

TUGAS AKHIR

**PENELITIAN LABORATORIUM
PENGARUH ABU TERBANG SEBAGAI
PENGGANTI SEBAGIAN PASIR DAN PASIR
HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON**



Disusun Oleh :

AGUS MULYANTO
No. Mhs. : 87 310 127
Nirm : 875104330115

SUGIARTO
No. Mhs. : 92 310 231
Nirm : 920051013114120231

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998**

TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM
PENGARUH ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN PASIR
DAN PASIR HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Disusun Oleh :

Nama : Agus Mulyanto

No. Mhs : 87 310 127

Nirm : 875104330115

Nama : Sugiarto

No. Mhs : 92 310 231

Nirm : 920051013114120231

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

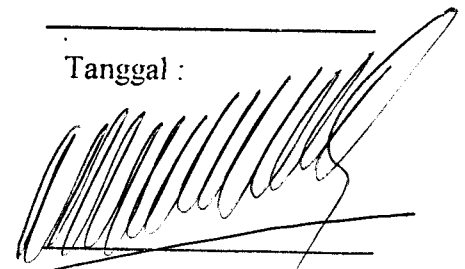
Ir. H. M. Samsudin, MT

Dosen Pembimbing I

Ir. A. Kadir Aboe, MS

Dosen Pembimbing II

Tanggal :



Tanggal : 17/04/98

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir tentang penelitian laboratorium berjudul **“PENGARUH ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN PASIR DAN PASIR HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON”** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Hal ini tidak terlepas dari dukungan, motivasi dan sumbangan pikiran yang sangat membantu dalam menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penulisan hingga selesainya Tugas Akhir ini. Untuk itu dengan segala keikhlasan hati kami ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H.M. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. A.Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
5. Semua instansi yang telah membantu.

6. Kedua Orang Tua atas doa restunya, yang telah banyak memberi bantuan dan dorongan baik moril maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Rekan Dani dan Baru yang telah membantu menyediakan fasilitas komputer, rekan Ono, I'in, Zaki, Oom Bud yang telah membantu penyusun pada saat penelitian di laboratorium, serta rekan-rekan yang lain yang telah ikut membantu selama penyusunan laporan ini.

Penyusun menyadari dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan ilmu serta kemampuan yang kami miliki. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan untuk perbaikan dan pengembangan di masa mendatang.

Akhir kata penyusun sangat berharap semoga penulisan kami ini bermanfaat bagi kita semua. Semoga Allah SWT memberkati kita semua. Amin.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Februari 1998

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Hipotesa.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Umum.....	6
2.2 Material Penyusun Beton.....	6
2.2.1 Semen.....	6
2.2.2 Agregat.....	8
2.3 Kekentalan.....	22

BAB III	LANDASAN TEORI	24
3.1	Sifat Penyusun Beton.....	24
3.1.1	Semen.....	24
3.1.2	Kerikil	24
3.1.3	Pasir.....	25
3.1.4	Air.....	25
3.1.5	Limbah batubara.....	25
3.2	Benda Uji.....	25
3.3	Perencanaan Campuran Beton.....	27
3.3.1	Beton biasa	27
3.3.2	Beton menggunakan limbah batubara	33
3.4	Kuat Tekan	34
BAB IV	METODA PENELITIAN.....	37
4.1	Bahan dan Alat	37
4.1.1	Bahan	37
4.1.2	Alat	38
4.2	Prosedur Pelaksanaan	38
4.2.1	Persiapan material	38
4.2.2	Rencana pencampuran beton dan pelaksanaan	41
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	50
5.1	Umum	50
5.1.1	Berat volume	50
5.1.2	Kebutuhan air	51

5.1.3 Hasil pengujian kuat tekan.....	52
5.2 Pembahasan.....	65
5.2.1 Berat volume beton.....	65
5.2.2 Kebutuhan air.....	68
5.2.3 Kuat tekan beton.....	68
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
6.1 Kesimpulan.....	72
6.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Kriteria Beton yang Akan Diteliti.....	5
Tabel 2.1.	Bagian Utama dari Klinker.....	7
Tabel 2.2.	Kandungan Unsur Kimia dari Limbah Batubara.....	21
Tabel 2.3.	Spesifikasi Abu Terbang sebagai Pozolan.....	22
Tabel 2.4.	Nilai “Slump” untuk Berbagai Macam Pekerjaan Beton.....	23
Tabel 3.1.	Nilai Standar Deviasi.....	29
Tabel 3.2.	Faktor Kekompakan Butiran.....	29
Tabel 3.3.	Harga-harga K, Ks, Kp.....	32
Tabel 3.4.	Harga-harga Koefisien Kekompakan (γ).....	33
Tabel 3.5.	Perbandingan Kuat Tekan beton pada Berbagai Umur.....	35
Tabel 4.1.	Analisa Saringan Pasir.....	39
Tabel 4.2.	Analisa Saringan Kerikil.....	39
Tabel 4.3.	Analisa Saringan Abu Terbang.....	39
Tabel 4.4.	Kebutuhan Material Untuk Beton Normal (20 benda uji).....	44
Tabel 4.5.	Kebutuhan Material Untuk Beton dengan Persentase Abu Terbang Tertentu (20 benda uji).....	44
Tabel 4.6.	Kebutuhan Material Untuk Beton dengan Abu Terbang sebagai Pengganti Pasir halus (20 benda uji).....	44
Tabel 5.1.	Berat Volume Beton pada Tiap Variasi Penambahan Abu Terbang.....	51
Tabel 5.2.	Kebutuhan Air Rencana dan Terpakai pada Tiap Variasi Penambahan Abu Terbang.....	52

Tabel 5.3.	Kebutuhan Air Rencana dan Terpakai dengan Abu Terbang sebagai Pengganti Pasir Halus	52
Tabel 5.4.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₁₇₅ Normal	53
Tabel 5.5.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₂₅ Normal.....	53
Tabel 5.6.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₇₅ Normal.....	54
Tabel 5.7.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₁₇₅ Persentase Abu Terbang 5 %.....	55
Tabel 5.8.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₂₅ Persentase Abu Terbang 5 %	55
Tabel 5.9.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₇₅ Persentase Abu Terbang 5 %.....	56
Tabel 5.10.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₁₇₅ Persentase Abu Terbang 10 %.....	57
Tabel 5.11.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₂₅ Persentase Abu Terbang 10 %.....	57
Tabel 5.12.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₇₅ Persentase Abu Terbang 10 %.....	58
Tabel 5.13.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₁₇₅ Persentase Abu Terbang 15 %.....	59
Tabel 5.14.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₂₅ Persentase Abu Terbang 15 %.....	60
Tabel 5.15.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₇₅ Persentase Abu Terbang 15 %.....	61

Tabel 5.16.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₁₇₅ dengan Abu Terbang Pengganti Fraksi Halus yang Lolos Saringan no. 100.....	62
Tabel 5.17.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₂₅ dengan Abu Terbang Pengganti Fraksi Halus yang Lolos Saringan no. 100.....	63
Tabel 5.18.	Hasil-hasil Pengujian terhadap Silinder Beton Mutu K ₂₇₅ dengan Abu Terbang Pengganti Fraksi Halus yang Lolos Saringan no. 100.....	64
Tabel 5.19.	Persentase Kenaikan dari Penambahan Abu Terbang pada Mutu Beton K ₁₇₅	68
Tabel 5.20.	Persentase Kenaikan dari Penambahan Abu Terbang pada Mutu Beton K ₂₂₅	69
Tabel 5.21.	Persentase Kenaikan dari Penambahan Abu Terbang pada Mutu Beton K ₂₇₅	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Alat Pengujian Nilai “Slump”	23
Gambar 3.1. Dosis Semen	30
Gambar 4.1. Gradasi Abu Terbang.....	40
Gambar 4.2. Grafik Gradasi Pasir dan Kerikil Mutu Beton K_{175}	47
Gambar 4.3. Grafik Gradasi Pasir dan Kerikil Mutu Beton K_{225}	48
Gambar 4.4. Grafik Gradasi Pasir dan Kerikil Mutu Beton K_{275}	49
Gambar 5.1. Berat Volume Beton dengan Persentase Abu Terbang Tertentu	66
Gambar 5.2. Berat Volume Beton dengan Abu Terbang Menggantikan Fraksi Halus	67
Gambar 5.3. Grafik Kenaikan Kuat Tekan pada Mutu Beton K_{175}	69
Gambar 5.4. Grafik Kenaikan Kuat Tekan pada Mutu Beton K_{225}	70
Gambar 5.5. Grafik Kenaikan Kuat Tekan pada Mutu Beton K_{275}	71

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder untuk Beton Normal pada Umur 14 Hari.
- Lampiran 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder untuk Beton dengan Persentase Abu Terbang 5 % pada Umur 14 Hari.
- Lampiran 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder untuk Beton dengan Persentase Abu Terbang 10 % pada Umur 14 Hari.
- Lampiran 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder untuk Beton dengan Persentase Abu Terbang 15 % pada Umur 14 Hari.
- Lampiran 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder untuk Beton dengan Abu Terbang sebagai Pasir Halus yang Lolos Saringan No. 100 pada Umur 14 Hari.

INTISARI

Beton merupakan salah satu komponen pokok suatu struktur bangunan. Kualitas beton dipengaruhi oleh desain, material penyusun dan pelaksanaannya. Material penyusun beton umumnya terdiri dari semen, kerikil, pasir dan air.

Pada penelitian ini, limbah batubara dimanfaatkan sebagai alternatif lain sebagai bahan tambah dalam material penyusun beton. Limbah batubara disamping mempunyai sifat pozolanic, yaitu suatu bahan yang apabila bercampur dengan air (H_2O) dapat mempunyai daya sementasi juga berbentuk butiran. Pada daerah di sekitar lokasi PLTU, limbah batubara merupakan suatu material bangunan yang cukup murah bila dimanfaatkan untuk bahan material suatu bangunan.

Pada penelitian ini, abu terbang digunakan untuk mengganti sebagian pasir dengan persentase 5%, 10%, 15% dan pengganti pasir halus yang lolos saringan diameter $150\mu m$.

Dari hasil penelitian, beton yang menggunakan abu terbang didapat peningkatan kuat tekan tertinggi pada persentase 15 % untuk campuran mutu beton K_{175} dan K_{225} masing-masing 18,124%, 22,232%, sedangkan hasil uji kuat tekan beton mutu K_{275} didapat peningkatan tertinggi 17,355% yang terjadi pada persentase abu terbang 10%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dewasa ini sedang memacu pertumbuhan pembangunan perindustrian untuk menyongsong era perdagangan bebas. Adanya perkembangan industri yang begitu pesat tentunya akan membawa pengaruh, baik pengaruh positif maupun pengaruh negatif. Terlepas dari pengaruh positif, pengaruh negatif dari pertumbuhan pembangunan perindustrian salah satunya timbul permasalahan baru pada lingkungan hidup. Hal ini karena setiap industri akan menghasilkan limbah, kalau tidak ditangani dengan baik limbah hasil industri tersebut makin lama makin menumpuk. Salah satu bidang industri yang banyak menghasilkan limbah yaitu bidang industri energi listrik dengan tenaga uap (PLTU).

Industri listrik dengan tenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar batubara menghasilkan limbah batubara. Pada PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur menghasilkan limbah batubara berkisar 450.000 ton/tahun dan diperkirakan akan mencapai lebih dari 2.000.000 ton/tahun pada tahun 2000 nanti. Limbah batubara dalam jumlah yang begitu besar tersebut jika tidak dimanfaatkan akan menjadikan suatu masalah pada saat menanganinya. Terutama sekali untuk penyediaan limbah tersebut agar tidak mengganggu lingkungan.

Limbah batubara disamping mempunyai sifat pozolanik, yaitu suatu bahan yang apabila bercampur dengan air (H_2O) dapat mempunyai daya sementasi juga berbentuk butiran. Pada daerah disekitar lokasi PLTU, limbah batubara merupakan suatu material bangunan yang cukup murah bila dimanfaatkan untuk bahan material suatu bangunan.

Beton merupakan campuran dari semen portland, air, agregat halus dan agregat kasar. Beton paling sedikit mengandung dua macam fraksi agregat. Pembuatan campuran adukan beton disamping harus memenuhi syarat kekuatan yang ditentukan juga diupayakan untuk dapat membuat campuran adukan beton dengan biaya yang ekonomis.

Menindaklanjuti anjuran pemerintah tentang pembangunan dan industri yang berwawasan lingkungan, maka pada penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah batubara sebagai bahan material bangunan. Di samping mencari alternatif biaya pembuatan beton yang lebih murah, tetapi tetap memenuhi syarat kekuatan yang ditentukan .

Pada penelitian terdahulu, abu terbang/limbah batubara dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk mortar (Asmoro Sigit dan Nugroho Iman S, 1995), pengganti sebagian semen (LIPI), stabilisasi tanah lempung (Slamet Mujihartono dan Asep Ardiansyah, 1995). Bahkan abu terbang/limbah batubara untuk pengganti sebagian semen telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan misalnya untuk membuat bahan-bahan bangunan non struktural. Untuk menindaklanjuti penelitian yang sudah

dilaksanakan tersebut, maka pada penelitian ini dicoba memanfaatkan butiran dari limbah batubara yang menyerupai butir-butir pasir halus untuk pengganti sebagian pasir. Limbah batubara yang berbentuk butiran halus dan juga mempunyai sifat sementasi jika digunakan sebagai pengganti sebagian pasir pada beton diharapkan menghasilkan ikatan antar butir yang lebih kompak dan lebih padat. Sehingga dimungkinkan akan terjadi peningkatan kekuatan dari beton tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh abu terbang /limbah batubara terhadap kuat tekan beton bila digunakan untuk pengganti sebagian pasir, dari penelitian ini diharapkan diperoleh beton yang relatif lebih padat, lebih kompak serta mempengaruhi kuat tekan beton yang lebih tinggi.

1.3 Manfaat Penelitian

Pemanfaatan abu terbang menunjang program pemerintah yaitu pembangunan industri yang berwawasan lingkungan. Dengan didapatkan mutu beton yang relatif lebih tinggi dengan biaya yang relatif lebih murah akan didapat penghematan biaya pembuatan beton, secara umum dapat menghemat biaya pembangunan.

1.4 Hipotesa

Limbah batubara berbentuk butiran halus juga mempunyai sifat sementasi. Bentuk butiran dan sifat sementasi dari limbah batubara dimungkinkan untuk mendapatkan beton yang relatif lebih padat dan kompak sehingga dapat memberikan kekuatan beton yang relatif lebih besar daripada kekuatan beton biasa. Butiran yang

lebih halus diharapkan dapat mengisi pori-pori antar agregat yang berukuran lebih besar dan dengan sifat sementasinya limbah batubara dapat membantu semen portland memperkuat ikatan antar butirnya. Kepadatan beton yang dihasilkan akan meningkatkan kuat tekan beton.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi oleh sebagai berikut:

1. Material:

- a. Semen produksi P.T. Nusantara
- b. Agregat kasar dari kali krasak
- c. Agregat halus dari kali krasak
- d. Abu terbang/limbah batubara dari PLTU Paiton, Kabupaten Probolinggo, Propinsi Jawa Timur

2. Mutu beton direncanakan : K_{175} , K_{225} , K_{275}

3. Macam campuran yang akan diuji meliputi :

- a. Beton tanpa abu terbang
- b. Beton dengan abu terbang sebagai pengganti pasir dengan persentase tertentu yaitu 5%, 10%, 15%.
- c. Beton dengan abu terbang sebagai pengganti seluruh pasir halus yaitu pasir yang lolos saringan diameter 150 μm .

Tabel 1.1 Kriteria beton yang akan diteliti

Mutu Beton	Kriteria	Jumlah Sampel	Umur Pengujian	
K ₁₇₅	Beton Biasa	20	14 hari	
	Beton Dengan Persentase Limbah Tertentu	5%		20
		10%		20
		15%		20
	Beton Dengan Abu Terbang Yang Lolos Saringan ϕ 150 μ m	20		
K ₂₂₅	Beton Biasa	20	14 hari	
	Beton Dengan Persentase Limbah Tertentu	5%		20
		10%		20
		15%		20
	Beton Dengan Abu Terbang Yang Lolos Saringan ϕ 150 μ m	20		
K ₂₇₅	Beton Biasa	20	14 hari	
	Beton Dengan Persentase Limbah tertentu	5%		20
		10%		20
		15%		20
	Beton Dengan Abu Terbang Yang Lolos Saringan ϕ 150 μ m	20		

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut SK-SNI-T-15-1991-03 beton adalah campuran semen, kerikil, pasir, air dengan komposisi tertentu. Beton dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Luasnya pemakaian beton disebabkan oleh karena terbuat dari bahan yang umumnya mudah diperoleh, serta mudah diolah. Beton dengan limbah batubara sebagai pengganti sebagian pasir, diharapkan akan memberikan kuat desak beton yang lebih tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan untuk struktur utama dengan harga yang relatif lebih rendah.

Limbah batubara dengan sifat butiran relatif halus diharapkan dapat menghasilkan campuran beton yang lebih kompak/padat.

2.2 Material Penyusun Beton

2.2.1 Semen

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat

hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Bagian utama dari klinker ini adalah seperti pada tabel 2.1.

Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya banyak macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus.

Tabel 2.1 Bagian utama dari klinker

Nama Senyawa	Komposisi Oksidasi	Singkatan
Dikalsium Silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Trikalsium Silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Trikalsium Aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_4A
Tetra Kalsium Aluminat	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Sumber : Bahaan dan praktek beton L.J. Murdock, K.M. Brook

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun pasta semen yang sudah mengeras, juga beton yang dibuat dari semen tersebut. Sifat-sifat semen yang penting yaitu :

1. Kehalusan butir (“finenes”)
2. Waktu ikatan (“setting time”)
3. Kekentalan (“soudness”)
4. Kekuatan (“strength”)
5. Panas hidrasi (“heat of hydration”)

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, komponen utama dari semen dapat dilakukan perubahan persentase komposisi kimianya sehingga menghasilkan beberapa jenis semen.

Semen Portland di Indonesia (PUBI-1982) dibagi menjadi lima jenis, yaitu :

Jenis I : Semen Portland untuk kegunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada tipe lain.

Jenis II : Semen Portland yang pada penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah

Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume beton. Walaupun sebagai bahan pengisi, agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton.

Cara membedakan agregat yang umum dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedang agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam teknologi beton agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,8 mm disebut agregat kasar, dan yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau split, adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm kadang-kadang disebut pasir halus, sedangkan buttir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut "silt", dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut "clay".

Agregat diperoleh dari alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alam, dan atau buatan. Agregat buatan umumnya dibuat dari pecahan bata atau genteng yang bersih atau terak dingin dari tanur tinggi.

Menilai jenis agregat yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton, tergantung kepada mutu beton, tersedianya bahan, harga bahan, jenis kontruksi yang akan menggunakan bahan tersebut.

Agregat yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton terlebih dahulu diketahui antara lain adalah:

1. Ukuran maksimum butir agregat
2. Gradasi
3. Kebersihan
4. Bentuk butiran
5. Kekerasan
6. Tekstur permukaan
7. Berat jenis
8. Kadar air
9. Berat satuan.

1. Ukuran maksimum butir agregat

Adukan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang sama, atau beton dengan kekuatan yang sama, akan membutuhkan semen lebih sedikit apabila dipakai butir-butir kerikil yang besar-besar. Oleh karena itu untuk mengurangi jumlah semen sehingga biaya pembuatan beton berkurang dibutuhkan ukuran butir-butir yang sebesar-besarnya. Pengurangan jumlah semen juga berarti pengurangan panas hidrasi, dan ini berarti mengurangi kemungkinan beton untuk retak akibat susut atau perbedaan panas yang terlalu besar. Walaupun demikian, besar butir maksimum agregat tidak terlalu besar, karena ada faktor-faktor lain yang membatasi. Faktor-faktor tersebut adalah:

- a. Ukuran maksimum butir tidak boleh terlalu besar dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antar baja tulangan atau antara baja tulangan dengan cetakan.
- b. Ukuran maksimum agregat tidak boleh lebih dari $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat.

- c. Ukuran butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada $1/5$ jarak terkecil antar bidang-bidang samping dari cetakan.

Dengan pertimbangan tersebut diatas, maka ukuran maksimum agregat dipakai pada penelitian ini adalah 25mm.

2. Gradasi

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butir dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama, volume pori akan besar, sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butir yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi lebih sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi. Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai presentase dari berat butiran yang tertinggal atau lolos dalam suatu susunan ayakan. Susunan ayakan itu ialah ayakan dengan lubang, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, dan 0,15 mm.

3. Bentuk butiran

Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar dari pada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butirannya agregat dapat dibedakan menjadi:

- a. Agregat bulat, mempunyai rongga udara minimum 33% hal ini berarti mempunyai rasio luas permukaan volume kecil, sehingga hanya memerlukan pasta semen yang sedikit untuk menghasilkan beton yang baik, namun ikatan antara butir-butirnya tidak kuat sehingga kekuatannya lemah. Agregat bentuk ini cocok untuk beton mutu tinggi maupun perkerasan jalan.

- b. Agregat bulat sebagian, mempunyai rongga lebih tinggi, berkisar antara 35 sampai 38 persen. Dengan demikian membutuhkan banyak pasta semen untuk mendapatkan beton segar yang baik. Ikatan antara butir-butirnya juga lebih baik dari pada agregat bulat, namun belum cukup baik untuk dibuat beton mutu tinggi.
- c. Agregat bersudut, mempunyai rongga berkisar antara 38 sampai 40 persen. Pasta semen yang digunakan lebih banyak untuk membuat adukan beton. Ikatan antar butir-butirnya dan daya lekatnya baik, sehingga agregat bersudut ini sangat cocok untuk beton mutu tinggi.
- d. Agregat pipih, ukuran terkecil butirannya kurang dari $\frac{3}{5}$ ukuran rata-ratanya. Ukuran rata-rata agregat ialah rata-rata ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat, misalnya agregat lolos pada saringan 20 mm dan tertahan pada lubang saringan 10 mm, maka ukuran agregat rata-rata sebesar 15 mm. Agregat tersebut dikatakan pipih jika ukuran terkecil butirannya kurang dari $\frac{3}{5} \times 15 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$.
- e. Butiran agregat disebut memanjang apabila ukuran terbesar (yang paling panjang) lebih dari $\frac{9}{5}$ ukuran rata-ratanya.

Dengan demikian agregat dengan butir-butir bulat umumnya lebih baik dari pada agregat dengan butir-butir yang berbentuk pipih atau panjang jika dipakai untuk membuat beton, karena :

- a. lebih mudah memindahkan butir satu terhadap yang lain dalam beton segar
- b. dapat mengurangi air dan pasta semen pada tingkat kemudahan yang sama dibanding butiran yang berbentuk tajam atau bersudut.

4. Kebersihan

Agregat pada umumnya tidak bebas dari bahan-bahan yang keberadaannya mungkin memberi pengaruh yang merugikan terhadap :

- a. Kekuatan beton
- b. Keawetan dan memperlihatkan permukaan beton yang jelek
- c. Kemudahan pengerjaan

Di tinjau dari aksi zat-zat berpengaruh buruk tersebut, maka dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Zat yang mengganggu proses hidrasi semen, yaitu bahan-bahan organik seperti sisa-sisa tumbuhan dalam bentuk humus, bagian tanaman dan asam-asam organik.
2. Zat yang melapisi agregat sehingga mengganggu terbentuknya lekatan yang baik antara agregat dengan pasta semen, yaitu tanah liat, lempung dan debu sisa pecahan batu.
3. Butiran yang kurang tahan cuaca, yang bersifat lemah akan menimbulkan reaksi kimia antara agregat dan pastanya, yaitu mika, butir-butir yang mengandung garam, arang batu dan tanah yang mengandung belerang.

5. Kekerasan

Kekuatan beton tidak lebih tinggi dari kekuatan agregatnya. Oleh karena itu sepanjang kekuatan agregat lebih tinggi dari pada beton yang dibuat dari agregat tersebut dianggap masih kuat.

Butir-butir agregat yang lemah yaitu butir-butir yang kekuatannya lebih rendah dari pada pasta semen yang telah mengeras, tidak dapat menghasilkan beton yang kekuatannya dapat diandalkan. Namun dalam kasus-kasus beton kuat tekan tinggi yang mengalami konsentrasi tegangan lokal cenderung mempunyai tegangan lebih tinggi daripada kekuatan seluruh beton. Hal ini dapat mengurangi konsentrasi tegangan pada pasta beton selama pembebanan dengan demikian membantu mengurangi bahaya akibat terjadi retakan pada beton.

Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua sebab, yaitu karena terdiri bahan yang lemah dan terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat dengan baik, jadi ikatannya kurang kuat.

Jumlah butiran yang lemah dan lunak perlu dibatasi jika ketahanan terhadap abrasi yang kuat dari betonnya diperlukan. Juga modulus elastis dari agregat penting jika diinginkan modulus elastis betonnya baik. Pengujian kekuatan agregat kasar dapat dilakukan dengan mesin uji Los Angeles. Pada cara uji ini contoh butir-butir agregat dimasukkan kedalam silinder logam, dengan bola-bola baja untuk memukul, kemudian silinder diputar sehingga butir-butir agregat tersebut terpukul-pukul dan terabrasi. Persentase jumlah agregat yang hancur selama pengujian merupakan ukuran dari sifat-sifat agregat yaitu keuletan, kekerasan, dan ketahanan terhadap aus. Cara uji dengan mesin aus Los Angeles ini juga dapat digunakan untuk memeriksa adanya butir-butir yang lunak dalam agregat. Caranya dengan mengukur butiran yang pecah pada akhir putaran ke-100 kali yang pertama dibandingkan dengan pada akhir putaran ke-500. Umumnya bila butiran yang pecah pada akhir putaran ke-100

sudah lebih dari 20% dari pada ahir putaran ke-500 dianggap butir lunak sudah terlalu banyak.

6. Tekstur permukaan

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran, apakah permukaan butiran termasuk halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada umumnya permukaan butiran kasar, agak kasar, agak licin, dan licin. Tapi berdasarkan pemeriksaan visual butiran agregat, tekstur permukaan butiran, dapat dibedakan menjadi:

- a. sangat halus (“glassy”),
- b. halus,
- c. kasar,
- d. berkilat (“crystalline”),
- e. berpori,
- f. berlubang-lubang.

Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan juga tergantung pada besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang berakibat licin atau kasar permukaan tersebut.

Bentuk dari tekstur permukaan sangat berpengaruh terhadap :

1. Daya serap terhadap air
2. Kemudahan pengerjaan dari beton segarnya
3. Daya lekat antara agregat dengan pastanya.

Suatu agregat dengan permukaan yang berpori dan kasar lebih disukai daripada permukaan agregat yang halus, karena agregat dengan permukaan tekstur yang kasar dapat meningkatkan rekatan agregat dan semen sampai 1,75 kali, dan kuat tekan betonnya dapat meningkat sekitar 20 persen.

7. Berat jenis

Berdasarkan berat jenis, agregat dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu :

a. Agregat normal

Agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7 ton/m³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, dan kuarsa. Beton yang dihasilkan dari agregat ini mempunyai berat jenis sekitar 2,3 ton/m³ dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai 40 Mpa.

b. Agregat berat

Agregat berat mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 ton/m³. Misalnya magnetik (FE_3O_4), barytes ($BaSO_4$), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan dari agregat ini juga mempunyai berat jenis yang tinggi sampai 5 ton/m³. Agregat jenis ini efektif sebagai dinding radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2 ton/m³ yang biasanya digunakan untuk beton non struktural, akan tetapi dapat juga digunakan untuk beton struktural atau blok dinding beton.

8. Kadar air

Kadar air yang ada pada agregat perlu diketahui, untuk menghitung jumlah air yang akan dipakai dalam campuran adukan beton dan juga untuk mengetahui berat satuan agregat.

Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu :

- a. Kering tungku, benar-benar tidak mengandung air, dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, butir-butir agregat kering permukaannya tetapi mengandung sedikit air di dalam porinya.
- c. Jenuh kering muka, pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butir-butir agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah, pada tingkat ini butir-butir mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai untuk campuran akan memberi air.

Dari keempat keadaan tersebut keadaan jenuh kering muka (“ Saturated surface Dry, SSD”) lebih disukai sebagai standar, karena :

- a. Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya.
- b. kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan “SSD”.

9. Berat satuan

Berat satuan agregat adalah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam Kg/liter atau ton/m^3 . Berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam satu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volume padat dan volume pori terbukanya

2.2.3 Air

Air sangat penting dalam pembentukan pasta semen, yang berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*workability*), kekuatan, susut, dan keawetan beton.

Hal penting dalam pemilihan air antara lain kejernihannya dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak (fosfat, minyak, klorid, bahan-bahan organik atau garam) beton dan baja tulangan.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 30 % berat semen saja, namun dalam pelaksanaan sulit untuk melaksanakan pengecoran apabila faktor air semen yang dipakai kurang dari 0.35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous. Selain itu, kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang ("bleeding") yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan "laitance" (selaput tipis). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. Apabila ada kebocoran cetakan, air bersama-sama semen juga dapat keluar, sehingga terjadilah rongga-rongga kecil.

Dalam hal terdapat kesulitan air di daerah terpencil, misalnya kualitas air yang ada dikawatirkan, maka perlu dilakukan pengujian terhadap :

1. Kadar lumpur,
2. Kadar garam,
3. Kadar asam atau alkali,
4. Sisa-sisa tumbuhan,
5. Kandungan gula mungkin juga terdapat di dalam air.

Kualitas air yang digunakan untuk campuran beton sebaiknya air yang memenuhi syarat :

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter,
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
3. Tidak mengandung klorida (CL) lebih dari 0,5 gram/liter,
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

2.2.4 Limbah batubara

Limbah batubara merupakan limbah yang berasal dari proses pembakaran batubara dan sekitar 75% - 90% limbah batubara akan keluar melalui cerobong asap, serta hanya sebagian kecil tersisa ditungku api. Limbah batubara sebelum keluar ditangkap dengan “Electrostatic precipitator” sehingga limbah batubara masih berupa butiran padat.

Susunan besar butir atau gradasi limbah batubara mempunyai suatu variasi yang besar. Sedangkan dalam aliran gas dari tungku susunan butir limbah batubara konstan dan besarnya dipengaruhi oleh efisiensi penggilingan batubara, sumber batubara dan operasi tungku. Susunan besar butir yang tercakup dipengaruhi oleh sistem pengendapan yang digunakan. Secara umum ukuran butir limbah batubara berkisar 0,1- 200 μm (mikrom).

Benda padat buangan atau limbah dimungkinkan dipakai sebagai pengganti agregat dalam pembuatan beton. Di mana pada akhir-akhir ini sering dibicarakan dan meningkat kebutuhannya (Kardiyono Tjokrodinuljo, Teknologi Beton).

Hasil analisa yang dilakukan oleh PT.CWAMAS CITRA PRAKARSA limbah batubara PLTU Paiton, didapatkan hasil kandungan unsur kimia sebagai berikut :

Tabel 2.2 Kandungan unsur kimia dari limbah batubara

ASH ANALYSIS	PROSENTASE
SiO ₂	31,14
AL ₂ O ₃	35,98
Fe ₂ O ₃	14,72
TiO ₂	0,82
CaO	5,20
MgO	2,64
K ₂ O	0,82
Na ₂ O	0,94
P ₂ O ₅	1,02
SO ₃	5,96
Mn ₃ O ₄	0,78
HARDGROVE GRINDABILITY INDEX	47
RELATIVE DENSITY	1,32

Abu terbang jika sebagai bahan pozolan menurut standar ASTM harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

1. Mempunyai kadar oksida reaktif tinggi (Si, AL, Fe)
2. Kadar alkali rendah
3. Kadar Mg rendah
4. Kadar S rendah
5. Kadar C rendah
6. Cukup halus
7. Mempunyai sifat fisik dan kimia relatif sama

Abu terbang jika digunakan sebagai pozolan dapat dibedakan menjadi dua kelas, yaitu: kelas C dan kelas F. seperti tertera dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.3 Spesifikasi abu terbang sebagai pozolan

Komposisi kimia	Kelas C (%)	Kelas F (%)
Total SiO ₂ + AL ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Min 50	Min 50
Sulfur trioksida (SO ₃)	Max 3	Max 5
Kadar air	Min 3	Min 3
Hilang pijar	Max 6	Max 12

2.3 Kekentalan

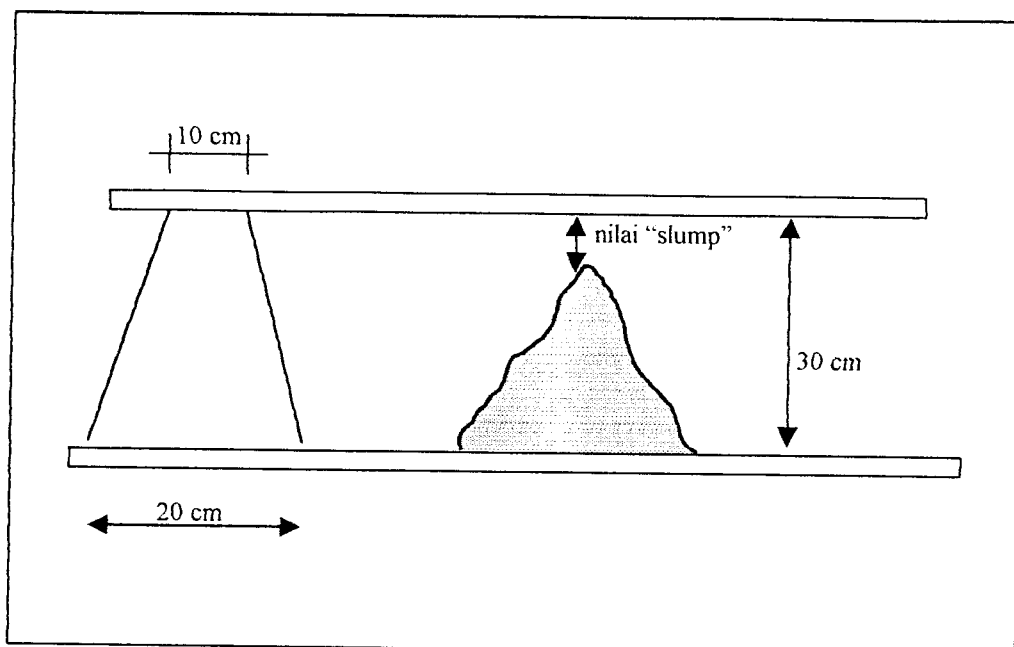
Parameter yang mempengaruhi sifat pengerjaan adalah:

1. Banyaknya air yang dipakai pada setiap campuran adukan beton
2. Penambahan semen pada setiap adukan beton, diikuti dengan penambahan air untuk mempertahankan nilai faktor air semen tetap
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil
4. Penggunaan butir butir yang bulat
5. Penggunaan butir maksimum kerikil
6. Jenis pengadukan.

Untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton biasanya dilakukan percobaan “slump”. Makin besar nilai “slump” makin encer adukan beton tersebut.

Percobaan “slump” menggunakan alat-alat sebagai berikut:

1. Corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20cm, dan bagian atas berdiameter 10cm, dengan tinggi 30cm.
2. Tongkat baja berdiameter 16mm, panjang 60cm dengan bagian ujung baja dibulatkan.



Gambar 2.1 Alat pengujian nilai “slump”

Untuk mencegah penggunaan adukan beton yang terlalu kental atau terlalu encer, dianjurkan menggunakan nilai-nilai “slump” yang terletak dalam batas-batas yang ditunjukkan dalam tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Nilai “slump” untuk berbagai macam pekerjaan beton

Uraian	Slump (Cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang kaison dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Sifat Penyusun Bahan

Komponen penyusun beton dalam penelitian ini adalah semen, kerikil, pasir, air dan ditambah limbah batubara. Adapun sifat masing-masing komponen tersebut :

3.1.1 Semen

Fungsi semen pada beton untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak dan padat disamping mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Walaupun semen kira-kira hanya mengisi 10 persen saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dimengerti sifat-sifatnya.

3.1.2 Kerikil

Kerikil berperan dalam pembentukan beton sebagai bahan pengisi dengan mempunyai diameter lebih dari 4,76 mm dan kurang dari 38,1mm. Bahan-bahan kimia yang menyelimuti permukaan kerikil harus dibersihkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai campuran beton. Kerikil yang digunakan pada penelitian ini mempunyai diameter minimum 5mm dan diameter maksimum 25mm.

3.1.3 Pasir

Pasir seperti halnya kerikil dalam pembentukan beton sebagai bahan pengisi yang mempunyai diameter maksimal 4,76 mm. Pasir tidak boleh mengandung lebih dari lima persen debu (ditentukan terhadap berat keringnya). Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus dicuci terlebih dahulu.

3.1.4 Air

Air merupakan bahan dasar yang penting pada pembuatan beton namun harganya paling murah. Dalam pembuatan beton air berfungsi untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat dengan mudah dikerjakan dan dipadatkan.

3.1.5 Limbah batubara /abu terbang

Limbah batubara dihasilkan dari sisa hasil pembakaran PLTU. Partikel dari limbah batubara ini umumnya berbentuk bulat sedang kehalusannya menyerupai semen yaitu antara 75 sampai 250 μm . Limbah batubara ini mempunyai sifat pozzolanis dan berbentuk butiran yang mempunyai ukuran rata-rata dibawah 200 μm . Melihat dari ukurannya limbah batubara ini dapat digunakan untuk menggantikan proporsi pasir dalam campuran adukan beton.

3.2 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini dibuat :

1. Beton biasa tanpa limbah batubara

2. Beton dengan limbah batubara sebagai pengganti sebagian pasir dengan prosentase tertentu .

Beton yang dibuat tidak lepas dari adanya fraksi halus yang berupa tanah liat dan lumpur. Sering kita jumpai pasir yang digunakan pada campuran beton kadang terlalu banyak fraksi halusnya atau bahkan kekurangan fraksi halus. Fraksi halus yang lolos saringan ukuran 300 μm menurut ASTM tidak boleh lebih dari 10 sampai dengan 30 persen. Limbah batubara berperan sebagai pengganti sebagian pasir yaitu dengan cara mengambil sebagian pasir dengan prosentase tertentu. Jumlah prosentase butir yang lolos saringan diameter 300 μm setelah digantikan dengan abu terbang tidak boleh lebih dari 30% (ASTM).

3. Beton dengan limbah batubara sebagai pengganti pasir halus yaitu pasir yang lolos saringan diameter 250 μm .

Abu terbang akan menggantikan pasir yang lolos saringan diameter 250 μm karena ukuran butiran abu terbang relatif sama dengan pasir. Sifat sementasi dari abu terbang juga sangat bermanfaat terhadap peningkatan mutu beton. Selain itu fraksi yang lolos pada saringan dengan ukuran 75 μm merupakan tanah liat dan lumpur sehingga dengan terbuangnya fraksi tersebut dapat berpengaruh baik pada kualitas beton.

3.3 Perencanaan Campuran Beton

3.3.1 Beton biasa

Perencanaan adukan beton pada penelitian ini memakai metode “DREUX”. Pada metode “DREUX” ini kekuatan beton tidak mutlak ditentukan oleh banyaknya jumlah semen saja, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain, yaitu perbandingan berat air dan berat semen dan kekompakan butiran (faktor “granulair”). Dengan demikian, terdapat korelasi antara nilai kekuatan beton, kekuatan semen, kekompakan butiran jumlah air dan jumlah semen yang dipakai.

Urutan perencanaan campuran beton dengan metode “DREUX” adalah sebagai berikut:

1. Menghitung berat jenis semua bahan dengan dasar data hasil dari laboratorium, antara lain:
 - a. Berat jenis pasir (“SSD”).
 - b. Berat jenis kerikil (“SSD”).
 - c. Berat jenis semen (data dari pabrik semen yang dipakai).
 - d. Diameter maksimum agregat.
 - e. Kekuatan semen ($\sigma'c=500 \text{ kg/m}^3$) dari Balai Penyelidikan Bahan atau data dari Pabrik.
2. Menentukan tegangan rata-rata benda uji umur 28 hari rumus yang dipakai:

$$\sigma_{28} = G\sigma_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (3.1)$$

dimana:

σ'_{28} = Kekuatan tekan rata-rata beton pada umur 28 hari, berdasarkan benda uji silinder.

G= Faktor kekompakan butiran (faktor “granulair”), yaitu angka yang menunjukkan bagian volume yang diisi oleh butiran kasar. Angka yang umum dipakai 0,5 (tabel 3.3)

$\sigma'c$ = Kekuatan semen dari pabrik semen yang dipakai atau informasi dari lembaga penelitian bahan.

C = Berat semen/ m^3 beton

E = Berat air/ m^3 beton.

Dari rumus diatas σ merupakan kekuatan tekan rata-rata, sedangkan yang direncanakan adalah kekuatan beton karateristik ($\sigma'bk$).

Korelasi antara σ'_{28} dengan $\sigma'bk$ adalah sebagai berikut:

$$\sigma'_{28} = \sigma'bk + 1,64 sd \quad (3.2)$$

dimana:

sd = standar deviasi (kg/cm^2).

Deviasi standar digunakan untuk mengukur mutu pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan PBI –1971 pasal 4.5.ayat(1), seperti terlihat dalam tabel 3.1

Tabel. 3.1 Nilai standar deviasi

Volume pekerjaan (m ³)	Mutu Pelaksanaan		
	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil <1000	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 65	65 < s ≤ 85
Sedang 1000 – 3000	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 75
Besar > 3000	25 < s ≤ 35	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 65

Sumber : PBI-1971,NI-2

Pengujian tegangan desak pada penelitian ini berdasarkan atas benda uji silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm.

Tabel. 3.2 Faktor kekompakan butiran (faktor “granulair”)

Kualitas Butiran	Ukuran Diameter Butiran		
	Kecil (D ≤ 16mm)	Sedang (25 ≤ D ≤ 40mm)	Besar (D ≤ 63mm)
Baik	0,55	0,60	0,64
Cukup	0,45	0,50	0,55
Buruk	0,35	0,40	0,45

Sumber : Jurnal Teknik Sipil ITB-2

3. Menentukan berat semen (C) untuk tiap m³ beton

$$\sigma_{28} = G\sigma_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$\frac{C}{E} = \left[\frac{\sigma_{28}}{G\sigma_c} \right] + 0,5 \quad (3.3)$$

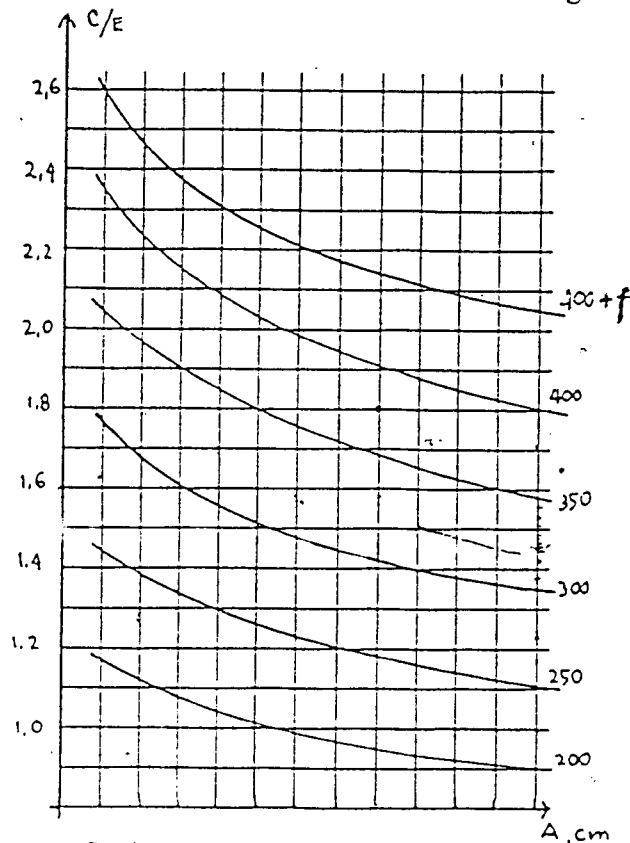
Agar suatu campuran dapat dikerjakan (“workable”) dan jumlah semen tidak boleh kurang dari harga minimum, maka rumus diatas berlaku untuk:

- Harga C/E berkisar antara 1,5 sampai 2,5

b. Jumlah semen (C) $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ beton

Setelah harga C/E diketahui dan nilai slam ditetapkan dengan melihat dan menyesuaikan gambar 3.1 didapat dosis semen dalam kg/m^3 , dan dosis airpun didapat.

Kurva yang menyatakan dosis semen dalam kg/m^3



Sumber: Jurnal teknik sipil, ITB -2

Gambar 3.1 Dosis semen

D, mm	5	10	16	25	40	63	100
Koreksi E1%	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

4. Menentukan perbandingan-perbandingan pasir dan kerikil

1) Digambar distribusi butiran dalam kurva "granulometri"

2) Menentukan kurva patokan (“reference curve”) yaitu kurva yang sedapat mungkin harus didekati oleh “granulometri” gabungan. Kurva patokan ini merupakan bilinear yang menghubungkan titik 0% pada diameter 0,1mm dan titik 100% pada diameter maksimum (D) dengan titik patah (A)

3) Titik patah A = (X,Y) didapat dari:

a. Absis: (X)

– jika diameter maksimum butiran (D) =25mm, maka X diambil =D/2 =12,5mm

– jika diameter maksimum butiran (D) > 25mm maka X diambil absis tengah antara $\emptyset =5,0\text{mm}$ dan $\emptyset = D$

b. Ordinat: (Y)

Y merupakan ordinat dalam %

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s \quad (3.4)$$

Dengan :

D = diameter maksimum butiran

K = angka koreksi yang tergantung dari jumlah semen/m³ beton, bentuk butiran dan cara pemadatan. Harga-harga ini dapat diambil dari tabel 3.3.

K_s = angka koreksi jika modulus kehalusan pasir tidak sama dengan 2,5

M_{fs} ≠ 2,5 maka

$$K_s = 6 M_{fs} - 15 \quad (3.5)$$

Tabel 3.3 Harga harga K, Ks, Kp

Pemadatan	Lemah		Normal		Kuat	
	Alam	Pecah	Alam	Pecah	Alam	Pecah
400 + fluid	-2	0	-4	-2	-6	-4
dosis 400	0	+2	-2	0	-4	-2
semen 350	+2	+4	0	+2	-2	0
(kg/m ³) 300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	8	+10	+6	+8	+4	+6
Koreksi -- Ks : Jika Mfs ≠ 2,5			Ks = 6 Mfs - 15			
Koreksi -- Kp : Untuk beton yang dipompa			Kp = + 5a + 10			

Sumber : Jurnal Teknik Sipil ,ITB-2

Dari kurva “granulometri “ yang dibuat dengan cara menarik garis lurus yang menghubungkan titik 95% dari kurva pasir dan titik 5% pada kurva kerikil. Ordinat titik potong antara garis tersebut dengan kurva patokan merupakan persentase pasir, dan dari titik potong ini sampai 100% merupakan persentase kerikil.

4. Menentukan koefisien kekompakan (γ).

Koefisien koreksi proporsi pasir dan kerikil (γ) dapat dilihat pada tabel 3.4.

Angka-angka yang terdapat dalam tabel untuk pasir dan kerikil alam, serta untuk jumlah semen sama dengan 350 kg/m³ beton. Jika menggunakan pasir alam dan batu pecah serta menggunakan semen tidak sama dengan 350kg/m³ maka angka-angka tersebut harus dikoreksi dengan:

- untuk pasir alam dan batu pecah, dikoreksi dengan -0,01
- untuk butiran dari batu pecah, dikoreksi dengan -0,03
- untuk jumlah semen yang tidak sama dengan 350kg/m³ beton, dikoreksi dengan $(C-350)/5000$

- d. untuk butiran yang ringan dikoreksi dengan $-0,03$.
5. Menentukan berat semen, pasir, kerikil, dan air untuk tiap 1 m^3 beton.

Bila faktor kekompakan sudah diketahui, volume absolut semen dan butiran dapat diketahui pula. Sehingga untuk mencari berat pasir, kerikil dan semen tinggal mengalikan dengan berat jenisnya.

6. Tentukan proporsi campuran terhadap berat semen.

Tabel 3.4 Harga-harga koefisien kekompakan γ

Kekentalan beton	Cara Pematatan	Koefisien kekompakan						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Lembek	Tusukan	0,75	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Pematatan lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Pematatan normal	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastis	Tusukan	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Pematatan lemah	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Pematatan normal	0,770	0,800	0,815	0,820	0,825	0,830	0,835
	Pematatan kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Kental	Pematatan lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Pematatan normal	0,780	0,810	0,825	0,840	0,840	0,845	0,850
	Pematatan kuat	0,785	0,810	0,830	0,845	0,845	0,850	0,855

a. harga-harga diatas berlaku untuk butiran alam, jika tidak γ dikoreksi:
 -0,01 untuk pasir alam dan batu pecah
 -0,03 untuk butiran dari batu pecah
 b. butiran ringan : dikurangi dengan 0,03
 c. untuk $C \neq 350\text{kg/m}^3$, koreksi dengan $(C - 350) / 5000$

Sumber: Jurnal Teknik Sipil, ITB-2

3.3.2. Beton menggunakan limbah batubara

Penggunaan limbah batubara dalam penelitian ini ialah dengan cara menggantikan pasir pada 5 %, 10 %, 15 % dan pasir yang lolos saringan $\varnothing 150 \mu\text{m}$.

Penggantian sebagian pasir dengan abu terbang pada prosentase seperti diatas

tentunya berdasarkan dari berat pasirnya. Untuk mengetahui komposisi berat abu terbang sebagai pengganti sebagian pasir, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Ab = P \times Wp \quad (3.6)$$

Dimana:

Ab = berat abu terbang

P = prosentase abu terbang

Wp = berat pasir (untuk beton biasa)

Dalam campuran beton yang menggunakan limbah batubara, perubahan jumlah bahan materialnya hanya pada pasir. Untuk mengetahui berat pasir pada campuran ini:

$$Wp_{(baru)} = Wp - Ab \quad (3.7)$$

Dimana:

Wp_(baru) = berat pasir baru (beton menggunakan limbah)

3.4. Kuat Tekan

Kuat beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu.

Kekuatan tekan beton terutama dipengaruhi oleh perbandingan air dan semennya. Semakin rendah perbandingan air-semennya semakin tinggi kuat tekan betonnya. Disamping itu kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh:

1. Sifat-sifat dari bahan pembentuknya.
2. Perbandingan bahan-bahannya.
3. Cara pengadukan dan penuangan.

4. Cara pemadatan.
5. Perawatan selama proses pengerasan.
6. Umur beton.

Pengujian kuat desak beton dilakukan terhadap benda uji silinder berukuran $\varnothing 15$ cm, tinggi 30 cm. Pengujian kuat desak beton berdasarkan atas benda uji umur 28 hari. Pengujian kuat desak beton yang berumur kurang atau lebih dari 28 hari, dapat dilaksanakan berdasarkan nilai konversi seperti tertera dalam tabel berikut.

Tabel 3.5 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan Kekuatan Awal yang Tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber : PBI 1971 N.I.-2

Kekuatan tekan beton dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (Kg/Cm}^2\text{)} \quad (3.8)$$

Dimana:

P = beban maksimum (kg atau KN)

A = luas penampang benda uji.

Beton dari hasil pengujian perlu diperiksa perkiraan variasi kuat tekan dari keseluruhan benda uji beton yang telah diuji. Pada penelitian ini standar deviasi untuk keseluruhan benda uji dihitung dengan rumus berikut ini:

$$S = \left(\sqrt{\frac{\sum(\sigma' b - \sigma' bm)^2}{(N-1)}} \right) \quad (3.9)$$

Dimana :

S = standar deviasi (kg/cm^2)

$\sigma' b$ = kekuatan tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji
(kg/cm^2)

$\sigma' bm$ = kekuatan tekan beton rata-rata (kg/cm^2)

$$\sigma' bm = \sum \sigma' b / N$$

N = jumlah seluruh nilai hasil pemeriksaan, jadi jumlah seluruh benda uji yang diperiksa, yang harus diambil minimum 20.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Beton merupakan bagian penting dari struktur bangunan. Mutu beton tidak dapat terlepas dari sifat bahan penyusun beton itu sendiri. Untuk dapat mengetahui mutu dari bahan penyusun beton itu perlu diadakan penelitian di laboratorium. Pelaksanaan penelitian di laboratorium diusahakan sesuai jadwal yang diharapkan dengan menyediakan sarana dan prasarana yang menunjang. Di bawah ini disampaikan bahan, jenis dan cara penelitian dari bahan penyusun beton tersebut.

4.1 Bahan dan Alat

4.1.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian laboratorium ini antara lain:

1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini bermerek dagang “NUSANTARA”, berdasarkan informasi dari pabrik, semen yang digunakan mempunyai kuat desak 500 kg/cm^2 dan berat jenis $3,1 \text{ kg/m}^3$.

2. Kerikil

Kerikil yang digunakan adalah kerikil olahan yang dihasilkan dari mesin pemecah batu berasal dari Kali Krasak, diameter maksimum kerikil 25 mm.

3. Pasir

Penelitian ini menggunakan Pasir alam yang berasal dari Kali Krasak.

4. Abu terbang

Abu terbang berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur.

5. Air

Air diambil dari laboratorium kampus terpadu UII, jalan Kaliurang km 14,4.

4.1.2 Alat :

1. Alat uji desak dengan merek “control”,
2. Mesin pengaduk beton (“concrete mixer “),
3. Saringan,
4. Timbangan besar kecil,
5. Cetakan silinder, diameter 15 cm, tinggi 30 cm,
6. Satu set alat pemeriksaan slump,
7. Tongkat pemadat, diameter 1,6 cm, panjang 60 cm, dengan ujung dibulatkan, dibuat dari baja yang bersih dari karat,
8. Cetok, talam baja, ember, sekop dan sendok perata,
9. Satu set alat pelapis (capping).

4.2 Prosedur Pelaksanaan

4.2.1 Persiapan material

Agar mendapatkan hasil yang dikehendaki maka diadakan pelaksanaan penelitian pendahuluan untuk mempersiapkan material dari campuran beton. Pelaksanaan penelitian tersebut meliputi adalah: analisa saringan agregat, dan pemeriksaan berat jenis.

a. Analisa saringan

Agregat ditimbang terlebih dahulu dengan berat 2000 gram untuk pasir, 1000 gram untuk kerikil dan 765 gram untuk abu terbang dalam kondisi SSD, kemudian dilakukan pengayakan dengan susunan saringan seperti dalam Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. Setelah itu dilakukan penimbangan terhadap agregat yang tertinggal dalam susunan ayakan. Hasil-hasil dari analisa saringan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Analisa Saringan Pasir

Diameter saringan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Persentase Berat tertinggal	Persentase kumulatif tertinggal	Prosenrase lolos
5	0	0	0	100
4,75	23,42	1,171	1,171	98,829
2,36	198,1	9,905	11,076	88,924
1,18	360,2	18,01	29,086	70,914
0,60	705,08	35,254	64,34	35,66
0,3	384,96	19,248	83,588	16,412
0,15	248,08	12,404	95,992	4,008
Sisa	80,16	4,008	-	
	Total=2000	100	Total=288,25	

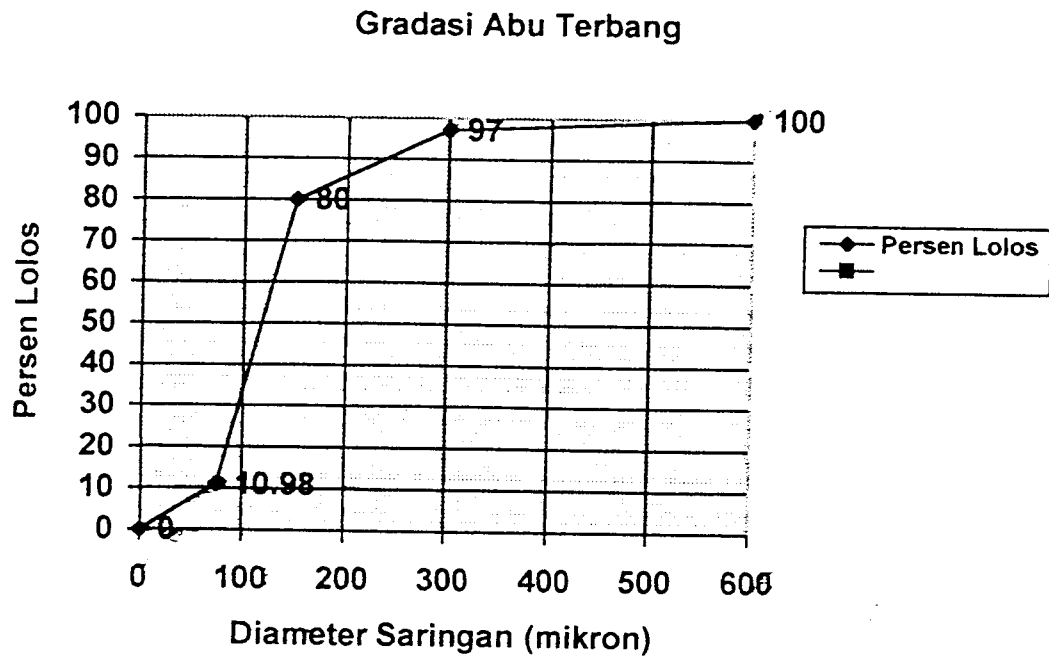
$$\text{Modulus halus butir} = (288,25/100) = 2,883.$$

Tabel 4.2 Analisa Saringan Kerikil

Dimeter saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Persentase tertinggal	Persentase Lolos
25	0	0	100
19	354,9	35,49	64,51
9,5	515,24	51,524	12,986
5	129,86	12,986	0
	1000	100	

Tabel 4.3 Analisa Saringan Abu terbang

Dimeter Saringan (µm)	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertinggal	Persentase Lolos
600	0	0	100
300	3	0,39	99,608
150	148	19,346	80,262
75	530	69,282	10,98
Pan	84	10,98	-
	765	100	



Gambar 4.1 Gradasi abu terbang

b. Pemeriksaan berat jenis

Agregat ditimbang dengan berat 200 gram dalam kondisi SSD, kemudian dipersiapkan gelas ukur dengan diisi air sebanyak 100 cc. Agregat yang telah ditimbang dimasukan ke dalam gelas ukur kemudian dilihat kenaikan air dalam gelas ukur. Volume agregat disini setara dengan kenaikan air dalam gelas ukur. Dari hasil pemeriksaan didapat untuk masing-masing berat jenis dari material tersebut ialah :

$$\text{BeratJenis} = \frac{\text{BeratAgregat}}{\text{Volume}}$$

- Berat Jenis Kerikil (SSD) = 2,5 gr/cc
- Berat Jenis Pasir (SSD) = 2,6 gr/cc

4.2.2 Rencana campuran beton dan pelaksanaan

Agar mendapatkan kekuatan beton sesuai dengan yang dikehendaki, maka campuran beton tersebut hendaknya terlebih dahulu direncanakan. Perencanaan campuran beton juga bertujuan untuk memperoleh komposisi material secara tepat, baik proporsi semen, agregat dan air. Adukan beton juga harus memenuhi beberapa kriteria dibawah ini:

1. Kuat tekannya tidak kurang dari yang direncanakan
2. Mudah dikerjakan
3. Tahan lama (awet)
4. Murah (ekonomis).

Metode “DREUX” untuk perencanaan campuran beton pada mutu beton K_{175} adalah sebagai berikut :

Data-data dari bahan yang digunakan unntuk perencanaan campuran adalah sebagai berikut :

- a. Ukuran butir maksimal = 25mm
- b. Modulus halus butir = 2,883
- c. Berat jenis pasir = 2,6 kg/cm³
- d. Berat jenis kerikil = 2,5 kg/cm³
- e. Berat jenis semen = 3,1 kg/cm³
- f. Kekuatan semen = 500 kg/cm²

Langkah-langkah perencanaan campuran beton

1. Menentukan berat semen (C) dalam tiap 1 m³ beton untuk mutu K_{175}

$\sigma'_{bm} = 175 + 1,64 \cdot Sd$ Sd= Standar deviasi diambil nilai 60 (dari tabel 3.2)

$$= 175 + 1,64 \times 60 = 273,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{bm} = G \sigma_c (C/E + 0,5) \quad G=0,5$$

$$\begin{aligned} \frac{C}{E} &= \frac{\sigma'_{bm}}{G \cdot \sigma_c} + 0,5 = \frac{273,4}{0,5 \times 500} + 0,5 \\ &= 1,594 = 1,6 \end{aligned}$$

Slump teoritis = 10cm untuk kerikil alam, untuk batu pecah = 8 cm

Jumlah semen = 340 kg (dari gambar 3.1)

2. Menentukan kurva patokan

Xa, merupakan absis yang dinyatakan dengan besarnya diameter agregat terbesar, dengan ketentuan sebagai berikut :

Jika diameter (D) = 25 mm, maka Xa diambil sama dengan $\frac{1}{2} D$ ($25/2 = 12,5$ mm)

Ya, merupakan ordinat dalam satuan %

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + k_s$$

Dimana K=2,4 (diambil dari tabel 3.3 setelah diinterpolasi)

$$M_{hb} = 2,883$$

$M_{hb} \neq 2.5$ maka,

$$\begin{aligned} K_s &= 6 \cdot M_{hb} - 15 \\ &= 6 \cdot 2,8831 - 15 \\ &= 2,2986 \end{aligned}$$

3. Menentukan perbandingan butiran halus dan butiran kasar

$$\begin{aligned} Y &= 50 - \sqrt{25} + 2,4 + 2,2981 \\ &= 49,699 = 50\% \end{aligned}$$

Dari gambar 4.2 didapat porsi pasir = 41 % dan kerikil = 59 %.

4. Menentukan koefisien kekompakan

Untuk menentukan koefisien kekompakan (γ) ini didasarkan pada kekentalan beton, pemadatan, dan macam butiran yang dipakai.

Dari tabel 3.4 didapat untuk pasir alam + batu pecah = -0,01

Nilai-nilai pada tabel ini berdasarkan jumlah semen 350 kg/m^3 , sehingga bila jumlah semen kurang dari 350 kg/m^3 maka nilai (γ) yang terdapat pada tabel 3.4 harus dikoreksi sebesar $\delta = (340 - 350)/500 = -0,002$

Jumlah semen $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$, maka k total = $-0,01 + (-0,012)$

Dari tabel 3.5 didapat nilai $\gamma = 0,825$

$$\gamma_k = \gamma + \delta$$

$$= 0,825 - 0,012$$

$$= 0,813$$

5. Menentukan berat semen, pasir, kerikil dan air tiap 1 m^3 beton

$$\text{Volume absolut semen} = 340 \text{ kg/m}^3 = 340/3,1 = 110 \text{ liter}$$

$$\text{Volume absolut bahan butiran} = (813 - 110) = 703 \text{ l/m}^3 \text{ beton}$$

Dengan demikian maka :

$$\text{Volume absolut pasir} = 703 \times 41\% = 288,23 \text{ liter}$$

$$\text{Volume absolut kerikil} = 703 \times 59\% = 414,77 \text{ liter}$$

Komposisi beton dalam berat :

$$_ \text{ Semen : } C = 340 \text{ kg/m}^3$$

$$_ \text{ Air : } E = 340/1,6 = 212,5 \text{ liter} = 213 \text{ kg/m}^3$$

$$_ \text{ Pasir : } P = 288,23 \times 2,6 = 749,398 \text{ kg} = 749 \text{ kg/m}^3$$

$$_ \text{ Kerikil : } 414,77 \times 2,5 = 1036,925 \text{ kg} = 1037 \text{ kg/m}^3$$

Untuk perhitungan campuran beton yang lain langkah-langkahnya sama dengan mutu beton K_{175} di atas. Grafik proporsi agregat dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4. Mutu beton yang direncanakan dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Kebutuhan material untuk beton normal (20 benda uji.)

Mutu Beton	Kebutuhan Material (Kg)	Slump (Cm)
K ₁₇₅	Semen = 41,45 Split = 126,5 Pasir = 91,5 Air = 22,53	8
K ₂₂₅	Semen = 46 Split = 130 Pasir = 86 Air = 25,4	8
K ₂₇₅	Semen = 51,22 Split = 132,13 Pasir = 82,45 Air = 25,61	8

Tabel 4.5 Kebutuhan material untuk beton dengan persentase abu terbang tertentu (20 benda uji)

Mutu Beton	Kebutuhan Material (Kg)	Persentase Limbah batu bara			Slump (Cm)
		5%	10%	15%	
K ₁₇₅	Semen = 41,45 Split = 126,5 Air = 22,53	Pasir = 86,93 Abu terbang = 4,58	Pasir = 82,35 Abu terbang = 9,15	Pasir = 77,8 Abu terbang = 13,73	8
K ₂₂₅	Semen = 46 Split = 130 Air = 25,4	Pasir = 81,7 Abu terbang = 4,3	Pasir = 77,4 Abu terbang = 8,6	Pasir = 73,1 Abu terbang = 12,9	8
K ₂₇₅	Semen = 51,22 Split = 132,13 Air = 25,61	Pasir = 78,33 Abu terbang = 4,13	Pasir = 74,21 Abu terbang = 8,25	Pasir = 70,08 Abu terbang = 12,37	8

Tabel 4.6 Kebutuhan material untuk beton dengan abu terbang sebagai pengganti fraksi halus (20 benda uji)

Mutu Beton	Kebutuhan Material (Kg)	Slump (Cm)
K ₁₇₅	Semen = 41,45 Split = 126,5 Pasir = 87,833 Abu terbang = 3,667 Air = 22,53	8
K ₂₂₅	Semen = 46 Split = 130 Pasir = 82,553 Abu terbang = 3,447 Air = 25,4	8
K ₂₇₅	Semen = 51,22 Split = 132,13 Pasir = 79,145 Abu terbang = 3,305 Air = 25,61	8

Pembuatan benda uji

1. Masing-masing material ditimbang sesuai dengan kebutuhannya, kemudian semen dimasukkan kedalam mesin aduk dikuti oleh pasir. Semen dan pasir diaduk dahulu sampai merata, setelah itu dimasukkan kerikil kemudian diaduk lagi hingga merata. Campuran semen, pasir, kerikil yang telah merata disusul dengan air secara bertahap (kira-kira 0,5 dari air yang dibutuhkan). Selanjutnya diberi tambahan air sedikit demi sedikit hingga diperoleh “slump” yang direncanakan, kemudian kelebihan air diukur.
2. Adukan yang telah jadi dimasukkan kedalam kerucut abrams untuk mengetahui nilai “slump”
3. Adukan beton yang telah siap dimasukkan ke dalam cetakan silinder beton yang telah dibersihkan serta diberi pelumas. Pemasukan adukan beton dilakukan secara bertahap dengan cara memasukan adukan 1/3 bagian isi silinder disertai pemadatan. Pemadatan dilakukan dengan cara menusuk-nusuk silinder dengan tongkat besi.
4. Adukan dalam cetakan didiamkan selama ± 24 jam , lalu dikeluarkan dari alat cetak untuk selanjutnya masuk tahap perawatan.
5. Perawatan dilakukan dengan menutupi benda uji dengan karung kemudian disiram dengan air.
6. Pengujian dilaksanakan setelah benda uji mencapai umur 14 hari.



Persiapan pengujian

1. Benda uji yang akan ditentukann kekuatan tekannya diambil dari perawatan kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab sehari sebelum pengujian.
2. Dilakukan pengukuran terhadap berat dari benda uji
3. Dilakukan pelapisan terhadap permukaan atas dari benda uji dengan mortar belerang dengan cara sebagai berikut:

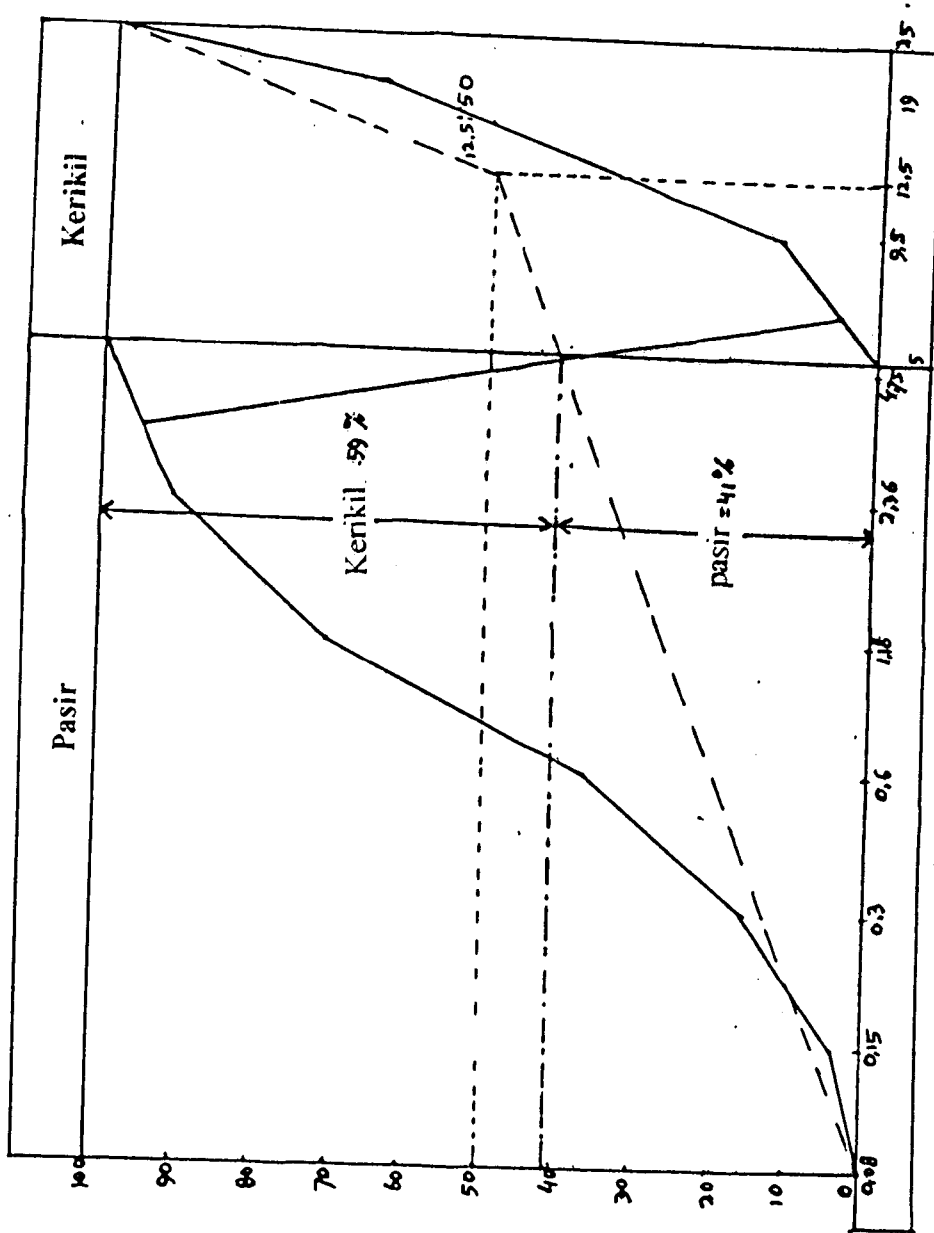
Mortar belerang dilelehkan di dalam pot peleleh (melting pot) yang dinding dalamnya telah dilapisi dengan minyak oli, kemudian benda uji diletakan tegak lurus pada cetakan pelapis sampai mortar belerang cair menjadi keras, dengan cara yang sama dilakukan pelapisan terhadap permukaan benda uji lainnya.

Cara Pengujian

Tahapan pengujian kuat tekan beton sebagai berikut :

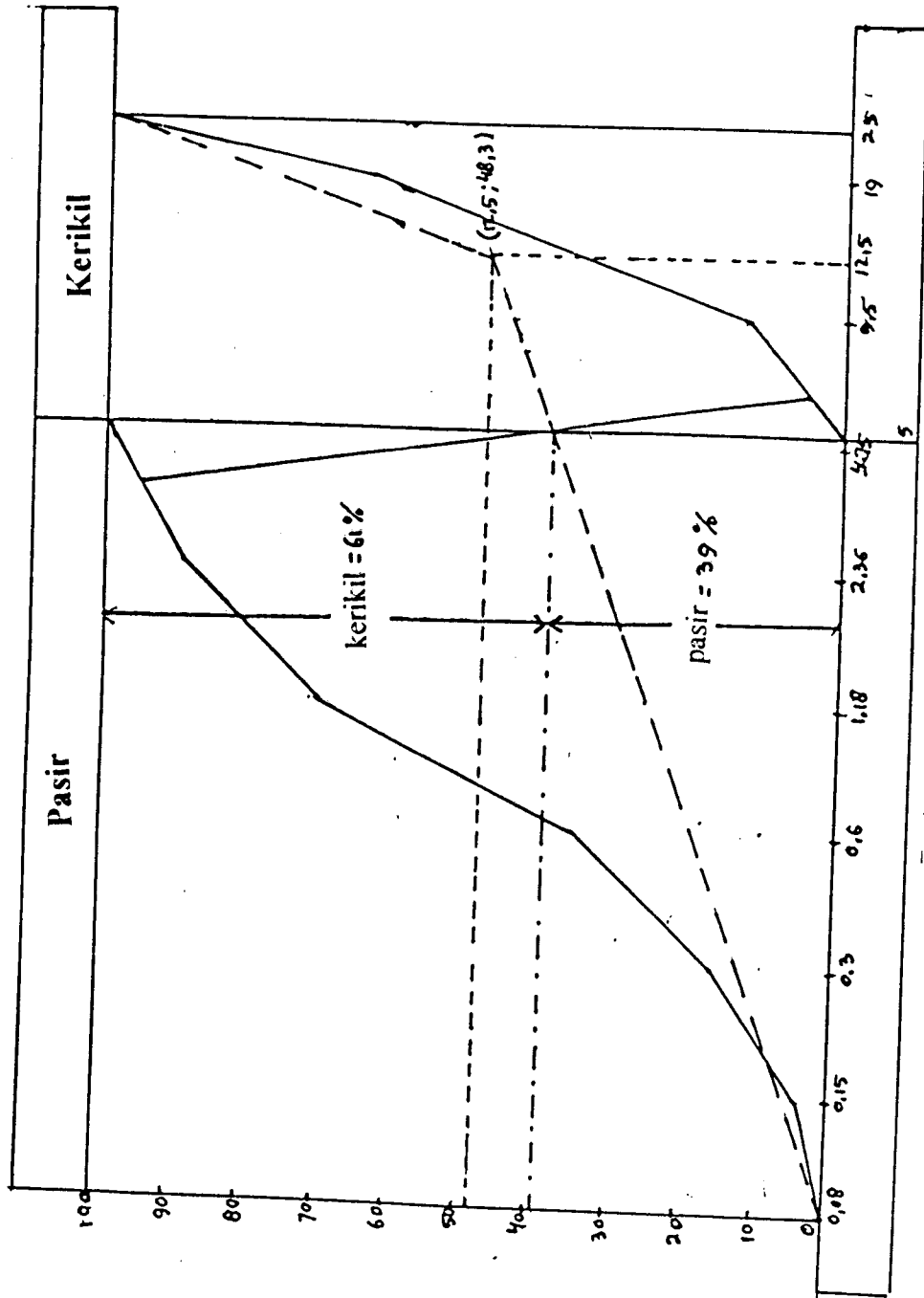
1. Benda uji yang telah memenuhi umur pengujian, kemudian diambil dan diletakan pada mesin tekan secara sentris
2. Mesin dihidupkan dengan penambahan beban yang konstan sebesar 2-4 kg/cm^2
3. Pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan dilakukan pencatatan beban maksimum yang terjadi.

Grafik Gradasi Pasir dan Kerikil untuk Mutu Beton K₁₇₅



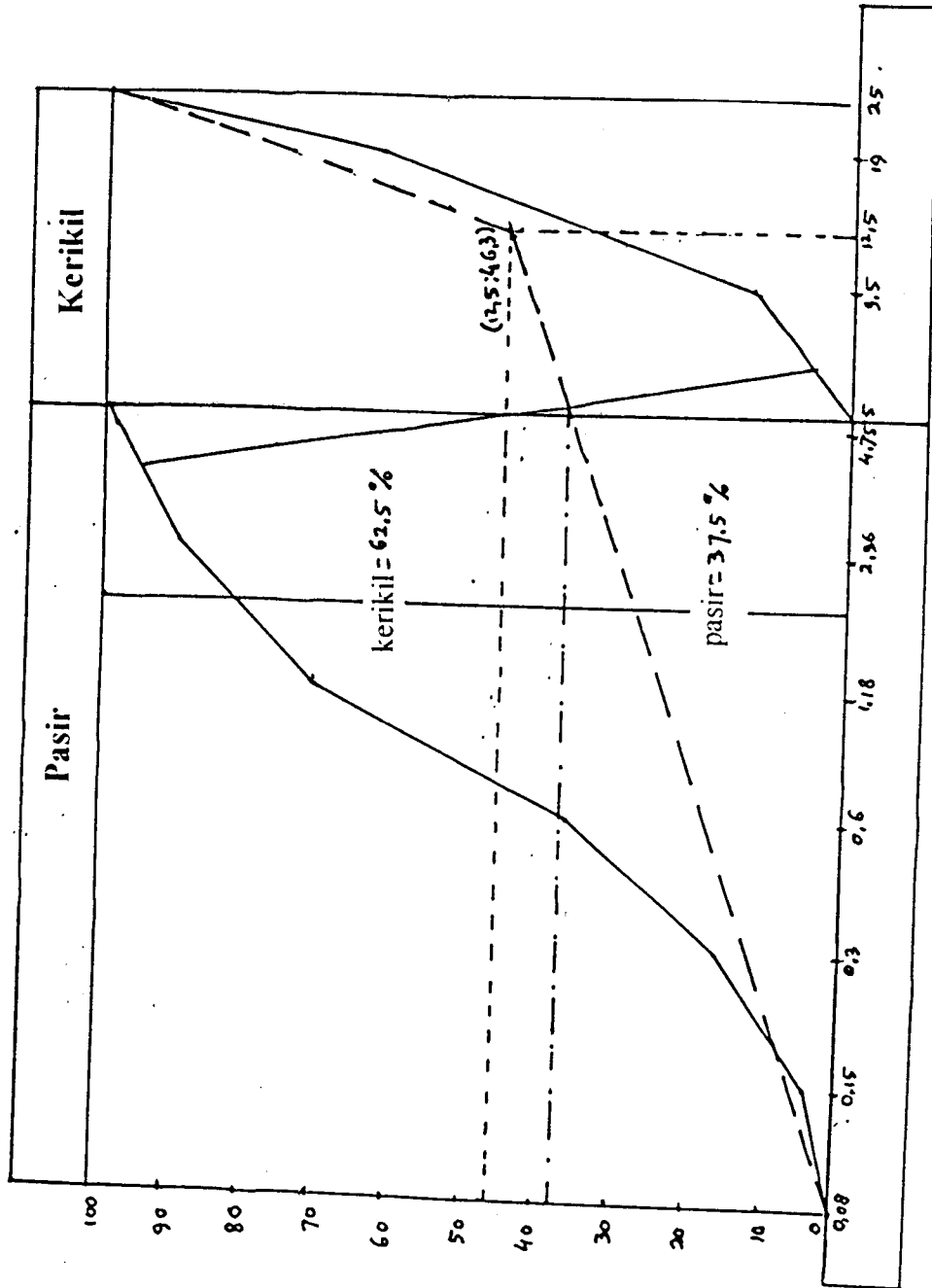
Gambar 4.2 Grafik gradasi pasir dan kerikil

Grafik Gradasi Pasir dan Kerikil untuk Mutu Beton K₂₂₅



Gambar 4.3 Grafik gradasi pasir dan kerikil

Grafik Gradasi Pasir dan Kerikil untuk Mutu Beton K₂₇₅



Gambar 4.4 Grafik gradasi pasir dan kerikil

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pengujian kuat tekan terhadap silinder beton yang dilakukan pada benda uji umur 14 hari telah dilaksanakan pada berbagai mutu beton dengan berbagai prosentase abu terbang sebagai pengganti sebagian pasir dan pasir halus. Hasil-hasil penelitian pada benda uji beton meliputi pengaruh abu terbang terhadap kebutuhan air, berat volume dan kuat tekan. Kuat tekan pengujian beton pada umur 14 hari dikonversikan terhadap kekuatan tekan beton pada umur 28 hari. Hasil-hasil dari penelitian yang dilaksannakan diuraikan sebagai berikut :

5.1.1 Berat volume beton

Berat volume adalah perbandingan antara berat beton dan volume beton, pada penelitian ini menggunakan benda uji silinder sehingga perhitungan berat volumenya adalah sebagai berikut:

$$\text{BeratVolume} = \frac{\text{Beratbeton}}{\text{Volumebeton}}$$

Keterangan

$$\text{Volume beton} = \frac{1}{4} \pi D^2 \times T$$

D = Diameter silinder

T = Tinggi silinder

Untuk tiap variasi adukan, berat volume adalah rata-rata dari berat volume benda uji yang berjumlah 20 buah.

Tabel 5.1 Berat volume beton pada tiap variasi penambahan abu terbang

No	Mutu Beton	Persentase Abu Terbang	Berat Volume Rata-Rata (kg/m ³)
1	175	0	2308,774
2	175	5	2344,9622
3	175	10	2404,0593
4	175	15	2404,8690
5	175	4,008	2386,7893
6	225	0	2324,836
7	225	5	2363,4100
8	225	10	2399,1880
9	225	15	2406,794
10	225	4,008	2391,2753
11	275	0	2331,9186
12	275	5	2372,6530
13	275	10	2373,8618
14	275	15	2407,1240
15	275	4,008	2372,7929

5.1.2 Kebutuhan air

Air pada pembuatan beton diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan untuk kelecakan beton. Kenaikan dan penurunan jumlah air akan berpengaruh terhadap nilai "slump" serta akan berpengaruh pula terhadap kuat tekan beton. Gradasi abu terbang yang halus pada adukan beton akan mengisi sebagian dari rongga-rongga yang diisi oleh air. Sehingga jika kebutuhan air pada perancangan beton dipertahankan akan mengakibatkan naiknya nilai "slump". Untuk itu dalam penelitian ini diupayakan untuk mempertahankan nilai "slump". Kebutuhan air karena pengaruh abu terbang pada "slump" sebagai berikut:

Tabel 5.2 Kebutuhan air rencana dan terpakai pada tiap variasi penambahan abu terbang

Mutu Beton	Persentase Abu Terbang	"Slump" (Cm)	Kebutuhan Air (lt)	Air Terpakai (lt)
K ₁₇₅	0	9	22,53	22,5
	5	10		22,2
	10	10		22
	15	10		21,7
K ₂₂₅	0	10	25,4	25,4
	5	10		25,3
	10	10		25,1
	15	10		24,3
K ₂₇₅	0	9,5	25,61	25,6
	5	10		25,5
	10	10		25,1
	15	10,5		24,7

Tabel 5.3 Kebutuhan air rencana dan terpakai dengan abu terbang sebagai pengganti pasir halus

Mutu Beton	"Slump" (Cm)	Kebutuhan Air (Lt)	Air Terpakai (Lt)
K ₁₇₅	9	22,53	22,5
	10	22,53	22,5
K ₂₂₅	10	25,4	25,4
	10,2	25,4	25,4
K ₂₇₅	9,5	25,61	25,6
	10,5	25,1	25,6

5.1.3 Hasil pengujian tekan beton

Dari hasil-hasil pengujian desak beton, hampir semua beton hancur pada bagian pertengahan tinggi silinder. Hancurnya benda uji disebabkan oleh pecahnya kerikil dan terpisahnya ikatan kerikil. Adapun hasil-hasil pengujian kuat tekan umur 14 hari dapat dilihat pada lampiran 1,2,3,4 dan 5. Untuk hasil-hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.18 di bawah ini :

Tabel 5.4 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{175} normal

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,170	262.20193	-20.1568	406.2955
2	15 x 30	12,250	265.47945	-16.8792	284.909
3	15 x 30	12,190	393.30289	110.9442	12308.61
4	15 x 30	12,192	390.02537	107.6667	11592.11
5	15 x 30	12,130	265.47945	-16.8792	284.909
6	15 x 30	12,550	278.58955	-3.76915	14.20651
7	15 x 30	12,140	272.0345	-10.3242	106.5891
8	15 x 30	12,170	281.86707	-0.49163	0.241698
9	15 x 30	12,250	209.76154	-72.5972	5270.347
10	15 x 30	12,240	291.69964	9.340944	87.25324
11	15 x 30	12,135	386.74784	104.3891	10897.09
12	15 x 30	12,250	281.86707	-0.49163	0.241698
13	15 x 30	12,150	222.87164	-59.4871	3538.711
14	15 x 30	12,185	347.41755	65.05885	4232.654
15	15 x 30	12,265	222.87164	-59.4871	3538.711
16	15 x 30	12,480	268.75698	-13.6017	185.0069
17	15 x 30	12,250	298.25469	15.89599	252.6826
18	15 x 30	12,095	245.81431	-36.5444	1335.493
19	15 x 30	12,550	190.0964	-92.2623	8512.332
20	15 x 30	12,155	272.0345	-10.3242	106.5891
Jumlah			5647,174		62954,99
Rata-rata					282.3558
Standar deviasi					57.55623
Kuat tekan karakteristik					187.4565

Tabel 5.5 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{225} normal

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,200	380.19279	59.97869	3597.444
2	15 x 30	12,250	239.25926	-80.9548	6553.686
3	15 x 30	12,250	298.25469	-21.9594	482.2156
4	15 x 30	12,250	252.36936	-67.8447	4602.909
5	15 x 30	12,700	331.02993	10.81583	116.9823
6	15 x 30	12,700	357.25013	37.03603	1371.667
7	15 x 30	12,150	311.36479	-8.84931	78.31031
8	15 x 30	12,300	327.75241	7.538309	56.82611

9	15 x 30	12,300	376.91527	56.70117	3215.023
10	15 x 30	12,350	272.0345	-48.1796	2321.274
11	15 x 30	12,300	331.02993	10.81583	116.9823
12	15 x 30	12,200	285.1446	-35.0695	1229.87
13	15 x 30	12,200	380.19279	59.97869	3597.444
14	15 x 30	12,300	255.64688	-64.5672	4168.926
15	15 x 30	12,250	249.09183	-71.1223	5058.377
16	15 x 30	12,200	412.96804	92.75394	8603.293
17	15 x 30	12,300	311.36479	-8.84931	78.31031
18	15 x 30	12,800	350.69508	30.48098	929.09
19	15 x 30	12,200	252.36936	-67.8447	4602.909
20	15 x 30	12,300	429.35566	109.1416	11911.88
Jumlah			6404,2821		62693,42
Rata-rata					320,2141
Standar deviasi					57,4426
Kuat tekan karakteristik					226,0082

Tabel 5.6 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{275} normal

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,428	317.91984	-52.6043	2767.208
2	15 x 30	12,210	426.07813	55.55403	3086.25
3	15 x 30	12,350	350.69508	-19.829	393.1901
4	15 x 30	12,310	353.9726	-16.5515	273.9521
5	15 x 30	12,210	449.0208	78.4967	6161.732
6	15 x 30	12,760	314.64231	-55.8818	3122.774
7	15 x 30	12,310	432.63318	62.10908	3857.538
8	15 x 30	12,240	367.0827	-3.4414	11.84325
9	15 x 30	12,330	370.36022	-0.16388	0.026856
10	15 x 30	12,195	321.19736	-49.3267	2433.127
11	15 x 30	12,328	350.69508	-19.829	393.1901
12	15 x 30	12,655	439.18823	68.66413	4714.763
13	15 x 30	12,240	321.19736	-49.3267	2433.127
14	15 x 30	12,385	357.25013	-13.274	176.1984
15	15 x 30	12,220	481.79604	111.2719	12381.44
16	15 x 30	12,400	363.80517	-6.71893	45.14396
17	15 x 30	12,350	304.80974	-65.7144	4318.377
18	15 x 30	12,770	321.19736	-49.3267	2433.127
19	15 x 30	12,210	458.85337	88.32927	7802.06
20	15 x 30	12,350	308.08726	-62.4368	3898.358
Jumlah			7410,482		60703,43
Rata-rata					370,5241
Standar deviasi					56,5236
Kuat tekan karakteristik					277,8254

Tabel 5.7 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K₁₇₅ persentase abu terbang lima persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,345	334.30746	30.3171	919.1264
2	15 x 30	12,320	255.64688	-48.3435	2337.092
3	15 x 30	12,380	331.02993	27.03957	731.1385
4	15 x 30	12,380	268.75698	-35.2334	1241.391
5	15 x 30	12,355	357.25013	53.25977	2836.603
6	15 x 30	12,305	216.31659	-87.6738	7686.69
7	15 x 30	12,440	331.02993	27.03957	731.1385
8	15 x 30	12,410	213.03907	-90.9513	8272.138
9	15 x 30	12,380	340.86251	36.87215	1359.555
10	15 x 30	12,840	265.47945	-38.5109	1483.09
11	15 x 30	12,740	340.86251	36.87215	1359.555
12	15 x 30	12,760	252.36936	-51.621	2664.728
13	15 x 30	12,310	334.30746	30.3171	919.1264
14	15 x 30	12,390	350.69508	46.70472	2181.331
15	15 x 30	12,303	262.20193	-41.7884	1746.273
16	15 x 30	12,420	360.52765	56.53729	3196.465
17	15 x 30	12,350	235.98173	-68.0086	4625.173
18	15 x 30	12,342	353.9726	49.98224	2498.225
19	15 x 30	12,397	275.31202	-28.6783	822.447
20	15 x 30	12,467	399.85794	95.86758	9190.593
Jumlah			6079,8072		56801,88
Rata-rata					303,9904
Standar deviasi					51,677
Kuat tekan karakteristik					214,3021

Tabel 5.8 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K₂₂₅ persentase abu terbang lima persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,550	393.30289	49.81837	2481.87
2	15 x 30	12,370	304.80974	-38.6748	1495.739
3	15 x 30	12,550	357.25013	13.76561	189.4919
4	15 x 30	12,480	294.97717	-48.5074	2352.963
5	15 x 30	12,455	367.0827	23.59818	556.874
6	15 x 30	13,080	301.53222	-41.9523	1759.996
7	15 x 30	13,090	380.19279	36.70827	1347.497
8	15 x 30	12,410	262.20193	-81.2826	6606.86
9	15 x 30	12,405	393.30289	49.81837	2481.87

10	15 x 30	12,590	327.75241	-15.7321	247.4993
11	15 x 30	12,585	409.69051	66.20599	4383.233
12	15 x 30	12,595	294.97717	-48.5074	2352.963
13	15 x 30	12,365	288.42212	-55.0624	3031.868
14	15 x 30	12,700	409.69051	66.20599	4383.233
15	15 x 30	12,435	350.69508	7.210558	51.99215
16	15 x 30	12,515	298.25469	-45.2298	2045.737
17	15 x 30	12,460	393.30289	49.81837	2481.87
18	15 x 30	12,415	357.25013	13.76561	189.4919
19	15 x 30	12,050	262.20193	-81.2826	6606.86
20	15 x 30	12,490	422.80061	79.31609	6291.042
Jumlah			6869,6905		51338,995
		Rata-rata			343,4852
		Standar deviasi			51,4845
		Kuat tekan karakteristik			258,2353

Tabel 5.9 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{275} persentase abu terbang lima persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	$(\sigma'b - \sigma'bm)$	$(\sigma'b - \sigma'bm)^2$
1	15 x 30	12,950	465.40842	63.74784	4063.787
2	15 x 30	12,565	350.69508	-50.9655	2597.482
3	15 x 30	12,985	462.1309	60.47032	3656.659
4	15 x 30	12,380	412.96804	11.30746	127.8586
5	15 x 30	12,480	317.91984	-83.7407	7012.512
6	15 x 30	12,880	432.63318	30.9726	959.302
7	15 x 30	12,610	344.14003	-57.5206	3308.614
8	15 x 30	12,550	481.79604	80.13546	6421.692
9	15 x 30	12,550	304.80974	-96.8508	9380.085
10	15 x 30	12,600	367.0827	-34.5779	1195.63
11	15 x 30	12,500	458.85337	57.19279	3271.016
12	15 x 30	12,540	429.35566	27.69508	767.0172
13	15 x 30	12,540	412.96804	11.30746	127.8586
14	15 x 30	12,540	317.91984	-83.7407	7012.512
15	15 x 30	12,500	449.0208	47.36022	2242.991
16	15 x 30	12,500	344.14003	-57.5206	3308.614
17	15 x 30	12,440	435.9107	34.25012	1173.071
18	15 x 30	12,470	334.30746	-67.3531	4536.443
19	15 x 30	12,465	426.07813	24.41755	596.2168
20	15 x 30	12,525	485.07357	83.41299	6957.726
Jumlah			8033,2116		68717,09
		Rata-rata			401,6606
		Standar deviasi			60,1389
		Kuat tekan karakteristik			303,0328

Tabel 5.10 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{175} persentase abu terbang sepuluh persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b-\sigma'bm$)	($\sigma'b-\sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,720	294.97717	-22.9427	526.3662
2	15 x 30	12,730	186.81887	-131.101	17187.46
3	15 x 30	12,270	291.69964	-26.2202	687.4987
4	15 x 30	12,720	370.36022	52.44038	2749.994
5	15 x 30	12,645	317.91984	-3E-06	9.1E-12
6	15 x 30	12,650	386.74784	68.828	4737.294
7	15 x 30	12,845	321.19736	3.277521	10.74214
8	15 x 30	12,730	373.63775	55.71791	3104.485
9	15 x 30	13,115	399.85794	81.9381	6713.852
10	15 x 30	13,165	294.97717	-22.9427	526.3662
11	15 x 30	12,705	376.91527	58.99543	3480.461
12	15 x 30	12,790	242.53678	-75.3831	5682.605
13	15 x 30	12,740	344.14003	26.22019	687.4983
14	15 x 30	12,775	288.42212	-29.4977	870.1155
15	15 x 30	12,660	350.69508	32.77524	1074.216
16	15 x 30	12,760	265.47945	-52.4404	2749.994
17	15 x 30	12,725	275.31202	-42.6078	1815.426
18	15 x 30	12,680	367.0827	49.16286	2416.987
19	15 x 30	12,770	226.14916	-91.7707	8421.857
20	15 x 30	12,705	383.47032	65.55048	4296.865
Jumlah			6358,3907		67740,09
Rata-rata					317,9198
Standar deviasi					59,7099
Kuat tekan karakteristik					219,9957

Tabel 5.11 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{225} persentase abu terbang sepuluh persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b-\sigma'bm$)	($\sigma'b-\sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,675	481.79604	126.6763	16046.89

2	15 x 30	12,683	314.64231	-40.4774	1638.422
3	15 x 30	12,740	376.91527	21.79553	475.0452
4	15 x 30	12,575	337.58498	-17.5348	307.4678
5	15 x 30	12,675	327.75241	-27.3673	748.9708
6	15 x 30	12,615	327.75241	-27.3673	748.9708
7	15 x 30	12,790	294.97717	-60.1426	3617.129
8	15 x 30	12,740	337.58498	-17.5348	307.4678
9	15 x 30	12,760	344.14003	-10.9797	120.554
10	15 x 30	13,105	468.68595	113.5662	12897.28
11	15 x 30	12,660	367.0827	11.96296	143.1124
12	15 x 30	13,085	314.64231	-40.4774	1638.422
13	15 x 30	12,670	308.08726	-47.0325	2212.054
14	15 x 30	12,600	321.19736	-33.9224	1150.728
15	15 x 30	12,650	344.14003	-10.9797	120.554
16	15 x 30	12,185	337.58498	-17.5348	307.4678
17	15 x 30	12,800	331.02993	-24.0898	580.3188
18	15 x 30	12,740	344.14003	-10.9797	120.554
19	15 x 30	12,686	458.85337	103.7336	10760.67
20	15 x 30	12,820	363.80517	8.685434	75.43677
Jumlah			7102,3947		54017,51
Rata-rata					355,1197
Standar deviasi					53,32
Kuat tekan karakteristik					267,67449

Tabel 5.12 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K₂₇₅ persentase abu terbang sepuluh persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,480	449.0208	39.00254	1521.198
2	15 x 30	13,015	462.1309	52.11264	2715.727
3	15 x 30	12,515	412.96804	2.949776	8.701176
4	15 x 30	12,695	475.24099	65.22273	4254.005
5	15 x 30	12,575	455.57585	45.55759	2075.494
6	15 x 30	12,920	481.79604	71.77778	5152.05
7	15 x 30	12,495	340.86251	-69.1558	4782.518
8	15 x 30	12,020	386.74784	-23.2704	541.5123
9	15 x 30	12,585	337.58498	-72.4333	5246.58
10	15 x 30	12,630	370.36022	-39.658	1572.76

11	15 x 30	12,595	386.74784	-23.2704	541.5123
12	15 x 30	12,480	399.85794	-10.1603	103.2321
13	15 x 30	12,580	426.07813	16.05987	257.9195
14	15 x 30	12,495	386.74784	-23.2704	541.5123
15	15 x 30	12,515	412.96804	2.949776	8.701176
16	15 x 30	12,645	514.57128	104.553	10931.33
17	15 x 30	12,570	340.86251	-69.1558	4782.518
18	15 x 30	12,635	393.30289	-16.7154	279.4036
19	15 x 30	12,590	422.80061	12.78235	163.3884
20	15 x 30	12,535	344.14003	-65.8782	4339.941
Jumlah			8200,3653		49820,01
		Rata-rata			410,2065
		Standar deviasi			51,2056
		Kuat tekan karakteristik			326,0396

Tabel 5.13 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{175} persentase abu terbang lima belas persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	$(\sigma'b - \sigma'bm)$	$(\sigma'b - \sigma'bm)^2$
1	15 x 30	12,505	314.64231	1.311013	1.718755
2	15 x 30	12,745	383.47032	70.13902	4919.482
3	15 x 30	12,663	294.97717	-18.3541	336.8741
4	15 x 30	12,840	396.58042	83.24912	6930.415
5	15 x 30	12,635	226.14916	-87.1821	7600.725
6	15 x 30	12,675	357.25013	43.91883	1928.863
7	15 x 30	12,690	314.64231	1.311013	1.718755
8	15 x 30	13,200	344.14003	30.80873	949.1778
9	15 x 30	12,685	314.64231	1.311013	1.718755
10	15 x 30	13,090	416.24556	102.9143	10591.34
11	15 x 30	12,635	324.47489	11.14359	124.1795
12	15 x 30	13,050	357.25013	43.91883	1928.863
13	15 x 30	12,555	317.91984	4.588537	21.05467
14	15 x 30	12,750	317.91984	4.588537	21.05467
15	15 x 30	12,680	252.36936	-60.9619	3716.359
16	15 x 30	12,635	226.14916	-87.1821	7600.725

17	15 x 30	12,623	226.14916	-87.1821	7600.725
18	15 x 30	12,735	321.19736	7.866061	61.87492
19	15 x 30	12,720	245.81431	-67.517	4558.544
20	15 x 30	12,745	314.64231	1.311013	1.718755
Jumlah			6266,6261		58897,14
Rata-rata					313,3313
Standar deviasi					55,6763
Kuat tekan karakteristik					222,0222

Tabel 5.14 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{225} persentase abu terbang lima belas persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,625	360.52765	0.6555	0.42968
2	15 x 30	13,090	416.24556	56.37341	3177.961
3	15 x 30	12,595	285.1446	-74.7276	5584.207
4	15 x 30	13,190	403.13546	43.26331	1871.714
5	15 x 30	12,615	317.91984	-41.9523	1759.997
6	15 x 30	13,115	416.24556	56.37341	3177.961
7	15 x 30	12,630	373.63775	13.7656	189.4916
8	15 x 30	12,720	406.41299	46.54084	2166.05
9	15 x 30	12,820	249.09183	-110.78	12272.28
10	15 x 30	12,605	390.02537	30.15322	909.2165
11	15 x 30	12,640	294.97717	-64.895	4211.359
12	15 x 30	12,620	373.63775	13.7656	189.4916
13	15 x 30	12,680	337.58498	-22.2872	496.7179
14	15 x 30	12,615	412.96804	53.09589	2819.173
15	15 x 30	12,820	317.91984	-41.9523	1759.997
16	15 x 30	12,695	403.13546	43.26331	1871.714
17	15 x 30	12,740	311.36479	-48.5074	2352.964
18	15 x 30	12,620	383.47032	23.59817	556.8736
19	15 x 30	12,805	334.30746	-25.5647	653.5535
20	15 x 30	12,820	409.69051	49.81836	2481.869
Jumlah			7197,4429		48503,02
Rata-rata					359,8722
Standar deviasi					50,5251
Kuat tekan karakteristik					277,0109

Tabel 5.15 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{275} persentase abu terbang lima belas persen

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,730	380.19279	-36.8721	1359.555
2	15 x 30	12,745	491.62861	74.56367	5559.741
3	15 x 30	12,815	399.85794	-17.207	296.0809
4	15 x 30	12,290	563.73414	146.6692	21511.86
5	15 x 30	12,735	340.86251	-76.2024	5806.811
6	15 x 30	12,290	471.96347	54.89853	3013.849
7	15 x 30	12,790	390.02537	-27.0396	731.1385
8	15 x 30	12,815	432.63318	15.56824	242.3701
9	15 x 30	12,790	380.19279	-36.8721	1359.555
10	15 x 30	13,260	439.18823	22.12329	489.4399
11	15 x 30	12,770	383.47032	-33.5946	1128.599
12	15 x 30	12,880	442.46575	25.40081	645.2013
13	15 x 30	12,745	363.80517	-53.2598	2836.603
14	15 x 30	12,760	458.85337	41.78843	1746.273
15	15 x 30	12,605	406.41299	-10.652	113.4641
16	15 x 30	12,760	406.41299	-10.652	113.4641
17	15 x 30	12,780	344.14003	-72.9249	5318.043
18	15 x 30	12,910	445.74328	28.67834	822.447
19	15 x 30	12,810	340.86251	-76.2024	5806.811
20	15 x 30	12,815	458.85337	41.78843	1746.273
Jumlah			8341,2988		60647,57
Rata-rata					419,0649
Standar deviasi					56,4976
Kuat tekan karakteristik					324,4089

Tabel 5.16 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{175} dengan abu terbang pengganti fraksi halus yang lolos saringan no.100

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'_b - \sigma'_{bm}$)	($\sigma'_b - \sigma'_{bm}$) ²
1	15 x 30	12,750	298.25469	-0.16388	0.026856
2	15 x 30	12,740	360.52765	62.10908	3857.538
3	15 x 30	12,660	216.31659	-82.102	6740.735
4	15 x 30	12,170	324.47489	26.05632	678.9316
5	15 x 30	12,170	353.9726	55.55403	3086.25
6	15 x 30	12,740	245.81431	-52.6043	2767.208
7	15 x 30	12,680	291.69964	-6.71893	45.14396
8	15 x 30	12,740	314.64231	16.22374	263.2098
9	15 x 30	12,845	331.02993	32.61136	1063.501
10	15 x 30	12,260	262.20193	-36.2166	1311.645
11	15 x 30	12,775	344.14003	45.72146	2090.452
12	15 x 30	12,720	337.58498	39.16641	1534.008
13	15 x 30	12,660	265.47945	-32.9391	1084.986
14	15 x 30	12,680	360.52765	62.10908	3857.538
15	15 x 30	12,710	249.09183	-49.3267	2433.127
16	15 x 30	12,850	216.31659	-82.102	6740.735
17	15 x 30	12,680	347.41755	48.99898	2400.9
18	15 x 30	12,680	288.42212	-9.99645	99.92901
19	15 x 30	12,660	219.59411	-78.8245	6213.295
20	15 x 30	12,770	340.86251	42.44394	1801.488
Jumlah			5968,3714		48070,65
Rata-rata					298,4186
Standar deviasi					50,2994
Kuat tekan karakteristik					215,9275

Tabel 5.17 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K₂₂₅ dengan abu terbang pengganti fraksi halus yang lolos saringan no.100

No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,645	294.97717	-44.5743	1986.871
2	15 x 30	12,745	278.58955	-60.962	3716.36
3	15 x 30	12,710	452.29832	112.7468	12711.85
4	15 x 30	12,740	301.53222	-38.0193	1445.466
5	15 x 30	12,685	380.19279	40.64129	1651.715
6	15 x 30	12,755	278.58955	-60.962	3716.36
7	15 x 30	12,760	373.63775	34.08625	1161.872
8	15 x 30	12,760	314.64231	-24.9092	620.4676
9	15 x 30	12,915	403.13546	63.58396	4042.92
10	15 x 30	12,750	383.47032	43.91882	1928.863
11	15 x 30	12,730	311.36479	-28.1867	794.4907
12	15 x 30	12,860	367.0827	27.5312	757.9669
13	15 x 30	12,230	386.74784	47.19634	2227.495
14	15 x 30	12,680	367.0827	27.5312	757.9669
15	15 x 30	12,805	294.97717	-44.5743	1986.871
16	15 x 30	12,250	285.1446	-54.4069	2960.111
17	15 x 30	12,775	347.41755	7.866054	61.8748
18	15 x 30	12,760	272.0345	-67.517	4558.545
19	15 x 30	12,770	324.47489	-15.0766	227.3043
20	15 x 30	12,090	373.63775	34.08625	1161.872
Jumlah			6791,0299		48477,24
Rata-rata					339,5515
Standar deviasi					50,5117
Kuat tekan karakteristik					256,7123

Tabel 5.18 Hasil-hasil pengujian terhadap silinder beton mutu K_{275} dengan abu terbang pengganti fraksi halus yang lolos saringan no.100

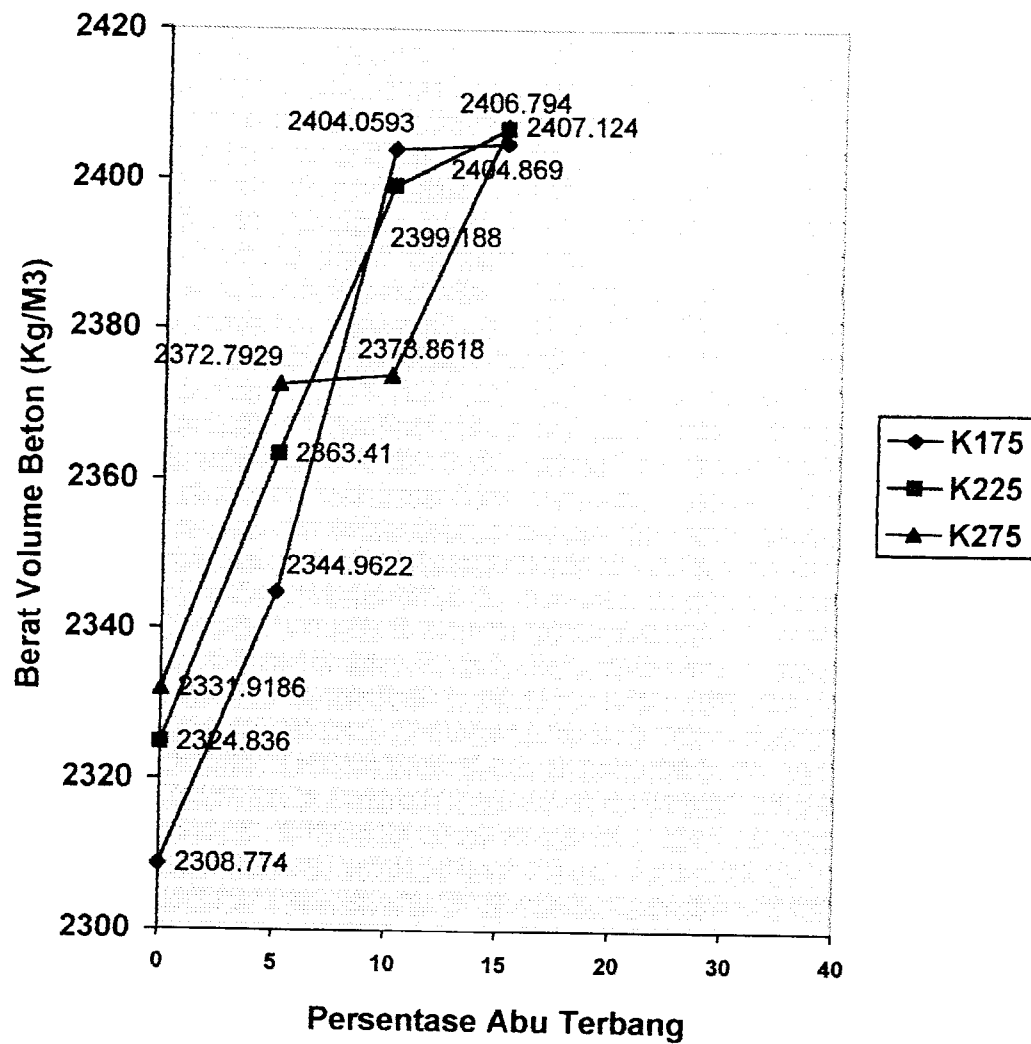
No. Benda uji	Ukuran (Cm ²)	Berat (Kg)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	($\sigma'b - \sigma'bm$)	($\sigma'b - \sigma'bm$) ²
1	15 x 30	12,695	311.36479	-62.9285	3959.991
2	15 x 30	12,150	416.24556	41.95231	1759.996
3	15 x 30	12,730	403.13546	28.84221	831.8733
4	15 x 30	12,270	360.52765	-13.7656	189.4917
5	15 x 30	12,720	308.08726	-66.206	4383.232
6	15 x 30	12,760	347.41755	-26.8757	722.303
7	15 x 30	12,640	376.91527	2.622021	6.874992
8	15 x 30	12,185	452.29832	78.00507	6084.792
9	15 x 30	12,620	327.75241	-46.5408	2166.05
10	15 x 30	12,540	373.63775	-0.6555	0.429685
11	15 x 30	12,710	376.91527	2.622021	6.874992
12	15 x 30	12,050	426.07813	51.78488	2681.674
13	15 x 30	12,520	376.91527	2.622021	6.874992
14	15 x 30	12,760	337.58498	-36.7083	1347.497
15	15 x 30	12,670	311.36479	-62.9285	3959.991
16	15 x 30	12,730	426.07813	51.78488	2681.674
17	15 x 30	12,530	340.86251	-33.4307	1117.615
18	15 x 30	12,770	399.85794	25.56469	653.5533
19	15 x 30	12,670	321.19736	-53.0959	2819.173
20	15 x 30	12,730	491.62861	117.3354	13767.59
Jumlah			7485,865		49147,55
Rata-rata					374,2933
Standar deviasi					50,8597
Kuat tekan karakteristik					290,8833

5.2 Pembahasan

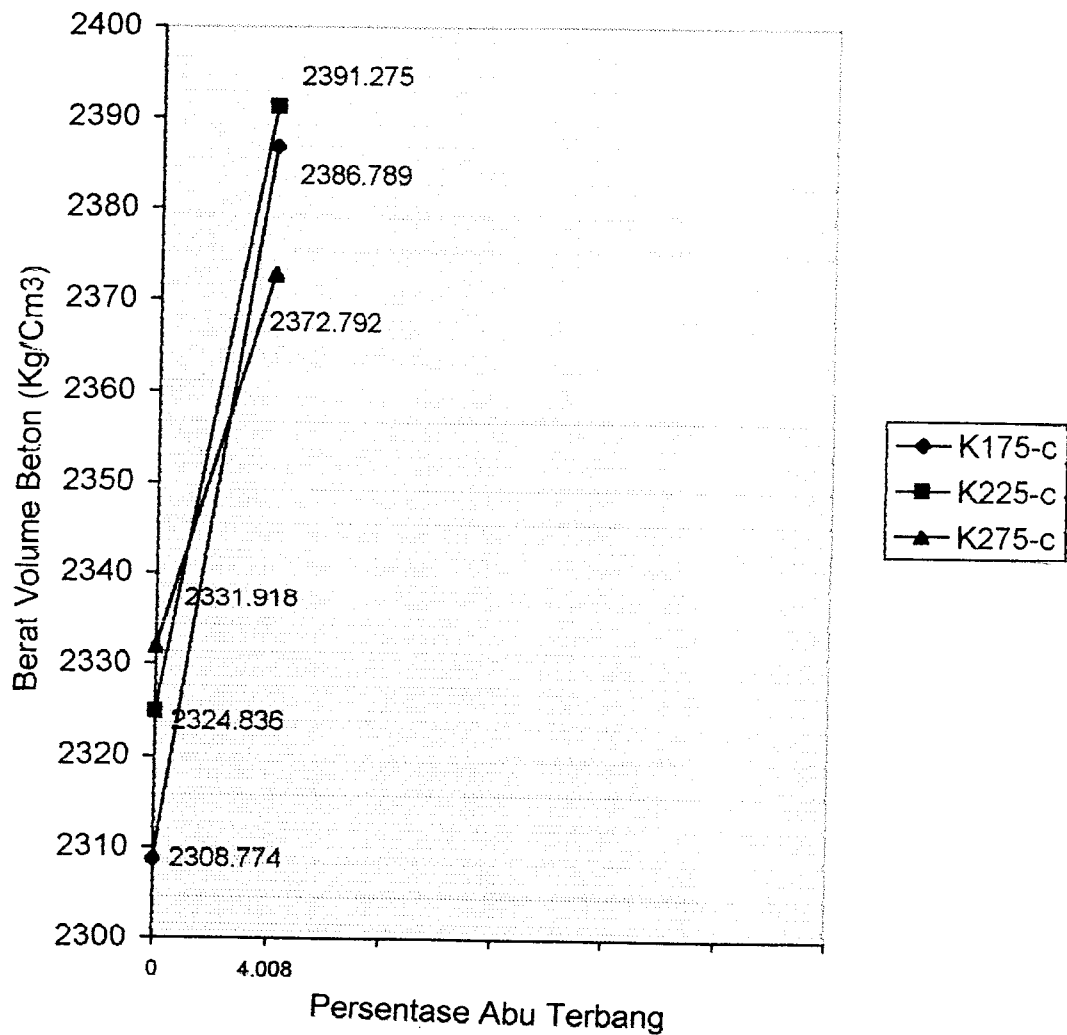
Pengujian terhadap benda-benda uji yang telah dilaksanakan selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan jawaban dari rumusan masalah yang ditentukan. Analisa hasil pengujian terhadap berbagai mutu beton dapat diuraikan sebagai berikut

5.2.1 Berat volume beton

Berat volume beton pada benda-benda uji cenderung meningkat, dengan adanya penambahan prosentase abu terbang. Hal ini terjadi karena abu terbang akan mengisi pori-pori beton yang sebelumnya diisi oleh air sehingga dihasilkan beton dengan kepadatan yang lebih baik daripada beton tanpa abu terbang. Peningkatan berat volume beton pada benda uji yang diteliti seperti tergambar di bawah ini (Gambar 6.1 dan 6.2).



Gambar 6.1 Berat volume beton dengan persentase abu terbang tertentu



Gambar 6.2 Berat volume beton dengan abu terbang menggantikan fraksi halus

Beton dengan abu terbang sebagai pengganti pasir halus yang lolos saringan no.100 juga terjadi peningkatan berat volume betonnya. Hal ini terjadi karena fraksi halus yang digantikan abu terbang yang lolos saringan ukuran lebih kecil $75\mu\text{m}$ cenderung mengandung debu atau partikel yang bukan berupa pasir. Sementara abu terbang yang menggantikan fraksi halus dapat mengisi pori beton lebih baik sehingga

dihasilkan beton yang lebih padat. Hasil dari peningkatan berat volume beton dapat dilihat seperti tergambar di bawah ini :

5.2.2 Kebutuhan air

Kebutuhan air untuk setiap adukan beton yang menggunakan abu terbang seperti terlihat pada Tabel.5.2 cenderung menurun, dengan mempertahankan nilai “slump” yang relatif sama, seiring dengan penambahan abu terbang. Pada tabel terlihat prosentase penurunan air rata-rata untuk masing-masing mutu beton adalah 2,3704%, 1,9887%, 1,9531%. Hal ini terjadi karena abu terbang mempunyai butiran halus mengisi pori-pori yang sebelumnya diisi oleh air. Persentase penurunan kebutuhan air rata-rata untuk mutu beton rendah lebih besar dari mutu beton yang lebih tinggi, kecuali pada beton dengan abu terbang sebagai pengganti pasir halus. Untuk beton yang menggunakan abu terbang sebagai pengganti pasir halus kebutuhan air tetap tetapi terlihat sedikit kenaikan nilai “slump” (Tabel 5.3).

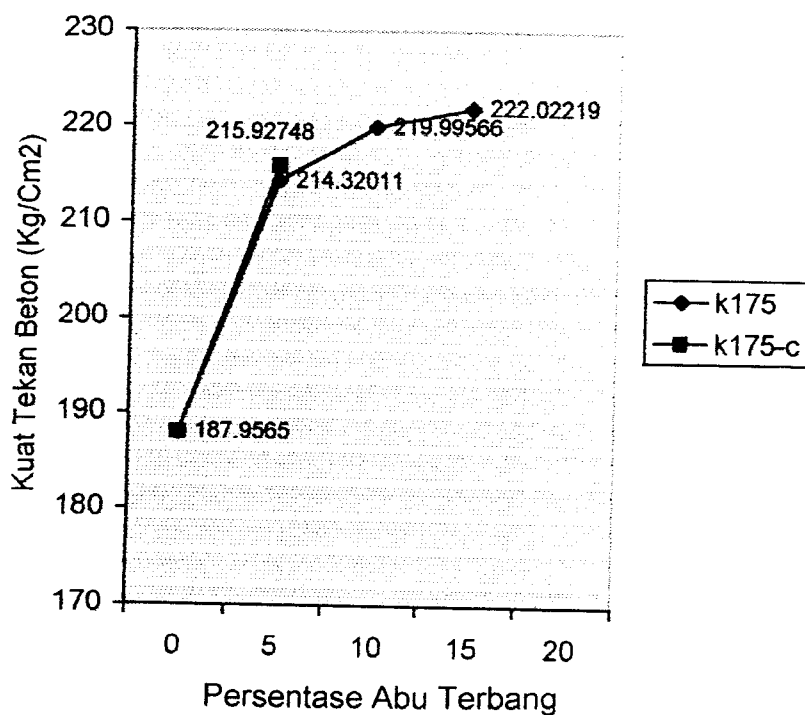
5.2.3 Kuat tekan beton

Kuat tekan beton dari hasil-hasil pengujian untuk masing-masing variasi campuran adalah sebagai berikut:

Tabel 5.19 Persentase kenaikan dari penambahan abu terbang pada mutu beton K₁₇₅

MUTU BETON K₁₇₅		
Persentase Abu Terbang	Kuat Tekan Beton (Kg/Cm²)	Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton
0	187.95650	-
5	214.32011	14.026442
10	219.99566	17.046051

15	222.02219	18.124242
Pengganti Pasir Halus Pada Saringan No.100	215.92748	14.881624

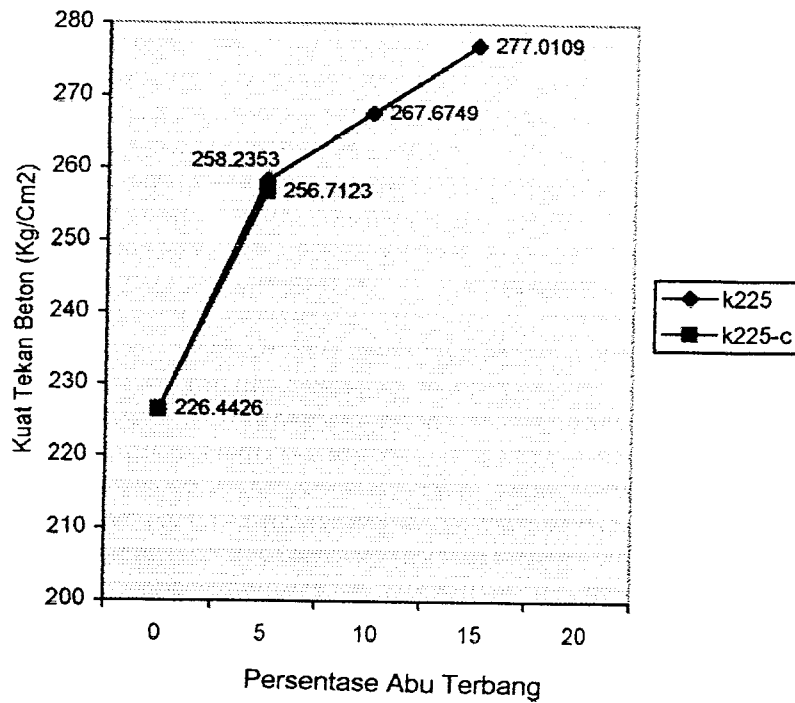


Gambar 5.3 Grafik kenaikan kuat tekan pada mutu beton K₁₇₅

Tabel 5.20 Persentase kenaikan dari penambahan abu terbang pada mutu beton K₂₂₅

MUTU BETON K ₂₂₅		
Persentase Abu Terbang	Kuat Tekan Beton (Kg/Cm ²)	Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton
0	226.4426	-
5	258.2353	14.04006
10	267.6749	18.20870

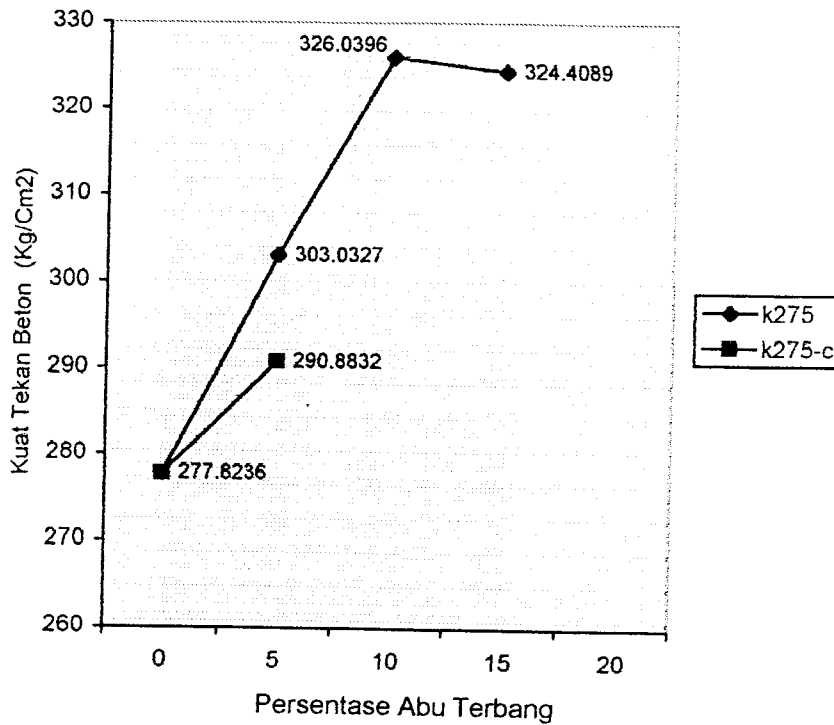
15	277.0109	22.33161
Pengganti Pasir Halus Pada Saringan No.100	256.7123	13.36748



Gambar 5.4 Grafik kenaikan kuat tekan pada mutu beton K₂₂₅

Tabel 5.21 Persentase kenaikan dari penambahan abu terbang pada mutu beton K₂₇₅

MUTU BETON K ₂₇₅		
Persentase Abu Terbang	Kuat Tekan Beton (Kg/Cm ²)	Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton
0	277.8236	
5	303.0327	9.073779
10	326.0396	17.35490
15	324.4089	16.76794
Pengganti Pasir Halus Pada Saringan No.100	290.8832	4.700681



Gambar 5.5 Grafik kenaikan kuat tekan pada mutu beton K_{275}

Dari Tabel: 5.19, 5.20, 5.21 dan Grafik 5.3, 5.4, 5.5 didapat kenaikan kuat tekan beton seiring dengan kenaikan penggunaan abu terbang, kecuali pada beton mutu K_{275} dengan abu terbang 15% terjadi peningkatan kuat tekan tetapi lebih kecil dari yang menggunakan abu terbang 10%. Hal ini terjadi karena “slump” K_{275} (15%) lebih besar dari “slump” K_{275} (15%), tampak dalam Tabel 5.2 (kebutuhan air).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari seluruh penelitian yang telah dilaksanakan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggantian sebagian pasir dan pasir halus dengan abu terbang dapat meningkatkan berat volume beton.
2. Jika dipertahankan nilai “slump” pemakaian abu terbang menyebabkan penurunan kebutuhan air.
3. Pada nilai slump yang sama, beton dengan abu terbang akan terjadi kenaikan kuat tekan dibandingkan beton normal.
4. Penggantian sebagian pasir dengan abu terbang didapat peningkatan kuat tekan tertinggi pada persentase 15 % untuk campuran beton mutu K_{175} dan K_{225} masing-masing 18,124%, 22,232% sedangkan hasil uji kuat tekan beton mutu K_{275} didapat peningkatan tertinggi 17,355% yang terjadi pada persentase abu terbang 10%.
5. Penggantian pasir halus dengan abu terbang didapat peningkatan kuat tekan beton maksimal 14,882% pada mutu beton K_{175} .

6.2 Saran - Saran

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan memperbesar persentase abu terbang (beton mutu K₁₇₅ dan K₂₂₅), memperkecil interval persentase abu terbang (beton mutu K₂₇₅).
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, nilai “slump” nyata diusahakan relatif sama dengan nilai “slump” rencana. Ketelitian pada saat pelaksanaan, pengujian dan analisa data perlu diperhatikan.
3. Mengnalisa hasil penelitian terhadap biaya pembuatan beton.

DAFTAR PUSTAKA

Herry Prijatama,1995, Abu Terbang dan Pemanfaatanya, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geoteknologi LIPI.

L.J. Murdock dan K.M. Brook,1986, Bahan dan Praktek Beton, Erlangga Bandung.

Istimawan Dipohusodo,1994,Struktur Beton Bertulang,Gramedia Pustaka Utama Jakarta.

Ridwan Suhud,1992,Jurnal Teknik Sipil No.002, ITB Bandung.

Tjokrodinuljo,Kardijono,ME.Ir.1992,Teknologi Beton, Yogyakarta, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.

Yayasan Dana Normalisasi Indonesia,1971, Peraturan Perencanaan Betoan Bertulang Indonesia NI-2, Bandung DPMB,DPU RI.

Yayasan LPMB, Standar SK-SNI M-14-1989-F, Metode Pengujian Kuat Desak Beton,Bandung: LPMB DPU RI 1991.

Yayasan LPMB,Standar SK-SNI T-15-1991-03, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Gedung, Bandung:LPMB DPU RI,1991.

LAMPIRAN - LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

**HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER UNTUK BETON NORMAL
UMUR 14 HARI**

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₁₇₅

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,170	15	30	176,7146	0,2296	14	400	230,7377	-
2	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,250	15	30	176,7146	0,2311	14	405	233,62192	-
3	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,550	15	30	176,7146	0,2296	14	600	346,10654	-
4	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,550	15	30	176,7146	0,2300	14	595	343,22232	-
5	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,190	15	30	176,7146	0,2288	14	405	233,62192	-
6	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,192	15	30	176,7146	0,2367	14	425	245,1588	-
7	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,140	15	30	176,7146	0,2290	14	415	239,39036	-
8	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,170	15	30	176,7146	0,2296	14	430	248,04302	-
9	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,130	15	30	176,7146	0,2311	14	320	184,59016	-
10	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,240	15	30	176,7146	0,2309	14	445	256,69569	-
11	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,135	15	30	176,7146	0,2289	14	590	340,3381	-
12	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,250	15	30	176,7146	0,2311	14	430	248,04302	-
13	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,150	15	30	176,7146	0,2292	14	340	196,12704	-
14	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,185	15	30	176,7146	0,2298	14	530	305,72745	-
15	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,265	15	30	176,7146	0,2314	14	340	196,12704	-
16	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,480	15	30	176,7146	0,2354	14	410	236,50614	-
17	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,250	15	30	176,7146	0,2311	14	455	262,46413	-
18	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,250	15	30	176,7146	0,2281	14	375	216,31659	-
19	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,095	15	30	176,7146	0,2367	14	290	167,28483	-
20	1 : 2,2043 : 3,0502	9	12,155	15	30	176,7146	0,2293	14	415	239,39036	-

CATATAN :

- PC = Nisantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang =

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₂₅

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,200	15	30	176,7146	0,2301	14	580	334,56966	-
2	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,250	15	30	176,7146	0,2301	14	365	210,54815	-
3	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,250	15	30	176,7146	0,2311	14	455	262,46413	-
4	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,250	15	30	176,7146	0,2311	14	385	222,08503	-
5	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,700	15	30	176,7146	0,2396	14	505	291,30634	-
6	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,700	15	30	176,7146	0,2396	14	545	314,38011	-
7	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,150	15	30	176,7146	0,2292	14	475	274,00101	-
8	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,300	15	30	176,7146	0,2320	14	500	288,42212	-
9	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,300	15	30	176,7146	0,2320	14	575	331,68544	-
10	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,350	15	30	176,7146	0,2330	14	415	239,39036	-
11	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,300	15	30	176,7146	0,2320	14	505	291,30634	-
12	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,200	15	30	176,7146	0,2301	14	435	250,92724	-
13	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,200	15	30	176,7146	0,2301	14	580	334,56966	-
14	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,300	15	30	176,7146	0,2301	14	390	224,96925	-
15	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,250	15	30	176,7146	0,2320	14	380	219,20081	-
16	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,200	15	30	176,7146	0,2301	14	630	363,41187	-
17	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,300	15	30	176,7146	0,2320	14	475	274,00101	-
18	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,800	15	30	176,7146	0,2414	14	535	308,61167	-
19	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,200	15	30	176,7146	0,2301	14	385	222,08503	-
20	1 : 1,8789 : 2,8257	10	12,300	15	30	176,7146	0,2320	14	655	377,83298	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang =

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₇₅

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,428	15	30	176,7146	0,2344	14	485	279.76946	-
2	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,210	15	30	176,7146	0,2303	14	650	374.94876	-
3	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,350	15	30	176,7146	0,2330	14	535	308.61167	-
4	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,310	15	30	176,7146	0,2322	14	540	311.49589	-
5	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,210	15	30	176,7146	0,2303	14	685	395.1383	-
6	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	480	276.88524	-
7	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,310	15	30	176,7146	0,2322	14	660	380.7172	-
8	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,240	15	30	176,7146	0,2309	14	560	323.03277	-
9	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,330	15	30	176,7146	0,2326	14	565	325.917	-
10	1 : 1,6097 : 2,5796	9,55	12,195	15	30	176,7146	0,2300	14	490	282.65368	-
11	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,328	15	30	176,7146	0,2325	14	535	308.61167	-
12	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,655	15	30	176,7146	0,2387	14	670	386.48564	-
13	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,240	15	30	176,7146	0,2309	14	490	282.65368	-
14	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,385	15	30	176,7146	0,2336	14	545	314.38011	-
15	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,220	15	30	176,7146	0,2305	14	735	423.98052	-
16	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,400	15	30	176,7146	0,2339	14	555	320.14855	-
17	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,350	15	30	176,7146	0,2330	14	465	268.23257	-
18	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,770	15	30	176,7146	0,2409	14	490	282.65368	-
19	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,210	15	30	176,7146	0,2303	14	700	403.79097	-
20	1 : 1,6097 : 2,5796	9,5	12,350	15	30	176,7146	0,2330	14	470	271.11679	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang =

LAMPIRAN 2

**HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER UNTUK BETON DENGAN
PERSENTASE ABU TERBANG 5%, UMUR 14 HARI**

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₁₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 5 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³)	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,345	15	30	176,7146	0,2329	14	510	294,19056	-
2	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,320	15	30	176,7146	0,2324	14	390	224,96925	-
3	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,380	15	30	176,7146	0,2335	14	505	291,30634	-
4	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,380	15	30	176,7146	0,2335	14	410	236,50614	-
5	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,355	15	30	176,7146	0,2330	14	545	314,38011	-
6	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,305	15	30	176,7146	0,2321	14	330	190,3586	-
7	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,440	15	30	176,7146	0,2347	14	505	291,30634	-
8	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,410	15	30	176,7146	0,2341	14	325	187,47438	-
9	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,380	15	30	176,7146	0,2335	14	520	299,959	-
10	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,840	15	30	176,7146	0,2422	14	405	233,62192	-
11	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	520	299,959	-
12	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	385	222,08503	-
13	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,310	15	30	176,7146	0,2322	14	510	294,19056	-
14	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,390	15	30	176,7146	0,2337	14	535	308,61167	-
15	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,303	15	30	176,7146	0,2321	14	400	230,7377	-
16	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,420	15	30	176,7146	0,2343	14	550	317,26433	-
17	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,350	15	30	176,7146	0,2330	14	360	207,66393	-
18	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,342	15	30	176,7146	0,2328	14	540	311,49589	-
19	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,397	15	30	176,7146	0,2338	14	420	242,27458	-
20	1:2,0941:3,0502:0,1101	10	12,467	15	30	176,7146	0,2352	14	610	351,87499	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PL.TU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₂₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 5 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,550	15	30	176,7146	0,2367	14	600	346,10654	-
2	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,370	15	30	176,7146	0,2333	14	465	268,23257	-
3	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,550	15	30	176,7146	0,2367	14	545	314,38011	-
4	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,480	15	30	176,7146	0,2354	14	450	259,57991	-
5	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,455	15	30	176,7146	0,2349	14	560	323,03277	-
6	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	13,080	15	30	176,7146	0,2467	14	460	265,34835	-
7	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	13,090	15	30	176,7146	0,2469	14	580	334,56966	-
8	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,410	15	30	176,7146	0,2341	14	400	230,7377	-
9	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,405	15	30	176,7146	0,2340	14	600	346,10654	-
10	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,590	15	30	176,7146	0,2375	14	500	288,42212	-
11	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,585	15	30	176,7146	0,2374	14	625	360,52765	-
12	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,595	15	30	176,7146	0,2376	14	450	259,57991	-
13	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,365	15	30	176,7146	0,2332	14	440	253,81147	-
14	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,700	15	30	176,7146	0,2396	14	625	360,52765	-
15	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,435	15	30	176,7146	0,2346	14	535	308,61167	-
16	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,515	15	30	176,7146	0,2361	14	455	262,46413	-
17	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,460	15	30	176,7146	0,2350	14	600	346,10654	-
18	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,415	15	30	176,7146	0,2342	14	545	314,38011	-
19	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,050	15	30	176,7146	0,2462	14	400	230,7377	-
20	1:1,7850:2,8257:0,0939	10	12,490	15	30	176,7146	0,2356	14	645	372,06453	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 5 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,950	15	30	176,7146	0,2443	14	710	409,55941	-
2	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,565	15	30	176,7146	0,2370	14	535	308,61167	-
3	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,985	15	30	176,7146	0,2449	14	705	406,67519	-
4	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,380	15	30	176,7146	0,2335	14	630	363,41187	-
5	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,480	15	30	176,7146	0,2354	14	485	279,76946	-
6	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,880	15	30	176,7146	0,2430	14	660	380,7172	-
7	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,610	15	30	176,7146	0,2379	14	525	302,84323	-
8	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,550	15	30	176,7146	0,2367	14	735	423,98052	-
9	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,550	15	30	176,7146	0,2367	14	465	268,23257	-
10	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,600	15	30	176,7146	0,2377	14	560	323,03277	-
11	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,500	15	30	176,7146	0,2358	14	700	403,79097	-
12	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,540	15	30	176,7146	0,2365	14	655	377,83298	-
13	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,540	15	30	176,7146	0,2365	14	630	363,41187	-
14	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,540	15	30	176,7146	0,2365	14	485	279,76946	-
15	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,500	15	30	176,7146	0,2358	14	685	395,1383	-
16	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,500	15	30	176,7146	0,2358	14	525	302,84323	-
17	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,440	15	30	176,7146	0,2347	14	665	383,60142	-
18	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,470	15	30	176,7146	0,2352	14	510	294,19056	-
19	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,465	15	30	176,7146	0,2351	14	650	374,94876	-
20	1:1,5292:2,5796:0,0805	10	12,525	15	30	176,7146	0,2363	14	740	426,86474	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

LAMPIRAN 3

**HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER UNTUK BETON DENGAN
PERSENTASE ABU TERBANG 10%, UMUR 14 HARI**

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₁₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 10 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³ x10 ⁻²)	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,720	15	30	176,7146	0,2399	14	450	259,57991	-
2	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	285	164,40061	-
3	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,270	15	30	176,7146	0,2314	14	445	256,69569	-
4	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,720	15	30	176,7146	0,2399	14	565	325,917	-
5	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,645	15	30	176,7146	0,2385	14	485	279,76946	-
6	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,650	15	30	176,7146	0,2386	14	590	340,3381	-
7	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,845	15	30	176,7146	0,2423	14	490	282,65368	-
8	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	570	328,80122	-
9	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	13,115	15	30	176,7146	0,2474	14	610	351,87499	-
10	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	13,165	15	30	176,7146	0,2483	14	450	259,57991	-
11	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,705	15	30	176,7146	0,2397	14	575	331,68544	-
12	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,790	15	30	176,7146	0,2397	14	370	213,43237	-
13	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,740	15	30	176,7146	0,2413	14	525	302,84323	-
14	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,775	15	30	176,7146	0,2403	14	440	253,81147	-
15	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,660	15	30	176,7146	0,2410	14	535	308,61167	-
16	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,760	15	30	176,7146	0,2388	14	405	233,62192	-
17	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,725	15	30	176,7146	0,2407	14	420	242,27458	-
18	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,680	15	30	176,7146	0,2400	14	560	323,03277	-
19	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,770	15	30	176,7146	0,2392	14	345	199,01126	-
20	1:1,9841:3,0502:0,2205	10	12,705	15	30	176,7146	0,2409	14	585	337,45388	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₂₅
(ABU TERBANG MENGGANTI PASIR HALUS 10 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,675	15	30	176,7146	0,2391	14	735	423.98052	-
2	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,683	15	30	176,7146	0,2391	14	480	276.88524	-
3	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	575	331.68544	-
4	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,575	15	30	176,7146	0,2372	14	515	297.07478	-
5	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,675	15	30	176,7146	0,2391	14	500	288.42212	-
6	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,615	15	30	176,7146	0,2380	14	500	288.42212	-
7	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,790	15	30	176,7146	0,2413	14	450	259.57991	-
8	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	515	297.07478	-
9	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	525	302.84323	-
10	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	13,105	15	30	176,7146	0,2472	14	715	412.44363	-
11	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,660	15	30	176,7146	0,2388	14	560	323.03277	-
12	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	13,085	15	30	176,7146	0,2468	14	480	276.88524	-
13	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,670	15	30	176,7146	0,2390	14	470	271.11679	-
14	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,600	15	30	176,7146	0,2377	14	490	282.65368	-
15	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,650	15	30	176,7146	0,2386	14	525	302.84323	-
16	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,185	15	30	176,7146	0,2468	14	515	297.07478	-
17	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,800	15	30	176,7146	0,2414	14	505	291.30634	-
18	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	525	302.84323	-
19	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,686	15	30	176,7146	0,2393	14	700	403.79097	-
20	1:1,6910:2,8257:0,1879	10	12,820	15	30	176,7146	0,2418	14	555	320.14855	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 10 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,480	15	30	176,7146	0,2354	14	685	395.1383	-
2	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	13,015	15	30	176,7146	0,2455	14	705	406.67519	-
3	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,515	15	30	176,7146	0,2361	14	630	363.41187	-
4	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,695	15	30	176,7146	0,2395	14	725	418.21207	-
5	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,575	15	30	176,7146	0,2372	14	695	400.90675	-
6	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,920	15	30	176,7146	0,2437	14	735	423.98052	-
7	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,495	15	30	176,7146	0,2357	14	520	299.959	-
8	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,020	15	30	176,7146	0,2456	14	590	340.3381	-
9	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,585	15	30	176,7146	0,2374	14	515	297.07478	-
10	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,630	15	30	176,7146	0,2382	14	565	325.917	-
11	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,595	15	30	176,7146	0,2376	14	590	340.3381	-
12	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,480	15	30	176,7146	0,2354	14	610	351.87499	-
13	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,580	15	30	176,7146	0,2373	14	650	374.94876	-
14	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,495	15	30	176,7146	0,2357	14	590	340.3381	-
15	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,515	15	30	176,7146	0,2361	14	630	363.41187	-
16	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,645	15	30	176,7146	0,2385	14	785	452.82273	-
17	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,570	15	30	176,7146	0,2371	14	520	299.959	-
18	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,635	15	30	176,7146	0,2385	14	600	346.10654	-
19	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,590	15	30	176,7146	0,2375	14	645	372.06453	-
20	1:1,4487:2,5796:0,1610	10	12,535	15	30	176,7146	0,2364	14	525	302.84323	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PL.TU Paiton Probolinggo Jawa Timur

LAMPIRAN 4

**HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER UNTUK BETON DENGAN
PERSENTASE ABU TERBANG 15%, UMUR 14 HARI**

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₁₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 15 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x 10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,505	15	30	176,7146	0,2359	14	480	276,88524	-
2	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,745	15	30	176,7146	0,2404	14	585	337,45388	-
3	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,663	15	30	176,7146	0,2389	14	450	259,57991	-
4	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,840	15	30	176,7146	0,2422	14	605	348,99077	-
5	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,635	15	30	176,7146	0,2383	14	345	199,01126	-
6	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,675	15	30	176,7146	0,2391	14	545	314,38011	-
7	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,690	15	30	176,7146	0,2394	14	480	276,88524	-
8	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	13,200	15	30	176,7146	0,2490	14	525	302,84323	-
9	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,685	15	30	176,7146	0,2393	14	480	276,88524	-
10	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	13,090	15	30	176,7146	0,2469	14	635	366,29609	-
11	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,635	15	30	176,7146	0,2383	14	495	285,5379	-
12	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	13,050	15	30	176,7146	0,2462	14	545	314,38011	-
13	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,555	15	30	176,7146	0,2368	14	485	279,76946	-
14	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,750	15	30	176,7146	0,2405	14	485	279,76946	-
15	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,680	15	30	176,7146	0,2392	14	385	222,08503	-
16	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,635	15	30	176,7146	0,2383	14	345	199,01126	-
17	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,623	15	30	176,7146	0,2381	14	345	199,01126	-
18	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,735	15	30	176,7146	0,2402	14	490	282,65368	-
19	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,720	15	30	176,7146	0,2399	14	375	216,31659	-
20	1:1,8737:3,0502:0,3306	10	12,745	15	30	176,7146	0,2404	14	480	276,88524	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₂₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 15 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,625	15	30	176,7146	0,2381	14	550	317,26433	-
2	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	13,090	15	30	176,7146	0,2469	14	635	366,29609	-
3	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,595	15	30	176,7146	0,2376	14	435	250,92724	-
4	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	13,190	15	30	176,7146	0,2488	14	615	354,75921	-
5	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,615	15	30	176,7146	0,2380	14	485	279,76946	-
6	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	13,115	15	30	176,7146	0,2474	14	635	366,29609	-
7	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,630	15	30	176,7146	0,2382	14	570	328,80122	-
8	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,720	15	30	176,7146	0,2399	14	620	357,64343	-
9	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,820	15	30	176,7146	0,2428	14	380	219,20081	-
10	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,605	15	30	176,7146	0,2378	14	595	343,22232	-
11	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,640	15	30	176,7146	0,2384	14	450	259,57991	-
12	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,620	15	30	176,7146	0,2380	14	570	328,80122	-
13	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,680	15	30	176,7146	0,2392	14	515	297,07478	-
14	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,615	15	30	176,7146	0,2380	14	630	363,41187	-
15	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,820	15	30	176,7146	0,2418	14	485	279,76946	-
16	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,695	15	30	176,7146	0,2418	14	615	354,75921	-
17	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,740	15	30	176,7146	0,2395	14	475	274,00101	-
18	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,620	15	30	176,7146	0,2403	14	585	337,45388	-
19	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,805	15	30	176,7146	0,2380	14	510	294,19056	-
20	1:1,5971:2,8257:0,2818	10	12,820	15	30	176,7146	0,2415	14	625	360,52765	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS 15 %)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	580	334,56966	-
2	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,745	15	30	176,7146	0,2403	14	750	432,63318	-
3	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,815	15	30	176,7146	0,2417	14	610	351,87499	-
4	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,290	15	30	176,7146	0,2318	14	860	496,08605	-
5	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,735	15	30	176,7146	0,2402	14	520	299,959	-
6	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,290	15	30	176,7146	0,2318	14	720	415,32785	-
7	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,790	15	30	176,7146	0,2413	14	595	343,22232	-
8	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,815	15	30	176,7146	0,2417	14	660	380,7172	-
9	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,790	15	30	176,7146	0,2413	14	580	334,56966	-
10	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	13,260	15	30	176,7146	0,2313	14	670	386,48564	-
11	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,770	15	30	176,7146	0,2409	14	585	337,45388	-
12	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,880	15	30	176,7146	0,2430	14	675	389,36986	-
13	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,745	15	30	176,7146	0,2403	14	555	320,14855	-
14	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	700	403,79097	-
15	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,605	15	30	176,7146	0,2378	14	620	357,64343	-
16	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	620	357,64343	-
17	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,780	15	30	176,7146	0,2411	14	525	302,84323	-
18	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,910	15	30	176,7146	0,2435	14	680	392,25408	-
19	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,810	15	30	176,7146	0,2416	14	520	299,959	-
20	1:1,3682:2,5796:0,2415	10,5	12,815	15	30	176,7146	0,2417	14	700	403,79097	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

LAMPIRAN 5

**HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER UNTUK BETON DENGAN ABU
TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS YANG LOLOS SARINGAN
NO. 100 PADA UMUR 14 HARI**

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₁₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS YANG LOLOS SARINGAN NO.100)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,750	15	30	176,7146	0,2405	14	455	262.46413	-
2	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	550	317.26433	-
3	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,660	15	30	176,7146	0,2388	14	330	190.3586	-
4	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	13,170	15	30	176,7146	0,2484	14	495	285.5379	-
5	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	13,170	15	30	176,7146	0,2484	14	540	311.49589	-
6	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	375	216.31659	-
7	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,680	15	30	176,7146	0,2392	14	445	256.69569	-
8	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	480	276.88524	-
9	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,845	15	30	176,7146	0,2423	14	505	291.30634	-
10	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	13,260	15	30	176,7146	0,2501	14	400	230.7377	-
11	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,775	15	30	176,7146	0,2410	14	525	302.84323	-
12	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,720	15	30	176,7146	0,2399	14	515	297.07478	-
13	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,660	15	30	176,7146	0,2409	14	405	233.62192	-
14	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,680	15	30	176,7146	0,2399	14	550	317.26433	-
15	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,710	15	30	176,7146	0,2388	14	380	219.20081	-
16	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,850	15	30	176,7146	0,2392	14	330	190.3586	-
17	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,680	15	30	176,7146	0,2397	14	530	305.72745	-
18	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,680	15	30	176,7146	0,2424	14	440	253.81147	-
19	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,660	15	30	176,7146	0,2279	14	335	193.24282	-
20	1:2,1160:3,0502:0,0883	10	12,770	15	30	176,7146	0,2388	14	520	299.959	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PL.TU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₂₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS LOLOS SARINGAN NO.100)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³) x10 ⁻²	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,645	15	30	176,7146	0,2385	14	450	259.57991	-
2	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,745	15	30	176,7146	0,2404	14	425	245.1588	-
3	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,710	15	30	176,7146	0,2397	14	690	398.02253	-
4	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	460	265.34835	-
5	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,685	15	30	176,7146	0,2393	14	580	334.56966	-
6	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,755	15	30	176,7146	0,2406	14	425	245.1588	-
7	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	570	328.80122	-
8	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	480	276.88524	-
9	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,915	15	30	176,7146	0,2436	14	615	354.75921	-
10	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,750	15	30	176,7146	0,2405	14	585	337.45388	-
11	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	475	274.00101	-
12	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,860	15	30	176,7146	0,2426	14	560	323.03277	-
13	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,230	15	30	176,7146	0,2307	14	590	340.3381	-
14	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,680	15	30	176,7146	0,2392	14	560	323.03277	-
15	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,805	15	30	176,7146	0,2415	14	450	259.57991	-
16	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,250	15	30	176,7146	0,2499	14	435	250.92724	-
17	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,775	15	30	176,7146	0,2410	14	530	305.72745	-
18	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	415	239.39036	-
19	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,770	15	30	176,7146	0,2409	14	495	285.5379	-
20	1:1,8036:2,8257:0,0753	10,2	12,090	15	30	176,7146	0,2281	14	570	328.80122	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER K₂₇₅
(ABU TERBANG SEBAGAI PENGGANTI PASIR HALUS LOLOS SARINGAN NO.100)

No. Benda Uji	Perbandingan Campuran	Slump (Cm)	Berat (Kg)	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Luas Penampang (Cm ²)	Berat Isi (Kg/Cm ³ x10 ⁻²)	Umur (Hari)	Beban Maksimum (KN)	Kekuatan Tekan (Kg/Cm ²)	Cacad
1	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,695	15	30	176,7146	0,2395	14	475	274.00101	-
2	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	13,150	15	30	176,7146	0,2480	14	635	366.29609	-
3	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	615	354.75921	-
4	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,770	15	30	176,7146	0,2409	14	550	317.26433	-
5	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,720	15	30	176,7146	0,2399	14	470	271.11679	-
6	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	530	305.72745	-
7	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,840	15	30	176,7146	0,2422	14	575	331.68544	-
8	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	13,185	15	30	176,7146	0,2487	14	690	398.02253	-
9	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,620	15	30	176,7146	0,2267	14	500	288.42212	-
10	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,740	15	30	176,7146	0,2403	14	570	328.80122	-
11	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,710	15	30	176,7146	0,2397	14	575	331.68544	-
12	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	13,050	15	30	176,7146	0,2462	14	650	374.94876	-
13	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,820	15	30	176,7146	0,2418	14	575	331.68544	-
14	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,760	15	30	176,7146	0,2407	14	515	297.07478	-
15	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,770	15	30	176,7146	0,2409	14	475	274.00101	-
16	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	650	374.94876	-
17	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,830	15	30	176,7146	0,2420	14	520	299.95900	-
18	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,770	15	30	176,7146	0,2409	14	610	351.87499	-
19	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,670	15	30	176,7146	0,2390	14	490	282.65368	-
20	1:1,5452:2,5796:0,0645	10,5	12,730	15	30	176,7146	0,2401	14	750	432.63318	-

CATATAN :

- PC = Nusantara
- Teg. Tekan PC = 500 Kg/Cm²
- Agregat Halus = Kali Krasak
- Agregat Kasar = Kali Krasak
- Air = Lab. Jurusan Teknik Sipil UII
- Abu Terbang = PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur