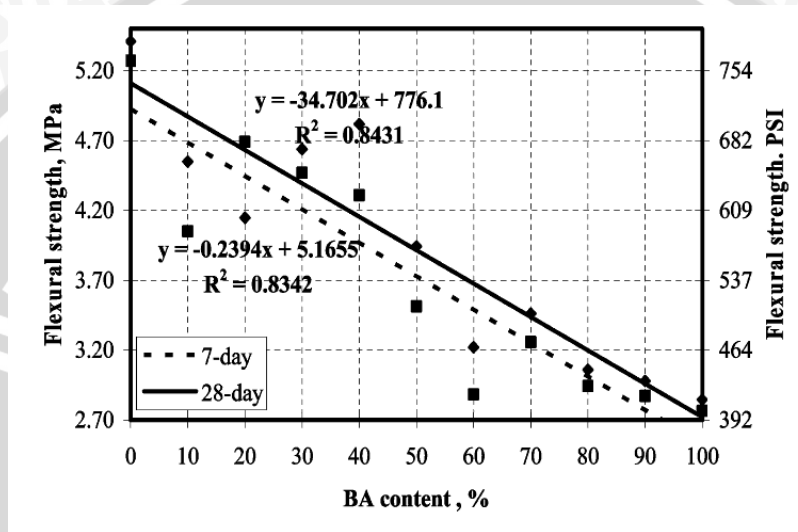


Gambar 2.4 Sampel dari *cenocell* yang dibuat dengan variasi komposisi kimia dan waktu *curing*.

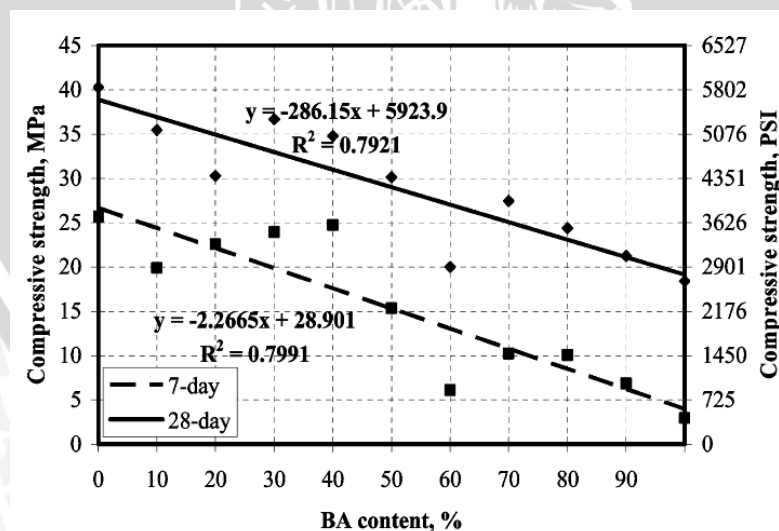
(Sumber: Toon J., 2009)

2. Penelitian yang dilakukan oleh Ilker Bekir Topcu dan Turhan Bilir yang berjudul “*Effect of Bottom Ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars*”. Dalam penelitian tersebut digunakan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada mortar dengan prosentase mulai dari 0%-100% dari berat agregat halus. Untuk pengujian berat satuan, kecepatan rambat ultrasonic, lentur, kuat tekan, dan perubahan panjang akibat penyusutan bebas adalah menggunakan benda uji prismatis berukuran 40x40x160 mm dan 25x25x285 mm untuk masing-masing pengujian. Sedangkan untuk modulus elastisitas digunakan benda uji kubus berukuran

150x150x150 mm. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin besar prosentase *bottom ash* yang digunakan, retak susut yang terjadi juga akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan *bottom ash* lebih bisa mengisi pori dalam mortar dibandingkan dengan pasir. Akan tetapi berbanding terbalik dengan kuat tekan dan kuat lentur yang dihasilkan. Semakin besar prosentase *bottom ash* yang digunakan pada mortar maka kuat tekan dan kuat lentur pada mortar tersebut mengalami penurunan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5 dan 2.6** di bawah ini.

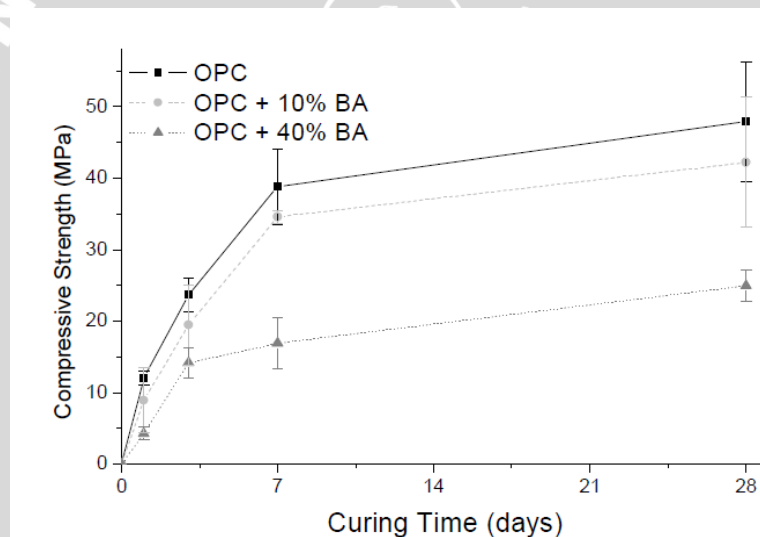


Gambar 2.5 Perbandingan kuat lentur dan prosentase *bottom ash* pada mortar. (Sumber: Bekir I., dkk, 2010)



Gambar 2.6 Perbandingan kuat tekan dan prosentase *bottom ash* pada mortar. (Sumber: Bekir I., dkk, 2010)

3. Penelitian yang dilakukan oleh Mark Whittaker, Rachel Taylor, Shuangxin Li, dan Dr. Leon Black dari Inggris yang berjudul “*The Effects of Bottom Ash as a Partial Cement Replacement*”. Penelitian tersebut dilatarbelakangi oleh melimpahnya produksi semen di UK sehingga potensi CO₂ yang dilepas di udara dan mencemari lingkungan sangatlah tinggi. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi apakah *bottom ash* sebagai salah satu limbah padat dari industri semen dapat digunakan sebagai pengganti semen sebagian. Penelitian ini menggunakan mortar dengan bentuk kubus ukuran 50 mm. Prosentase *bottom ash* yang digunakan adalah 10% dan 40%, sementara semen yang digunakan adalah OPC (*Ordinary Portland Cement*). Salah satu yang diuji dalam penelitian ini adalah kuat tekan dari mortar tersebut dalam waktu perawatan yang berbeda-beda seperti grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 2.7** di bawah ini.



Gambar 2.7 Perbandingan kuat tekan dan *curing time* (Sumber: Whittaker M., dkk)

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh kesimpulan bahwa pada awal-awal proses *curing time*, baik benda uji dengan 10% maupun 40% *bottom ash* mengalami kenaikan kuat tekan. Perbedaan besar antara keduanya terjadi pada saat hari ke 28. Kuat tekan dari benda uji dengan 40% *bottom ash* jauh lebih kecil dari benda uji dengan 10% *bottom ash*. Hal ini disebabkan tidak hanya karena kuantitas dari semen yang berkurang, tetapi juga peningkatan yang cukup besar dari FAS (Faktor Air Semen) sehingga menghasilkan benda uji yang lebih bersifat *porous*. Kesimpulan lain yang diperoleh dari penelitian ini adalah *bottom ash* masih dapat digunakan

untuk menggantikan semen dalam jumlah kecil, meskipun masih diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai durabilitasnya.

2.6.2 Penelitian terdahulu tentang genteng

Penelitian yang dilakukan oleh Ian Shandy Kharisma (2011) yang berjudul “Pemanfaatan Material Piropilit untuk Meningkatkan Beban Lentur Genteng Produksi Wagir Kabupaten Malang”. Pada penelitian ini digunakan material piropilit sebagai campuran tanah liat dalam pembuatan genteng. Prosentase piropilit yang digunakan adalah 0%-30% dari berat tanah liat. Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa temperatur yang kurang tinggi dari yang diterapkan dan genteng yang tidak termasuk dalam ketentuan SNI menjadikan kesimpulan dari penelitian tersebut bahwa terdapat pengaruh sangat nyata penggunaan piropilit terhadap beban lentur maksimum genteng. Penambahan piropilit yang diharapkan dapat menaikkan beban lentur maksimum genteng normal (tanah liat biasa) justru mengurangi beban lentur maksimum genteng normal. Penurunan beban lentur maksimum genteng ditemui pada semua komposisi penambahan piropilit yaitu pada komposisi 10%, 20%, dan 30%.

2.7 Perumusan dan Pengujian Hipotesis

Hipotesis merupakan suatu asumsi atau anggapan yang bisa benar atau salah mengenai sesuatu hal dan dibuat untuk menjelaskan sesuatu hal tersebut sehingga memerlukan pengecekan lebih lanjut.

Bila hipotesis yang dibuat itu secara khusus berkaitan dengan parameter populasi, maka hipotesis itu disebut hipotesis statistik, yang secara lengkap didefinisikan sebagai berikut.

Hipotesis statistik adalah suatu asumsi atau anggapan atau pernyataan yang mungkin benar atau mungkin salah mengenai parameter satu populasi atau lebih.

Untuk mengetahui apakah asumsi yang telah kita buat mengenai parameter populasi itu benar atau salah sehingga kita akan memutuskan menerima atau menolak hipotesis, diperlukan pengujian dengan memakai data dari sampel. (Boediono, dkk, 2001)

2.7.1 Pengujian hipotesis

Dalam pengujian hipotesis dikenal dua jenis kesalahan, yaitu kesalahan jenis I dan kesalahan jenis II. Kesalahan jenis I adalah kesalahan akibat menolak hipotesis nol,

padahal hipotesis nol benar, sehingga sesungguhnya harus diterima. Kesalahan jenis II adalah kesalahan akibat menerima hipotesis nol, padahal hipotesis nol salah, sehingga sesungguhnya harus ditolak.

Probabilitas melakukan kesalahan jenis I disebut taraf nyata atau taraf keberartian atau taraf signifikansi yang ditulis α , yaitu $\alpha = P(\text{kesalahan jenis I}) = P(\text{menolak } H_0/H_0 \text{ benar})$. Probabilitas melakukan kesalahan jenis II disebut β (baca:beta), yaitu: $\beta = P(\text{kesalahan jenis II}) = P(\text{menerima } H_0/H_0 \text{ salah})$.

Hubungan antara hipotesis nol, keputusan, jenis kesalahan, dan probabilitas melakukan jenis kesalahan secara ringkas disajikan pada **Tabel 2.8** di bawah ini.

Tabel 2.8 Jenis Kesalahan Menolak dan Menerima Hipotesis Nol

Keputusan	Keadaan yang sesungguhnya	
	Hipotesis Nol (H_0) Benar	Hipotesis Nol (H_0) salah
Menolak H_0	Keputusan Salah (Jenis I) $\alpha = P(\text{kesalahan jenis I})$	Keputusan tepat $K = 1 - \beta$
Tolak H_0	Keputusan tepat $1 - \alpha$	Keputusan salah (jenis II) $\beta = P(\text{kesalahan jenis II})$

(Sumber: Boediono, dkk, 2001)

Oleh karena α menyatakan probabilitas menolak H_0 padahal sesungguhnya H_0 benar, maka kita mengharapkan nilai α ini sekecil mungkin. Dengan kata lain, kejadian melakukan kesalahan jenis I sangat jarang sekali. Sebab tidaklah pantas sesuatu yang sesungguhnya benar kita tolak. Begitu juga dengan β yang menyatakan probabilitas menerima H_0 padahal sesungguhnya H_0 salah, maka kita menginginkan nilai β ini sekecil mungkin. Dengan kata lain, kejadian melakukan kesalahan jenis II sangat jarang terjadi. Sebab tidak pantas juga sesuatu yang salah kita terima. Namun dalam kenyataannya, memperkecil atau membuat α dan β sekecil mungkin secara sekaligus tidaklah mungkin. Karena ternyata ada hubungan antara α dengan β , yaitu memperkecil nilai α akan mengakibatkan membesarnya nilai β . Demikian sebaliknya, bila nilai β diperkecil akan mengakibatkan membesarnya nilai α . Usaha untuk memperkecil nilai α dan β dapat dilakukan dengan memperbesar banyaknya sampel, makin besar sampel, maka nilai α dan β akan semakin kecil.

Dalam praktek pengujian hipotesis, nilai-nilai α yang biasa dipakai adalah $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,02$, dan sebagainya. Bila dipakai taraf signifikansi $\alpha = 0,05$,

misalnya, maka ini artinya kira-kira sebanyak 5 dari setiap 100 kasus bahwa kita akan menolak hipotesis nol (H_0) padahal H_0 itu benar sehingga seharusnya diterima. Dengan kata lain, ada keyakinan sebesar 95% bahwa kita telah membuat keputusan atau kesimpulan yang benar.

Untuk setiap pengujian dengan memakai nilai α tertentu, kita dapat menghitung nilai β . Nilai $K = 1 - \beta$ disebut kuasa uji. Ternyata bahwa nilai β ini bergantung pada nilai parameter populasi, yaitu θ , sehingga β dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi, yaitu $\beta(\theta)$, yang disebut fungsi ciri operasi, disingkat C.O dan $K = 1 - \beta(\theta)$ disebut fungsi kuasa. (Boediono, dkk, 2001)

2.7.2 Langkah-langkah pengujian hipotesis

Berikut ini beberapa langkah umum yang perlu ditempuh dalam proses pengujian hipotesis secara statistika (Vincent Gasperz, 1991):

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0), serta hipotesis alternatif (H_1) yang relevan dengan permasalahan yang akan diuji.
2. Memiliki taraf nyat pengujian sebesar α , dengan besaran α tergantung pada penguji seberapa besar tingkat kesalahan yang dapat diterima. Besaran α dipilih misalnya 0,01; 0,05; atau 0,10.
3. Memilih uji statistik yang sesuai dengan hipotesis yang akan diuji, Dalam penelitian, kita dapat menggunakan pendekatan uji nyata (*the test of significance approach*) atau pendekatan selang kepercayaan (*the confidence interval approach*), karena kedua pendekatan ini memberikan kesimpulan pengujian yang sama.
4. Menghitung nilai statistik dari contoh acak berukuran n , serta menentukan distribusi peluang dari nilai statistik.
5. Membuat keputusan berdasarkan kriteria berikut:
 - a. Jika menggunakan uji nyata, maka tolak H_0 apabila nilai uji berada dalam daerah kritis, selain itu terima H_0 .
 - b. Jika menggunakan selang kepercayaan $(1 - \alpha)100\%$, maka tolak H_0 apabila parameter hipotesis (nilai parameter di bawah hipotesis nol, H_0) tidak berada atau tidak terletak dalam selang kepercayaan, sedangkan terima H_0 apabila selang kepercayaan mencakup nilai parameter hipotesis atau nilai parameter hipotesis terletak dalam selang kepercayaan bagi parameter populasi.

2.8 Hipotesis Penelitian

Dari analisis yang telah diuraikan di atas mengenai genteng beton, bahan dan sifatnya, serta sifat *bottom ash* yang ada maka dapat diambil hipotesis awal penelitian sebagai berikut:

1. Tidak ada pengaruh pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen pada genteng beton ditinjau dari kuat lentur dan impermeabilitas yang dihasilkan.
2. Pada proporsi tertentu *bottom ash* sebagai pengganti semen pada genteng beton, kuat lentur yang dihasilkan masih memenuhi standar.
3. Pada proporsi tertentu *bottom ash* sebagai pengganti semen pada genteng beton, impermeabilitas yang dihasilkan masih memenuhi standar.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan benda uji dilakukan di pabrik pembuatan genteng di salah satu Industri Genteng Beton di daerah Malang, Jawa Timur. Sedangkan untuk penelitian dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Mei – Juli.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang dipergunakan antara lain :

1. Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan secara bebas oleh peneliti, sesuai dengan konsep penelitian yang ditetapkan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah prosentase pencampuran *bottom ash* sebesar 10%, 20%,30%, 40%, dan 50% dari berat semen yang akan dibuat genteng beton.
2. Variabel terikat (tak bebas) adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat lentur genteng beton dan ketahanan terhadap rembesan (*impermeabilitas*).

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat penelitian

1. Alat ukur (Mistar dan jangka sorong)
2. Timbangan dan neraca
3. Satu set ayakan : 9,52 mm (3/8"); 4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8); 1,18 mm (no.16); 0,6 mm (no.30); 0,3 mm (no.50); 0,15 mm (no.100); 0,075 mm (no.200)
4. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu dengan kapasitas (100± 5)°C.
5. Alat pemisah contoh (cawan)
6. Mesin pengguncang saringan
7. Talam- talam dan kuas
8. Piknometer kapasitas 500 ml
9. Kerucut terpancung
10. Batang penumbuk
11. Mesin uji lentur

12. Perekat/*Sealant*
13. Kerangka uji (*frame*) untuk uji rembesan air
14. Pisau penumpu berdimensi 2,5x6 cm dengan ujung tumpul
15. Pisau pembeban dengan dimensi 2,5x6 cm dengan bagian ujung diberi bantalan karet
16. Seng tipis
17. Gunting Seng

3.3.2 Bahan penelitian

1. *Bottom ash* sebagai campuran semen yang telah diuji kimia (dari PLTU Rembang, Jawa Tengah).
2. Pasir sebagai agregat halus (dari daerah Lumajang, Jawa Timur)
3. Semen Portland Pozolan dari Semen Gresik yang telah memenuhi standar SNI 15-0302-04 dan ASTM C 150-02a.
4. Air bersih yang memenuhi PUBI 1970 N.I.-3

3.4 Pengujian Bahan Dasar Penelitian

Pengujian bahan dasar yang dilakukan diprioritaskan pada agregat halus. Hal ini dikarenakan pasir merupakan bahan bentukan alam yang mempunyai karakteristik yang tidak dapat diprediksi. Adapun untuk *bottom ash*, dikarenakan dalam penelitian ini sebagai pengganti semen tanpa meninjau dari sifat fisik, maka pengujian yang dilakukan adalah berupa pengujian komposisi kimia yang mana sudah dilakukan sebelumnya di laboratorium FMIPA Universitas Brawijaya Malang.

3.4.1 Analisis gradasi agregat halus

Adapun langkah kerja pada pengujian gradasi agregat halus antara lain:

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Menimbang bahan pasir seberat 1 kg, kemudian memasukkan ke dalam oven dengan suhu 110°C sampai berat tetap.
3. Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Mengamati dan mencatat hasil pengujian.

3.4.2 Analisis berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Bahan yang digunakan adalah pasir seberat 500 gram yang lolos saringan no.4 (4,75 mm).

Adapun pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap. Kemudian mendinginkan pada suhu ruang lalu merendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
3. Membuang air preadam, lalu menebarkan agregat di atas talem, mengeringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Melakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh (ssd).
4. Memeriksa kondisi ssd dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung, memadatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali lalu mengangkat kerucut. Keadaan ssd tercapai bila benda uji runtuh tapi masih dalam keadaan tercetak.
5. Setelah kondisi ssd tercapai, memasukkan 500 gr benda uji ke dalam piknometer, memasukkan air suling sampai 90% isi piknometer, memutar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
6. Merendam piknometer dalam air dan mengukur suhu air untuk penyesuaian hitungan pada suhu standar 25°C .
7. Menambahkan air sampai tanda batas.
8. Menimbang piknometer berisi air dan benda uji sampai dengan ketelitian 0.1 gr (B_i).
9. Mengeluarkan benda uji, mengeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, lalu mendinginkan benda uji dalam desikator. Setelah dingin, lalu menimbang benda uji tersebut (B_k).
10. Menentukan berat piknometer berisi air penuh dan mengukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 25°C (B).

Perhitungan :

B_k = berat benda uji kering oven (gr).

B = berat piknometer berisi air (gr).

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air (gr).

500 = berat benda uji dalam keadaan ssd (gr).

Tabel 3.1 Perhitungan Berat Benda Uji

	Bk (gr)	B (gr)	Bt (gr)
Pasir X ke I	xxx	xxx	xxx
Pasir X ke II	xxx	xxx	xxx

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \quad (3-1)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{(B+500-Bt)} \quad (3-2)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \quad (3-3)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3-4)$$

3.5 Rancangan penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk menguji kuat lentur, dan ketahanan terhadap rembesan (impermeabilitas) dari genteng beton dengan komposisi agregat yang normal dengan penambahan *bottom ash* sebagai campuran bahan pengganti semen. Komposisi normal dari genteng yang ditinjau adalah 1 semen : 3 pasir dan air secukupnya. Sementara komposisi penambahan *bottom ash* dalam penelitian ini mempunyai nilai prosentase yang berbeda-beda terhadap berat semen untuk tiap perlakuan. Perbedaan ini dilakukan supaya memperoleh komposisi yang optimal campuran antara semen, *bottom ash*, agregat, dan air yang dalam hal ini untuk menghasilkan nilai kuat lentur dan kemampuan menahan terhadap rembesan yang lebih baik dibandingkan dengan genteng beton normal. Berikut ini prosentase penambahan *bottom ash*, jumlah benda uji tiap perlakuan, dan tabel variasi komposisi pasir dengan *bottom ash*.

1. Prosentase penambahan *bottom ash* sebagai pengganti semen pada campuran genteng beton masing-masing perlakuan adalah 0%, 10%-50% dari berat semen.
2. Jumlah benda uji untuk setiap perlakuan sebanyak 20 benda uji dengan rincian:
 - a. Sampel untuk pengujian beban lentur adalah masing-masing 10 buah tiap perlakuan yang diambil secara acak. (SNI 0096:2007)
 - b. Sampel untuk pengujian ketahanan terhadap rembesan adalah masing 3 buah tiap perlakuan yang diambil secara acak. (SNI 0096:2007)
 - c. Sampel untuk mengantisipasi kegagalan dalam pengujian adalah 7 buah masing-masing perlakuan.

Dari rincian tersebut, diperoleh jumlah total rencana sampel uji adalah 120 buah. Untuk lebih jelasnya mengenai rencana sampel penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Variasi Komposisi *Bottom Ash*-Semen

Perlakuan	Prosentase (%)		Jumlah benda uji (Buah)
	<i>Bottom ash</i>	Semen	
Normal	0	100	20
I	10	90	20
II	20	80	20
III	30	70	20
IV	40	60	20
V	50	50	20
			120

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang meliputi pengujian kuat lentur dan impermeabilitas dilakukan sesuai prosedur yang ada pada SNI 0096:2007. Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Tiap-tiap sampel mendapatkan perlakuan yang sama pada saat pengujian.

3.6.1 Pengujian kuat lentur genteng beton

Adapun langkah kerja pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkondisikan benda uji masing-masing sebanyak 10 buah tiap perlakuan dalam ruangan bersuhu antara 15°C–30°C dan kelembaban relatif minimum 40 %;
2. Meletakkan benda uji diatas pisau penumpu pada mesin uji sehingga pisau pembebanan berada ditengah-tengah pisau penumpu dengan jarak tumpu 2/3 panjang genteng;
3. Meletakkan bantalan karet diantara papan penekan dengan genteng seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**;
4. Melakukan pembebanan dengan penambahan beban yang tetap dengan kecepatan pembebanan maksimum 108 N/detik (10.8 kg/detik) hingga genteng patah;
5. Mencatat beban maksimum setiap genteng dengan ketelitian 10 N (1 kg);
6. Menghitung karakteristik beban lentur :

$$F_c = F - 1,64 \times S_d \quad (3-5)$$

Dengan :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F)^2}{n-1}} \quad (3-6)$$

F_c = karakteristik beban lentur, N

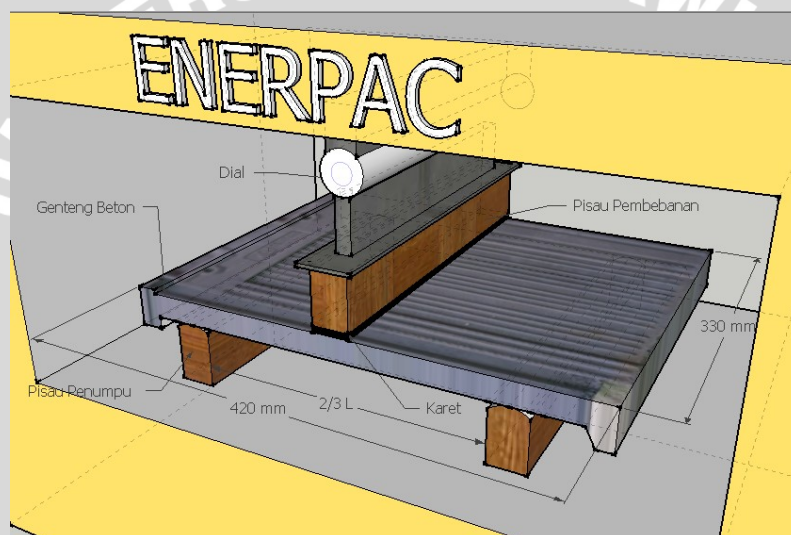
F = beban lentur rata-rata, N

F_i = beban lentur masing-masing benda uji, N

S_d = standar deviasi

n = jumlah benda uji

Adapun skema pengujian beban lentur adalah seperti pada **Gambar 3.1** berikut ini.



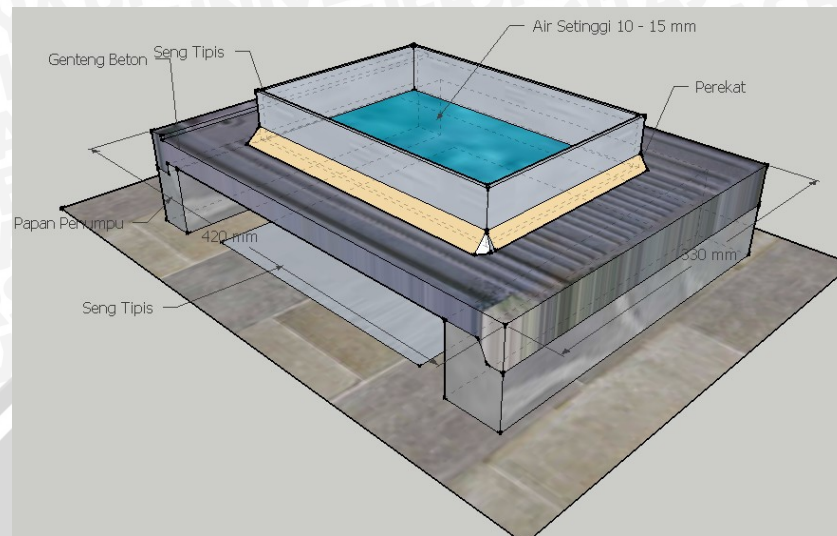
Gambar 3.1 Tampak isometris skema uji kuat lentur untuk genteng beton

3.6.2 Pengujian impermeabilitas genteng beton

Langkah kerja dari pengujian ini adalah sebagai berikut

1. Menyiapkan benda uji sebanyak 3 buah tiap-tiap perlakuan;
2. Meletakkan genteng (benda uji) pada rangka uji;
3. Meletakkan seng tipis yang sudah dibentuk sedemikian rupa mengelilingi sebagian permukaan benda uji berbentuk persegi panjang sesuai **Gambar 3.2**, kemudian memberi lapisan pasta penambal (*sealant*) pada sekeliling seng tipis;
4. Menuangkan air setinggi 10 mm - 15 mm dari permukaan atas benda uji;
5. Membiarkan benda uji selama 20 jam \pm 5 menit, dalam suhu ruangan berkisar 15°C hingga 30°C dan kelembaban relatif 40 %;

6. Mencatat ada atau tidak adanya tetesan air yang jatuh pada permukaan cermin/plastik (kedap air);



Gambar 3.2 Tampak isometris skema uji ketahanan terhadap rembesan (impermeabilitas).

3.7 Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah secara statistik yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur dan ketahanan terhadap rembesan. Adapun proses analisisnya adalah sebagai berikut:

3.7.1 Analisis varian

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 statistik 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,

H_1 = Hipotesis alternatif

Tabel 3.3 Analisis Ragam

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	F-hitung
Perlakuan	JKP	$db_{perlakuan}$	KTP	$\frac{KTP}{KTG}$
Galat	JKG	db_{galat}	KTG	
Total	JKT	db_{total}		

Keterangan:

T_i = Jumlah masing-masing perlakuan

\bar{T}_i = rata-rata masing-masing perlakuan

$$\Sigma Y = T_1 + T_2 + \dots + T_i$$

m = Total banyaknya perlakuan

n = Total banyaknya pengamatan

x = banyaknya sampel tiap perlakuan (3-8)

$$db_{perlakuan} = m - 1 \quad (3-9)$$

$$db_{total} = n - 1 \quad (3-10)$$

$$db_{\text{galat}} = db_{\text{total}} - db_{\text{perlakuan}} \quad (3-11)$$

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{(\Sigma Y)^2}{n} \quad (3-12)$$

$$JKT = \Sigma Y^2 - FK \quad (3-13)$$

$$JKP = \left(\frac{\Sigma T_1^2}{x_1} + \frac{\Sigma T_2^2}{x_2} + \dots + \frac{\Sigma T_i^2}{x_i} \right) - FK \quad (3-14)$$

$$JKG = JKT - JKP \quad (3-15)$$

$$KTP = \frac{JKP}{m-1} \quad (3-16)$$

$$KTG = \frac{JKG}{m(x-1)} \quad (3-17)$$

$$F\text{-hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad (3-18)$$

F-hitung \geq F-tabel, maka tolak H_0

F-hitung \leq F-tabel, maka terima H_0

3.7.2 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 berganda dengan rumus umum sebagai berikut :

$$Z_i = b_0 + b_1x + b_2x^2$$

dengan:

Z = nilai-nilai yang diukur (variabel respon)

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

b_0 , b_1 , dan b_2 = parameter yang dicari.

3.7.3 Uji hipotesis nilai rata-rata

Statistik uji yang dipakai untuk menguji hipotesis:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

atau

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

atau

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 < \mu_2$$

Adalah statistik t, yaitu:

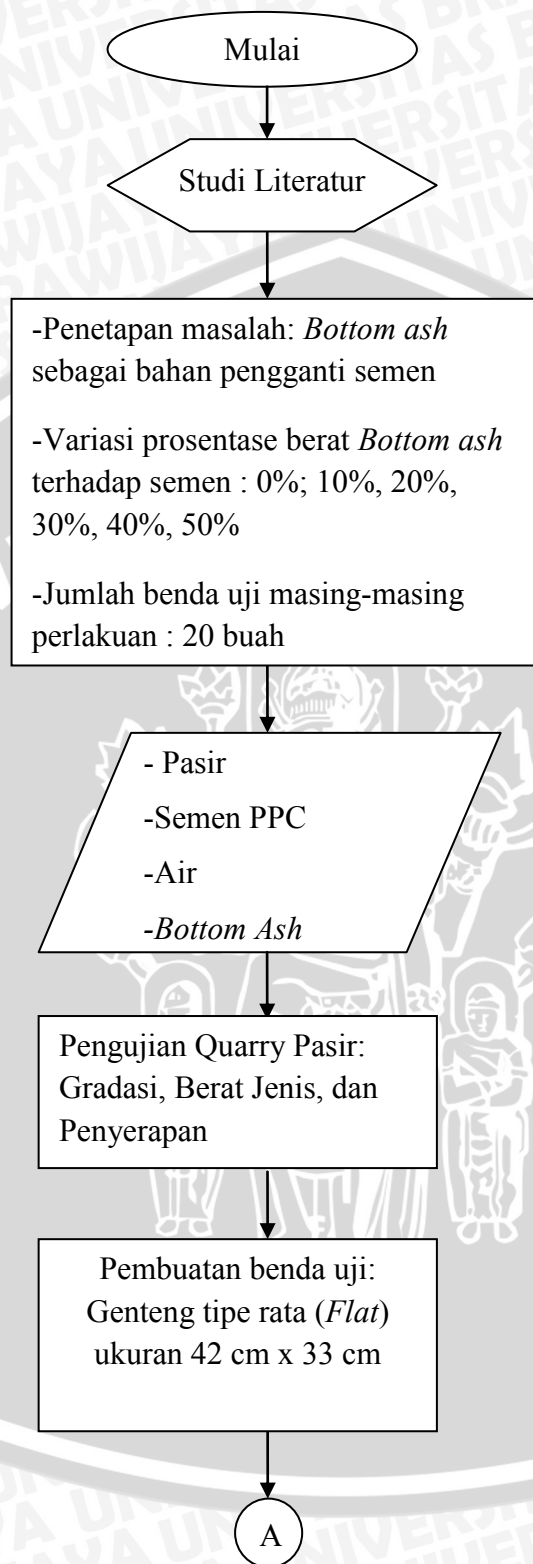
$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} \quad (3-17)$$

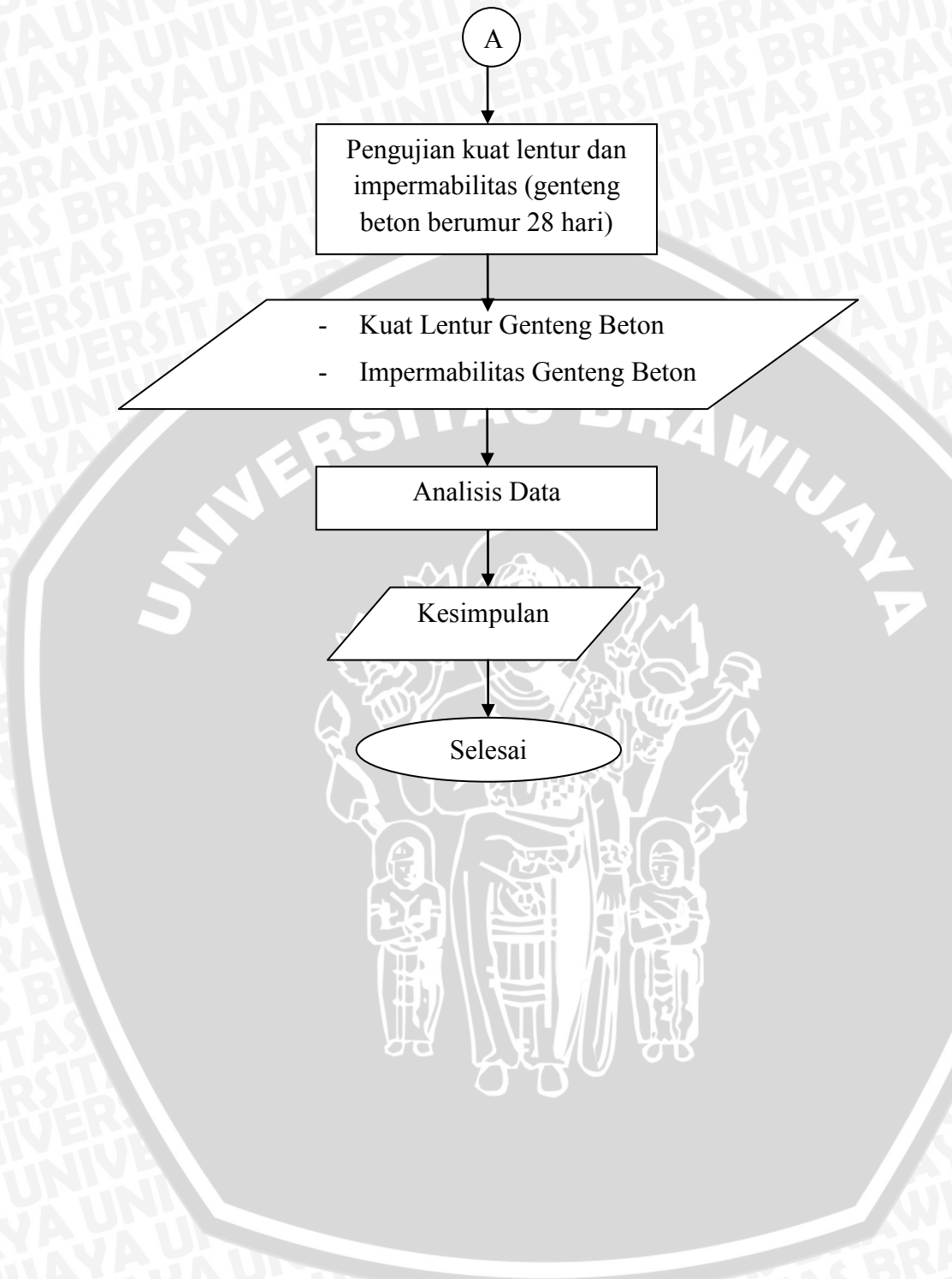
dengan:

sd = standar deviasi yang mana nilainya sama dengan persamaan (3-6).



3.8 Diagram Alir Penelitian



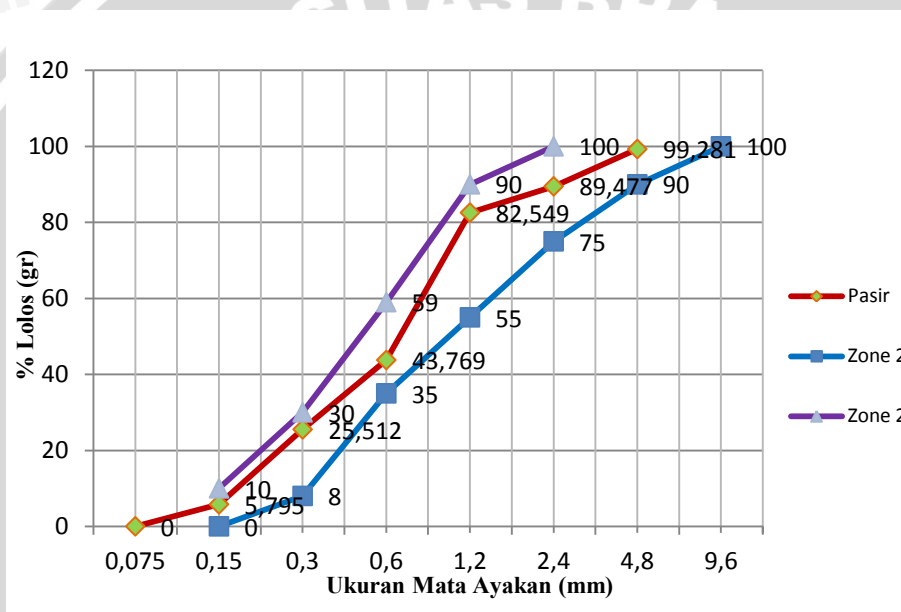


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan Dasar

4.1.1 Pengujian gradasi agregat halus

Pengujian gradasi agregat halus didasarkan SK SNI T-15 1990-03, yaitu dengan menggunakan satu set ayakan : 9,52 mm (3/8”); 4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8); 1,18 mm (no.16); 0,6 mm (no.30); 0,3 mm (no.50); 0,15 mm (no.100); 0,075 mm (no.200). Dari pengujian tersebut didapatkan hasil yang diplotkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.1 Grafik lengkung ayakan pasir zona 2.

Sementara untuk perhitungan yang lain diperoleh :

1. Modulus kehalusan pasir sebesar 2,536.
2. Sisa di atas ayakan 4 mm = 0,72 % , minimum 2% berat
3. Sisa di atas ayakan 1 mm = 17,45 % , minimum 10% berat
4. Sisa di atas ayakan 0,25 mm = 74,49 % , berkisar antara 80 – 95% berat
5. Kadar lempung (berat butiran pasir lebih dari 0,063 mm) = 7,734 %.
6. Agregat halus masuk zona 2.

Kesimpulan :

1. Modulus kehalusan pasir memenuhi standar ASTM C-33, yaitu antara 2,3 – 3,1.

2. Pasir yang digunakan kurang memenuhi standar Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI 1971) sehingga kurang cocok untuk campuran beton.
3. Kadar lempung melebihi dari yang ditentukan dalam PBI 1971 yakni 5 %, sehingga agregat perlu dicuci.
4. Pasir tergolong jenis pasir yang agak kasar.

4.1.2 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Nomor contoh	A	B	Rata-rata
Berat jenis curah $B_k/(B+500-B_t)$	2.136	2.072	2.104
Berat jenis jenuh kering permukaan $500/(B+500-B_t)$	2.220	2.166	2.193
Berat jenis semu $B_k/(B+B_k-B_t)$	2.333	2.288	2.310
Penyerapan air $[(500-B_k)/B_k] \times 100\%$	3.95 %	4.56 %	4.25 %

4.2 Proses Pembuatan Genteng Beton

4.2.1 Penentuan berat genteng beton

Berat awal benda uji diperlukan untuk menentukan pembagian komposisi untuk masing-masing perlakuan benda uji penelitian. Penentuan berat benda uji dilakukan dengan cara penimbangan sampel benda uji yang ada di tempat pembuatan. Dari proses tersebut diperoleh berat benda uji rata-rata adalah sebesar 4,5 kg.

4.2.2 Penentuan berat komposisi benda uji

Komposisi bahan penyusun benda uji yang digunakan adalah 1 : 3 (Semen: Pasir) dengan menggunakan perbandingan berat. Jumlah benda uji masing-masing perlakuan adalah 20 buah. Komposisi antar bahan pada masing-masing perlakuan benda uji dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Kebutuhan Semen dan *Bottom Ash*

	Komposisi Genteng Beton	Kebutuhan <i>Bottom Ash</i> (kg)	Kebutuhan Semen (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)
1	Normal	0	22,5	67,5	22
2	10% <i>Bottom Ash</i>	2,5	20	67,5	22
3	20% <i>Bottom Ash</i>	4,5	18	67,5	22
4	30% <i>Bottom Ash</i>	6,75	15,75	67,5	22
5	40% <i>Bottom Ash</i>	9	13,5	67,5	22
6	50% <i>Bottom Ash</i>	11,25	11,25	67,5	22

Keterangan : Air = 22 kg , FAS = $22/22,5 = 0,98 \approx 1$

**Gambar 4.2** *Bottom ash* yang telah ditimbang.

4.2.3 Pencampuran bahan dan pembuatan benda uji

Setelah komposisi dari bahan dasar diperoleh, selanjutnya adalah pencampuran bahan dasar. Bahan-bahan dasar yang terdiri dari pasir, semen, *bottom ash*, dan air untuk benda uji dicampurkan secara bertahap dengan menggunakan mesin selip ukuran kecil seperti pada **Gambar 4.3**.

**Gambar 4.3** Proses pencampuran bahan-bahan dasar.

Bahan dasar yang telah dicampur dan adukannya telah merata kemudian dituangkan ke mesin cetak genteng beton hidrolis yang dioperasikan oleh beberapa tukang. Sebelum dicetak, adonan benda uji diberi semacam pelumas seperti pada **Gambar 4.4**, sementara untuk proses pencetakan dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.4 Pelumas untuk genteng beton.



Gambar 4.5 Proses pencetakan genteng beton dengan mesin hidrolis.

Setelah proses pencetakan, selanjutnya adalah proses pengeringan selama kurang lebih tiga hari dengan ditempatkan pada rak yang disusun sedemikian rupa seperti yang terlihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Rak untuk penyimpanan dan pengeringan benda uji.

Setelah proses pengeringan, dilanjutkan dengan proses perendaman yang dilakukan dalam bak ukuran besar selama kurang lebih dua hari, hal ini dilakukan sebagai langkah *curing* awal untuk menjaga kelembaban dari genteng beton.

4.3 Pengujian Genteng Beton

4.3.1 Pengujian kuat lentur genteng beton

Pengujian kuat lentur genteng beton dilakukan di dalam Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Benda uji yang semula berada di tempat pembuatan setelah dirasa cukup kuat (sekitar 7 hari dari waktu pembuatan), dipindahkan ke tempat pengujian yang mana selanjutnya dilakukan *curing* benda uji selama 28 hari sebelum nantinya dilakukan pengujian kuat lentur.

Setelah berumur 28 hari, maka benda uji siap untuk diuji kuat lentur. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji lentur yang telah tersedia dengan sedikit modifikasi dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Alat uji lentur untuk genteng beton.

Dengan mengacu seperti yang ada pada SNI 0096:2007, batang penumpu dan batang penekan terbuat dari kayu jenis waru ukuran lebar minimal 2 cm, yakni ukuran 2,5 x 6 cm, dengan di bawah batang penekan diberi sebuah bantalan karet. Jarak antar kedua batang penumpu adalah $2/3L$, di mana L dari genteng beton adalah sebesar 42 cm, sehingga diperoleh jarak sebesar 28 cm. Untuk pembebanan berupa beban garis yang diletakkan di tengah-tengah bentang. Pembebanan dilakukan secara perlahan dan bertahap dengan menggunakan pompa. Untuk pembacaan beban digunakan bantuan *proving ring* yang sudah dikalibrasi (**Lampiran 2**). Untuk setiap satu strip pembacaan pada *proving ring* bernilai 217,65 N (48,931bf = 217,65N). Sementara untuk mengetahui besarnya lendutan di tengah bentang, maka dipasang satu buah dial yang akan dibaca setiap satu strip pembacaan pada *proving ring*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Proses pengujian kuat lentur genteng beton.

4.3.2 Pengujian impermeabilitas genteng beton

Pengujian impermeabilitas genteng beton dilakukan di dalam Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui apakah benda uji tahan terhadap rembesan (tidak ada air yang menetes di bawah permukaan benda uji) selama 20 jam+5 menit. Pengujian dilakukan setelah genteng berumur 28 hari dan dilakukan di dalam ruangan. Hal ini untuk mencegah terjadinya penguapan jika dilakukan di luar ruangan. Peralatan yang digunakan untuk masing-masing benda uji adalah sebuah seng dengan tebal $\pm 0,5$ mm yang dibentuk persegi panjang berukuran 15 x 20 cm dipasang menempel mengelilingi permukaan benda uji. Untuk menghindari terjadinya perembesan air ke samping dilakukan dengan cara memberi lem penambal (*sealant*) di sekeliling cetakan seng tersebut, setelah itu didiamkan kurang lebih satu hari untuk memastikan lem penambal telah benar-benar menyatu antara cetakan seng dengan benda uji. Langkah berikutnya, air dituangkan dengan gelas ukur 250 ml ke dalam cetakan tersebut yang dalam hal ini sebanyak 1 liter atau jika diukur dari permukaan benda uji adalah setinggi ± 3 cm. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi jika air akan habis sebelum waktu yang ditentukan. Selain itu juga untuk memudahkan pengamatan dan perhitungan berapa banyak air yang berkurang dalam selang waktu tersebut. Sebagai penanda ada tidaknya air yang menetes adalah dengan memberi lapisan kedap air seperti plastik di bawah permukaan benda uji. Pengujian impermeabilitas benda uji dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9 Proses pengujian impermeabilitas genteng beton.

4.4 Hasil Pengujian Genteng Beton

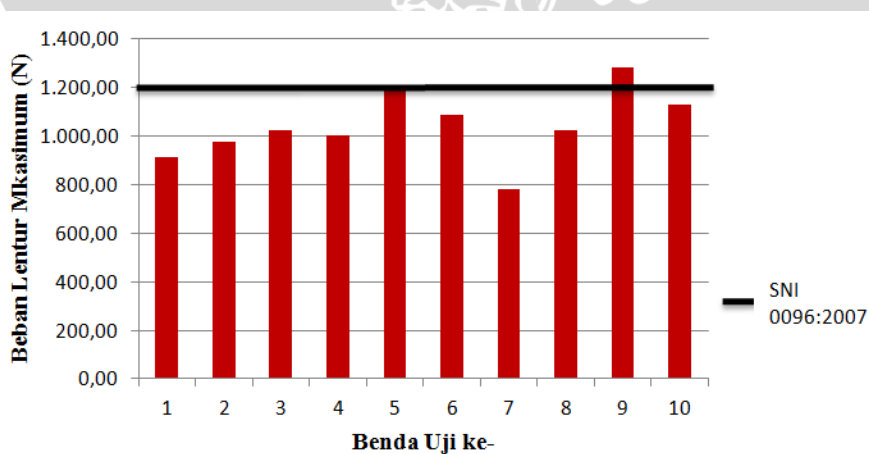
4.4.1 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton

Hasil dari pengujian kuat lentur genteng beton dapat dilihat pada **Tabel 4.3** di bawah ini.

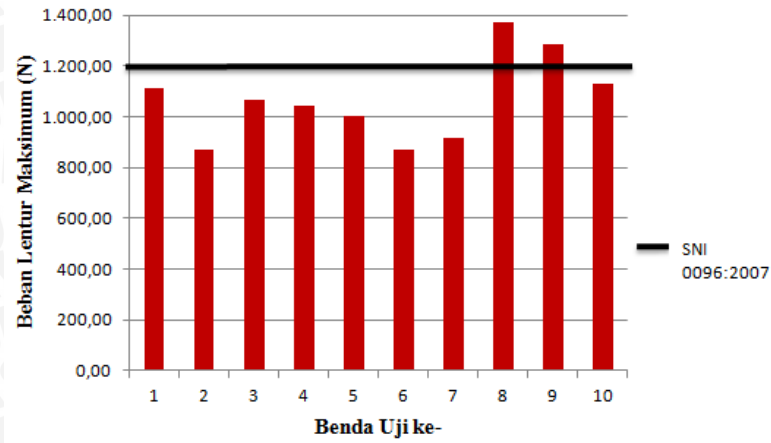
Tabel 4.3 Beban Lentur Genteng Beton

No	Kuat Lentur (N)					
	Normal	Bottom Ash (%)				
		10%	20%	30%	40%	50%
1	914,13	1.110,02	1.197,08	1.327,67	1.044,72	979,43
2	979,43	870,60	914,13	761,78	914,13	935,90
3	1.022,96	1.066,49	892,37	1.153,55	1.240,61	914,13
4	1.001,19	1.044,72	1.131,79	1.110,02	870,60	827,07
5	1.197,08	1.001,19	1.131,79	1.110,02	1.044,72	870,60
6	1.088,26	870,60	979,43	1.262,38	1.153,55	979,43
7	783,54	914,13	1.110,02	1.218,85	979,43	935,90
8	1.022,96	1.371,20	979,43	979,43	1.066,49	892,37
9	1.284,14	1.284,14	1.305,91	1.110,02	1.131,79	827,07
10	1.131,79	1.131,79	1.066,49	1.044,72	979,43	870,60
Jumlah	10.425,48	10.664,90	10.708,43	11.078,44	10.425,48	9.032,52
Rata-rata	1.042,55	1.066,49	1.070,84	1.107,84	1.042,55	903,25

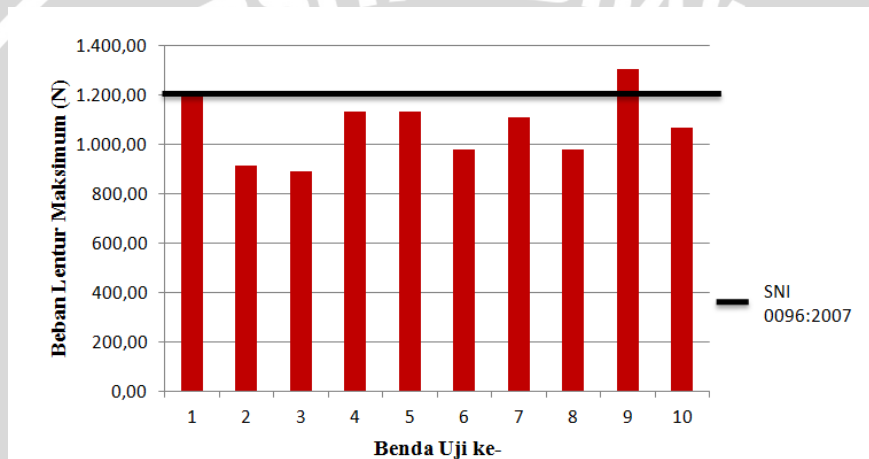
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat lentur;



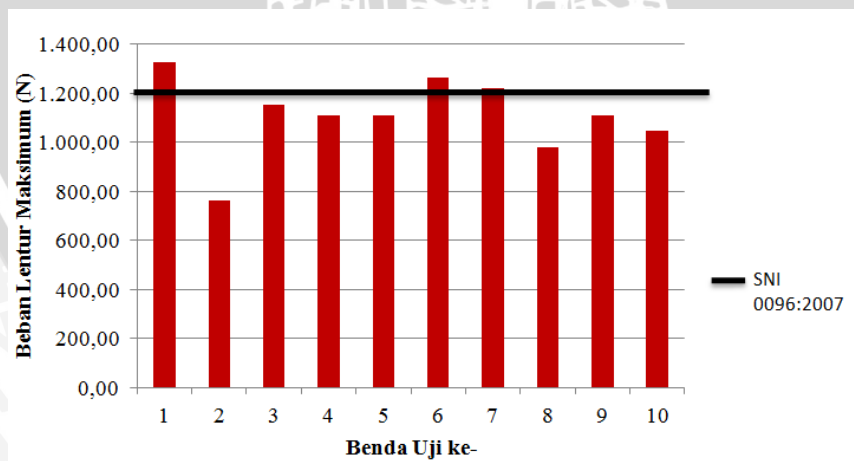
Gambar 4.10 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton normal.



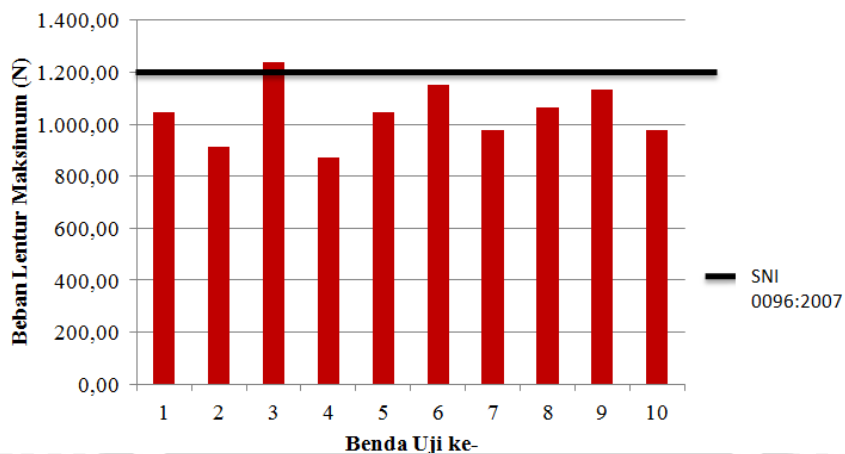
Gambar 4.11 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 10% bottom ash.



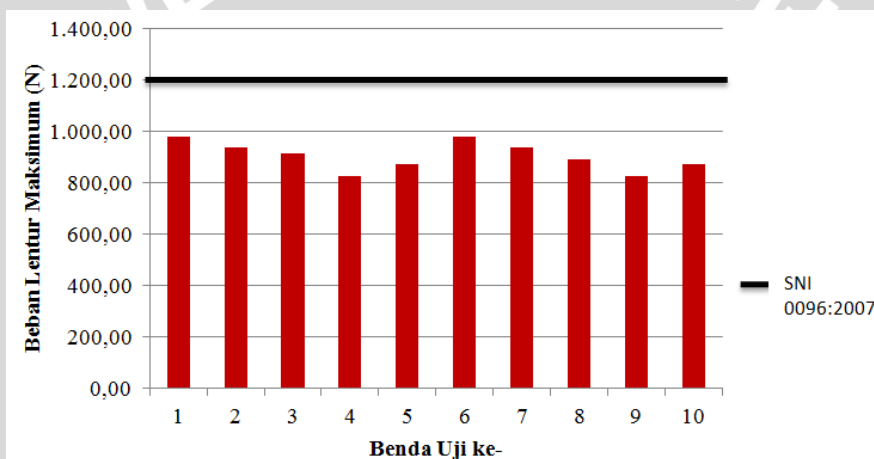
Gambar 4.12 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 20% bottom ash.



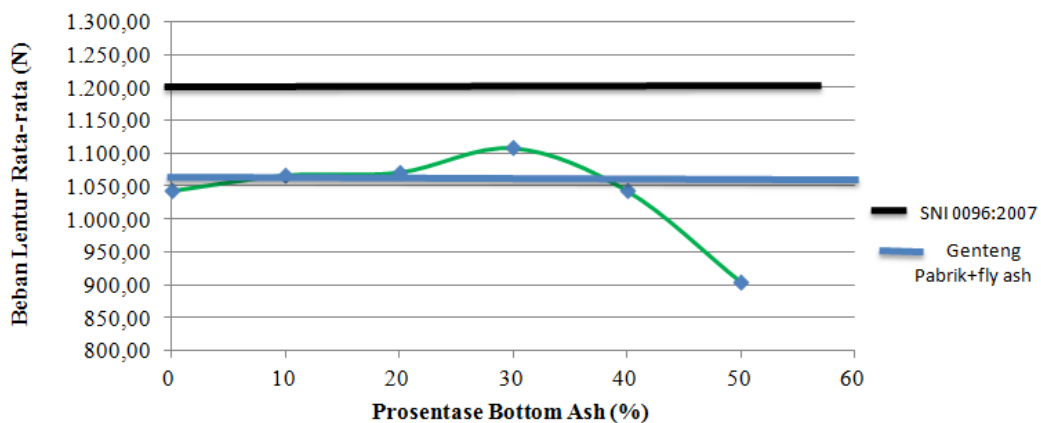
Gambar 4.13 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 30% bottom ash.



Gambar 4.14 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 40% bottom ash.



Gambar 4.15 Hasil pengujian kuat lentur genteng beton 50% bottom ash.



Gambar 4.16 Kuat lentur rata-rata genteng beton.

4.4.2 Hasil pengujian impermaeabilitas genteng beton

Hasil pengujian impermeabilitas genteng beton dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Rembesan	No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Rembesan
1	Normal	5,42	Tidak ada	1	III(30%)	5,42	Tidak ada
2		5,08	Tidak ada	2		5,08	Tidak ada
3		5,02	Tidak ada	3		5,52	Tidak ada
1	I (10%)	5,26	Tidak ada	1	IV(40%)	5,12	Tidak ada
2		5,04	Tidak ada	2		5,02	Tidak ada
3		5,18	Tidak ada	3		5,18	Tidak ada
1	II(20%)	4,92	Tidak ada	1	V(50%)	5,04	Tidak ada
2		4,92	Tidak ada	2		5,2	Tidak ada
3		4,88	Tidak ada	3		5,12	Tidak ada

Keterangan :

I, II, III, IV, dan V = Perlakuan dengan komposisi *Bottom Ash* dalam persen.

4.5 Analisis Data

4.5.1 Pengujian kuat lentur genteng beton

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari pengujian kuat lentur, selanjutnya dianalisis dengan metode statistik sekaligus untuk menguji hipotesis penelitian yang telah dibuat. Metode analisisnya antara lain:

1. Analisis varian satu arah (ANOVA)

a. Hipotesis

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = 0$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq 0$$

dengan :

μ_i = Pengaruh perlakuan ke-i

H_0 = Tidak ada pengaruh pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur genteng beton

H_1 = Ada pengaruh pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur genteng beton

b. Tabel hasil pengujian beban lentur maksimum genteng beton

Tabel 4.5 Beban Lentur Maksimum Genteng Beton

No	Kuat Lentur (N)					
	Normal	Bottom Ash (%)				
		10%	20%	30%	40%	50%
1	914,13	1.110,02	1.197,08	1.327,67	1.044,72	979,43
2	979,43	870,60	914,13	761,78	914,13	935,90
3	1.022,96	1.066,49	892,37	1.153,55	1.240,61	914,13
4	1.001,19	1.044,72	1.131,79	1.110,02	870,60	827,07
5	1.197,08	1.001,19	1.131,79	1.110,02	1.044,72	870,60
6	1.088,26	870,60	979,43	1.262,38	1.153,55	979,43
7	783,54	914,13	1.110,02	1.218,85	979,43	935,90
8	1.022,96	1.371,20	979,43	979,43	1.066,49	892,37
9	1.284,14	1.284,14	1.305,91	1.110,02	1.131,79	827,07
10	1.131,79	1.131,79	1.066,49	1.044,72	979,43	870,60
Jumlah (T)	10.425,48	10.664,90	10.708,43	11.078,44	10.425,48	9.032,52
Rata-rata (\bar{T}_i)	1.042,55	1.066,49	1.070,84	1.107,84	1.042,55	903,25

$$\Sigma Y = 62335,25$$

c. Perhitungan

- Derajat bebas (db)

$$db_{\text{total}} = \text{total banyaknya pengamatan} - 1 = 60 - 1 = 59$$

$$db_{\text{perlakuan}} = \text{total banyaknya perlakuan} - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$db_{\text{galat}} = db_{\text{total}} - db_{\text{perlakuan}} = 59 - 5 = 54$$

- Jumlah Kuadrat (JK)

$$FK = \frac{(\Sigma Y)^2}{n} = \frac{62335,25^2}{60} = 64761382,40$$

$$JKT = \Sigma Y^2 - FK = (914,13^2 + 979,43^2 + \dots + 870,60^2) - 64761382,4 = 1205016,28$$

$$JKP = \frac{\Sigma T_1^2}{x_1} + \frac{\Sigma T_2^2}{x_2} + \frac{\Sigma T_3^2}{x_3} + \frac{\Sigma T_4^2}{x_4} + \frac{\Sigma T_5^2}{x_5} + \frac{\Sigma T_6^2}{x_6} - FK$$

$$= \frac{10425,48}{10} + \frac{10644,90}{10} + \dots + \frac{9032,52}{10} - 64761382,4$$

$$= 249618,64$$

$$JKG = JKT - JKP = 1205016,28 - 249618,64 = 955397,65$$

- Kuadrat Tengah (KT)

$$KTP = \frac{JKP}{m-1} = \frac{249618,64}{6-1} = 49923,73$$

$$KTG = \frac{JKG}{m(x-1)} = \frac{955397,65}{54} = 17692,55$$

- Nilai $F_{hitung} = \frac{KT \text{ Perlakuan}}{KT \text{ Galat}} = \frac{49923,73}{17692,55} = 2,82$

- Nilai F_{Tabel}

$$\alpha = 0,05$$

$$dfN = 5$$

$$dfD = 54$$

Dari Tabel F dan iterasi didapatkan F_{tabel} adalah 2,39

d. Keputusan

Dari perhitungan analisis varian di atas didapatkan harga $F_{hitung} = 2,82$ dan $F_{tabel} = 2,39$, sehingga $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka berarti H_1 diterima dan H_0 ditolak. Jadi ada pengaruh pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur genteng beton.

Tabel 4.6 Tabel Anova

Sumber Variasi	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F-hitung
Perlakuan	5	249618,64	49923,73	2,82
Galat	54	955397,65	17692,55	
Total	59	1205016,28		

2. Analisis regresi

Regresi yang digunakan adalah regresi non linear polinomial pangkat dua, yaitu pengaruh pemanfaatan *bottom ash* terhadap kuat lentur genteng beton.

Tabel 4.7 Perhitungan Regresi Polinomial Non Linier

No	Bottom Ash (X)	Rata-rata Kuat Lentur (Y)	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0	1042,54829	0	0	0	0	0
2	10	1066,4899	100	1000	10000	10664,9	106649
3	20	1070,84292	400	8000	160000	21416,86	428337,2
4	30	1107,84359	900	27000	810000	33235,31	997059,2
5	40	1042,54829	1600	64000	2560000	41701,93	1668077
6	50	903,25165	2500	125000	6250000	45162,58	2258129
Jumlah	150	6233,52464	5500	225000	9790000	152181,6	5458252

Persamaan simultan :

$$\begin{bmatrix} 6 & 150 & 5500 \\ 150 & 5500 & 225000 \\ 5500 & 225000 & 9790000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6233,53 \\ 152181,60 \\ 5458252 \end{bmatrix}$$

Solusi persamaan di atas adalah

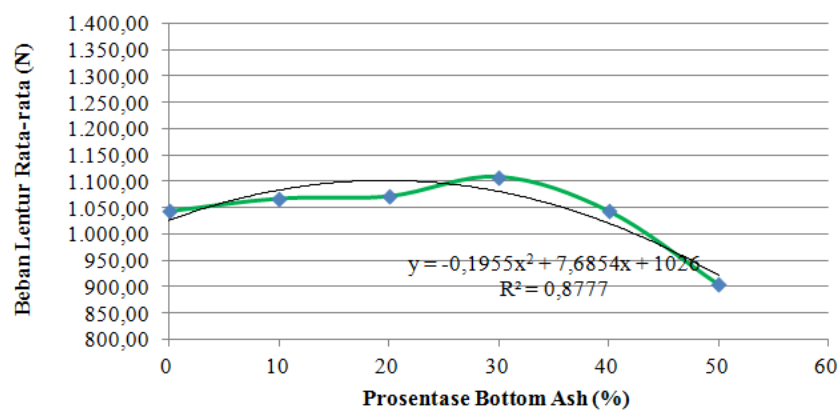
$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1025,991 \\ 7,685 \\ -0,196 \end{bmatrix}$$

Persamaan regresi menjadi

$$y = 1025,991 + 7,685x - 0,196x^2$$

Sementara dengan menggunakan Microsoft Excel 2007 diperoleh grafik seperti pada

Gambar 4.17 di bawah ini.

**Gambar 4.17** Analisis regresi polinomial non linier

Dari grafik di atas dapat dicari nilai optimum dengan cara menurunkan persamaan regresi tersebut,

$$y = 1025,991 + 7,685x - 0,196x^2$$

$$y' = 7,685 - 0,392x$$

dengan $y' = 0$ maka

$$0 = 7,685 - 0,392x$$

sehingga x adalah 19,60 %

Prosentase optimum dari *bottom ash* untuk memperoleh kuat lentur yang maksimum adalah 19,60%

3. Karakteristik beban lentur

a. Karakteristik beban lentur genteng beton normal

$$\text{Diketahui: } F_{i.1} = 914,13 \text{ N}$$

$$F_{i.6} = 1088,26 \text{ N}$$

$$F_{i.2} = 979,43 \text{ N}$$

$$F_{i.7} = 783,54 \text{ N}$$

$$F_{i.3} = 1022,96 \text{ N}$$

$$F_{i.8} = 1022,96 \text{ N}$$

$$F_{i.4} = 1001,19 \text{ N}$$

$$F_{i.9} = 1284,14 \text{ N}$$

$$F_{i.5} = 1197,08 \text{ N}$$

$$F_{i.10} = 1131,79 \text{ N}$$

$$F = 1042,55 \text{ N}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{rata-rata})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(914,13 - 1042,55)^2 + (979,43 - 1042,55)^2 + \dots + (1131,79 - 1042,55)^2}{9}}$$

$$Sd = 142,34$$

$$Fc = F - 1,64 \times Sd = 1042,55 - 1,64 \times 142,34 = 809,12 \text{ N}$$

b. Karakteristik beban lentur genteng beton 10% *bottom ash*

$$\text{Diketahui: } F_{i.1} = 1110,02 \text{ N}$$

$$F_{i.6} = 870,60 \text{ N}$$

$$F_{i.2} = 870,60 \text{ N}$$

$$F_{i.7} = 914,13 \text{ N}$$

$$F_{i.3} = 1066,49 \text{ N}$$

$$F_{i.8} = 1371,20 \text{ N}$$

$$F_{i.4} = 1044,72 \text{ N}$$

$$F_{i.9} = 1284,14 \text{ N}$$

$$F_{i.5} = 1001,19 \text{ N}$$

$$F_{i.10} = 1131,79 \text{ N}$$

$$F = 1066,49 \text{ N}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{rata-rata})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(1110,02-1066,49)^2+(870,60-1066,49)^2+\dots+(1131,79-1066,49)^2}{9}}$$

$$Sd = 167,02$$

$$Fc = F - 1,64 \times Sd = 1066,49 - 1,64 \cdot 167,02 = 792,57 \text{ N}$$

- c. Karakteristik beban lentur genteng beton 20% *bottom ash*

$$\text{Diketahui: } F_{i,1} = 1197,08 \text{ N}$$

$$F_{i,6} = 979,43 \text{ N}$$

$$F_{i,2} = 914,13 \text{ N}$$

$$F_{i,7} = 1110,02 \text{ N}$$

$$F_{i,3} = 892,37 \text{ N}$$

$$F_{i,8} = 979,43 \text{ N}$$

$$F_{i,4} = 1131,79 \text{ N}$$

$$F_{i,9} = 1305,91 \text{ N}$$

$$F_{i,5} = 1131,79 \text{ N}$$

$$F_{i,10} = 1066,49 \text{ N}$$

$$F = 1070,84 \text{ N}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{rata-rata})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(1197,08-1070,84)^2+(914,13-1070,84)^2+\dots+(1066,49-1070,84)^2}{9}}$$

$$Sd = 130,51$$

$$Fc = F - 1,64 \times Sd = 1070,84 - 1,64 \cdot 130,51 = 856,81 \text{ N}$$

- d. Karakteristik beban lentur genteng beton 30% *bottom ash*

$$\text{Diketahui: } F_{i,1} = 1327,67 \text{ N}$$

$$F_{i,6} = 1262,38 \text{ N}$$

$$F_{i,2} = 761,78 \text{ N}$$

$$F_{i,7} = 1218,85 \text{ N}$$

$$F_{i,3} = 1153,55 \text{ N}$$

$$F_{i,8} = 979,43 \text{ N}$$

$$F_{i,4} = 1110,02 \text{ N}$$

$$F_{i,9} = 1110,02 \text{ N}$$

$$F_{i,5} = 1110,02 \text{ N}$$

$$F_{i,10} = 1044,72 \text{ N}$$

$$F = 1107,84 \text{ N}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{rata-rata})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(1327,67-1107,84)^2+(761,78-1107,84)^2+\dots+(1044,72-1107,84)^2}{9}}$$

$$Sd = 158,77$$

$$Fc = F - 1,64 \times Sd = 1107,84 - 1,64 \cdot 158,77 = 847,46 \text{ N}$$

- e. Karakteristik beban lentur genteng beton 40% *bottom ash*

Diketahui: $F_{i,1} = 1044,72 \text{ N}$ $F_{i,6} = 1153,55 \text{ N}$

$F_{i,2} = 914,13 \text{ N}$ $F_{i,7} = 979,43 \text{ N}$

$F_{i,3} = 1240,61 \text{ N}$ $F_{i,8} = 1066,49 \text{ N}$

$F_{i,4} = 870,60 \text{ N}$ $F_{i,9} = 1131,79 \text{ N}$

$F_{i,5} = 1044,72 \text{ N}$ $F_{i,10} = 979,43 \text{ N}$

$F = 1042,55 \text{ N}$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Fi - F \text{ rata-rata})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(1044,72 - 1042,55)^2 + (914,13 - 1042,55)^2 + \dots + (979,43 - 1042,55)^2}{9}}$$

$Sd = 112,61$

$F_c = F - 1,64 \times Sd = 1042,55 - 1,64 \times 112,61 = 857,88 \text{ N}$

- f. Karakteristik beban lentur genteng beton 50% *bottom ash*

Diketahui: $F_{i,1} = 979,43 \text{ N}$ $F_{i,6} = 979,43 \text{ N}$

$F_{i,2} = 935,90 \text{ N}$ $F_{i,7} = 935,90 \text{ N}$

$F_{i,3} = 914,61 \text{ N}$ $F_{i,8} = 892,37 \text{ N}$

$F_{i,4} = 827,07 \text{ N}$ $F_{i,9} = 827,07 \text{ N}$

$F_{i,5} = 870,60 \text{ N}$ $F_{i,10} = 870,60 \text{ N}$

$F = 903,25 \text{ N}$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Fi - F \text{ rata-rata})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(979,43 - 903,25)^2 + (935,90 - 903,25)^2 + \dots + (870,60 - 903,25)^2}{9}}$$

$Sd = 55,49$

$F_c = F - 1,64 \times Sd = 903,25 - 1,64 \times 55,49 = 812,25 \text{ N}$

- g. Karakteristik beban lentur genteng beton normal pabrik + *fly ash*

Diketahui: $F_{i,1} = 870,60 \text{ N}$

$F_{i,2} = 1262,38 \text{ N}$

$F_{i,3} = 1197,08 \text{ N}$

$F_{i,4} = 957,66 \text{ N}$

$F_{i,5} = 1044,72 \text{ N}$

$$F = 1066,49 \text{ N}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{rata-rata})^2}{n}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{(870,60 - 1066,49)^2 + (1262,38 - 1066,49)^2 + \dots + (1044,72 - 1066,49)^2}{5}}$$

$$Sd = 145,68$$

$$F_c = F - 1,64 \times Sd = 1066,49 - 1,64 \times 145,68 = 827,574 \text{ N}$$

4. Uji hipotesis nilai rata-rata

Hipotesis :

$$H_0 = \mu_0 = 1200 \text{ N}$$

$$H_1 = \mu_1 > 1200 \text{ N}$$

Perhitungan:

a. Genteng beton normal

$$F = 1042,55 \text{ N}$$

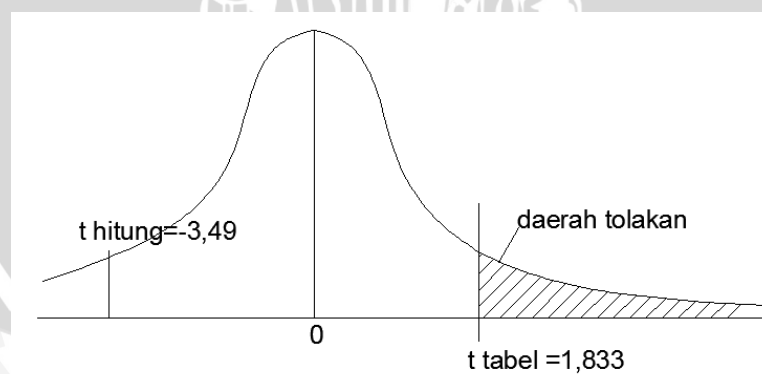
$$Sd = 142,3$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{1042,55 - 1200}{\frac{142,3}{\sqrt{10}}} = -3,498$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 1,833$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.18 Daerah tolakan I.

b. Genteng beton 10% bottom ash

$$F = 1066,49 \text{ N}$$

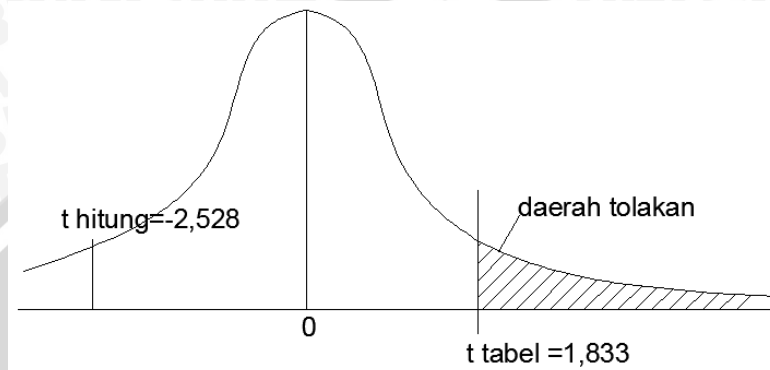
$$Sd = 167,02$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{1066,49 - 1200}{\frac{167,02}{\sqrt{10}}} = -2,528$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 1,833$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.19 Daerah tolakan II.

c. Genteng beton 20% *bottom ash*

$$F = 1070,84 \text{ N}$$

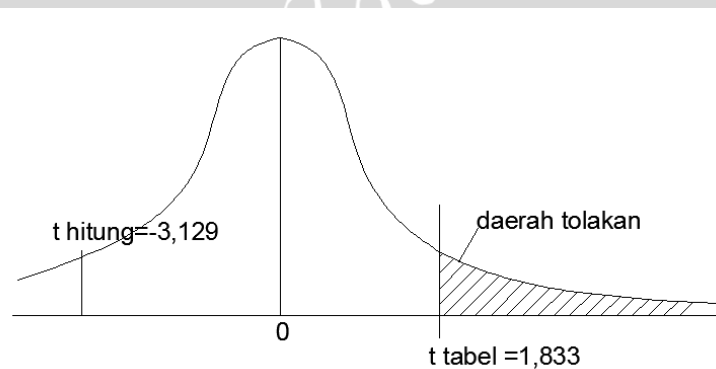
$$Sd = 130,51$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{1070,84 - 1200}{\frac{130,51}{\sqrt{10}}} = -3,129$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 1,833$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.20 Daerah tolakan III.

d. Genteng beton 30% *bottom ash*

$$F = 1107,84 \text{ N}$$

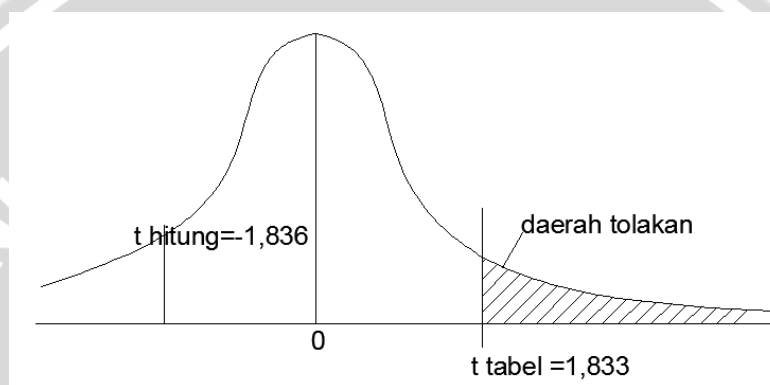
$$Sd = 158,77$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{1107,84 - 1200}{\frac{158,77}{\sqrt{10}}} = -1,836$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 1,833$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.21 Daerah tolakan IV.

e. Genteng beton 40% *bottom ash*

$$F = 1042,55 \text{ N}$$

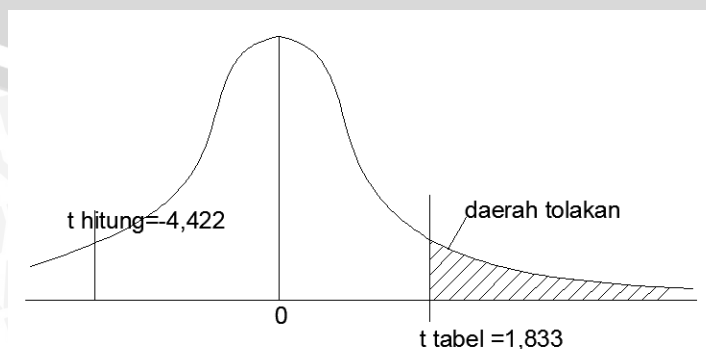
$$Sd = 112,61$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{1042,55 - 1200}{\frac{112,61}{\sqrt{10}}} = -4,422$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 1,833$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.22 Daerah tolakan V.

f. Genteng beton 50% *bottom ash*

$$F = 903,25 \text{ N}$$

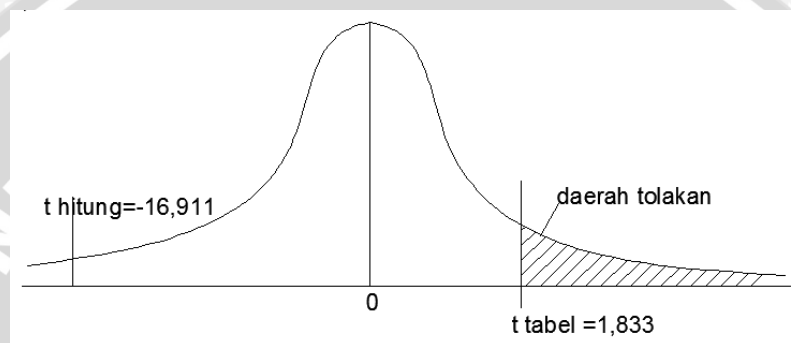
$$Sd = 55,49$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{903,25 - 1200}{\frac{55,49}{\sqrt{10}}} = -16,911$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 1,833$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.23 Daerah tolakan VI.

g. Genteng beton Pabrik + *fly ash*

$$F = 1066,49 \text{ N}$$

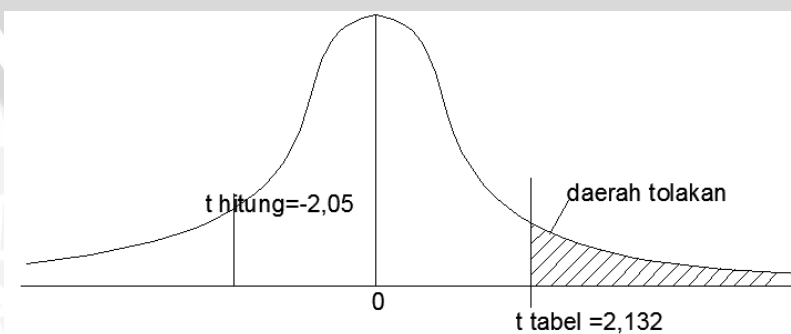
$$Sd = 145,68$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{T}_i - \mu_0}{\frac{sd}{\sqrt{n}}} = \frac{1066,49 - 1200}{\frac{145,68}{\sqrt{5}}} = -2,05$$

$$t_{tabel} = m - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\alpha = 0,05 \rightarrow t_{tabel} = 2,13$$

Karena t_{hitung} berada pada daerah terima, artinya kita menerima hipotesis H_0 .



Gambar 4.24 Daerah tolakan VII.

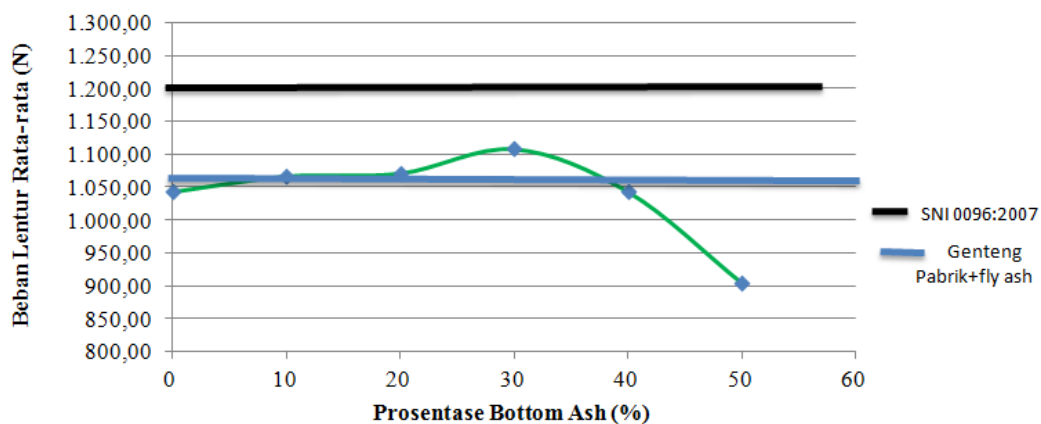
5. Pembahasan

Berdasarkan pengolahan data pengujian kuat lentur didapatkan hasil bahwa karakteristik beban lentur dari semua perlakuan benda uji yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang berlaku Standar Nasional Indonesia (SNI 0096:2007), yakni kurang dari 1200 N. Hal ini dibuktikan dengan **Tabel 4.8** di bawah ini.

Tabel 4.8 Karakteristik Beban Lentur

No	Perlakuan	Karakteristik Beban Lentur (N)
1	Normal	809,12
2	I (<i>Bottom Ash 10%</i>)	792,57
3	II (<i>Bottom Ash 20%</i>)	856,81
4	III (<i>Bottom Ash 30%</i>)	847,46
5	IV (<i>Bottom Ash 40%</i>)	857,88
6	V (<i>Bottom Ash 10%</i>)	812,25
7	Pabrik + <i>fly ash</i>	827,57

Sementara untuk rata-rata kuat lentur yang diperoleh dapat dilihat pada **Gambar 4.25** di bawah ini.



Gambar 4.25 Kuat lentur rata-rata genteng beton.

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada proporsi *bottom ash* antara 0%-30% kuat lentur rata-rata yang diperoleh tidak mengalami penurunan, sementara proporsi 30% ke atas kuat lentur rata-rata yang diperoleh mengalami penurunan yang signifikan

terutama pada prosentase *bottom ash* 50%. Jika dibandingkan dengan genteng beton normal (proporsi *bottom ash* 0%), hanya genteng beton dengan proporsi *bottom ash* 40% dan 50% yang kuat lentur rata-ratanya berada di bawah genteng beton normal. Sedangkan untuk sampel dari salah satu pabrik genteng beton setelah dilakukan pengujian kuat lentur ternyata didapatkan kuat lentur rata-rata maupun karakteristik beban lenturnya juga masih di bawah standar. Genteng beton tersebut menggunakan *fly ash* sebagai bahan campuran yang digunakan selain mengurangi kebutuhan semen juga untuk memperhalus permukaan genteng beton dengan cara menutup pori-pori yang ada. Adapun hal-hal yang diduga bisa menjadi penyebab tidak memenuhi standar diantaranya:

Kondisi pasir yang tergolong agak kasar (zona 2), dengan demikian akan mempengaruhi kehalusan permukaan dari benda uji. Sehingga dengan kondisi pasir seperti itu ditambah dengan *bottom ash* yang teksturnya hampir sama dengan pasir maka akan membuat semakin besarnya pori yang mana tidak hanya mempengaruhi kadar penyerapan airnya, tetapi juga kemampuan untuk menahan beban lentur yang diberikan karena ikatan antar bahan yang kurang rapat.

FAS yang kurang merata untuk masing-masing perlakuan benda uji. Hal ini dikarenakan semakin besar prosentase *bottom ash* maka air yang diperlukan maka juga semakin besar pula. Menentukan FAS yang tepat masih menjadi masalah utama dalam pembuatan benda uji dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi di lapangan.

Kondisi senyawa yang tidak sama antara *bottom ash* dan semen, walaupun komposisi kimia keduanya menyerupai. Hal ini kemungkinan akan mengakibatkan kurang bisa bereaksinya senyawa-senyawa penting yang ada pada *bottom ash*, terutama pada silika (Si), Kalsium (Ca), dan unsur mineral seperti aluminium (Al) yang memegang peranan penting pada proses pengerasan, sebagaimana mineral-mineral senyawa pada semen yang bereaksi pada proses hidrasi, yakni Tricalcium Silicate (C3S) yang berkontribusi terhadap kuat tekan awal, dan Tri Calcium Aluminate (C3A) yang berkontribusi terhadap kecepatan bereaksi dengan air, pengikatan awal semen. Kondisi dari *bottom ash* yang tidak tertutup rapat, serta sebagian kecil menggumpal menandakan bahwa kemungkinan besar senyawa-senyawa utama yang ada pada *bottom ash* tersebut sudah bereaksi sebelumnya atau bisa juga dikatakan tidak aktif. Sehingga saat digunakan dalam penelitian hanya sebagian kecil saja dari *bottom ash* yang bisa bereaksi. Hal ini ditunjukkan dengan naiknya kuat lentur genteng beton pada prosentase *bottom ash* 0%-30%.

Kondisi saat pengepressan saat pencetakan genteng beton yang berbeda-beda tekanannya dikarenakan mesin hidrolis masih dioperasikan manual oleh tukang. Sehingga dihasilkan genteng beton dengan berat dan kekuatan yang tidak merata.

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan dengan beberapa metode diperoleh hasil bahwa:

1. Analisis Varian (ANOVA) Satu Arah

Hasil yang diperoleh dari analisis data dengan metode ini adalah nilai F_{hitung} yang lebih besar dari F_{tabel} sehingga H_0 ditolak, dan H_1 diterima. Dari analisis tersebut disimpulkan bahwa ada pengaruh pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat lentur genteng beton. Sementara berdasarkan perhitungan ANOVA dengan dua bagian, 0%-30% dan 30%-50% (**Lampiran 10**) diperoleh kesimpulan bahwa pada bagian pertama (0%-30%) tidak ada peningkatan yang signifikan, sebaliknya pada bagian kedua (30%-50%) terjadi penurunan yang signifikan. Sehingga dapat dikatakan *Bottom Ash* berpengaruh terhadap penurunan kuat lentur yang dihasilkan.

2. Analisis Regresi

Berdasarkan analisis ini diperoleh proporsi optimum dari *bottom ash* untuk memperoleh kuat lentur rata-rata yang optimum pula yaitu pada 19,60%.

3. Uji hipotesis nilai rata-rata terhadap SNI 0096:2007

Berdasarkan analisis ini diperoleh hasil bahwa semua t_{hitung} berada pada daerah terima H_0 , atau dengan kata lain lebih dari t_{tabel} , sehingga H_0 diterima.

Sebagai data tambahan dalam uji lentur, yaitu data lendutan, seperti yang terdapat pada **Lampiran 5**. Sementara pada **Lampiran 6** merupakan grafik hubungan antara beban lentur (sumbu y) dengan lendutan (sumbu x). Grafik tersebut dimulai dari pusat sumbu nol. Seiring meningkatnya beban lentur yang diberikan pada genteng beton, maka meningkat pula besarnya lendutan yang dihasilkan sehingga dapat diketahui tingkat kekakuan dari genteng beton.

4.5.2 Pengujian impermeabilitas genteng beton

Berdasarkan hasil pengujian impermeabilitas genteng beton, didapatkan hasil bahwa semua benda uji memiliki ketahanan terhadap rembesan (impermeabilitas) yang cukup baik, walaupun secara nyata permukaan benda uji yang relatif kurang halus awalnya dikhawatirkan akan mempengaruhi proses penyerapan airnya. Parameter

keberhasilan benda uji dapat dilihat dari data pada **Tabel 4.9** yang menyatakan bahwa tidak ada air yang menetes sesuai dengan yang disyaratkan pada SNI 0096:2007.

Tabel 4.9 Impermeabilitas Genteng Beton

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Rembesan	No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Rembesan
1	Normal	5,42	Tidak ada	1	III	5,42	Tidak ada
2		5,08	Tidak ada	2		5,08	Tidak ada
3		5,02	Tidak ada	3		5,52	Tidak ada
1	I	5,26	Tidak ada	1	IV	5,12	Tidak ada
2		5,04	Tidak ada	2		5,02	Tidak ada
3		5,18	Tidak ada	3		5,18	Tidak ada
1	II	4,92	Tidak ada	1	V	5,04	Tidak ada
2		4,92	Tidak ada	2		5,2	Tidak ada
3		4,88	Tidak ada	3		5,12	Tidak ada

Keterangan :

I, II, III, IV, dan V = Perlakuan dengan komposisi *Bottom Ash* dalam persen.

Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat pengaruh pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen pada genteng beton ditinjau dari impermeabilitas yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya rembesan (air yang menetes) dari genteng beton yang diuji.
2. Tidak ada proporsi optimum *bottom ash* sebagai pengganti semen pada genteng beton dikarenakan berdasarkan hasil pengujian impermeabilitas yang dihasilkan dinyatakan bahwa semua perlakuan benda uji masih memenuhi SNI 0096:2007.

BAB V PENUTUP

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan mengenai pengaruh pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat lentur dan impermeabilitas genteng beton, maka dari penelitian ini sudah dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen berpengaruh terhadap kuat lentur dan impermeabilitas dari genteng beton. Hal ini dibuktikan dengan tidak menurunnya nilai kuat lentur rata-rata pada prosentase 0%-30% dan setelah itu baru mengalami penurunan yang signifikan. Berdasarkan uji analisis varian (Anova) satu arah juga disimpulkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ sehingga H_0 , yang artinya *bottom ash* berpengaruh terhadap kuat lentur yang dihasilkan genteng beton. Sementara berdasarkan perhitungan Anova dengan dua bagian, 0%-30% dan 30%-50% (**Lampiran 10**) diperoleh kesimpulan bahwa pada bagian pertama (0%-30%) tidak ada peningkatan yang signifikan, sebaliknya pada bagian kedua (30%-50%) terjadi penurunan yang signifikan. Sehingga dapat dikatakan *Bottom Ash* berpengaruh terhadap penurunan kuat lentur yang dihasilkan.

Karakteristik beban lentur yang dihasilkan semua perlakuan benda uji tidak memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 0096:2007 yaitu dibawah 1200 N. Demikian juga yang terjadi pada sampel genteng beton di pasaran yang juga ikut diuji kuat lentur. Karakteristik beban lentur yang dihasilkan juga masih di bawah standar. Hal-hal yang diduga menjadi penyebab diantaranya kondisi pasir yang agak kasar (zona 2), kesulitan menentukan FAS yang tepat di lapangan, dan kondisi senyawa yang tidak sama antara *bottom ash* dan semen.

Sementara untuk pengujian impermeabilitas didapatkan bahwa baik genteng beton normal maupun yang menggunakan *bottom ash* sama-sama tidak ada rembesan (air yang menetes), sehingga dapat disimpulkan pula *bottom ash* pada pengujian ini berpengaruh dikarenakan telah memenuhi standar.

2. Proporsi optimum *bottom ash* pada pengujian kuat lentur yaitu 19,60%, walaupun masih di bawah standar.
3. Untuk pengujian impermeabilitas tidak didapatkan proporsi optimum dari *bottom ash* dikarenakan semua perlakuan benda uji memenuhi parameter yang ada pada standar.

1.2 Saran

Dalam pembuatan genteng beton, keberadaan pasir memegang peranan penting terhadap kualitas genteng yang dihasilkan. Genteng beton yang menggunakan pasir yang kurang halus akan berpotensi menimbulkan kasar dan pori baik di luar maupun di dalam permukaan benda uji, sehingga dampaknya selain mengurangi kuat lentur dan impermeabilitas juga mengurangi nilai jual dari genteng beton itu sendiri. Oleh karena itu, pemilihan pasir yang halus memenuhi standar perlu dikedepankan guna memperoleh genteng beton yang berkualitas.

Faktor Air Semen (FAS) pada pembuatan genteng beton juga sangat berpengaruh terhadap kualitas yang dihasilkan. Pada pembuatan genteng beton relatif memerlukan air dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan produk lain seperti batako dan paving stone. Sehingga penakaran berapa banyak air yang digunakan perlu untuk diperhatikan.

Ada beberapa solusi kedepannya untuk memperoleh nilai kuat lentur dan karakteristik kuat lentur yang bisa memenuhi nantinya standar, diantaranya adalah dengan cara menambah berat awal untuk tiap perlakuan genteng beton, sehingga semakin berat genteng beton kemungkinan besar akan semakin besar pula kekuatannya. Di samping itu, untuk memperhalus dan menutup pori genteng beton bisa ditambah *fly ash* dengan proporsi yang sudah ditentukan sebelumnya/secukupnya.

Untuk kesempurnaan penelitian, alangkah baiknya sebelum melakukan penelitian kita melakukan pengujian pendahuluan. Pengujian ini berfungsi sebagai acuan dalam proses penelitian sehingga kita mempunyai dasar untuk melakukan langkah berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, S. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: UI-Press.
- ASTM International. 2007. *Annual Book of ASTM Standarts*. Baltimore, MD, USA: West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. 2007. *SNI 0096:2007, Genteng Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2002. *SNI 03-2847-2002*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bekir, I., et al. 2010. Effect of Bottom ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars. *ACI Materials Journal*. Title no. 107-M08. January-February 2010.
- Boediono & Koster, W. 2001. *Teori dan Aplikasi Statistika dan Probabilitas*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Chris Rollins, Scott Hamel, and Mark Reiner. 2005. *Concrete Mixes Guideline*. USA: Engineers Without Border (EWB).
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*. SK SNI T-15-1990-03. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1973. *Peraturan Umum untuk Bahan Bangunan Di Indonesia N.I.-3 (PUBI 1970)*. Jakarta: LPMB.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1979. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I.-2*. Jakarta: LPMB.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *SK SNI M-10-1989-F: Metode Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Frick, H. & Koesmartadi, Ch. 1999. *Ilmu bahan bangunan, Seri Konstruksi Arsitektur 9*. Yogyakarta: Kanisius.
- Gaspersz, V. 1991. *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*. Bandung: Tarsito.
- Herni Khaerunisa, (2003-2007): "Toksitas Abu Terbang dan Abu dasar Limbah PLTU Batubara yang berada di Sumatera dan Kalimantan secara Biologi", Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
- Indriani, S., et al. 2003. Pengaruh Penggunaan Bottom Ash terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Dimensi Teknik Sipil*. Vol. 5 No.2 September 2003: 75-81.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Nawy, E. G. 1998. *Reinforced Concrete a Fundamental Approach*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: Reika Aditama.
- Nurlina, S. 2008. *Teknologi Bahan*. Malang: Bargie Media.

Prabandiyani, S. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang, 6 Desember 2008.

Setyawan, A., et al. 2009. *Rekayasa Unit Pengolah Limbah Batubara Dan Pemanfaatannya Sebagai Pengganti Semen Pada Pembuatan Bahan Bangunan Guna Mengendalikan Pencemaran Lingkungan*. Dipa Universitas Sebelas Maret. Surakarta, 31 Desember 2009.

Shandy, I. 2011. *Pemanfaatan Material Piropilit untuk Meningkatkan Beban Lentur Genteng Produksi Wagir Kabupaten Malang*. Malang: Universitas Brawijaya.

Tjokrodimuldjo, K. 1995. *Bahan Bangunan*. Yogyakarta: Universitas Gajahmada.

Toon, J. 2009. New Coal Ash Use: Strong, Lightweight Alternative to Concrete Without Cement. *Electric Light and Power; May/June 2009; 87, 3: Proquest Science Journals* pg. 46.

Whittaker., et al. *The Effect of Bottom Ash as a Partial Cement Replacement*.

Widodo, W. A. *Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo terhadap Kualitas (Pandangan Luar, Ketetapan Ukuran, Ketetapan Bentuk, Berat, Ketahanan Terhadap Perembesan Air dan Penetrasi Air) Genteng Keramik*. Malang: Universitas Brawijaya.

Website:

id.wikipedia.org/wiki/Abu_padat, diakses 10 April 2012

www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/cbabs1.cfm, diakses tanggal 10 April 2012

<http://www.siskaela.blog.uns.ac.id/2010/04/15/fly-ash-sebagai-adsorben-limbah-batik>, diakses pada tanggal 10 April 2012

<http://www.semen.web44.net/v.2.0/layananelanggan/komposisipengujian.php>, diakses pada tanggal 14 Mei 2012

<http://rdianto.wordpress.com/2010/10/26/hidrasi-semen/>, diakses pada tanggal 15 Juli 2012

Lampiran 1

Data Gradasi Agregat halus

Tabel Lampiran 1.1 Analisis Gradasi Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	0	0	0	100
2.5"	63,5	0	0	0	100
2"	50,8	0	0	0	100
1.5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,1	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
4	4,76	6,60	0,72	0,72	99,28
8	2,38	90,00	9,80	10,52	89,48
16	1,19	63,60	6,93	17,45	82,55
20	0,85	356,00	38,78	56,23	43,77
50	0,297	167,60	18,26	74,49	25,51
100	0,149	181,00	19,72	94,20	5,80
200	0,075	53,20	5,80	100,00	0,00
Pan		17,8			
$\Sigma =$		918	100	253,617	

Perhitungan

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{\Sigma \text{Yang tertahan ayakan no.3/8" sampai no.100}}{100} = \frac{253,62}{100} = 2,536$$

$$\text{Kadar lumpur} = \left(\frac{17,8}{918} \times 100\% \right) \times 5,20 = 7,73\%$$

Syarat kadar lumpur $\leq 5\%$, agregat halus harus dicuci.

Lampiran 2

Kalibrasi *Proving Ring* untuk Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton

PT EASTERN PRO ENGINEERING

Kawasan Wangsanaga Wetan No. 27
Kota Baru Parahyangan - Bandung Barat
Telepon : 022 6803053 - Fax : 022 6803053
Website : www.easternproengineering.com
E-mail: service@easternproengineering.com

Komite Akreditasi Nasional
LABORATORIUM KALIBRASI
LK - 112 - IDN

LAPORAN KALIBRASI

CALIBRATION REPORT

Number : 1793.EPE.06.12
Date : June 19, 2012

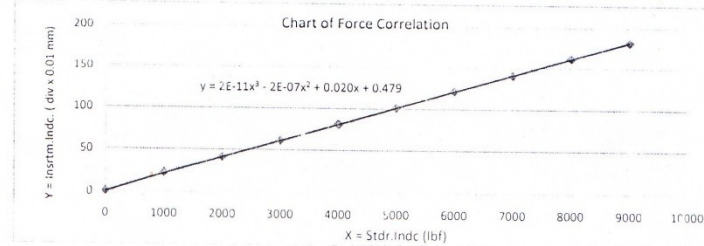
Page : 2 of 2

Unit Under Test (UUT) : PROVING RING Dial Indicator : S N : 8K1823
Serial Number/ID : 10000 02.0100 Merk : Mitutoyo
Capacity : 10000 lbf Capacity : 10 mm/ 0.01 mm

Result of calibration

Nominal Standard (lbf)	UUT Indication (Div x 0.01 mm)	Calibration Factor (lbf/Div)	Repeatability (%)
0	0	0.00	0.0
1000	22	45.45	0.0
2000	41	48.78	0.0
3000	61	49.18	0.0
4000	81	49.38	0.0
5000	101	49.50	0.0
6000	121	49.59	0.0
7000	141	49.65	0.0
8000	162	49.38	0.0
9000	182	49.45	0.0

- Mean Factor Calibration Proving Ring : 48,93 lbf/Div
- Uncertainty Calibration = ± 1.0 %
- The Uncertainty is taken at a Confidence Level 95% and Coverage Factor (k) = 2



Technician



Wahidin Eka Putra

CALIBRATION MAINTENANCE INSTRUMENTATION TEST EQUIPMENT MACHINERY QUALITY CONSULTANT

Lampiran 3

Hasil Uji Kimia *Bottom Ash*



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp.(0341) 575838, 551611 - 551615, Pes.311, Fx (0341) 575839
Email : kimia_UB@ub.ac.id , Website : http://kimia.ub.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA

NO : B.15/RT.5/T.1/R.0/TT. 150803/2012

- Data konsumen :
 - Nama konsumen : Desy Setyowulan,STM.Sc
 - Instansi : Jurusan Teknik Sipil Fak. Teknik UB
 - Alamat : Perum Joyogrand Blok V/61
 - Telepon : 082140548876
 - Status : Dosen
 - Keperluan analisis : Uji Kualitas
- Sampling : Oleh konsumen
- Identifikasi sampel :
 - Nama sampel : *Bottom Ash*
 - Wujud : Padatan
 - Warna : Abu - Abu
 - Bau : Tidak Berbau
- Prosedur analisa : Dari Lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA Unibraw Malang.
- Penyampaian Laporan hasil analisis : Diambil langsung
- Tanggal terima sampel : 17 Januari 2012
- Data hasil analisa :

No	Kode.	Parameter	Hasil Analisa		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1	B	Si	29,40±0,03	%	Aquaregia	Gravimetri
2	B	Al	0,2576±0,0001	%	Aquaregia-Aluminon	Spektrofotometri
3	B	Fe	590,33±0,89	ppm	HNO ₃	AAS
4	B	Mg	1,17±0,00	%	HNO ₃	AAS
5	B	Ca	14,55±6,13	%	HNO ₃	AAS

Catatan :

- Hasil analisa ini adalah nilai rata – rata pengerjaan analisis secara duplo.
- Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.

Mengetahui :
Ketua,

Dr. H. Sasangka Prasetyawan, MS.
NIP. 19630404 198701 1 001

Malang, 31 Januari 2012
Kalab.Lingkungan,

Ir. Bambang Ismuyanto, MS.
NIP. 19600504 198602 1 002



Lampiran 3
Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton

Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton Normal

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur(N)	Lendutan(mm)
1	4,14	914,13	217,65	0,28
			435,30	0,62
			652,95	1,06
			870,60	1,35
			914,13	1,51
2	4,38	979,43	217,65	0,35
			435,30	0,85
			652,95	1,01
			870,60	1,38
			979,43	1,60
3	4,22	1.022,96	217,65	0,41
			435,30	0,81
			652,95	1,17
			870,60	1,44
			1.022,96	1,68
4	4,32	1.001,19	217,65	0,36
			435,30	0,70
			652,95	1,15
			870,60	1,41
			1.022,96	1,75
5	4,52	1.197,08	217,65	0,40
			435,30	0,80
			652,95	0,99
			870,60	1,27
			1.088,25	1,46
6	4,22	1.088,26	1.197,08	1,68
			217,65	0,52
			435,30	0,97
			652,95	1,39
			870,60	1,68
7	4,68	783,54	1.088,26	1,88
			217,65	1,07
			435,30	1,37
			652,95	1,63
			783,54	1,88

8	4,36	1.022,96	217,65 435,30 652,95 870,60 1.022,96	0,31 0,76 1,14 1,48 1,64
9	4,86	1.284,14	217,65 435,30 652,95 870,60 1.088,25 1.284,14	0,22 0,47 0,71 0,92 1,13 1,36
10	4,28	1.131,79	217,65 435,30 652,95 870,60 1.088,25 1.131,79	0,34 0,65 0,87 1,12 1,30 1,40
Rata-rata	4,40	1.042,55		

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan V = 1088,25 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan VI = 1305,90 N

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur(N)	Lendutan(mm)
1	5,16	1.110,02	217,65	0,13
			435,30	0,34
			652,95	0,56
			870,60	0,7
			1.088,25	0,96
			1.110,02	1,13
2	4,52	870,60	217,65	0,68
			435,30	1,22
			652,95	1,53
			870,60	1,78
3	4,82	1.066,49	217,65	0,40
			435,30	0,68
			652,95	1,02
			870,60	1,18
			1.066,49	1,38

4	5,08	1.044,72	217,65 435,30 652,95 870,60 1.044,72	0,41 0,68 0,92 1,10 1,28
5	4,62	1.001,19	217,65 435,30 652,95 870,60 1.001,19	0,35 0,66 0,91 1,11 1,28
6	4,94	870,60	217,65 435,30 652,95 870,60	0,40 0,70 1,00 1,28
7	4,84	914,13	217,65 435,30 652,95 870,60 914,13	0,38 0,65 0,86 1,08 1,16
8	5,06	1.371,20	217,65 435,30 652,95 870,60 1.088,25 1.305,90 1.371,20	0,30 0,47 0,72 0,92 1,10 1,29 1,38
9	5,02	1.284,14	217,65 435,30 652,95 870,60 1.088,25 1.284,14	0,36 0,69 0,94 1,12 1,30 1,48
10	4,68	1.131,79	217,65 435,30 652,95 870,60 1.088,25 1.131,79	0,38 0,68 0,96 1,12 1,34 1,50
Rata-rata	4,87	1.066,49		

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan V = 1088,25 N

Pembacaan VI = 1305,90 N

Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton 20% Bottom Ash

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur (N)	Lendutan (mm)
1	4,76	1.197,08	217,65	0,36
			435,30	0,66
			652,95	0,86
			870,60	1,02
			1.088,25	1,20
			1.197,08	1,28
2	4,76	914,13	217,65	0,39
			435,30	0,72
			652,95	0,92
			870,60	1,16
			914,13	1,26
3	4,70	892,37	217,65	0,26
			435,30	0,74
			652,95	0,96
			870,60	1,28
			892,37	1,41
4	5,20	1.131,79	217,65	0,49
			435,30	0,74
			652,95	1,05
			870,60	1,28
			1.088,25	1,42
			1.131,79	1,48
5	4,80	1.131,79	217,65	0,27
			435,30	0,58
			652,95	0,83
			870,60	0,98
			1.088,25	1,15
			1.131,79	1,26
6	4,84	979,43	217,65	0,40
			435,30	0,66
			652,95	0,99
			870,60	1,20
			979,43	1,38
7	4,70	1.110,02	217,65	0,48
			435,30	0,78
			652,95	1,03
			870,60	1,23
			1.088,25	1,40
			1.110,02	1,46

8	4,72	979,43	217,65 435,30 652,95 870,60 979,43	0,33 0,78 1,06 1,30 1,54
9	4,82	1.305,91	217,65 435,30 652,95 870,60 1.088,25 1.305,91	0,31 0,68 0,86 1,06 1,23 1,42
10	5,00	1.066,49	217,65 435,30 652,95 870,60 1.066,49	0,24 0,49 0,75 0,93 1,19
Rata-rata	4,83	1.070,84		

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan V = 1088,25 N

Pembacaan VI = 1305,90 N

Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton 30% Bottom Ash

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur (N)	Lendutan (mm)
1	5,20	1.327,67	217,65	0,44
			435,30	0,78
			652,95	1,10
			870,60	1,32
			1.088,25	1,49
			1.305,90	1,66
			1.327,67	1,74
2	5,02	761,78	217,65	0,44
			435,30	0,72
			652,95	0,95
			761,78	1,04

3	5,16	1.153,55	217,65	0,48
			435,30	0,88
			652,95	1,10
			870,60	1,25
			1.088,25	1,46
			1.153,55	1,49
4	4,78	1.110,02	217,65	0,52
			435,30	0,92
			652,95	1,15
			870,60	1,38
			1.088,25	1,56
			1.110,02	1,66
5	5,34	1.110,02	217,65	0,46
			435,30	0,73
			652,95	0,94
			870,60	1,14
			1.088,25	1,32
			1.110,02	1,46
6	5,22	1.262,38	217,65	0,52
			435,30	0,84
			652,95	1,20
			870,60	1,36
			1.088,25	1,53
			1.262,38	1,71
7	5,28	1.218,85	217,65	0,58
			435,30	0,86
			652,95	1,07
			870,60	1,24
			1.088,25	1,36
			1.218,85	1,48
8	4,68	979,43	217,65	0,46
			435,30	0,72
			652,95	0,97
			870,60	1,09
			979,43	1,26
9	5,26	1.110,02	217,65	0,61
			435,30	0,99
			652,95	1,28
			870,60	1,42
			1.088,25	1,60
			1.110,02	1,70

10	5,02	1.044,72	217,65 435,30 652,95 870,60 1.044,72	0,54 0,81 1,05 1,25 1,44
Rata-rata	5,10	1.107,84		

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan V = 1088,25 N

Pembacaan VI = 1305,90 N

Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton 40% Bottom Ash

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur (N)	Lendutan (mm)
1	5,14	1.044,72	217,65	0,38
			435,30	0,71
			652,95	0,91
			870,60	1,06
			1.044,72	1,24
2	5,12	914,13	217,65	0,28
			435,30	0,58
			652,95	0,76
			870,60	0,98
			914,13	1,10
3	4,96	1.240,61	217,65	0,38
			435,30	0,66
			652,95	0,87
			870,60	1,10
			1.088,25	1,28
4	5,14	870,60	217,65	0,36
			435,30	0,56
			652,95	0,76
			870,60	0,99
5	4,86	1.044,72	217,65	0,32
			435,30	0,61
			652,95	0,78
			870,60	0,97
			1.044,72	1,14

6	5,12	1.153,55	217,65	0,40
			435,30	0,68
			652,95	0,88
			870,60	1,07
			1.088,25	1,23
			1.153,55	1,34
7	5,04	979,43	217,65	0,42
			435,30	0,80
			652,95	1,16
			870,60	1,38
			979,43	1,56
8	4,96	1.066,49	217,65	0,50
			435,30	0,78
			652,95	1,00
			870,60	1,22
			1.066,49	1,43
9	5,12	1.131,79	217,65	0,36
			435,30	0,62
			652,95	0,91
			870,60	1,14
			1.088,25	1,36
			1.131,79	1,48
10	4,96	979,43	217,65	0,57
			435,30	0,81
			652,95	0,95
			870,60	1,17
			979,43	1,40
Rata-rata	5,04	1.042,55		

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan V = 1088,25 N

Pembacaan VI = 1305,90 N

Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton 50% Bottom Ash

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur (N)	Lendutan (mm)
1	5,12	979,43	217,65	0,38
			435,30	0,60
			652,95	0,88
			870,60	1,01
			979,43	1,10
2	5,08	935,90	217,65	0,32
			435,30	0,68
			652,95	0,93
			870,60	1,12
			935,90	1,28
3	5,06	914,13	217,65	0,58
			435,30	0,95
			652,95	1,20
			870,60	1,38
			914,13	1,48
4	5,04	827,07	217,65	0,30
			435,30	0,62
			652,95	0,88
			827,07	1,15
5	5,14	870,60	217,65	0,41
			435,30	0,66
			652,95	0,91
			870,60	1,12
6	5,14	979,43	217,65	0,55
			435,30	0,88
			652,95	1,14
			870,60	1,38
			979,43	1,52
7	5,08	935,90	217,65	0,58
			435,30	0,91
			652,95	1,21
			870,60	1,44
			935,90	1,56
8	5,16	892,37	217,65	0,41
			435,30	0,82
			652,95	1,08
			870,60	1,30
			892,37	1,42

9	5,00	827,07	217,65	0,48
			435,30	0,86
			652,95	1,06
			827,07	1,73
10	5,00	870,60	217,65	0,54
			435,30	0,72
			652,95	0,89
			870,60	1,16
Rata-rata	5,08	903,25		

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan V = 1088,25 N

Pembacaan VI = 1305,90 N

Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Genteng Beton Normal + fly ash (pabrik)

No	Berat Benda Uji (kg)	Beban Lentur maksimum yang mampu ditahan (N)	Lendutan di tengah bentang	
			Beban Lentur(N)	Lendutan(mm)
1	4,88	870,60	217,65	0,22
			435,30	0,55
			652,95	0,80
			870,60	0,98
2	5,06	1.262,38	217,65	0,30
			435,30	0,56
			652,95	0,72
			870,60	0,88
			1.088,25	1,05
3	4,58	1.197,08	1.262,38	1,22
			217,65	0,14
			435,30	0,42
			652,95	0,65
			870,60	0,85
			1.088,25	1,01
4	4,88	957,66	1.197,08	1,14
			217,65	0,42
			435,30	0,76
			652,95	0,98
			870,60	1,28
			957,66	1,42

5	4,88	1.044,72	217,65	0,16
			435,30	0,32
			652,95	0,65
			870,60	0,90
			1.044,72	1,18

Keterangan:

Pembacaan I = 217,65 N

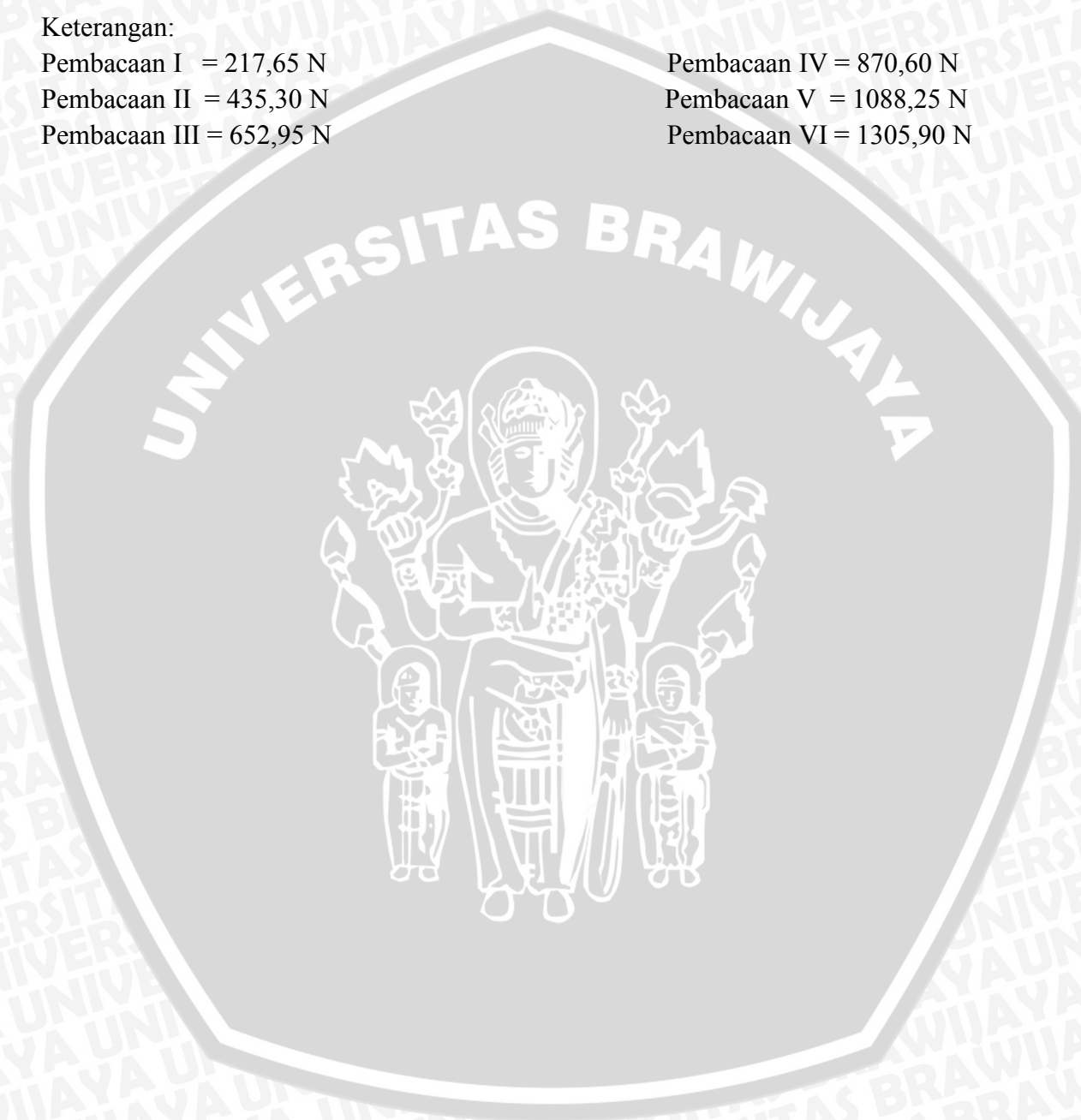
Pembacaan II = 435,30 N

Pembacaan III = 652,95 N

Pembacaan IV = 870,60 N

Pembacaan V = 1088,25 N

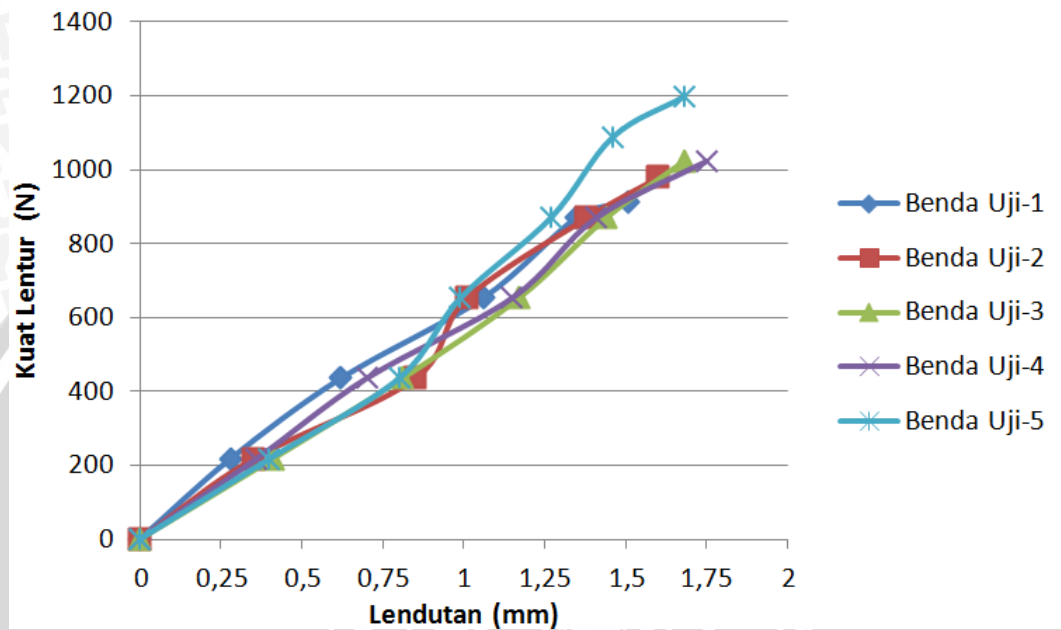
Pembacaan VI = 1305,90 N



Lampiran 5 Grafik Lendutan Akibat Beban Lentur

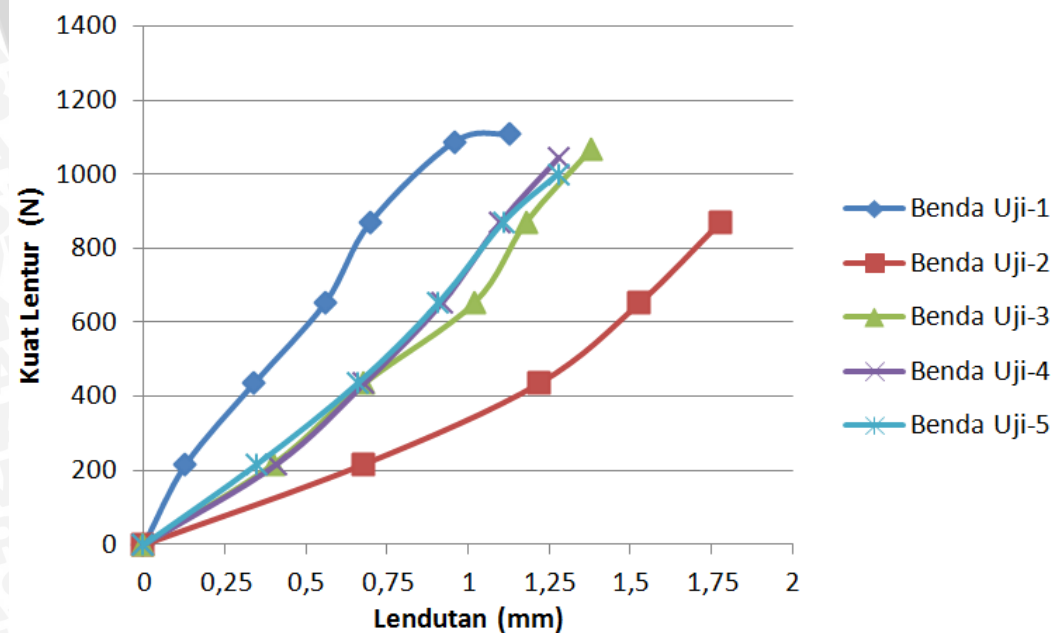
Untuk memudahkan pembacaan data pada **Lampiran 5**, maka dibuatkan grafik hubungan antara Kuat Lentur dan Lendutan dari beberapa benda uji masing-masing perlakuan.

1. Genteng Beton Normal



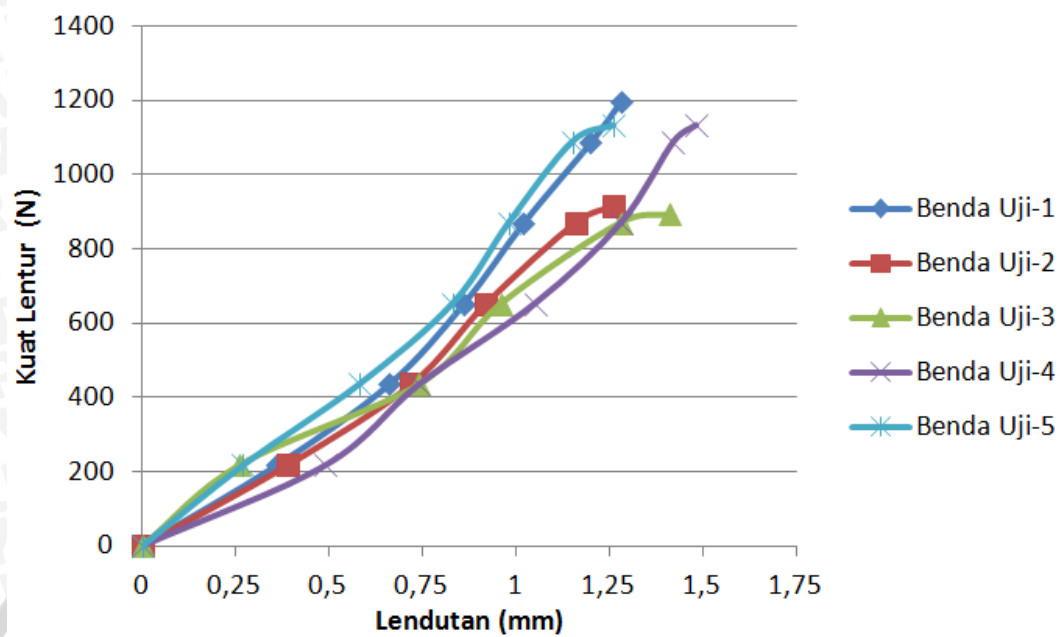
Gambar Lampiran 1 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton normal.

2. Genteng Beton 10% Bottom Ash



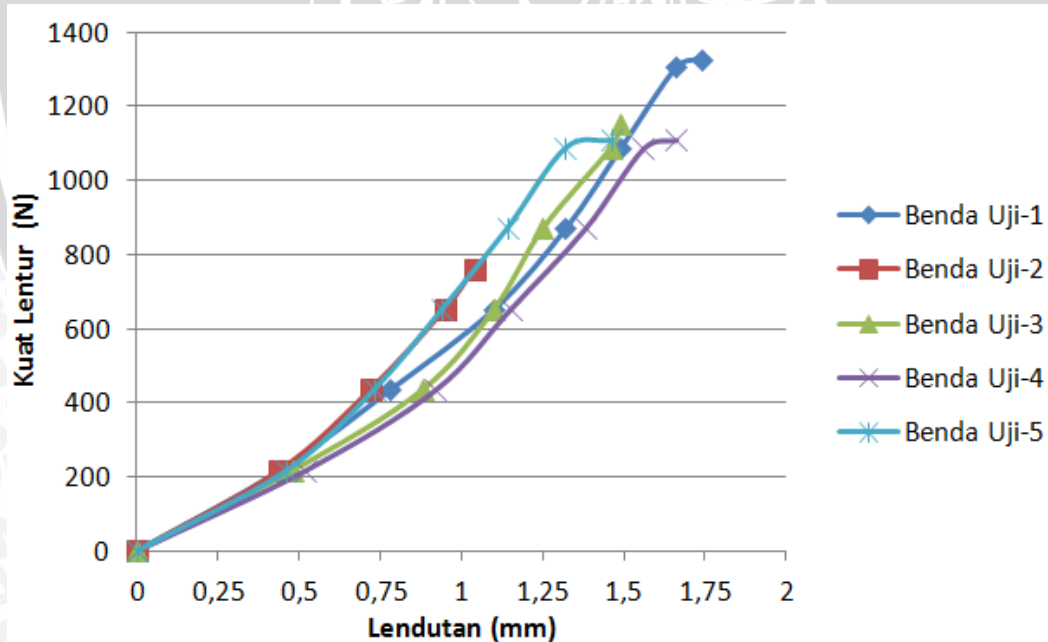
Gambar Lampiran 2 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton 10% bottom ash.

3. Genteng Beton 20% Bottom Ash



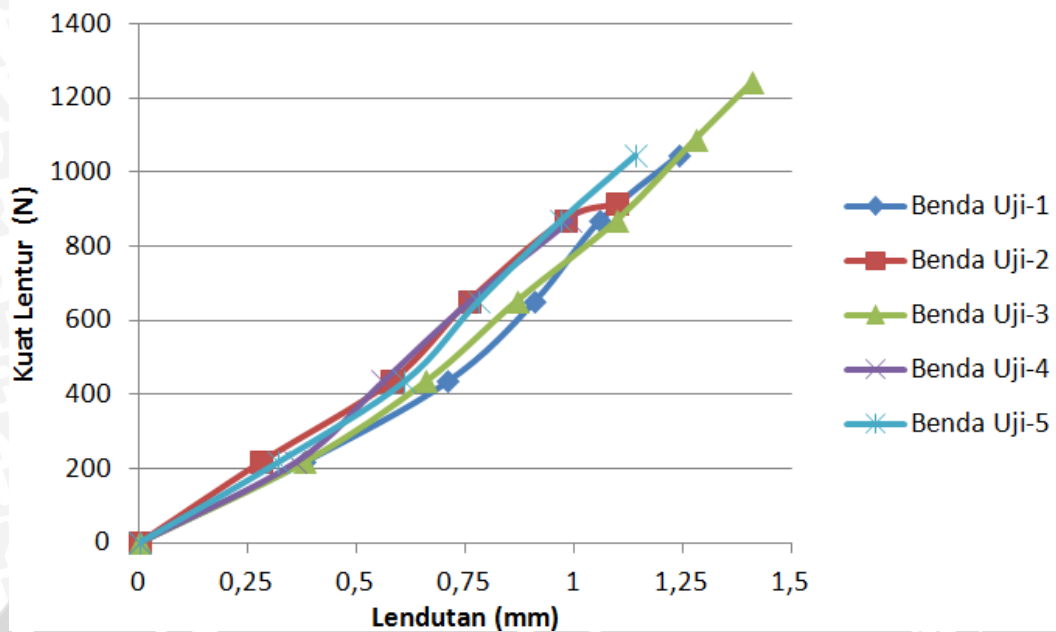
Gambar Lampiran 3 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton 20% *bottom ash*.

4. Genteng Beton 30% Bottom Ash



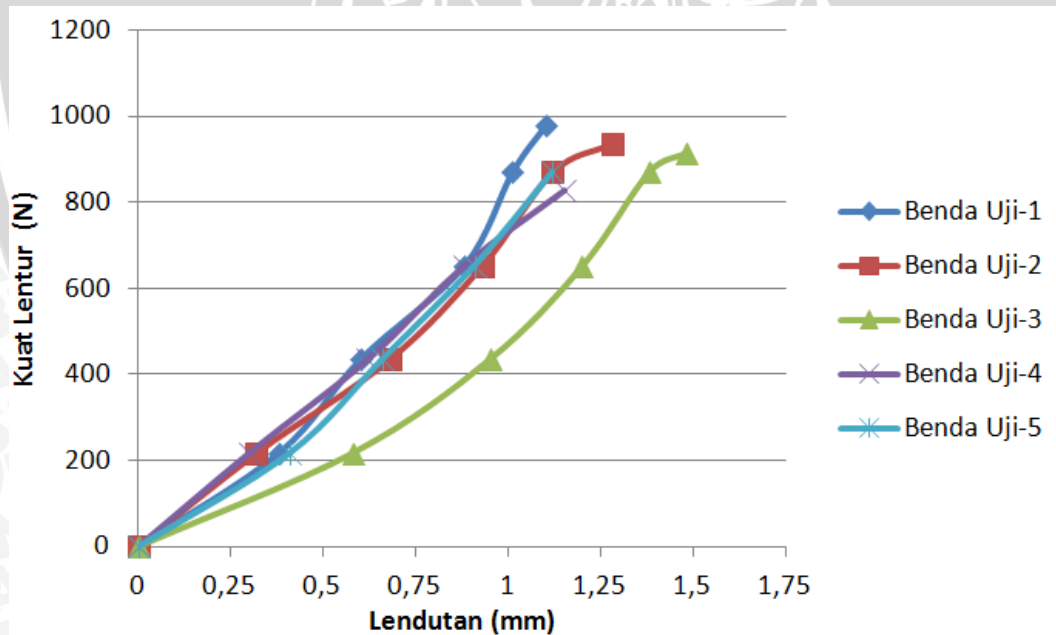
Gambar Lampiran 4 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton 30% *bottom ash*.

5. Genteng Beton 40% Bottom Ash



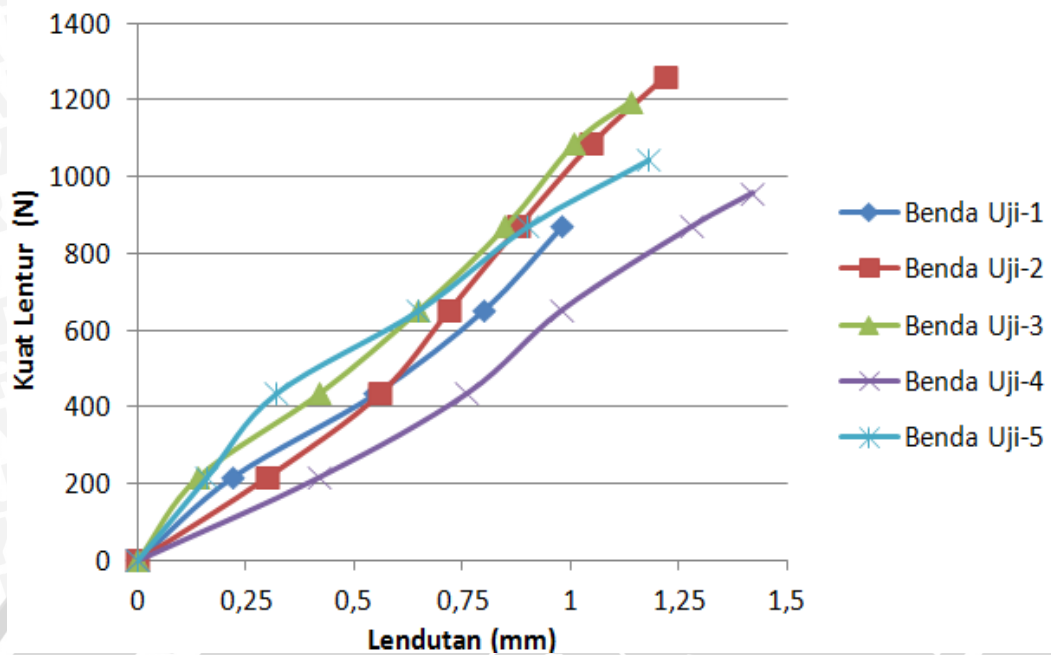
Gambar Lampiran 5 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton 40% *bottom ash*.

6. Genteng Beton 50% Bottom Ash



Gambar Lampiran 6 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton 50% *bottom ash*.

7. Genteng Beton Pabrik + *Fly Ash*



Gambar Lampiran 7 Hubungan kuat lentur dan lendutan pada genteng beton pabrik dengan *fly ash*.



Lampiran 6

Data Impermeabilitas Genteng Beton

Tabel Lampiran 1 Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton Normal

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Volume awal air (ml)	Volume akhir air (ml)	Selisih Volume (ml)	Rembesan
1	Normal	5,42	1000	960	40	Tidak ada
2		5,08	1000	810	190	Tidak ada
3		5,02	1000	920	80	Tidak ada

Tabel Lampiran 2 Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton 10% *Bottom Ash*

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Volume awal air (ml)	Volume akhir air (ml)	Selisih Volume (ml)	Rembesan
1	I	5,26	1000	880	120	Tidak ada
2		5,04	1000	746	254	Tidak ada
3		5,18	1000	960	40	Tidak ada

Tabel Lampiran 3 Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton 20 % *Bottom Ash*

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Volume awal air (ml)	Volume akhir air (ml)	Selisih Volume (ml)	Rembesan
1	II	4,92	1000	770	230	Tidak ada
2		4,92	1000	860	140	Tidak ada
3		4,88	1000	900	100	Tidak ada

Tabel Lampiran 4 Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton 30 % *Bottom Ash*

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Volume awal air (ml)	Volume akhir air (ml)	Selisih Volume (ml)	Rembesan
1	III	5,42	1000	845	155	Tidak ada
2		5,08	1000	620	380	Tidak ada
3		5,52	1000	910	90	Tidak ada

Tabel Lampiran 5 Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton 40 % *Bottom Ash*

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Volume awal air (ml)	Volume akhir air (ml)	Selisih Volume (ml)	Rembesan
1	IV	5,12	1000	710	290	Tidak ada
2		5,02	1000	820	180	Tidak ada
3		5,18	1000	840	160	Tidak ada

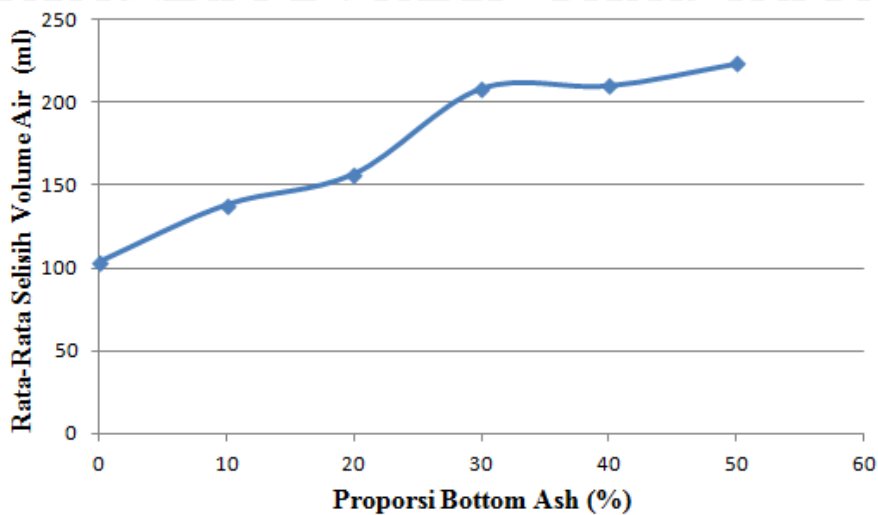
Tabel Lampiran 6 Pengujian Impermeabilitas Genteng Beton 50 % *Bottom Ash*

No	Perlakuan	Berat Benda Uji (kg)	Volume awal air (ml)	Volume akhir air (ml)	Selisih Volume (ml)	Rembesan
1	V	5,04	1000	780	220	Tidak ada
2		5,2	1000	850	150	Tidak ada
3		5,12	1000	700	300	Tidak ada

Tabel Lampiran 7 Kadar Penyerapan Air Rata-Rata Genteng Beton

No	Perlakuan	Rata-rata Selisih Volume (ml)
1	Normal	103,33
2	I	138
3	II	156,67
4	III	208,33
5	IV	210
6	V	223,33

Jika digambarkan dalam grafik adalah seperti pada **Gambar Lampiran 8** berikut ini;



Gambar Lampiran 8 Rata-rata sisa volume air.



Lampiran 7
Dokumentasi



Gambar Lampiran 9 *Bottom ash* untuk penelitian.



Gambar Lampiran 10 Pasir untuk penelitian.



Gambar Lampiran 11 Proses penghalusan *bottom ash* secara manual.



Gambar Lampiran 12 Pencampuran bahan dasar.



Gambar Lampiran 13 Penyimpanan genteng beton sementara



Gambar Lampiran 14 Genteng beton untuk penelitian.



Gambar Lampiran 15 Perendaman genteng beton.



Gambar Lampiran 16 Genteng beton usia 28 hari (siap untuk diuji).



Gambar Lampiran 17 Proses perangkaian alat uji lentur.



Gambar Lampiran 18 Alat-alat uji kuat lentur (dari kiri-kanan): *dial gauge*, *proving ring*, batang kayu pembebanan (2,5 x 6 cm), alat uji kuat lentur, dan dua batang kayu penumpu (2,5 x 6 cm).



Gambar Lampiran 19 Pengujian kuat lentur genteng beton.



Gambar Lampiran 20 Alat uji impermeabilitas genteng beton (kiri-kanan): seng tipis tebal 0,5 mm, *sealant* (perekat), plastik, penyangga.



Gambar Lampiran 21 Pengujian impermeabilitas genteng beton.



Gambar Lampiran 22 Kondisi genteng beton setelah pengujian kuat lentur.



Gambar Lampiran 23 Kondisi genteng beton setelah pengujian impermeabilitas.

Lampiran 8
Tabel Distribusi F untuk Probabilitas 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.28	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89	1.87
52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.89	1.86
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.05	2.00	1.96	1.92	1.89	1.87	1.84
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	2.00	1.96	1.92	1.89	1.86	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99	1.95	1.91	1.88	1.86	1.83
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99	1.95	1.91	1.88	1.85	1.83
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
69	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.86	1.84	1.81
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.81
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.85	1.83	1.80
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.83	1.80
76	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.80
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.82	1.79
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
85	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.78
89	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78

Lampiran 9
Tabel Distribusi T untuk Probabilitas 0,05

Pr	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
df	0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
1	1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2	0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3	0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4	0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5	0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6	0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7	0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8	0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9	0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10	0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11	0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12	0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13	0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14	0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15	0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16	0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17	0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18	0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19	0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20	0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21	0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22	0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23	0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496
24	0.68485	1.31784	1.71088	2.06390	2.49216	2.79694	3.46678
25	0.68443	1.31635	1.70814	2.05954	2.48511	2.78744	3.45019
26	0.68404	1.31497	1.70562	2.05553	2.47863	2.77871	3.43500
27	0.68368	1.31370	1.70329	2.05183	2.47266	2.77068	3.42103
28	0.68335	1.31253	1.70113	2.04841	2.46714	2.76326	3.40816
29	0.68304	1.31143	1.69913	2.04523	2.46202	2.75639	3.39624
30	0.68276	1.31042	1.69726	2.04227	2.45726	2.75000	3.38518
31	0.68249	1.30946	1.69552	2.03951	2.45282	2.74404	3.37490
32	0.68223	1.30857	1.69389	2.03693	2.44868	2.73848	3.36531
33	0.68200	1.30774	1.69236	2.03452	2.44479	2.73328	3.35634
34	0.68177	1.30695	1.69092	2.03224	2.44115	2.72839	3.34793
35	0.68156	1.30621	1.68957	2.03011	2.43772	2.72381	3.34005
36	0.68137	1.30551	1.68830	2.02809	2.43449	2.71948	3.33262
37	0.68118	1.30485	1.68709	2.02619	2.43145	2.71541	3.32563
38	0.68100	1.30423	1.68595	2.02439	2.42857	2.71156	3.31903
39	0.68083	1.30364	1.68488	2.02269	2.42584	2.70791	3.31279
40	0.68067	1.30308	1.68385	2.02108	2.42326	2.70446	3.30688

Catatan: Probabilita yang lebih kecil yang ditunjukkan pada judul tiap kolom adalah luas daerah dalam satu ujung, sedangkan probabilitas yang lebih besar adalah luas daerah dalam kedua ujung

Lampiran 10

Uji Anova

1. Uji Anova Satu Arah untuk Proporsi *Bottom Ash* 0%-30%

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
GB. Normal	10	10425,5	1042,55	20259,4
GB.10% Bottom Ash	10	10664,9	1066,49	27896,8
GB.20% Bottom Ash	10	10708,4	1070,84	17032,9
GB.30% Bottom Ash	10	11078,4	1107,84	25207,1

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	21838,5	3	7279,49	0,32211	0,80932	2,86627
Within Groups	813566	36	22599,1			
Total	835404	39				

F hitung (F) < F tabel (F_{crit}) = H_0 diterima

Pembahasan : Dari hasil ini disimpulkan bahwa pada proporsi bottom ash 0%-30%, *bottom ash* tidak berpengaruh sebagai bahan pengganti semen ditinjau dari kuat lentur dikarenakan peningkatan kuat lentur rata-rata yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.

2. Uji Anova Satu Arah untuk Proporsi Proporsi *Bottom Ash* 30%-50%

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
GB.30% Bottom Ash	10	11078,4	1107,84	25207,1
GB.40% Bottom Ash	10	10425,5	1042,55	12679,9
GB.50% Bottom Ash	10	9032,52	903,252	3079,18

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	218416	2	109208	7,99743	0,00187	3,35413
Within Groups	368696	27	13655,4			
Total	587112	29				

F hitung (F) > F tabel (F_{crit}) = H_0 ditolak

Pembahasan : Dari hasil ini disimpulkan bahwa pada proporsi bottom ash 30%-50%, *bottom ash* berpengaruh sebagai bahan pengganti semen ditinjau dari kuat lentur dikarenakan Kuat Lentur rata-rata yang dihasilkan mengalami penurunan yang signifikan.

Catatan: Analisis menggunakan *Software Microsoft Excel 2007*.