

**TUGAS AKHIR
PENGARUH SUHU PADA KUAT DESAK DAN LENTUR BETON
DENGAN VARIASI AGREGAT HALUS PASIR HITAM DAN
PASIR PUTIH**



Disusun oleh :

Sri Hadiyah

No. Mhs : 89 310 025

NIRM : 890051013114120025

Hardizora

No. MHS : 89 310 005

NIRM : 890051013114120006

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

TUGAS AKHIR
PENGARUH SUHU PADA KUAT DESAK DAN LENTUR BETON
DENGAN VARIASI AGREGAT HALUS PASIR HITAM DAN
PASIR PUTIH

*Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana S1 Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta*

Disusun oleh :

Sri Hudiyaü

No. Mhs : 89 310 025

NIRM : 890051013114120025

Hardizora

NO. MHS : 89 310 005

NIRM : 890051013114120006

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

LEMBAR PENGESAHAN

**TUGAS AKHIR
PENGARUH SUHU PADA KUAT DESAK DAN LENTUR BETON
DENGAN VARIASI AGREGAT HALUS PASIR HITAM DAN
PASIR PUTIH**

Disusun oleh :

Sri Hudyati

No. Mhs : 89 310 025

NIRM : 890051013114120025

Hardizora

NO. MHS : 89 310 005

NIRM : 890051013114120006

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh :

IR. H. Moch. Teguh, MSCE

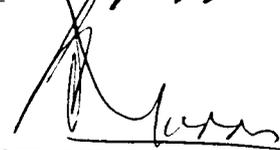
Dosen Pembimbing I

IR. II. Tadjuddin BM. Aris, MS

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 18/8/98



Tanggal : 24-8-98

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'amin, puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan .

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat memperoleh jenjang kesarjanaan Strata Satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah pengaruh pembakaran terhadap penurunan kuat desak dan lentur beton dengan campuran agregat pasir putih.

Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, walaupun sudah diupayakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Untuk itu diharapkan usaha ini terus berlanjut, sebab masih banyak hal-hal yang bisa diungkap lebih dalam dari Tugas Akhir ini.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Bapak IR. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak IR.H. Tadjuddin, BM Aris, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta dan juga selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir.
3. Bapak IR.H. Moch. Teguh, MSCE, selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak IR. Ilman Noor, MSCE, selaku kepala laboratorium Bahan Konstruksi Teknik pada FTSP, UII, Yogyakarta beserta karyawannya.

5. Bapak IR. Dwi Satio Permono, selaku Manager Teknik, PT. Karya Beton Sudhira, Cabang Balaraja, Tangerang, beserta staf.
6. Bapak Drs. Siswaya, selaku kepala Unit Pelayanan Teknis Gerabah, Kasongan, Bantul beserta karyawannya.
7. Bapak IR. Budi Krisno, yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas amal baiknya dan akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi kita semua, amien.

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta Agustus 1998

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Rumusan Masalah	3
1.6 Metode Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pengertian beton	7
2.2 Desain Adukan Beton	8
2.2.1 Tujuan Desain Adukan Beton	8
2.2.2 Rencana Campuran Metode ACI	9

2.3 Kuat Desak Dan Lentur Balok Beton	12
2.4 Pengaruh Suhu Tinggi Pada Beton	14
2.4.1 Pengaruh Temperatur Pada Kuat Tekan Beton	14
2.4.2 Hubungan Antara Lama Pembakaran Terhadap Penurunan Kuat Desak Beton	15
2.4.3. Pengaruh Pembakaran Terhadap Kekuatan Balok Beton Bertulang..	15
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Tinjauan Umum	17
3.2 Sifat Agregat Pada Temperatur Tinggi	17
3.3 Kuat Tekan Beton Setelah Pemanasan	18
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	21
4.1 Tinjauan Umum	21
4.2 Persiapan Bahan Dan Alat	21
4.2.1 Bahan	22
4.2.2 Alat-alat	23
4.3 Perhitungan Campuran Beton	24
4.4 Pelaksanaan Penelitian	29
4.4.1 Pembuatan Benda Uji	29
4.4.2 Rawatan Benda Uji	30
4.4.3 Pembakaran Benda Uji	30
4.4.4 Pengujian Desak Lentur Beton	31
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	34
5.1 Hasil penelitian	34

5.2 Pembahasan	39
5.2.1 Keadaan Fisik Beton	39
5.2.2 Berat, Volume dan Berat Jenis Beton	41
5.2.3 Kuat Desak Beton	46
5.2.4 Kuat Lentur Beton	50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	53
6.1 Kesimpulan	53
6.2 Saran-Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

No	Nama Gambar	Hal
2.1	Blok Tegangan Equivalen Whitney	13
3.1	Pengaruh Pemanasan pada Kuat Tekan Beton	19
3.2	Pengaruh Pemanasan Pada Beberapa Jenis Agregat	20
4.1	Model Balok Beton	32
4.2	Model Balok beton Yang Terkena Beban	32
4.3	Diagram Momen Pada Balok Yang Dibebani Gaya (P)	32
5.1	Grafik Prosentase Penurunan Berat Kubus Terhadap Suhu Pembakaran	42
5.2	Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok Terhadap Suhu Pembakaran	42
5.3	Grafik Prosentase Penurunan Volume Kubus Terhadap Suhu Pembakaran	44
5.4	Grafik Prosentase Penurunan Volume Balok Terhadap Suhu Pembakaran	44
5.5	Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Kubus Terhadap Suhu Pembakaran	45
5.6	Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok Terhadap Suhu Pembakaran	46

5.7	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran	48
5.8	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran	51

DAFTAR TABEL

No	Nama Tabel	Hal
2.1	Kekuatan Rata-Rata Yang Diperlukan Jika Tidak Tersedia Data Untuk Menemukan Simpangan baku	10
2.2	Hubungan Faktor Air Semen Dan Kuat Tekan Silinder Beton Pada Umur 28 Hari	10
2.3	Faktor Air Semen Maksimum	10
2.4	Nilai Slump	11
2.5	Perkiraan Kebutuhan Air Berdasarkan Nilai Slump dan Ukuran Maksimum Agregat	11
2.6	Perkiraan Kebutuhan Agregat Dan Modulus Halus Pasirnya Dalam m ³	11
2.7	Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada berbagai benda Uji ...	14
4.1	Daftar Peralatan	23
5.1	Hasil Pengujian Desak Campuran Pasir Hitam 100 %	34
5.2	Hasil Pengujian Desak Campuran Pasir Putih 50 % + Pasir Hitam 50 %	35
5.3	Hasil Pengujian Desak Campuran Pasir Putih 100 %	35
5.4	Hasil Pengujian Lentur Campuran Pasir Putih 100 %	36
5.5	Hasil Pengujian Lentur Campuran Pasir Hitam 100 %	36

5.6	Hasil pengujian Lentur Campuran Pasir Putih 50 % + Pasir Hitam 50 %	37
5.7	Kuat Desak Aktual	37
5.8	Perubahan Fisik Beton	39

DAFTAR LAMPIRAN

1. Analisa Bahan, Pasir.
2. Analisa Bahan, Pasir.
3. Analisa Bahan, Pasir.
- 3A. Analisa Bahan, Split.
4. Data Hasil Pengujian Desak Beton Dengan Campuran Pasir Putih 100% dan Campuran Pasir Hitam 100 %.
5. Data Hasil Pengujian Desak Beton Dengan Campuran Pasir Hitam 50 % + Pasir putih 50 %.
6. Data Hasil Pengujian Desak Beton Dengan Campuran Pasir Putih 100 % Dan Campuran Pasir Hitam 100 %.
7. Data Hasil Pengujian Lentur Beton Dengan Campuran Pasir Putih 50% + Pasir Hitam 50 %.
8. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran, Kubus Dengan Campuran Pasir Putih 100 % Dan Campura Pasir Hitam 100 %.
9. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran, Kubus Dengan Campuran Pasir Putih 50 % + Pasir Hitam 50 %.
10. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Putih 100 % Dan Campuran Pasir Hitam 100 %.
11. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Hitam 50 % + pasir putih 50 %.

12. Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Putih 100 %.
13. Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Hitam 100 % Dan Campuran Pasir Hitam 50 % + Pasir Putih 50%.
14. Lanjutan Lampiran 13.
15. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran, Balok Dengan Campuran Pasir Putih 100 % Dan Balok dengan Campuran Pasir Hitam 100 %.
16. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran, Balok Dengan Campuran Pasir Putih 50 % + Pasir Hitam 50 %.
17. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran, Balok Dengan Campuran Pasir Putih 100 %.
18. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran, Balok Dengan Campuran Pasir Hitam 100 % Dan Balok Campuran Pasir Hitam 50 % + Pasir Putih 50 %.
19. Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Putih 100 %.
20. Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Hitam 100 %.
21. Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran Campuran Pasir Hitam 50 % + Pasir Putih 50 %.

22. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Kubus Terhadap Suhu Pembakaran
Campuran Pasir Putih 100 %.
23. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Kubus Terhadap Suhu Pembakaran
Campuran Pasir Hitam 100 %.
24. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Kubus Terhadap Suhu Pembakaran
Campuran Pasir Hitam 50 % + Pasir Putih 50 %.
25. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Balok Terhadap Suhu Pembakaran
Campuran Pasir Putih 100 %.
26. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Balok Terhadap Suhu Pembakaran
Campuran Pasir Hitam 100 %.
27. Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Balok Terhadap Suhu Pembakaran
Campuran Pasir Hitam 50 % + Pasir Putih 50 %.
28. Hasil Analisis Kimia pasir.

ABSTRAK

Sebagai salah satu komponen struktur yang utama beton akan mendapatkan pengaruh api setelah terbakar, pengaruh ini bisa berupa perubahan kekuatan ataupun kondisi fisik, yang akhirnya dihadapkan pada tiga kemungkinan pada struktur secara keseluruhan yaitu, masih mampu atau tidak menahan beban seperti desain awal, dialih fungsikan untuk keperluan lain sesuai beban yang mampu ditahan atau direnovasi total. Pengaruh api pada struktur beton ini pada dasarnya bisa diperkecil dengan menggunakan bahan pembentuk beton yang mampu lebih lama bertahan terhadap api. Untuk mengetahui seberapa jauh penurunan kekuatan beton sesuai dengan bahan pembentuknya terhadap suhu tinggi maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat desak dan lentur terhadap sampel beton yang dibuat dengan campuran agregat pasir hitam dan pasir putih yang dibakar pada suhu 100°C , 300°C dan 600°C , dengan tiga variasi campuran yaitu, I campuran pasir hitam 100 %, II campuran pasir putih 100 % dan III campuran pasir putih 50 % + pasir hitam 50 %. Sebagai pembandingan untuk kuat desak dan lentur ini adalah beton dengan tiga variasi campuran sama yang tidak dibakar. Dari penelitian ini terlihat bahwa kuat desak dan lentur sebagai suatu parameter kekuatan struktur mempunyai nilai yang berbeda antara variasi campuran I, II, dan III baik yang dibakar maupun yang tidak dibakar. Penurunan kekuatan yang terjadi dari hasil uji desak dan lentur dari tiga variasi campuran benda uji terhadap pengaruh suhu pembakaran diketahui sebagai berikut : penurunan kuat lentur untuk campuran I, II dan III pada suhu 100°C berturut-turut adalah 11,0382 %; 11,9192 % dan 9,344 %, untuk suhu 300°C penurunannya adalah 34,2279 %; 35,753 % dan 28,1902 %, sedangkan untuk suhu 600°C penurunannya adalah 69,8987 %; 70,9155 % dan 56,2795 %. Penurunan kuat desak untuk variasi I, II dan III pada suhu 100°C adalah 3,4902 %; 1,1787 % dan 0,9619 %. Untuk suhu 300°C penurunannya adalah 10,0327 %; 6,0689 % dan 0,1901 %. Sedangkan untuk suhu 600°C penurunannya adalah 19,5316 %; 19,4018 % dan 17,6729 %. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi campuran III yaitu pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % paling baik digunakan sebagai pembuat adukan beton.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengetahuan tentang sifat-sifat beton terhadap panas sangat penting untuk merencanakan suatu struktur yang tahan terhadap temperatur tinggi dalam jangka waktu tertentu, juga sangat bermanfaat untuk memperkirakan reduksi kuat tekan dan lentur beton apabila terjadi kebakaran.

Pada dasarnya perencana dapat memperhitungkan pengaruh kebakaran pada saat merencanakan konstruksi. Dengan harapan konstruksi tersebut mampu menahan akibat dari pengaruh kebakaran yang terjadi sesuai dengan rencana yang telah dibuat. Sampai saat ini perencanaan untuk pengaruh kebakaran hanya didasarkan pada ketebalan penutup beton disesuaikan dengan waktu kebakaran. Padahal tidak tertutup kemungkinan untuk menggunakan bahan-bahan yang mampu lebih lama bertahan terhadap suhu tinggi.

Bahan-bahan bangunan yang dipakai untuk struktur bangunan dengan tingkat kebakaran tinggi sampai saat ini masih sama dengan bahan bangunan yang digunakan untuk bangunan dengan tingkat kebakaran yang rendah. Untuk itu perlu dikembangkan penggunaan bahan-bahan bangunan yang tahan api. Pasir putih adalah salah satu bahan bangunan yang mampu bertahan lebih lama terhadap suhu tinggi.

Sifat-sifat beton dengan campuran pasir putih ini terhadap perencanaan masih perlu diteliti. Penelitian ini adalah dengan pembuatan beton campuran pasir

putih dan pasir hitam dengan perbandingan tertentu dan pengujian kekuatannya pasca kebakaran.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pada kuat desak dan lentur beton dengan variasi campuran yang menggunakan agregat halus pasir hitam dan pasir putih.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. memberikan informasi tentang pengaruh pemanasan pada berat jenis dan kuat tekan beton campuran agregat halus pasir putih pada temperatur dan lama pemanasan tertentu.
2. dapat dipakai untuk memperkirakan reduksi kuat tekan dan lentur beton dengan campuran pasir putih.
3. dapat dipakai untuk merencanakan mutu beton yang lebih tahan panas bila dipakai untuk struktur dengan tingkat kebakaran tinggi.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibahas masalah kuat desak dan lentur beton dengan campuran agregat halus pasir putih dan pasir hitam yang dikenai suhu tinggi dengan tiga variasi waktu dan tiga variasi campuran dibandingkan dengan kuat desak dan lentur beton normal dengan tiga variasi campuran.

Karakteristik bahan yang dipakai sebagai benda uji adalah sebagai berikut.

1. dipakai pasir putih dari daerah Belitung dan pasir hitam dari daerah Sidamanik, Jawa Barat,
2. perbandingan yang dipakai adalah berat pasir dan jenis pasir yaitu .
 - a. campuran pasir hitam saja
 - b. campuran pasir putih saja
 - c. campuran pasir hitam dan pasir putih dengan perbandingan 50%-50%
3. mutu beton yang dipakai adalah $f'c = 40$ Mpa,
4. panjang bentangan benda uji lentur (balok persegi). $L = 45$ cm, bentuk balok persegi ukuran 15 cm x 15 cm,
5. benda uji desak berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm,
6. campuran beton direncanakan dengan metode ACI (American Concrete Institute),
7. kekuatan yang ingin diketahui adalah kuat desak dan lentur beton yang didinginkan pada suhu ruang setelah pembakaran pada suhu 100°C , 300°C , 600°C .

Penelitian ini mempunyai anggapan dasar sebagai berikut:

1. kuat desak pada benda uji yang dibuat dalam satu adukan dianggap mempunyai perbedaan yang relatif kecil,
2. pembakaran selama 3 jam dalam tungku dianggap sama dengan kebakaran gedung selama 3 jam,
3. rawatan beton dengan penyiraman setiap hari dan perlindungan dari panas matahari dianggap mewakili keadaan dilapangan.

1.5 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini ditinjau pengaruh suhu tinggi terhadap kuat lentur dan kuat desak beton dengan tiga variasi adukan yang menggunakan agregat halus pasir putih dan pasir hitam. Suhu pembakaran yang digunakan yaitu 100°C , 300°C dan 600°C , waktu pembakaran 3 jam.

Beton setelah mengalami kebakaran pada suhu 100°C - 600°C selama 3 jam, pada bagian struktur utama akan mengalami perubahan kekuatan baik desak maupun lentur. Dengan adanya perubahan ini akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur secara menyeluruh. Pengaruh suhu terhadap kekuatan beton ini dapat diperkecil dengan menggunakan bahan pembentuk beton yang mampu lebih lama bertahan terhadap suhu tinggi, salah satu bahan tersebut adalah pasir putih. Untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap penggunaan agregat pasir putih ini, dengan perbandingan agregat lain adalah pasir hitam. Perbedaan perubahan kekuatan dari masing-masing variasi adukan setelah beton terbakar akan menunjukkan campuran yang paling baik sebagai pedoman pembuatan adukan beton yang mampu lebih lama bertahan terhadap suhu tinggi.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan dapat diuraikan secara singkat sebagai berikut ini.

1. Perencanaan campuran beton untuk adukan menggunakan, perbandingan berat.
2. Rawatan beton dilakukan dengan penyiraman air setiap hari sejak beton berumur 1 minggu dan perlindungan terhadap penguapan dengan ditutup plastik.

3. Alat-alat yang diperlukan untuk penelitian ini adalah :
 - a. Pembuatan bahan adukan adalah :
 - 1) ayakan pasir,
 - 2) mesin pengaduk,
 - 3) alat uji slump.
 - b. Pembuatan balok beton adalah:
 - 1) acuan,
 - 2) cetok perata,
 - 3) ember penuang,
 - 4) antan pemadat.
 - c. Alat uji beton:
 - 1) alat uji lentur,
 - 2) alat uji desak,
 - 3) pengukur suhu.
4. Perencanaan campuran beton untuk adukan menggunakan perbandingan berat. Sampel beton dibuat dalam 3 macam jenis campuran yaitu :
 - a. sampel 1, beton dengan campuran pasir hitam saja,
 - b. sampel 2, beton dengan campuran pasir putih saja,
 - c. sampel 3, beton dengan campuran pasir hitam dan pasir putih dengan perbandingan 50% 50%.
5. Benda uji lentur dibuat sebanyak empat buah untuk masing-masing sampel yang akan diuji sebagai berikut :
 - a. benda uji I, diuji lentur tanpa pembakaran.

- b. benda uji II, diuji lentur setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C ,
 - c. benda uji III, diuji lentur setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 300°C ,
 - d. benda uji IV, diuji lentur setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 600°C .
6. Benda uji desak dibuat sebanyak empat buah untuk masing-masing sampel yang akan diuji sebagai berikut :
- a. benda uji I, diuji desak tanpa pembakaran,
 - b. benda uji II, diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C ,
 - c. benda uji III, diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 300°C ,
 - d. benda uji IV, diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 600°C .
7. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing-masing suhu, dengan pembuatan kode menurut jenis campuran yaitu :
- 1) kode A untuk campuran pasir putih saja,
 - 2) kode B untuk campuran pasir hitam saja,
 - 3) kode C untuk campuran pasir putih dan pasir hitam.
8. Pembakaran benda uji desak dan benda uji lentur dilakukan pada beton umur 28 hari
9. Pada pembakaran ini diamati perubahan fisik yang terjadi secara visual yaitu perubahan warna dan retak beton.
10. Pengujian benda uji dilakukan setelah beton didinginkan sampai suhu ruang.
11. Pada pengujian desak dilihat perubahan fisik yang berupa retakkannya dan juga dicatat besarnya P yang terjadi demikian juga pada uji lentur .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk masa padat (SK SNI T-15-1991-03, 1991). Perancangan komposisi bahan pembentuk beton merupakan penentu kualitas beton, yang berarti pula kualitas sistem struktur total. Bukan hanya bahan harus baik, melainkan juga keseragaman harus dipertahankan pada keseluruhan produk beton.

Karakteristik beton yang baik disimpulkan sebagai berikut :

1. kepadatan : ruang yang ada pada beton sedapat mungkin terisi oleh agregat dan pasta semen,
2. kekuatan : beton harus mempunyai kekuatan dan daya tahan internal terhadap berbagai jenis kegagalan,
3. faktor air semen : harus terkontrol sehingga memenuhi persyaratan kekuatan beton yang direncanakan.

Untuk mencapai kondisi-kondisi yang dituliskan di atas, harus ada kontrol kualitas yang baik atas faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton. Parameter-parameter yang paling penting (Edward G. Nawi, 1990) adalah berikut ini.

1. Kualitas semen.

2. Proporsi semen terhadap air dalam campurannya.
3. Kekuatan dan kebersihan agregat.
4. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dan agregat.
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan kompaksi beton segar.
7. Perawatan yang baik.

Penyelidikan mengenai persyaratan ini membuktikan bahwa hampir semua kontrol menyangkut hal-hal sebelum pengecoran beton segar. Karena kontrol ini menyangkut penentuan komposisi dan kemudahan mekanis atau kemudahan pengangkutan dan pengecoran, maka perlu dipelajari kriteria-kriteria yang berdasarkan teori penentuan komposisi untuk setiap pencampuran.

Metode yang diterima secara umum untuk perancangan campuran beton berbobot ringan dan beton berbobot berat adalah metode perancangan campuran America Concrete Institute yang berupa rekomendasi praktis untuk perancangan campuran pada beton berbobot normal, berat, masal dan rekomendasi praktis untuk perancangan campuran pada beban struktural ringan.

2.2 Desain Adukan Beton

2.2.1 Tujuan Desain Adukan Beton

Tujuan dari desain campuran adalah untuk menentukan proporsi bahan-bahan penyusun beton agar tercapai keadaan yang sesuai atau memenuhi syarat seperti berikut ini.

1. Kekuatan (*strength*) tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan (mempunyai kuat tarik tinggi) dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat.

2. Tahan lama (*durability*), yakni sifat tahan terhadap pengikisan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.
3. Kemudahan pengerjaan (*workability*), sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan.
4. Penyelesaian beton (*finishing*) beton yang baik

Penggunaan atau pemilihan metode perancangan beton pada proyek proyek yang telah ada biasanya didasarkan pada kualitas pencapaian kekuatan beton rencana, yang sesuai dengan yang telah direncanakan, kemudahan pengerjaan dan nilai ekonomis. Pada penelitian ini dipakai metode ACI, karena metode ini paling banyak dipakai dilapangan, dengan demikian akan didapatkan beton dengan keadaan sesungguhnya dilapangan.

2.2.2 Rencana Campuran Metode ACI (American Concrete Institute)

American Concrete Institute menyarankan suatu cara perencanaan campuran yang memperhatikan nilai ekonomis, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Cara ACI ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air tiap meter kubik adukan menentukan tingkat konsistensi atau kekentalan (*slump*) adukan itu.

Secara garis besar urutan langkah perancangan dengan cara ACI ialah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata berdasar kuat desak yang disyaratkan.

Tabel 2.1 kekuatan rata-rata yang diperlukan jika tidak tersedia data untuk menentukan simpangan baku

Kekuatan tekan yang dipesunkasikan f'c (psi)	Kekuatan rata-rata yang diperlukan fcr (psi)
5000	fcr = 1000
5000 - 5006	fcr = 1200
5006	fcr = 1400

Sumber : Edward G. Nawra, 1970

- Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat tabel 2.2) dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan, lihat tabel 2.3). Dari dua hasil tersebut dipilih yang paling rendah.

Tabel 2.2 Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari

Faktor air semen	Perubahan kuat tekan (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Sumber : Concrete Technology, Gambhir, M.L., 1986

Tabel 2.3 Faktor air semen maksimum

Kondisi	Fas
Beton didalam ruangan bangunan	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
Beton diluar ruangan bangunan	
a. Tidak terlindung dari hujan dan suhu matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan suhu matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
Beton yang kokohnya terganggu dengan air	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

Sumber : Concrete Technology, Gambhir, M.L., 1986

3. Menentukan nilai slump dan ukuran maksimum agregat berdasarkan jenis strukturnya (lihat tabel 2.4 dan tabel 2.5)

Tabel 2.4 Nilai slump

Tabel Nilai Slump (cm)		
Perincian beton	Maks	Min
-Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,00	5,00
-Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur dibawah tanah	9,00	2,50
-Plat, balok, kolom, dan dinding	15,00	7,50
-Pengerasan jalan	7,50	5,00
-Pembetonan masal	7,50	2,50

Sumber : Concrete technology, Gambhir, M.L, 1986

Tabel 2.5 Perkiraan kebutuhan air Berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat, liter

Slump (mm)	Ukuran Maks Agregat (mm)		
	10	20	40
25 – 50	206	182	162
75 – 100	226	203	177
150 – 175	240	212	188
Udara terperangkap	3 %	2 %	1 %

Sumber : Concrete Technology, Gambhir, M.L, 1986

4. Menentukan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump (lihat tabel 2.5).
5. Menghitung semen yang dibutuhkan, berdasarkan hasil langkah 2 dan 4 sebelumnya.
6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan tiap satuan volume beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halusya (lihat tabel 2.6).

Tabel 2.6 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya dalam m³

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus butiran pasir			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

Sumber : Concrete Technology, Gambhir, M.L, 1986

7. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah volume air, semen dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (tabel 2.5), dengan cara hitungan volume absolut sebagai berikut ini.

$$\text{Volume agregat halus} = 1 - (V_a + V_k + V_s + V_u)$$

dengan, V_a = volume air

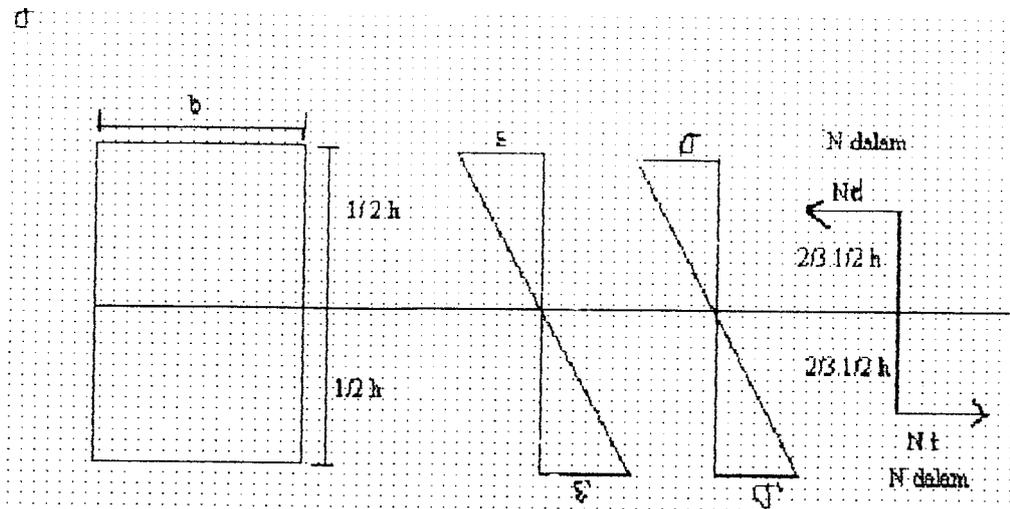
V_k = volume kerikil

V_s = volume semen

V_u = volume udara

2.3 Kuat Desak dan Lentur Balok Beton

Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul didalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti terlihat dalam gambar 2.1, N_d adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan N_t adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini, arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahan dalam, dengan nilai maksimumnya disebut kuat lentur atau momen tahan penampang komponen struktur terlentur.



Gambar 2.1 Blok Tegangan Equivalen Whitney (Istimawan Dipohusodo, 1994)

Kekuatan tekan dari campuran percobaan yang dirancang bukanlah yang dispesifikasikan oleh perencana. Campuran ini harus berkekuatan lebih untuk menjamin bahwa kekuatan struktur aktualnya adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan minimum yang dispesifikasikan.

Campuran beton harus dipilih sedemikian rupa hingga menghasilkan kekuatan tekan karakteristik (f'_{cr}) disyaratkan untuk mutu beton yang bersangkutan. Yang dimaksud kekuatan tekan karakteristik ialah kekuatan tekan yang diperoleh dari pemeriksaan benda uji kubus yang berukuran 15 x 15 x 15 cm pada 28 hari. Apabila kekuatan tekan beton tidak ditentukan dengan benda uji kubus yang bersisi 15 cm, tetapi dengan benda uji kubus yang berukuran 20 x 20 x 20 cm, atau dengan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, maka perbandingan antara kekuatan desak yang didapat dengan benda uji terakhir ini dengan benda uji kubus yang berukuran 15 x 15 x 15 cm diambil menurut tabel berikut ini.

Tabel 2.7. perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai benda uji.

Benda uji	Perbandingan kekuatan tekan
Kubus 15x15x15 cm	1,00
Kubus 20x20x20 cm	0,95
Silinder 15x30 cm	0,83

2.4 Pengaruh Suhu Tinggi Pada Beton

2.4.1 Pengaruh Temperatur Pada Kuat Tekan Beton

Hasil penelitian Neville menunjukkan bahwa kenaikan temperatur cenderung mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Diduga ada sedikit kenaikan kuat tekan pada temperatur 200°C - 300°C , tetapi kuat tekan pada temperatur 400°C tidak lebih dari 90% kuat tekan normalnya, dan kuat tekan pada temperatur 700°C tidak lebih dari 40% kuat tekan normalnya. Jenis agregat yang diteliti adalah batu kapur dan batu silika. Penurunan yang drastis juga akan terjadi pada tegangan lenturnya. Beton dengan agregat alami tegangan lenturnya pada temperatur 400°C tidak lebih dari 26 % tegangan lentur normalnya.

Perubahan faktor air semen sedikit pengaruhnya terhadap kuat tekan beton pada kenaikan temperatur. Meskipun demikian penurunan kuat tekan beton pada kenaikan temperatur akan berkurang jika kandungan semen dikurangi (Hansen, 1976).

Suatu adukan beton yang ditambah dengan pozzolan dapat mempertahankan kuat tekan beton pada temperatur yang tinggi. Untuk meningkatkan kuat tekan beton pada temperatur tinggi dapat digunakan semen aluminat.

2.4.2. Hubungan Antara Waktu Pembakaran Terhadap Penurunan Kuat Desak Beton

Neville mengemukakan pendapatnya tentang tiga sifat penting bahan susun beton yang mempengaruhi perilaku beton bila dipanasi, yaitu koefisien muai panas, panas jenis dan daya hantar. Sedangkan menurut Hansen (1976) reaksi kimia dan reaksi fisika pada beton berlangsung selama pemanasan. Sifat beton sebenarnya tidak banyak berubah seandainya beton dipanasi pada temperatur tinggi yang konstan walaupun dalam jangka waktu yang lama. Tetapi jika beton dipanasi berulang-ulang pada temperatur di atas 400°C beton akan rusak dan hancur.

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan oleh Bambang Bomo dan Nur Hamdi (1996) tentang pembakaran beton tanpa meninjau pengaruh unsur karbon dan oksida didapat kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Akibat pembakaran, beton akan mengalami penurunan tegangan desak dan penurunan berat jenis.
2. Untuk setiap 1 jam pembakaran, rata-rata terjadi penurunan tegangan desak sebesar 9,5 %.
3. Berat jenis beton untuk setiap 1 jam pembakaran rata-rata akan turun sebesar 1,25 %, kemudian konstan setelah pembakaran 3 jam.
4. Didapatkan angka parameter sebesar $(1-(n.0,095))$ sebagai faktor pengali terhadap tegangan desak yang diizinkan untuk setiap 1 jam lama kebakaran.

2.4.3 Pengaruh Pembakaran Terhadap Kekuatan Balok Beton Bertulang

Dari penelitian dan pembahasan yang dilakukan oleh Mohammad Johansyah dan Budi Krisno (1997) tentang pengaruh Pembakaran terhadap beton tanpa

meninjau pengaruh unsur karbon dan oksigen, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. akibat pembakaran, beton akan mengalami penurunan kuat desak dan berat jenis yang bervariasi tergantung tingginya suhu dan lamanya pembakaran, sehingga akan mempengaruhi kuat lentur balok beton bertulang,
2. balok beton bertulang yang terbakar pada suhu 800°C selama 1 jam, mengalami penurunan kuat lentur sebesar 20%, sehingga balok beton bertulang tersebut masih bisa dipakai dengan pengurangan beban sesuai dengan kekuatan yang ada,
3. untuk balok beton bertulang yang terbakar pada suhu 800°C selama 2,3 dan 4 jam harus direnovasi total, karena penurunan kekuatannya lebih dari 40%,
4. didapatkan angka parameter sebesar $(7,534.n^{-0,263})$ guna mencari kuat lentur yang terjadi pada suhu 800°C selama n jam pembakaran untuk beton bertulang dengan spesifikasi seperti dalam penelitian yang dilakukan tersebut.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Alasan pemakaian pasir putih sebagai agregat halus pada pembuatan adukan beton adalah karena memberikan ketahanan panas yang tinggi bila dibandingkan dengan beton yang biasa dipakai selama ini. Hal ini disebabkan oleh kandungan pasir putih itu sendiri yang berbeda dari pasir biasa (lihat lampiran 28).

Pada dasarnya beton yang tahan terhadap suhu tinggi dapat diperoleh juga dengan membuat beton ringan tetapi biasanya beton ringan ini hanya digunakan untuk struktur-struktur ringan. Umumnya pengurangan kepadatan membuat beton menjadi lebih tahan panas tetapi terjadi penurunan kekuatan (Murdock, 1979). Salah satu solusi untuk mendapatkan beton tahan api dengan tidak mempengaruhi kekuatan strukturnya adalah dengan menggunakan pasir putih ini.

3.2 Sifat Agregat Pada Temperatur Tinggi

Nekrassow (Hansen, 1976) mengemukakan bahwa reaksi agregat pada temperatur tinggi sangat tergantung pada struktur dan komposisi mineralnya. Pada temperatur tinggi kekuatan batuan sedimen tergantung kandungan air. Dalam keadaan basah kekuatan batuan sedimen lebih kecil dibanding dalam keadaan kering. Jika temperatur meningkat dengan mendadak permukaan batuan sedimen menjadikan beton retak, ini disebabkan adanya flint, yaitu partikel yang terkandung

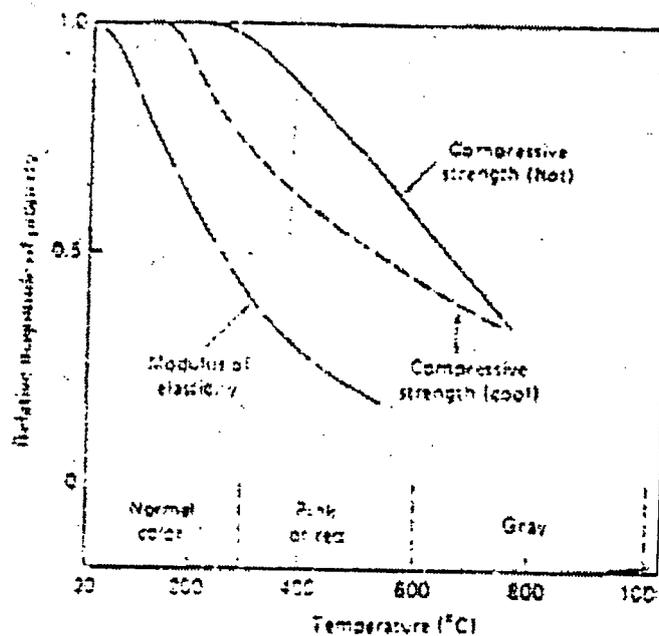
dalam batuan sedimen yang berisi sejumlah air pada pori-pori mikroskopisnya. Jika air menguap pada temperatur 300°C , timbul rongga-rongga yang berisi tekanan uap panas yang dapat mengakibatkan keretakan pada beton.

Jenis agregat pasir putih ini mempunyai daya tahan yang baik terhadap panas, karena tidak berubah komposisi maupun volumenya. Batuan alam yang lain dengan kandungan feidspar yang tinggi seperti basalt, adesit, diabase dan agregat batuan yang terbuat dari slag (lempung bakar) atau batuan keras yang lain yang sangat cocok untuk beton yang tahan panas. Meskipun demikian bahan-bahan ini tidak akan menghasilkan kekuatan panas yang tinggi bila tidak dicampur dengan semen yang bersifat tahan panas misalnya aluminat (Hansen, 1976). Prosentase penurunan kekuatan pada pemanasan beberapa jenis agregat bisa dilihat pada gambar 3.2.

3.3 Kuat Tekan Beton Setelah Pemanasan

Menurut Mindess, kuat tekan beton pada umumnya masih dapat dipertahankan pada temperatur sampai 300°C , diatas temperatur tersebut kuat tekan beton akan turun. Persentasi penurunan kekuatan terhadap kenaikan temperatur dapat dilihat pada gambar 3.1.

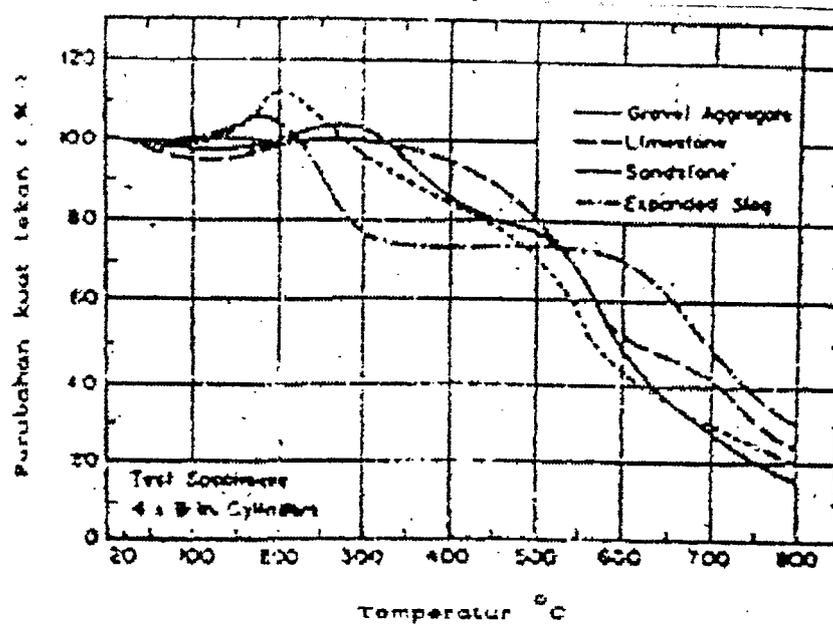
Warna yang terjadi selama pemanasan tidak berubah sampai temperatur normal. Perubahan warna mulai terjadi pada temperatur 300°C , yaitu menjadi merah sampai pada temperatur 600°C . Pada temperatur 600°C warna menjadi abu-abu sampai pada temperatur 1000°C . Jenis agregat yang diteliti adalah batu kapur dan batu silikat (Mindess, 1981).



Gambar 3.1 Pengaruh Pemanasan Pada Kuat Tekan Beton (Mindess, 1981)

Neville (1975) pada dasarnya mengemukakan hal yang sama dengan Mindess, hanya perubahan warna kekuning-kuningan mulai terjadi pada temperatur 900°C .

Zoldner (Hansen, 1976) mengemukakan pengaruh pemanasan pada kuat tekan beton ringan dengan beberapa jenis agregat, tetapi perubahan warna yang terjadi tidak disebutkan. Kenaikan kuat tekan beton terjadi pada temperatur 200°C - 300°C tetapi kuat tekan beton akan turun menjadi lebih kecil dari 80% pada temperatur 400°C dan pada temperatur 700°C kuat tekan beton tidak lebih dari 30%.



Gambar 3.2 Pengaruh Pemanasan Pada Beberapa Jenis Agregat (Hansen, 1976)

Hasil penelitian Ilham (1990) tidak menunjukkan kenaikan kuat tekan dari temperatur ruang sampai 300°C , tetapi kuat tekan beton turun menjadi 88,13% pada temperatur 100°C , pada temperatur 200°C menjadi 85,07% dan menjadi 75,22% pada temperatur 300°C . Jika sampai pada temperatur 800°C , kuat tekan beton turun menjadi 34,74%. Agregat yang diteliti adalah pasir dan kerikil dari kali krasak, dengan semen jenis I merk Nusantara.

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian laboratorium dengan membuat benda uji balok dan kubus yang dibakar dalam tungku dengan suhu tinggi, sehingga didapat kondisi yang mendekati sama dengan balok pada struktur bangunan yang mengalami kebakaran. Benda uji berupa balok persegi berukuran 15 x 15 x 45 cm sebanyak 36 buah, dan kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm sebanyak 36 buah. Pembuatan adukan beton untuk benda uji direncanakan dengan metode ACI (American Concrete Institute) sebagai dasar pembuatan *mix design*. Mutu beton yang direncanakan adalah beton dengan kuat desak karakteristik sebesar $f'c = 40 \text{ Mpa}$.

Tahap pelaksanaan penelitian ini meliputi tahapan persiapan bahan dan alat, pemeriksaan material, perhitungan campuran beton dan pembuatan benda uji. Langkah selanjutnya dilakukan rawatan benda uji, pembakaran benda uji serta pengujian terhadap kuat desak dan kuat lentur beton.

4.2 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan dan peralatan yang akan digunakan harus terlebih dahulu dipersiapkan agar dalam pelaksanaan dapat berjalan dengan lancar. Pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan peralatan milik PT. Karya Beton Sudhira Jakarta,

sedangkan tungku yang digunakan untuk membakar benda uji adalah tungku glasir milik Unit Pelayanan Teknis (UPT), Gerabah Kasongan. Pengujian desak dan lentur dilakukan dilaboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah merupakan material dari PT. Karya Beton Sudhira yang didatangkan dari daerah Belitung dan daerah Sidamanik, Jawa Barat.

4.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pasir hitam : asal daerah Sidamanik, Jawa Barat.
2. Pasir Putih : asal daerah Belitung, Sumatera selatan.
3. Batu pecah : asal daerah Sidamanik, Jawa Barat.
4. Semen : Tipe I merek Indocement.
5. Air : asal daerah proyek PT. Karya Beton Sudhira, Balaraja.

Untuk bahan-bahan yang berupa pasir dan batu pecah terlebih dahulu dilakukan penelitian terhadap kadar lumpur, berat jenis dan modulus butiran pasir.

Dari penelitian terhadap bahan-bahan tersebut didapatkan data sebagai berikut :

Pasir hitam : Berat jenis (keadaan SSD) = $2,564 \text{ t/m}^3$

Modulus Halus Butiran (MHB) = $3,6256 \approx 3,63$

Kadar lumpur = $5,7082 \%$

Pasir Putih : Berat Jenis (Keadaan SSD) = $3,5714 \text{ t/m}^3$

Modulus halus Butiran (MHB) = $2,4653 \approx 2,47$

Kadar lumpur = $0,80645 \%$

Pasir Putih dan hitam : Berat Jenis (Keadaan SSD) = 3,0675 t/m³

Modulus halus Butiran (MHB) = 3,10

Kadar lumpur = 3,2571 %

Split : Berat jenis (keadaan SSD) = 2,55 t/m³

Berat jenis kering tusuk = 1,50 t/m³

Kadar lumpur (setelah dicuci) = 0,8471 %

Diameter maksimum = 40 mm

4.2.2 Alat – alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang tercantum dalam tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Daftar Peralatan

No	Alat	Kegunaan
1	Ayakan	Menyaring agregat
2	Bak penampung	Menampung beton segar
3	Acuan balok beton	Mencetak benda uji balok
4	Acuan kubus	Mencetak benda uji kubus
5	Kerucut Abrams	Pengujian slump
6	Palu kayu	Memadatkan beton
7	Skop kecil	Mengaduk agregat
8	Loader	Mengangkut material
9	Neraca digital	Menimbang bahan
10	Truk mixer	Mencampur adukan beton
11	Tongkat penumbuk	Memadatkan beton
12	Tongkat glasir	Membakar benda uji
13	Mesin uji desak	Menguji desak beton
14	Mesin uji lentur	Menguji lentur beton

4.3 Perhitungan Campuran Beton

Perhitungan campuran beton ini didasarkan pada data bahan susun beton yang telah diteliti sebelumnya sebagai berikut :

1. Kuat tekan rencana ($\sigma 'bk$) = 40 Mpa
2. Diameter Maksimum agregat kasar / batu pecah = 40 mm
3. Modulus Halus Butir (MHB) pasir hitam = 3,63
4. Modulus Halus Butir (MHB) pasir putih = 2,47
5. Modulus Halus Butir (MHB) pasir putih dan hitam = 3,10
6. Berat jenis batu pecah kering tusuk = 1,50 t/m³
7. Berat jenis batu pecah (SSD) = 2,55 t/m³
8. Berat jenis semen = 3,150

Perhitungan campuran beton dengan metode ACI adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Kuat desak rata-rata.
 - a. Menghitung kuat desak rata-rata.

$$\sigma 'bk \text{ (kubus)} = 40 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} f_c &= 0,83 \cdot \sigma 'bk \text{ (kubus)} \\ &= 33,2 \text{ Mpa} = 4811,5 \text{ psi} > 3000 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f_c + 1200 \text{ (psi)} \\ &= f_c + 8,28 \text{ Mpa} \\ &= 33,2 + 8,28 = 41,48 \text{ Mpa.} \end{aligned}$$

2. Menetapkan faktor air semen (fas)

Berdasarkan tabel 2.2 untuk f_{cr} silinder = 41,48 Mpa didapat fas = 0,353.

Berdasarkan tabel 2.3 beton yang terlindung dari hujan dan terik matahari

langsung didapat fas = 0,60. Dari kedua nilai fas diatas dipakai nilai fas terendah yaitu fas = 0,357.

3. Menetapkan nilai slump

Dari tabel 2.4 untuk balok didapat nilai slump minimum dan maksimum berturut-turut adalah 7,5 cm dan 15 cm.

4. Menetapkan kebutuhan air

Untuk nilai slump 7,5 - 15 cm dan agregat maks 40 mm didapat :

a. Kebutuhan air = 177 liter

b. Udara terperangkap = 1 %

5. Menghitung kebutuhan semen

$$\text{Berat semen} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Fas}} = \frac{177}{0,357} = 495,798 \text{ kg}$$

$$\text{Volume semen} = \frac{\text{Berat semen}}{\text{Bj semen}} = \frac{495,789}{3150} = 0,1574 \text{ m}^3$$

6. Menetapkan berat agregat kasar

a. Berdasarkan tabel 2.6 untuk modulus halus butir pasir hitam = 3,63 dan agregat maks = 40 mm didapat volume agregat kasar = 0,6259 m³.

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat kasar} &= \text{vol. agregat kasar} \times \text{bj batu pecah} \\ &= 0,6259 \times 1,50 \times 1000 \\ &= 0,93885 \times 1000 = 938,85 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume agregat kasar} &= \text{berat agregat kasar} / \text{bj. Batu pecah} \\ &= 938,85 / (2,55 \times 1000) \\ &= 0,368176 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Untuk modulus halus pasir putih = 2,47 dan agregat maks = 40 mm didapat volume agregat kasar = 0,753 m³.

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat kasar} &= \text{vol. agregat kasar} \times \text{bj batu pecah} \\ &= 0,753 \times 1,50 \times 1000 \\ &= 1,1295 \times 1000 = 1129,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar} &= \text{berat agregat kasar} / \text{bj. Batu pecah} \\ &= 1129,5 / (2,55 \times 1000) \\ &= 0,4429 \text{ m}^3\end{aligned}$$

c. Untuk modulus halus pasir putih dan hitam = 3,10 dan agregat maks = 40 mm

$$\text{didapat volume agregat kasar} = 0,665 \text{ m}^3.$$

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat kasar} &= \text{vol. agregat kasar} \times \text{bj batu pecah} \\ &= 0,665 \times 1,50 \times 1000 \\ &= 0,9975 \times 1000 = 997,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar} &= \text{berat agregat kasar} / \text{bj. Batu pecah} \\ &= 997,5 / (2,55 \times 1000) \\ &= 0,39118 \text{ m}^3\end{aligned}$$

7. Menghitung berat agregat halus

a. Pasir hitam

$$\begin{aligned}V_p &= 1 - (V_s + V_k + V_a + V_u) \\ &= 1 - (0,1574 + 0,368 + 0,177 + 0,01) \\ &= 0,2874 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir} &= V_p \times \text{bj pasir} \\ &= 0,2874 \times 2,564 = 0,736955 \text{ ton} \\ &= 736,955 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Pasir putih

$$\begin{aligned}V_p &= 1 - (V_s + V_k + V_a + V_u) \\ &= 1 - (0,1574 + 0,4429 + 0,177 + 0,01) \\ &= 0,2127 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir} &= V_p \times \text{bj pasir} \\ &= 0,2127 \times 3,571 = 0,75955 \text{ ton} \\ &= 759,55 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Pasir Putih dan hitam

$$\begin{aligned}V_p &= 1 - (V_s + V_k + V_a + V_u) \\ &= 1 - (0,1574 + 0,39118 + 0,177 + 0,01) \\ &= 0,26442 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pasir} &= V_p \times b_j \text{ pasir} \\
 &= 0,26442 \times 3,0675 = 0,811241 \text{ ton} \\
 &= 811,241 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

8. Kebutuhan material dalam 1 m³ beton adalah :

- Pasir hitam

- a. semen = 495,798 kg
- b. pasir = 736,955 kg
- c. batu pecah = 938,85 kg
- d. air = 177 liter

- Pasir putih

- a. semen = 495,798 kg
- b. pasir = 759,55 kg
- c. batu pecah = 1129,5 kg
- d. air = 177 liter

- Pasir putih dan hitam

- a. semen = 495,798 kg
- b. pasir = 811,241 kg
- c. batu pecah = 997,5 kg
- d. air = 177 liter

9. Benda uji

1. Kubus (15 x15 x15) cm³

$$\begin{aligned}
 \text{Volume kubus} &= 3375 \text{ cm}^3 \\
 &= 3,375 \cdot 10^3 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Jumlah = 36 buah

$$\text{Jumlah volume} = 36 \times 3,375 \cdot 10^{-3} = 0,1215 \text{ m}^3.$$

2. Balok persegi (15 x 15 x 45) cm³

$$\text{Volume balok} = 10125 \text{ cm}^3$$

$$\text{Jumlah} = 36 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah volume} &= 36 \times 10125 \\ &= 364500 \text{ cm}^3 \\ &= 0,3645 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total benda uji} &= \text{jumlah volume kubus} + \text{jumlah volume balok} \\ &= 0,1215 + 0,3645 \\ &= 0,486 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan material untuk benda uji adalah :

- Pasir hitam

$$\text{a. semen} = 0,486 \times (495,798 + 10\% \cdot 495,798) = 265,054 \text{ kg}$$

$$\text{b. pasir} = 0,486 \times (736,955 + 10\% \cdot 736,955) = 393,976 \text{ kg}$$

$$\text{c. batu pecah} = 0,486 \times (930,85 + 10\% \cdot 930,85) = 497,632 \text{ kg}$$

$$\text{d. air} = 0,486 (177 + 10\% \cdot 177) = 94,624 \text{ kg}$$

- Pasir putih

$$\text{a. semen} = 0,486 \times (495,798 + 10\% \cdot 495,798) = 265,054 \text{ kg}$$

$$\text{b. pasir} = 0,486 \times (759,55 + 10\% \cdot 759,55) = 400,055 \text{ kg}$$

$$\text{c. batu pecah} = 0,486 \times (1129,5 + 10\% \cdot 1129,5) = 603,831 \text{ kg}$$

$$\text{d. air} = 0,486 (177 + 10\% \cdot 177) = 94,624 \text{ kg}$$

- Pasir putih dan hitam

$$\text{a. semen} = 0,486 \times (495,798 + 10\% \cdot 495,798) = 265,054 \text{ kg}$$

$$\text{b. pasir} = 0,486 \times (811,241 + 10\% \cdot 811,241) = 433,689 \text{ kg}$$

$$\text{c. batu pecah} = 0,486 \times (997,5 + 10\% \cdot 997,5) = 533,264 \text{ kg}$$

$$\text{d. air} = 0,486 (177 + 10\% \cdot 177) = 94,624 \text{ kg}$$

4.4 Pelaksanaan Penelitian

4.4.1 Pembuatan Benda uji

Untuk mendapatkan benda uji yang sesuai rencana, pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut ini.

1. Alat - alat dipersiapkan, acuan disiapkan ditempat yang teduh agar tidak terkena panas matahari, loader dan truk mixer dipersiapkan.
2. Penrograman dengan komputer sesuai dengan nilai karakteristik beton yang kita kehendaki.
3. Bahan disiapkan dan ditimbang dengan proporsi yang telah ditentukan.
4. Pengadukan campuran dilakukan dengan memasukkan secara bertahap bahan-bahan agregat kasar dan sebagian air dari jumlah yang dibutuhkan kedalam tabung pengaduk yang berputar. Setelah beberapa saat ditambahkan agregat halus, semen dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata.
5. Adukan yang telah jadi segera dituang kedalam bak penampungan beton segar untuk diuji slumpnya dengan menggunakan kerucut Abrams.
6. Jika kelecakan adukan telah dicapai selanjutnya beton beton segar segera dituang ke dalam cetakan yang telah diolesi oli.
7. Bersamaan dengan masuknya beton ke dalam cetakan, dilakukan pemadatan dengan cara ditusuk-tusuk pada adukan betonnya dan juga ditusuk-tusuk sisi luar cetakannya dengan palu kayu agar gelembung udara yang terperangkap bisa keluar.
8. Setelah cetakan penuh dan padat, bagian atasnya diratakan kemudian didiamkan ditempat yang terlindung dari panas dan hujan.

9. Cetakan dibuka 24 jam kemudian dan selanjutnya segera dilakukan perawatan terhadap beton tersebut.

4.4.2 Rawatan Benda uji

Rawatan benda uji beton adalah suatu upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras pada umur yang direncanakan. Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, akan terjadi beton yang kurang baik dan juga timbul retak-retak. Selain itu kelembaban permukaan tadi juga menambah beton lebih tahan cuaca dan lebih kedap air.

Pada penelitian ini diambil metode rawatan beton yang biasa dilakukan dengan cara menyiram benda uji tiap pagi, siang dan sore hari.

4.4.3 Pembakaran Benda Uji

Sebelum dibakar benda uji ditimbang dan dicari volumenya, sebelum itu dicatat hal-hal yang terkait dengan kondisi fisik beton pra pembakaran. Proses pembakaran benda uji dilakukan setelah beton berumur kurang lebih 28 hari dan dilakukan dengan menggunakan tungku glasir yang mampu mencapai suhu 1200°C . Pada penelitian ini, suhu yang dipakai adalah 100°C , 300°C dan 600°C selama waktu pembakaran 3 jam.

Lamaanya waktu pembakaran ini dihitung mulai saat penyalaan tungku, setelah mencapai suhu yang direncanakan dan suhu dipertahankan agar tetap konstan sampai waktu yang ditentukan. Selanjutnya tungku dimatikan dan ditunggu sampai suhu

dalam tungku mencapai suhu ruangan, baru benda uji dikeluarkan dari tungku. Setelah suhu benda uji mencapai suhu ruangan dicari kembali berat dan volume benda uji serta dicatat kondisi fisik beton pasca pembakaran.

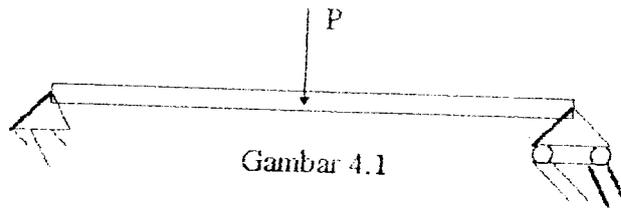
4.4.4 Pengujian Desak dan Lentur Beton

Setelah beton berumur lebih kurang 28 hari, benda uji yang tidak dibakar langsung diuji lentur dan desak. Sedangkan untuk benda yang dibakar pengujian dilakukan setelah suhu benda uji sama dengan suhu ruangan. Pengujian desak dan lentur ini dilakukan dilaboratorium Bahan Konstruksi teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Data yang diambil pada pengujian desak adalah beban maksimum beton. Untuk pengujian kuat lentur data yang diambil adalah beban maksimum dan kuat lentur beton.

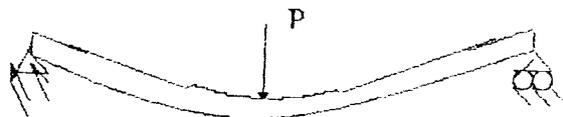
Kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban maksimum yang dicapai dengan luasan permukaan bagian yang didesak, secara matematis dapat ditulis $f'c = P/A$ dengan $f'c =$ Kuat desak beton (Mpa), $P =$ Beban maksimum (kN), $A =$ Luas penampang benda uji.

Sedangkan pengujian kuat lentur dilakukan dengan membuat pembebanan satu titik pada tengah balok sehingga didapatkan tegangan lentur maksimum pada balok yang diuji. Lentur yang terjadi adalah lentur murni dari sebuah balok dengan suatu momen lentur yang tidak dipengaruhi oleh gaya lintang (gaya-gayanya sama dengan nol), lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini. Balok beton apabila akan

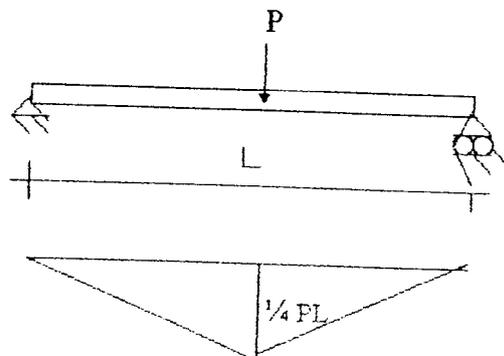
dibebani suatu gaya P tertentu seperti pada gambar 4.1. Belum mengalami deformasi, dan akan berdeformasi berupa perlengkungan bila P telah bekerja.



Akibat perlengkungan itu, bagian atas balok tertekan dan bagian bawah tertarik seperti terlihat pada gambar 4.2.



Akibat tertekan dan tertarik ini, terjadi gaya tekan pada bagian atas dan gaya tarik pada bagian bawah balok. Akibat dari gaya tekan dan gaya tarik timbulah momen lawan yang terjadi akibat beban. Untuk jelasnya dibuat suatu contoh, sebuah balok pada perletakkan sederhana dengan panjang (L), dibebani gaya sebesar (P) yang bekerja pada pertengahan balok. Dari analisa statika diperoleh momen maksimum yang terjadi adalah $\frac{1}{4} PL$.



Gambar 4.3 Diagram momen pada balok yang dibebani gaya (P) yang bekerja ditengah bentang

Dalam perancangan balok, untuk dapat mendukung beban tersebut maka momen lawan balok harus lebih besar dari pada $\frac{1}{4} PL$.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Setelah seluruh rangkaian pengujian dilakukan terhadap benda uji baik benda uji desak maupun benda uji lentur didapatkan hasil antara lain beban maksimum untuk desak dan lentur, perubahan berat benda uji, perubahan volume dan perubahan fisik beton, untuk beton yang telah mengalami pembakaran maupun yang tidak. Data yang didapatkan dari pengujian tersebut ditampilkan pada tabel berikut. Tabel-tabel ini disusun sesuai dengan jenis campuran. Tabel hasil pengukuran dan pengujian kubus dengan campuran pasir hitam saja yang dibakar selama 3 jam dengan variasi suhu 100°C, 300°C, 600°C, bisa dilihat dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Desak Campuran Pasir Hitam 100 %

No Kode	Waktu Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		Bj (t/m ³)		P Maks(kN)	F _c Mpa
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir		
1 B0	-	30	8,253	8,253	3500,27	3500,27	2,36	2,36	910	40,2043
2 B4	-	30	8,332	8,332	3571,93	3571,93	2,33	2,33	920	39,7567
3 B8	-	30	8,162	8,162	3504,826	3504,826	2,33	2,33	930	41,1851
Rata-rata			8,249	8,249	3525,68	3525,68	2,34	2,34	920	40,3820
Perubahan (%)			-	-	-	-	-	-	-	-
1 B1	3 jam	100	8,422	8,186	3616,47	3615,47	2,33	2,26	900	38,743
2 B5	3 jam	100	8,235	7,976	3499,14	3491,62	2,35	2,28	870	38,168
3 B9	3 jam	100	8,178	7,934	3511,84	3510,62	2,33	2,26	890	39,991
Rata-rata			8,278	8,032	3542,48	3539,24	2,34	2,27	886,7	38,864
Perubahan (%)			-2,97	-	-0,0915	-	-2,99	-	-	-
1 B2	3 jam	300	8,293	7,732	3544,22	3542,11	2,34	2,18	830	36,0942
2 B6	3 jam	300	8,045	7,473	3447,21	3437,88	2,33	2,17	830	39,4757
3 B10	3 jam	300	8,219	7,649	3529,55	3534,50	2,33	2,16	800	35,1727
Rata-rata			8,186	7,618	3506,99	3504,83	2,33	2,17	820	36,4142
Perubahan (%)			-6,94	-	-0,0616	-	-6,87	-	-	-
1 B3	3 jam	600	8,296	7,545	3581,00	3568,67	2,32	2,11	725	31,6719
2 B7	3 jam	600	8,299	7,565	3540,83	3520,22	2,34	2,13	720	31,3531
3 B11	3 jam	600	8,049	7,562	3456,66	3452,06	2,33	2,15	720	32,1303
Rata-rata			8,191	7,458	3526,16	3523,65	2,33	2,13	721,7	31,7184
Perubahan (%)			-8,95	-	-0,0711	-	-8,58	-	-	-

Tabel pengukuran pengujian kubus pasir putih + pasir hitam yang dibakar selama 3 jam dengan variasi suhu 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Desak Campuran White Sand 50% dan Black Sand 50 %

No Kode	Waktu Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		Bj (t/m ³)		P Maks(kN)	Fc Mpa
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir		
1 C0	-	30	8,225	8,225	3530,96	3530,96	2,33	2,33	1010	44,1240
2 C4	-	30	8,023	8,023	3471,04	3471,04	2,31	2,31	1050	46,5187
3 C8	-	30	8,060	8,060	3472,64	3472,64	2,32	2,32	1040	46,3405
Rata-rata			8,103	8,103	3491,55	3491,55	2,32	2,32	1033,3	45,6611
Perubahan (%)										
1 C1	3 jam	100	8,105	7,865	3486,30	3449,56	2,33	2,28	1010	44,4815
2 C5	3 jam	100	8,163	7,915	3521,57	3502,21	2,32	2,26	1035	45,8542
3 C9	3 jam	100	8,166	7,923	3508,61	3489,45	2,32	2,25	1020	44,8422
Rata-rata			8,145	7,901	3508,61	3489,45	2,32	2,26	1021,7	45,0593
Perubahan (%)			-2,99		-0,546		-2,586			
1 C2	3 jam	300	8,115	7,544	3515,29	3508,84	2,31	2,15	1000	44,0530
2 C6	3 jam	300	8,132	7,540	3557,15	3556,60	2,28	2,12	965	42,0049
3 C10	3 jam	300	8,150	7,566	3511,03	3501,01	2,32	2,16	1010	44,6778
Rata-rata			8,132	7,549	3527,16	3522,15	2,30	2,14	991,67	43,5786
Perubahan (%)			-7,17		-0,1420		-6,956			
1 C3	3 jam	600	8,280	7,611	3567,03	3540,36	2,33	2,14	870	37,5565
2 C7	3 jam	600	8,175	7,492	3540,35	3508,29	2,31	2,14	770	33,8385
3 C11	3 jam	600	8,061	7,451	3472,70	3495,96	2,32	2,13	820	36,4649
Rata-rata			8,172	7,518	3526,69	3514,87	2,32	2,137	820	35,9363
Perubahan (%)			-8,00		-0,3351		-7,8879			

Tabel pengukuran dan pengujian kubus pasir putih yang dibakar selama 3 jam dengan variasi 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Desak Campuran White Sand 100 %

No Kode	Waktu Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		Bj (t/m ³)		P Maks(kN)	Fc Mpa
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir		
1 A0	-	30	8,125	8,125	3518,05	3518,05	2,31	2,31	1020	44,994
2 A4	-	30	8,094	8,094	3526,42	3526,42	2,29	2,29	1040	45,874
3 A8	-	30	8,054	8,054	3501,79	3501,79	2,29	2,29	985	43,291
Rata-rata			8,091	8,091	3515,42	3515,42	2,29	2,29	1015	44,7197
Perubahan (%)										
1 A1	3 jam	100	7,947	7,701	3455,67	3441,03	2,29	2,24	1000	44,979
2 A6	3 jam	100	8,215	7,960	3527,74	3522,97	2,33	2,26	980	43,167
3 A9	3 jam	100	8,067	7,730	3507,95	3498,82	2,29	2,21	1010	44,531
Rata-rata			8,046	7,797	3497,12	3487,61	2,30	2,24	997	44,226
Perubahan (%)			-3,09		-0,772		-2,609			
1 A2	3 jam	300	8,123	7,573	3512,56	3511,72	2,31	2,16	980	43,228
2 A6	3 jam	300	8,283	7,743	3548,83	3551,83	2,33	2,18	970	42,555
3 A10	3 jam	300	8,315	7,763	3538,81	3540,25	2,35	2,19	975	42,679
Rata-rata			8,240	7,693	3533,4	3534,60	2,33	2,177	975	42,821
Perubahan (%)			-6,64		-0,034		-6,5665			
1 A3	3 jam	600	8,180	7,525	3609,13	3591,15	2,26	2,10	730	31,799
2 A7	3 jam	600	8,171	7,535	3549,59	3540,05	2,30	2,13	800	35,159
3 I1	3 jam	600	8,111	7,473	3504,10	3491,26	2,31	2,14	790	34,831
Rata-rata			8,154	7,511	3554,32	3540,81	2,29	2,12	773	33,9297
Perubahan (%)			-7,89		-0,380		-7,424			

Tabel pengukuran dan pengujian balok lentur campuran pasir putih yang dibakar selama 3 jam dengan variasi suhu 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian lentur Campuran Pasir Putih 100 %

No Kode	Waktu Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		Bj (t/m ³)		P maks (kN)	F _c Mpa
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir		
1 A0	-	30	24,2	24,2	10487,681	10487,681	2,31	2,31	3100	46,0296
2 A4	-	30	23,4	23,4	10316,399	10316,399	2,27	2,27	3000	44,7295
3 A8	-	30	23,8	23,8	10348,011	10348,011	2,29	2,29	3200	47,8876
Rata-rata			23,8	23,8	10384,030	10384,030	2,29	2,29	3100	46,2156
Perubahan (%)										
1 A1	3 jam	100	23,9	23,8	10489,983	10431,30	2,28	2,28	2650	39,3917
2 A5	3 jam	100	24,0	23,7	10296,378	10212,08	2,33	2,32	3035	45,2091
3 A9	3 jam	100	23,6	23,3	10373,283	10205,92	2,28	2,28	2600	38,9374
Rata-rata			23,8	23,6	10386,55	10283,09	2,297	2,293	2761,7	41,1794
Perubahan (%)			-1,576		-1,240		-0,44			
1 A2	3 jam	300	23,4	22,3	10207,575	10182,65	2,29	2,19	2110	31,8019
2 A6	3 jam	300	23,6	22,3	10292,992	10276,49	2,29	2,17	1900	28,5146
3 A10	3 jam	300	24,1	22,9	10432,874	10262,48	2,297	2,193	1980	19,4371
Rata-rata			23,7	22,5	10311,147	10262,48	2,297	2,193	1996,7	29,9179
Perubahan (%)			-5,063		-0,472		-4,53			
1 A3	3 jam	600	23,2	21,8	10212,949	9954,34	2,27	2,19	1120	16,7937
2 A7	3 jam	600	24,1	22,4	10422,686	10409,49	2,31	2,15	820	12,0854
3 A11	3 jam	600	23,7	22,2	10264,265	10103,48	2,31	2,18	980	14,7285
Rata-rata			23,67	22,13	10299,97	10155,77	2,297	2,177	973,3	14,5359
Perubahan (%)			-6,506		-1,400		-5,22			

Tabel pengukuran dan pengujian balok lentur campuran pasir hitam yang dibakar selama 3jam dengan variasi suhu 100° C, 300° C, 600° C.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Lentur Campuran Pasir hitam 100 %

No Kode	Waktu Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		Bj (t/m ³)		P Maks(kN)	F _c Mpa
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	akhir		
1 B0	-	30	24,2	24,2	10562,62	10562,62	2,29	2,29	2900	42,5832
2 B7	-	30	24,2	24,2	10538,68	10588,68	2,29	2,29	2700	39,9640
3 B8	-	30	24,0	24,0	10509,11	10509,11	2,28	2,28	2800	41,3544
Rata-rata			24,13	24,13	10553,47	10553,47	2,287	2,287	2800	41,3005
Perubahan (%)										
1 B1	3 jam	100	23,4	23,0	10314,45	10294,03	2,27	2,23	2410	35,6716
2 B5	3 jam	100	23,6	23,2	10157,05	10100,93	2,32	2,29	2310	34,7444
3 B9	3 jam	100	23,9	23,5	10301,248	9996,71	2,32	2,35	2550	38,1594
Rata-rata			23,63	23,23	10257,583	10130,39	2,30	2,29	2423,3	36,1918
Perubahan (%)			-1,693		-1,239		-0,44			
1 B2	3 jam	300	24,2	22,8	10386,65	10323,78	2,33	2,21	1900	28,5137
2 B6	3 jam	300	24,3	22,9	10321,20	10352,97	2,35	2,21	1820	27,4291
3 B9	3 jam	300	24,0	22,6	10337,66	10334,58	2,32	2,19	1870	28,0104
Rata-rata			24,16	22,77	10348,50	10337,11	2,33	2,20	1863,3	27,9844
Perubahan (%)			-5,753		-0,11006		-5,58			
1 A5	3 jam	600	23,6	21,6	10341,39	10334,93	2,28	2,09	600	8,9986
2 B7	3 jam	600	23,9	21,8	10294,47	10283,02	2,32	2,12	780	11,6854
3 A11	3 jam	600	23,9	21,80	10320,95	10303,80	2,32	2,12	683,3	10,0538
Rata-rata			23,8	21,73	10318,94	10337,25	2,30	2,11	683,3	10,2459
Perubahan (%)			-8,697		-0,1133		-8,26			

Tabel pengukuran dan pengujian balok lentur campuran pasir putih + pasir hitam yang dibakar selama 3jam dengan variasi suhu 100^o C, 300^o C, 600^o C.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lentur Campuran Pasir Putih 50 % + Pasir Hitam 50 %.

No Kode	Waktu Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		Bj (t/m ³)		P Maks(kN)	F _c Mpa
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir		
1 C0	-	30	23,9	23,9	10320,29	10320,29	2,32	2,32	3185	47,2905
2 C4	-	30	24,6	24,6	10467,97	10467,97	2,35	2,35	3300	48,3291
3 C8	-	30	24,8	24,8	10765,48	10765,48	2,30	2,30	3200	46,9037
Rata-rata			24,43	24,43	10517,91	10517,91	2,30	2,30	3228,3	47,5007
Perubahan (%)										
1 C1	3 jam	100	24,5	24,0	10457,15	10344,83	2,34	2,32	2835	42,7501
2 C5	3 jam	100	23,7	23,1	10185,78	10015,00	2,33	2,31	2800	42,2924
3 C9	3 jam	100	24,9	24,3	10776,95	10565,22	2,31	2,31	3000	43,7171
Rata-rata			24,37	23,80	10473,95	10308,36	2,33	2,31	2878,3	42,9199
Perubahan (%)			-2,34		-1,16		-0,86			
1 C2	3 jam	300	24,7	22,9	10859,13	10819,36	2,28	2,12	2230	32,3621
2 C6	3 jam	300	23,8	22,3	10289,43	10273,99	2,31	2,17	2510	37,4887
3 C10	3 jam	300	24,6	22,9	10567,66	10456,62	2,33	2,19	2400	35,8688
Rata-rata			24,36	22,2	10572,07	10516,66	2,31	2,16	2380	35,2389
Perubahan (%)			-6,81		-0,52		-6,50			
1 C3	3 jam	600	23,8	21,7	10289,07	10279,49	2,30	2,11	1050	15,7978
2 C7	3 jam	600	24,6	22,5	10701,61	10513,72	2,29	2,14	1540	22,6145
3 I1	3 jam	600	24,7	22,6	10584,36	10560,75	2,33	2,14	1300	19,1705
Rata-rata			24,36	22,26	10523,01	10451,32	2,31	2,31	1296,7	19,1943
Perubahan (%)			-8,62		-0,70		-7,80			

Besar kuat desak pada tabel di atas adalah kuat desak rata-rata (f_{cr}) yang harus dikurangi dengan deviasi standar (S_d), seperti pada rumus berikut ini

$$f_c = f_{cr} - 0,82 \cdot S_d$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_{cr} - f_c)^2}{N-1}}$$

Untuk lebih jelasnya hasil pengurangan tersebut dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut ini :

Tabel 5.7 Kuat Desak Aktual

No	Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	f _{cr} Mpa	S _d	f _c Mpa
1	A0	-	-	44,7197	1,0722	43,8405
2	A1	3 jam	100	44,2260	0,7706	43,5941
3	A3	3 jam	300	42,8210	0,2924	42,5812
4	A6	3 jam	600	33,9297	1,5126	32,6894

No	Kode	Lama Pembakaran	Suhu ° C	f _{cr} Mpa	S _d	f _c Mpa
1	C0	-	-	48,3478	1,0893	17,4546
2	C1	3 jam	100	38,8864	0,5811	38,4099
3	C3	3 jam	300	44,5336	1,1416	43,5975
4	C6	3 jam	600	35,6563	1,5605	34,3767

No	Kode	Lama Pembakaran	Suhu ° C	f _{cr} Mpa	S _d	f _c Mpa
1	B0	-	-	40,3820	0,6685	39,8338
2	B1	3 jam	100	38,8864	0,2269	38,7004
3	B3	3 jam	300	36,9142	1,9163	35,3428
4	B6	3 jam	600	31,7184	0,3189	31,4568

Keterangan

A = Beton dengan campuran pasir putih 100 %

B = Beton dengan campuran agregat pasir hitam 100 %

C = Beton dengan campuran agregat pasir hitam 50 %+ pasir putih 50 %

Selain perubahan kekuatan yang diketahui dari hasil pengujian desak dan lentur, juga terjadi perubahan fisik beton yang dapat diamati secara langsung. Perubahan fisik yang diamati dan dicatat pada penelitian ini meliputi perubahan warna dan retak-retak akibat pembakaran pada suhu 300⁰ C dan 600⁰ C selama 3 jam. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.8 Perubahan Fisik Beton

No	KODE CAMPURAN	SUHU °C	PERUBAHAN FISIK	
			WARNA	RETAK
1	A	-	Abu-abu keputihan	-
2	B	-	Abu-abu kehijauan	-
3	C	-	Abu" muda kehijauan	-
4	A	100	Abu-abu keputihan	-
5	B	100	Abu-abu kehijauan	-
6	C	100	Abu-abu kehijauan	-
7	A	300	Futih keabu-abuan	Retak rambut sedikit
8	B	300	Abu-abu muda kehijauan	Pada ujung-ujung pinggir
9	C	300	Abu-abu keputihan	Pada ujung-ujung pinggir
10	A	600	putih keabu-abuan	Retak-retak agak
11	B	600	Abu-abu keputihan	Banyak diseluruh
12	C	600	Abu-abu keputihan	Fermukaan

5.2 Pembahasan

5.2.1 Keadaan Fisik Beton

Keadaan fisik beton yang terkena suhu tinggi akan mengalami perubahan sifat-sifat penyusun beton. Perubahan yang dapat diamati secara langsung pada penelitian ini adalah perubahan warna dan terjadinya retak-retak pada permukaan beton. Pada kondisi normal atau sebelum dibakar beton dengan campuran sebagai berikut ini.

Pasir putih 100 % = warnanya abu-abu keputihan.

Pasir hitam 100 % = warnanya abu-abu kehijauan.

Pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % = warna abu-abu kehijauan.

Warna awal yang berbeda dari masing-masing campuran ini disebabkan oleh perbedaan agregat yang digunakan. Pada penggunaan pasir hitam 100 % warnanya agak gelap hal ini karena dipengaruhi zat MgO yang dikandung pasir

hitam. Sedangkan pada campuran pasir putih 100 % warnanya lebih pucat karena kandungan MgO pasir putih lebih sedikit.

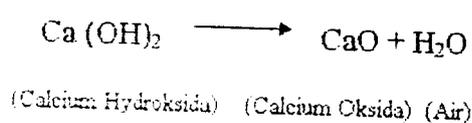
Setelah dibakar 100°C selama 3 jam, warnanya tidak berubah untuk seluruh variasi campuran. Setelah dibakar pada suhu 300°C selama 3 jam, warnanya berubah menjadi lebih muda dari warna awal dan setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 600°C warna berubah, beton dengan campuran :

pasir putih 100 % = warnanya putih keabu-abuan,

pasir hitam 100 % = warnanya abu-abu keputih-putihan,

pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % = warnanya abu-abu keputih-putihan.

Perubahan warna dari abu-abu kehijauan menjadi abu-abu keputih-putihan ini disebabkan oleh terhidrasinya kalsium hidroksida pada pasta semen, seperti dalam persamaan reaksi berikut ini:



Retak-retak permukaan terjadi pada beton yang telah dibakar pada suhu 300°C selama 3 jam. Pada beton yang dibakar pada suhu 100°C selama 3 jam retak-retak permukaan hampir tidak terlihat.

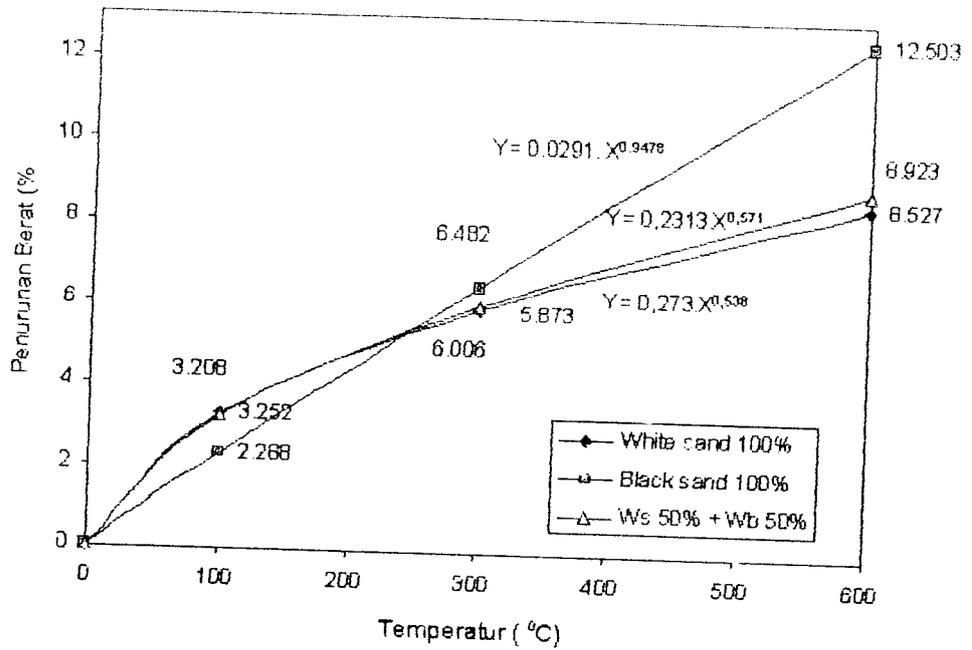
Keretakan pada beton yang dibakar pada suhu 300°C selama 3 jam terlihat mempunyai retak-retak rambut tetapi terjadi hanya dibagian pojok atau ujung permukaan. Sedangkan pada beton yang dibakar pada suhu 600°C selama 3 jam retak beton terlihat hampir diseluruh permukaan beton, tapi tetap hanya retak-retak rambut yang jumlahnya lebih banyak, ini terjadi pada seluruh variasi campuran. Retak-retak ini terjadi bisa disebabkan oleh perbedaan koefisien muai panas pasta semen dan agregat, tekanan uap pada pori-pori beton dan kehilangan air yang menyebabkan penyusutan pasta semen, sementara agregat memuai.

5.2.2 Berat, Volume dan Berat Jenis Beton

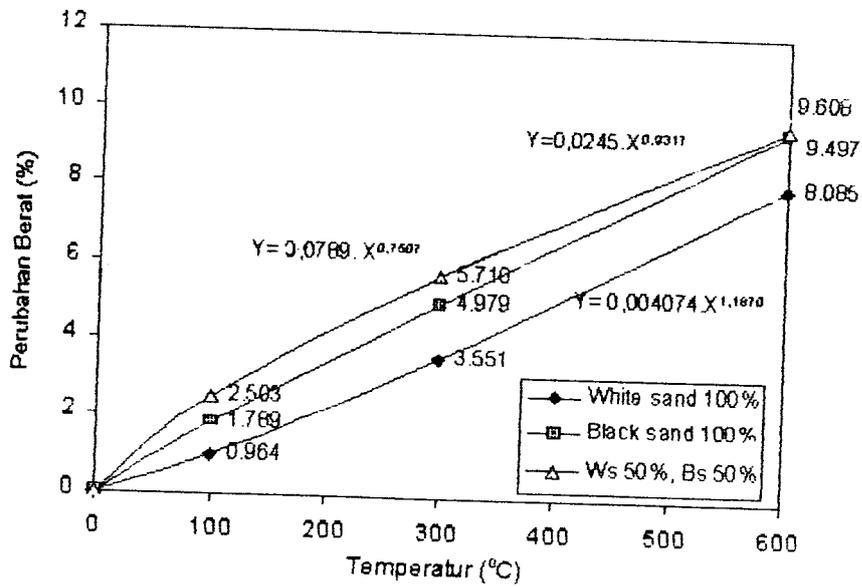
Parameter lain yang berubah setelah pembakaran adalah berat dan volume benda uji. Perubahan keduanya akan berpengaruh terhadap perubahan berat jenis benda uji, karena berat jenis merupakan perbandingan berat terhadap volume suatu benda. Dari pengukuran didapatkan terjadinya penurunan berat benda uji.

Perubahan berat ini sangat bervariasi untuk masing-masing campuran, hal ini karena banyak faktor yang berpengaruh dalam pembuatan adukan beton. Faktor yang berpengaruh paling dominan adalah dalam pemadatan adukan yang dituang dalam acuan yang tidak selalu sama, baik intensitas maupun kekuatan pemadatan.

Setelah dilakukan analisa regresi terhadap data hasil pengujian (lampiran 8,9,15,16) pada benda uji kubus terlihat bahwa campuran pasir hitam pada suhu 100°C - 250°C mengalami penurunan berat lebih rendah persentasenya dibanding variasi campuran II dan III, hal ini karena pengaruh kandungan air jenuh yang banyak dikandung oleh pasir hitam. Sedang pada suhu 250°C sampai 600°C penurunan lebih besar pada campuran pasir hitam ini. Hal ini karena pengaruh zat yang dikandung oleh pasir hitam lebih heterogen dibandingkan kandungan pasir putih yang lebih homogen. Sedangkan pada benda uji lentur untuk masing-masing campuran terjadi secara linier, semakin tinggi suhu semakin tinggi pula penurunan berat yang terjadi. Penurunan berat antara suhu 100°C sampai 250°C paling besar terjadi pada campuran III sedangkan paling rendah terjadi pada campuran II. Untuk lebih jelasnya penurunan berat tersebut dapat lihat pada gambar 5.1 dan 5.2.



Gambar 5.1 Grafik Prosentase Penurunan Berat Kubus Terhadap Suhu Pembakaran



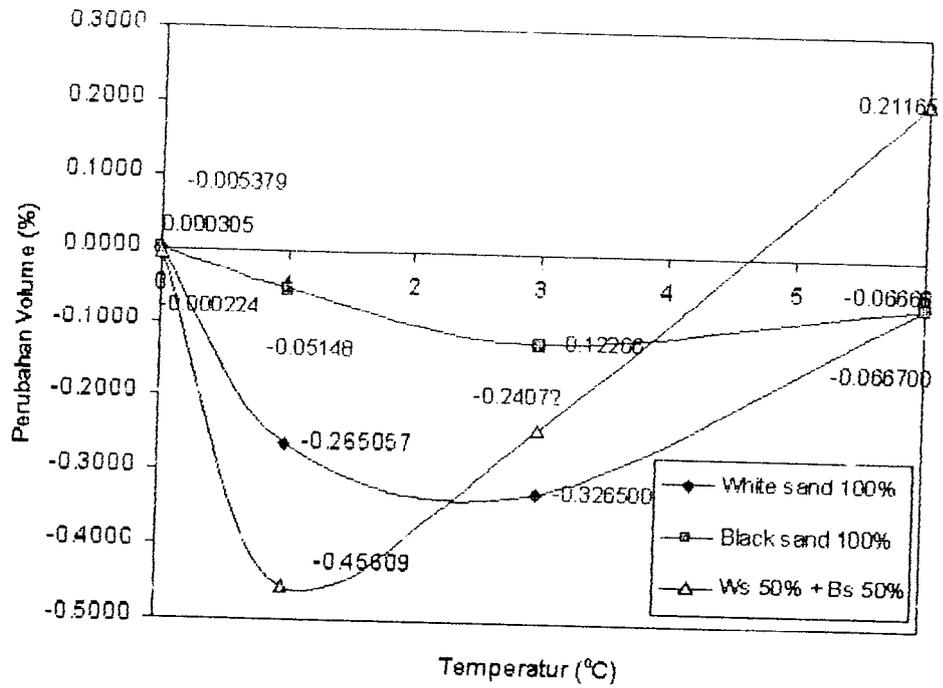
Gambar 5.2 Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok Terhadap Suhu Pembakaran

Dari gambar 5.1 dan 5.2 di atas terlihat bahwa semakin tinggi suhu semakin banyak penurunan berat terjadi. Penurunan berat ini disebabkan karena kehilangan air yang terkandung pada beton akibat pembakaran. Suhu yang tinggi dan lama pembakaran berpengaruh pada kedalaman pengaruh panas dan menyebabkan penguapan air pada beton tersebut, sehingga terjadi perubahan volume benda uji setelah pembakaran. Perubahan tersebut ada yang berupa penyusutan dan ada yang berupa pemuaian.

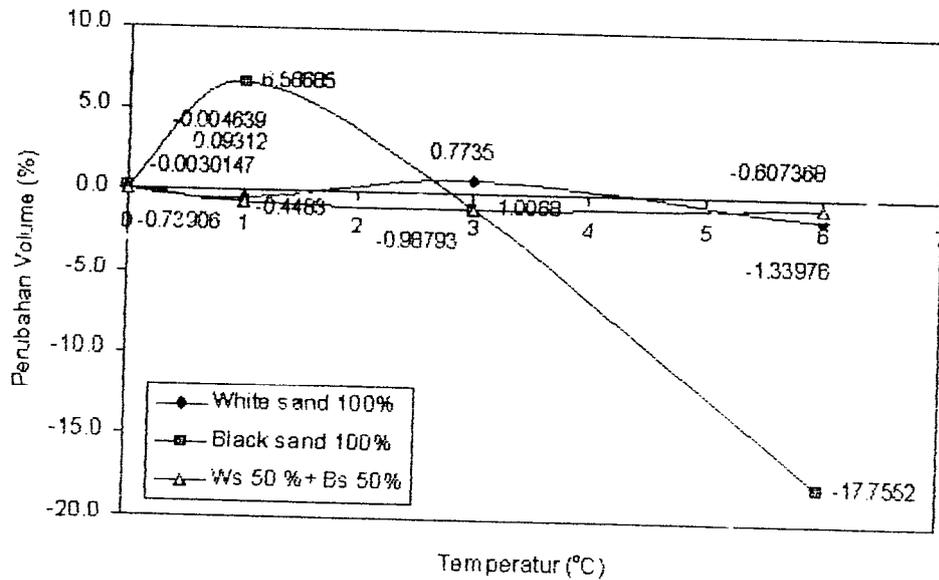
Penyusutan yang terjadi pada beton yang telah dibakar disebabkan karena kehilangan air yang terdapat pada pasta semen dan pori-pori agregat. Proses ini terjadi pada suhu pembakaran tertentu yang selanjutnya akan diikuti dengan pemuaian secara perlahan agregat dan pasta semen yang telah kehilangan kadar airnya. Pemuaian yang terjadi pada pasta semen dan agregat tidak sama besar, sehingga menimbulkan retak-retak pada permukaan beton.

Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa pada pembakaran kubus pada suhu tertentu selama 3 jam terjadi penyusutan Volume.

Penyusutan yang terjadi paling besar persentasenya adalah pada pembakaran dengan suhu 100 °C. Selanjutnya pada suhu 300 °C dan suhu 600 °C penyusutan sedikit lebih kecil persentasenya, hal ini karena adanya penggantian ruang dari air yang terhidrasi dengan pemuaian pasta semen. Setelah dilakukan analisa regresi terhadap data hasil pengukuran (lampiran 23, 24, 25) grafik perubahan volume untuk masing benda uji dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4.

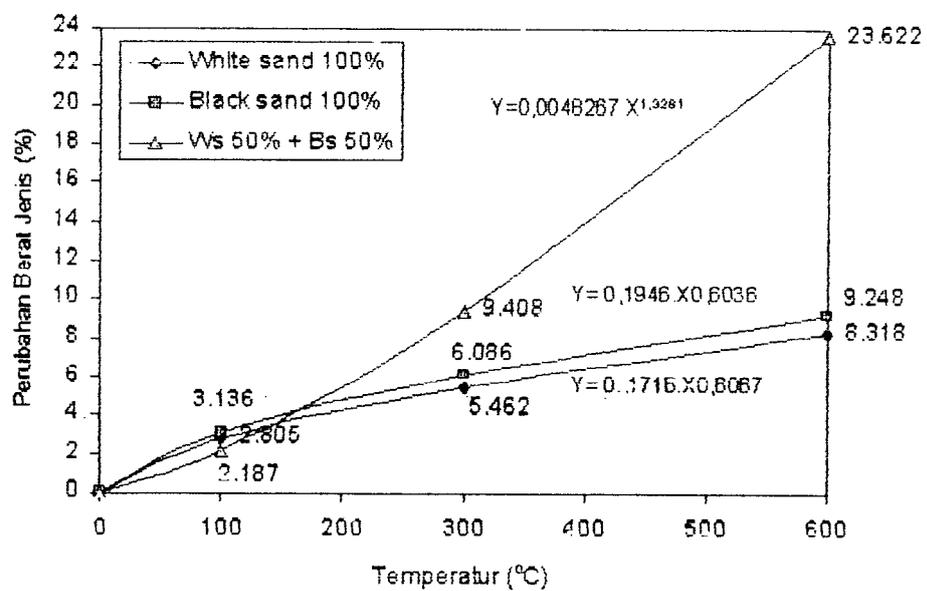


Gambar 5.3 Grafik Prosentase Perubahan Volume Kubus Terhadap Suhu Pembakaran



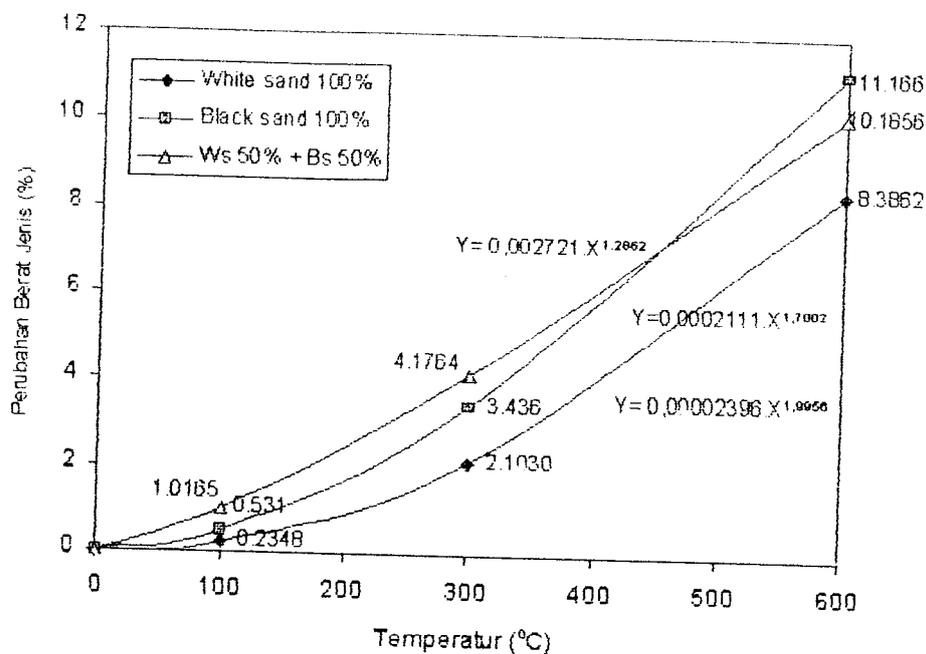
Gambar 5.4 Grafik Prosentase perubahan Volume Balok Terhadap Suhu Pembakaran

Setelah membandingkan hasil pengujian dari benda uji desak maupun lentur yang dibakar dengan yang tidak dibakar maka diketahui bahwa adanya penurunan berat jenis seiring dengan bertambahnya suhu pembakaran. Analisa regresi dari perubahan berat jenis bisa dilihat pada (lampiran 10, 11, 17, 18). Prosentase penurunan berat jenis beton setelah mengalami pembakaran dapat dilihat pada gambar 5.5 dan 5.6



Gambar 5.5 Grafik Prosentase Berat Jenis Kubus Terhadap Suhu Pembakaran





Gambar 5.6 Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok terhadap Suhu Pembakaran

Penurunan berat jenis ini dipengaruhi oleh berat dan volume benda uji. Kehilangan air dan pemuai pada pasta semen dan agregat akibat pemanasan berpengaruh terhadap perubahan berat dan perubahan volume yang secara tidak langsung mengakibatkan terjadi perubahan berat jenis.

5.2.3 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton rencana untuk benda uji pada penelitian ini adalah adalah $f_c = 41,18$ Mpa. Dari hasil pengujian desak untuk beton yang tidak dibakar didapat tegangan desak karakteristik beton sebesar :

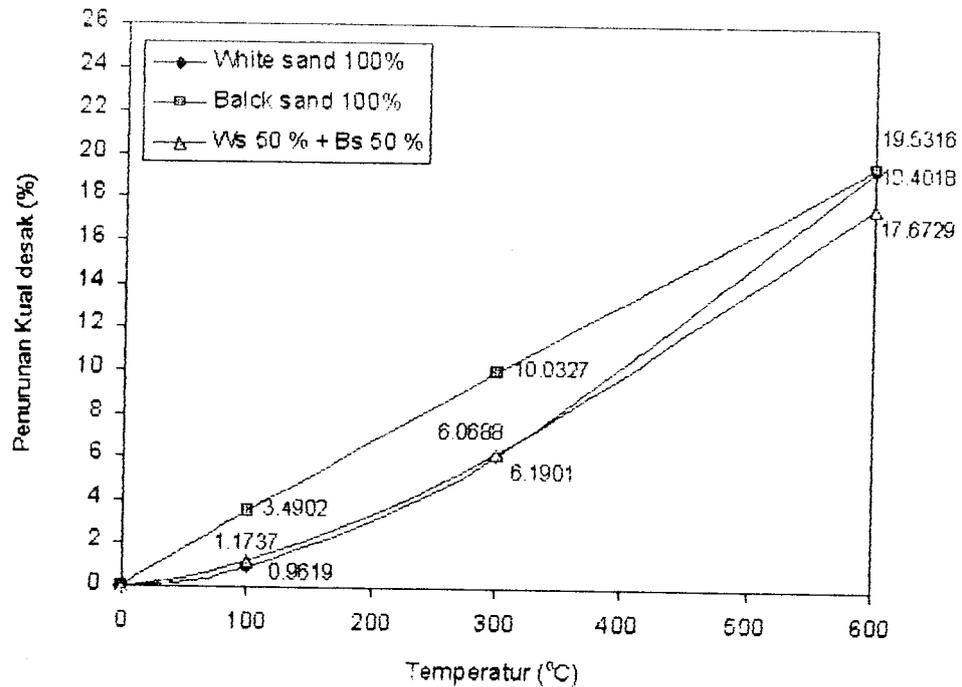
untuk pasir putih = 44,7197 Mpa,

untuk pasir hitam = 40,3820 Mpa,

untuk pasir putih dan hitam = 45,6611 Mpa.

Dari kekuatan beton yang tidak dibakar ini terlihat bahwa campuran pasir putih 50 % + pasir hitam 50 % terlihat paling baik karena mempunyai kekuatan desak paling tinggi dibanding pasir hitam dan pasir putih. Hal ini karena pengaruh gradasi pasir yang lebih variatif dari dua campuran yang lain. Sedangkan campuran pasir putih 100 % lebih tinggi kekuatannya dibanding dengan pasir hitam karena kandungan lumpur sedikit dibanding pasir hitam, dan juga dikarenakan pasir putih mempunyai kandungan yang lebih homogen.

Kuat desak hasil pegujian ini dipakai sebagai pembandingan terhadap kuat desak beton setelah dibakar. Hasil pegujian desak beton setelah dibakar memperlihatkan nilai kuat desak yang semakin turun sesuai dengan bertambahnya suhu pembakaran. Hal ini dapat dilihat pada prosentase penurunan kuat desak yang digambarkan pada gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran

Dari gambar 5.7 dapat dilihat prosentase penurunan kuat desak yang tajam pada pembakaran dengan suhu 600°C . Berbeda dengan hasil pengujian beton yang dibakar pada suhu 100°C dan 300°C , dimana prosentase penurunan kuat desak beton yang terjadi tidak begitu drastis.

Grafik 5.7 merupakan grafik prosentase penurunan kuat desak yang diambil dari data pengujian setelah dilakukan analisa regresi (lampiran 12, 13, 14). Hasil pengamatan visual terhadap beton yang diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C , keadaan beton hancur sebagian dengan jumlah agregat pecah lebih besar dari pada agregat yang terlepas.

Agregat yang mengalami lepas adalah agregat yang terletak diluar (dekat permukaan), sedangkan agregat yang pecah adalah yang letaknya dibagian yang retak atau hancur yaitu bagian tengah beton.

Perbandingan jumlah agregat pecah dan terlepas ini menunjukkan lekatan antara agregat dengan pasta semen masih baik. Agregat yang mengalami lepas pada saat uji desak disebabkan oleh hilangnya lekatan antara pasta semen dengan agregat

Perbedaan kondisi ini terjadi karena bagian yang luar menerima panas yang lebih besar sehingga terjadi kehilangan air. Ini menyebabkan penyusutan dan kalsium karbonatnya pada pasta semen terdekarbonisasi menjadi bentuk kalsium oksida yang ikatannya lemah dan berwarna keputihan. Bagian yang lebih dalam menerima panas yang lebih sedikit sehingga yang terjadi hanya kehilangan air dan panas yang diterima dipakai sebagai tambahan energi untuk melaksanakan proses hidrasi yang belum sempurna dibagian dalam.

Untuk beton yang diuji setelah dibakar 300° C, keadaan beton hancur sebagian besar. Kondisi masih seperti pada beton yang dibakar pada suhu 100° C, yaitu kerikil yang pecah lebih banyak dari pada yang lepas. Pada beton yang diuji setelah dibakar pada suhu 600° C, beton hancur dengan kondisi agregat lepas lebih banyak dari pada agregat yang pecah.

Penyebab kejadian tersebut adalah suhu yang lebih tinggi masuk kebagian dalam dan tidak hanya menghilangkan kadar air, akan tetapi juga menyebabkan kalsium karbonat pada pasta semen yang lebih di dalam terkarbonisasi. Akibatnya kekuatan lekat antara pasta semen dan agregat berkurang bahkan hilang.

5.2.4 Kekuatan Lentur Beton

Perhitungan lentur direncanakan dengan perencanaan secara sederhana berupa beam dengan P maksimum yang diuraikan dengan kuat desak beton karakteristik yang direncanakan yaitu sebesar 40 Mpa. Dari perhitungan perencanaan benda uji didapatkan kuat lentur rencana (M_r) sebesar $\frac{1}{4} P \cdot L$.

$$f'c = P/A \quad A = 150 \times 450 = 67500 \text{ mm}^2$$

$$f'c = 40 \text{ Mpa} \quad P_{\text{max}} = 67500 \times 40 = 2700 \text{ kN}$$

$$M_r = \frac{1}{4} P \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 2700 \times 45 = 121500 \text{ kNm}$$

$$= 1215 \text{ KNm}$$

Kuat desak beton karakteristik direncanakan sebesar 41,48 Mpa. Pengujian lentur terhadap benda uji yang dibuat menghasilkan kuat lentur aktual sebesar sebagai berikut :

$$\text{variasi I} = 46,2156 \text{ Mpa,}$$

$$\text{variasi II} = 41,3005 \text{ Mpa,}$$

$$\text{variasi III} = 47,5077 \text{ Mpa,}$$

P maks yang mampu dipikul adalah sebagai berikut :

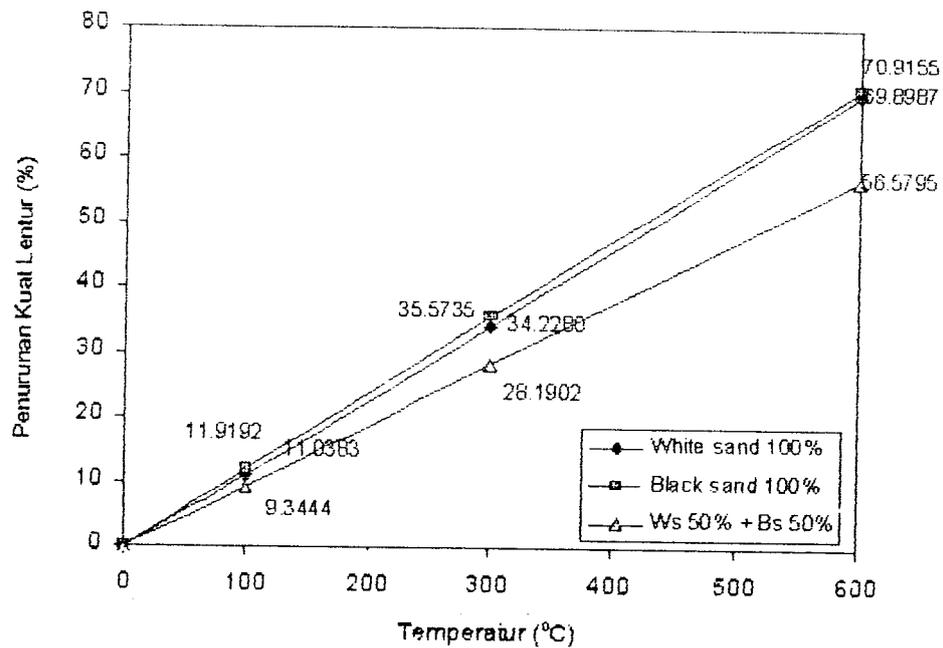
$$\text{variasi I} = 3100 \text{ KN/m,}$$

$$\text{variasi II} = 2800 \text{ KN/m,}$$

$$\text{variasi III} = 3228,3 \text{ KN/m.}$$

Pada uji lentur ini diketahui bahwa pemurunan kuat lentur yang paling rendah terjadi pada campuran III yaitu campuran pasir putih 50 % + pasir hitam 50 %, sedangkan yang paling besar terjadi pada campuran II yaitu campuran pasir hitam 100 %

Besarnya prosentase penurunan kuat lentur setelah pembakaran dapat dilihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran

Penurunan kuat lentur yang terjadi pada hasil pengujian disebabkan oleh turunnya kuat desak beton akibat terkena panas. Dari grafik 5.8 diatas terlihat bahwa pada balok yang terbakar pada suhu 600 ° C terjadi penurunan kuat lentur yang tajam, sedangkan pada pembakaran suhu 100 ° C dan 300 ° C penurunan yang terjadi relatif kecil. Prosentase kuat lentur yang terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan prosentase penurunan kuat desak beton yang dibakar dengan suhu dan lama pembakaran yang sama. Dengan mengetahui besarnya penurunan kuat lentur yang terjadi maka dapat diambil suatu keputusan yang tepat terhadap bangunan dengan struktur beton yang mengalami pembakaran. Kuat lentur yang terjadi pada balok beton yang dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C memperlihatkan penurunan yang tidak begitu besar, sehingga pada kasus seperti ini

konstruksi beton masih dapat dipertahankan meskipun harus diperhitungkan pemakaian beban yang lebih kecil dari beban rencana semula.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh pembakaran terhadap beton campuran agregat pasir putih dan pasir hitam, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Akibat pembakaran, beton akan mengalami penurunan kuat desak dan berat jenis yang bervariasi, tergantung tinggi suhu.
2. Pada kondisi tidak dibakar beton dengan campuran pasir putih saja mempunyai kekuatan lebih tinggi dibandingkan beton dengan campuran pasir hitam saja. Hal ini karena dipengaruhi oleh kadar lumpur yang lebih banyak dikandung oleh pasir hitam.
3. Beton dengan campuran pasir hitam 50 % + pasir putih 50 % yang tidak dibakar, mempunyai kekuatan lebih tinggi dibanding beton dengan campuran pasir putih saja, hal ini dikarenakan gradasi campuran pasir putih ditambah pasir hitam ini lebih variatif.
4. Beton dengan campuran pasir hitam saja, apabila terbakar pada suhu 300°C dan 600° C mengalami penurunan kuat desak yang cukup besar yaitu 10,03269 % dan 19,402 %, dibanding campuran pasir putih yang sebesar 6,0688 %, dan 19,5316 %. Sedangkan untuk campuran pasir hitam 50 % + pasir putih 50 % pengurangan kekuatannya sebesar 6,1901 % dan 17,6728 % (lihat gambar 5.7).

5. Untuk balok beton yang dibakar pada suhu 600°C selama 3 jam tetap harus direnovasi total, karena penurunan kekuatannya lebih dari 40 %.
6. Beton yang terbakar pada suhu 300°C selama 3jam mengalami penurunan kuat lentur untuk masing-masing variasi sebesar 34,2279 %, 35,5753 % dan 28,1902 %, sehingga balok beton tersebut masih bisa dipakai dengan pengurangan beban sesuai dengan kekuatan yang ada.
7. Penggunaan pasir putih bila dicampur dengan pasir hitam mempunyai kekuatan lebih tinggi sebelum dibakar dan penurunan kekuatannya lebih rendah setelah dibakar dibandingkan beton dengan campuran pasir putih saja atau pasir hitam saja, seperti pada penelitian ini.

6.2 Saran-Saran

Saran-saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian, pembahasan dan kesimpulan adalah sebagai berikut ini.

1. Perlu dilakukan penelitian dengan umur dan mutu beton yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih rinci tentang suhu dan waktu pembakaran
3. Perlu ada penelitian lanjutan tentang pengaruh kebakaran untuk benda uji dengan tiga variasi campuran berupa beton bertulang.
4. Perlu penelitian lanjutan dengan memperbanyak sampel untuk mendekati nilai yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971, Peraturan Beton Bertulang Indonesia.
2. Departemen Pekerjaan Umum, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SK SNIT-15-1991-03.
3. Edward G. Nawy, 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, PT. Eresco, Bandung.
4. Hansen, T.C, 1976, Text Book of Concrete Technology, Ministry of Public Work and Electrical Power, Directorate General of Housing, Planning and Urban Development and U.N. Regional Housing Devide for The Escape Region, Jakarta.
5. Istimawan Dipohusodo, 1994, Struktur beton Bertulang, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
6. Kardiyono Tjokrodinuljo, 1992, Teknologi Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
7. Neville, A.M., 1975, Properties of Concrete, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
8. W.M. Lin, T.D. Lin, and L.J. Powers-couche, Microstructures of Fire Damage Concrete, ACI Materials Journal, V.93, No.3, 1996, pp.199-205.

ANALISA BAHAN

1. Pasir Hitam

Asal daerah Sidamanik, Jawa Barat

a. Pengujian Kadar Lumpur

Hasil pengujian

Berat pasir kering sebelum dicuci (kering oven) A = 100,0 gram

Berat pasir kering setelah dicuci (kering oven) B = 94,66 gram

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{A - B}{B} \times 100 \% = 5,7082 \%$$

Hasil pengujian menunjukkan kadar lumpur pada pasir hitam sebesar 5,7082 lebih besar 5 %, maka pasir bisa dipakai dengan dicuci terlebih dahulu.

b. Pemeriksaan Berat Jenis Pasir (keadaan SSD)

Hasil pengujian

Volume air dalam gelas ukur A = 150 cc

Berat pasir (keadaan SSD) B = 100 gram

Volume air + pasir C = 189 cc

$$\text{BJ Kondisi SSD} = B / (C - A) = 2,564 \text{ gr/cc}$$

c. Pemeriksaan Modulus Halus Butiran (MHB)

Hasil pengujian

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)
4,75	37,2	6,789	6,789
2,36	170	31,0275	37,865
1,18	128,8	23,5079	61,3244
0,60	82,5	15,0575	76,389
0,30	55,2	10,0748	86,4567
0,15	40,2	7,3371	93,7938
Panci	34	6,2055	-
Total	547,9	100	362,5623

$$\text{MHB pasir Hitam} = \frac{362,5623}{100} = 3,6256$$

2. Pasir Putih

a. Pengujian Kadar Lumpur

Hasil pengujian

Berat Pasir kering sebelum dicuci (kering oven) A = 100,0 gram

Berat pasir kering setelah dicuci (kering oven) B = 992,2 gram

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A - B}{B} \times 100 \% = 0,806 \%$$

Hasil pengujian menunjukkan kadar lumpur pada pasir putih sangat rendah yaitu 0,806 %, jadi pasir bisa dipakai tanpa dicuci terlebih dahulu.

b. Pemeriksaan Berat jenis Pasir (keadaan SSD)

Hasil pengujian

Volume air dalam gelas ukur A = 150 cc

Berat pasir (keadaan SSD) B = 100 gram

Volume air + pasir C = 178 cc

$$\text{Bj kondidi SSD} = \frac{B}{C - A} = 3,571 \text{ gram/cc}$$

c. Pemeriksaan Modulus Halus Butiran (MHB)

Hasil Pengujian

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)
4,75	0,5	0,111	0,111
2,36	6,1	1,535	1,464
1,18	42,5	9,425	10,889
0,60	182,95	40,569	51,458
0,30	146,5	32,487	83,945
0,15	66,4	14,724	98,669
Panci	0,0	1,331	-
Total	450,95	100,00	246,536

$$\text{MHB pasir putih} = \frac{246,536}{100} = 2,4653$$

2. Pasir putih dan hitam

A. Pemeriksaan Modulus Halus Butiran (MHB)

Saringan (mm)	Sampel 1			Sampel 2			Average	
	Gram	%	%	Gram	%	%	%	%
4,75	0,5	0,111	0,111	37,2	6,789	6,789	3,45	3,45
2,36	6,1	1,535	1,464	170	31,0275	37,865	16,28125	19,751
1,18	42,5	9,425	10,889	128,8	23,5079	61,3244	10,46645	36,19745
0,60	182,95	40,569	51,458	82,5	15,0575	76,389	27,81325	64,0107
0,30	146,5	32,487	83,954	55,2	10,0748	86,4567	21,2809	64,0107
0,15	66,4	14,724	98,669	40,2	7,3371	93,7938	11,03055	85,2916
Panci	0,0	1,331	246,536	34	6,2055	-	3,78825	90,32215
Total	450,95	100,00	246,536	547,9	100,00	362,5623	100,00	100,00

$$\text{MHB Pasir putih dan hitam} = 305,1129/100$$

$$= 3,10$$

Hasil Percobaan Menentukan Berat Jenis dan Penyerapan dari Split

Hasil Percobaan

A = 2941,2 gram (berat contoh kering udara)

B = 5000,0 gram (berat contoh kering jenuh permukaan)

C = 3039,2 gram (berat contoh jenuh didalam air)

$$\text{Berat Jenis Kering Tusuk} = \frac{A}{B - C} = \frac{2941,2}{5000,0 - 3039,2} = 1,50$$

$$\text{Berat Jenis (SSD)} = \frac{B}{B - C} = \frac{5000,0}{5000,0 - 3039,5} = 2,55$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase Penyerapan} &= \frac{B - A}{A} \times 100 \% \\ &= \frac{5000,0 - 2941,2}{2941,2} \times 100 \% = 0,699 \% \end{aligned}$$

Data hasil pengujian desak beton dengan campuran pasir putih 100 % (White Sand)

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A0	-	-	8,125	8,125	3518,053	3518,053	2,31	2,31	1020
2 A4	-	-	8,094	8,094	3526,42	3526,42	2,29	2,29	1040
3 A8	-	-	8,054	8,054	3501,79	3501,79	2,29	2,29	985

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A1	3 jam	100	7,947	7,701	3455,67	3441,03	2,29	2,24	1000
2 A5	3 jam	100	8,215	7,960	3527,74	3522,97	2,33	2,26	980
3 A9	3 jam	100	8,067	7,730	3507,95	3498,82	2,29	2,21	1010

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A2	3 jam	300	8,123	7,573	3512,56	3511,72	2,31	2,16	980
2 A6	3 jam	300	8,283	7,743	3548,83	3551,83	2,33	2,18	970
3 A10	3 jam	300	8,315	7,693	3538,81	3540,25	2,35	2,19	975

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A3	3 jam	600	8,180	7,525	3609,28	3591,146	2,26	2,10	730
2 A7	3 jam	600	8,171	7,535	3549,50	3540,028	2,30	2,13	800
3 A11	3 jam	600	8,111	7,473	3504,10	3491,256	2,31	2,14	790

Data hasil pengujian desak beton dengan campuran pasir hitam (Black Sand) 100 %

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B0	-	-	8,235	8,235	3500,27	3500,27	2,36	2,36	910
2 B4	-	-	8,332	8,332	3571,93	3571,93	2,33	2,33	920
3 B8	-	-	8,162	8,162	3504,826	3504,826	2,33	2,33	930

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B1	3 jam	100	8,422	8,186	3616,46	3615,47	2,33	2,26	900
2 B5	3 jam	100	8,235	7,976	3499,14	3491,62	2,35	2,28	870
3 B9	3 jam	100	8,178	7,934	3511,84	3510,62	2,33	2,26	890

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B2	3 jam	300	8,293	7,732	3544,22	3542,11	2,34	2,18	830
2 B6	3 jam	300	8,045	7,473	3447,21	3437,88	2,33	2,17	830
3 B10	3 jam	300	8,219	7,649	3529,55	3534,50	2,33	2,16	800

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B3	3 jam	600	8,296	7,545	3581,00	3568,67	2,32	2,11	725
2 B7	3 jam	600	8,229	7,565	3540,83	3550,22	2,34	2,13	720
3 B11	3 jam	600	8,049	7,652	3456,66	3452,06	2,33	2,15	720

Data hasil pengujian desak beton dengan campuran pasir putih dan pasir hitam

(White Sand 50 % + Black Sand 50 %)

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C0	-	-	8,225	8,225	3529,96	3530,96	2,33	2,33	1010
2 C4	-	-	8,023	8,023	3471,04	3471,04	2,31	2,31	1050
3 C8	-	-	8,060	8,060	3472,64	3472,64	2,32	2,32	1040

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C1	3 jam	100	8,105	7,865	3486,30	3449,56	2,33	2,28	1010
2 C5	3 jam	100	8,163	7,915	3521,57	3502,21	2,32	2,26	965
3 C9	3 jam	100	8,166	7,923	3517,96	3516,58	2,32	2,26	1010

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C2	3 jam	300	8,115	7,544	3513,29	2508,84	2,31	2,15	1000
2 C6	3 jam	300	8,132	7,540	3557,15	3556,60	2,28	2,12	965
3 C10	3 jam	300	8,150	7,566	3511,03	3501,01	2,32	2,16	1010

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C3	3 jam	600	8,280	7,611	3567,03	3540,357	2,33	2,14	870
2 C7	3 jam	600	8,175	7,492	3540,35	3508,289	2,31	2,14	770
3 C11	3 jam	600	8,061	7,451	3472,70	3495,96	2,32	2,13	820

Data hasil pengujian lentur beton dengan campuran pasir putih 100 % (White Sand)

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A0	-	-	24,2	24,2	10487,681	10487,681	2,31	2,31	3100
2 A4	-	-	23,4	23,4	10316,399	10310,399	2,27	2,27	3000
3 A8	-	-	23,8	23,8	10348,011	10348,011	2,29	2,29	3200

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A1	3 Jam	100	23,9	23,8	10489,983	10431,30	2,28	2,28	2650
2 A5	3 Jam	100	24,0	23,7	10296,378	10212,08	2,33	2,32	3035
3 A9	3 Jam	100	23,6	23,3	10373,283	10205,92	2,28	2,28	2600

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A2	3 jam	300	23,4	22,3	10207,575	10182,65	2,29	2,19	2116
2 A6	3 Jam	300	23,6	22,3	10292,992	10276,49	2,29	2,17	1900
3 A10	3 Jam	300	24,1	22,9	10432,874	10328,30	2,31	2,22	1980

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 A3	3 jam	600	23,2	21,8	10212,949	9954,34	2,27	2,19	1120
2 A7	3 jam	600	24,1	22,4	10422,686	10409,49	2,31	2,15	820
3 A11	3 jam	600	23,7	22,2	10264,265	10103,48	2,31	2,19	980

Data hasil pengujian lentur beton dengan campuran pasir hitam 100 % (Black Sand)

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B0	-	-	24,2	24,2	10562,62	10562,62	2,29	2,29	2900
2 B4	-	-	24,2	24,2	10588,68	10588,68	2,29	2,29	2700
3 B8	-	-	24,0	24,0	10509,11	10509,11	2,28	2,28	2800

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B1	3 jam	100	23,4	23,0	10314,45	10294,03	2,27	2,23	2410
2 B5	3 jam	100	23,6	23,2	10157,05	10100,93	2,32	2,29	2310
3 B9	3 jam	100	23,9	23,5	10301,248	9996,71	2,32	2,35	2550

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B2	3 jam	300	24,2	22,8	10386,65	10323,78	2,33	2,21	1900
2 B6	3 jam	300	24,3	22,9	10321,20	10352,97	2,35	2,21	1820
3 B10	3 jam	300	24,0	22,6	10337,66	10334,58	2,32	2,19	1870

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 B3	3 Jam	600	23,6	21,6	10341,39	10334,93	2,28	2,09	600
2 B7	3 Jam	600	23,9	21,8	10294,47	10283,02	2,32	2,12	760
3 B11	3 jam	600	23,9	21,8	10320,95	10303,80	2,32	2,12	670

Data hasil pengujian lentur beton dengan campuran pasir putih dan pasir hitam

(White Sand 50 % + Black Sand 50 %)

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C0	-	-	23,9	23,9	10320,285	10320,285	2,32	2,32	3185
2 C4	-	-	24,6	24,6	10467,97	10467,97	2,35	2,35	3300
3 C8	-	-	24,8	24,8	10765,48	10765,48	2,30	2,30	3200

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C1	3 jam	100	24,5	24,0	10457,15	10344,83	2,34	2,32	2830
2 C5	3 jam	100	23,7	23,1	10185,78	10015,044	2,33	2,31	2800
3 C9	3 jam	100	24,9	24,3	10776,95	10565,22	2,31	2,31	3000

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C2	3 jam	300	24,7	22,9	10859,13	10819,36	2,28	2,12	2230
2 C6	3 jam	300	23,8	22,3	10289,43	10273,99	2,31	2,17	2510
3 C10	3 jam	300	24,6	22,9	10567,66	10456,62	2,33	2,19	2400

No Kode	Lama Pembakaran	Suhu °C	Berat (kg)		Volume (cm ³)		BJ (t/m ³)		P Maks
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1 C3	3 jam	600	23,8	21,7	10289,07	10279,49	2,30	2,11	1050
2 C7	3 jam	600	24,6	22,5	10701,61	10513,72	2,29	2,14	1540
3 C11	3 jam	600	24,7	22,6	10584,36	10560,75	2,33	2,14	1300

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus White Sand 100%

NO	X1	Y1	q1= log X1	p1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	3,095	2	0,4907	0,9814	4
2	300	6,638	2,4771	0,8220	2,0362	6,1360
3	600	7,886	2,7782	0,8969	2,4918	17,8544
	n=3	Y=5,873	7,2553	2,2096	5,5094	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 5,873$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,737$$

$$B = \frac{(3.5,5094) - (7,2553.2,2096)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B =$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 0,53788$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,737 - 0,538.2,418$$

$$A = 0,2729$$

No	X	Y
1	100	3,252
2	300	5,873
3	600	8,5273

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus Black Sand 100%

NO	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	2,970	2	0,4728	0,9456	4
2	300	6,939	2,4771	0,8413	2,0839	6,1360
3	600	8,949	2,7782	0,9518	2,6443	17,8544
	N=3	Y=6,286	7,2553	2,2695	6,5738	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 5,873$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,737$$

$$B = \frac{(3.5,6738) - (7,2553.2,2659)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B =$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = \frac{0,8756}{0,9238} = 0,9478$$

$$\begin{aligned} \text{Log } A &= pr - B.qr \\ &= 0,7553 - 0,9478.2,418 \\ A &= 0,0291 \end{aligned}$$

No	X	Y
1	100	2,288
2	300	6,482
3	600	12,503

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus White Sand 50% + Black Sand 50%

NO	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	2,996	2	0,4765	0,9530	4
2	300	7,169	2,4771	0,8555	2,1192	6,1360
3	600	8,0029	2,7782	0,9032	2,5093	17,8544
	N=3	6,0559	7,2553	2,2352	5,5815	17,8544

Persamaan regresi $Y = A.X^B$

$$Y = 6,0559$$

$$qr = 2,4184$$

$$pr = 0,7451$$

$$(3.5,5815) - (7,2553.2,2352)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 0,571$$

Log A = pr - B.qr

$$= 0,7451 - 0,571.2,418$$

$$A = 0,2313$$

No	X	Y
1	100	3,2076
2	300	6,0064
3	600	8,8842

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus White Sand 100%

N0	X1	Y1	q1=log X1	P1=log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	2,609	2	0,4165	0,833	4
2	300	6,5665	2,4771	0,8173	2,0245	6,1360
3	600	7,424	2,7782	0,8706	2,4187	17,8544
	N=3	5,5332	7,2553	2,1044	5,2762	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 5,5332$$

$$qr = 2,4184$$

$$pr = 0,702$$

$$(3 \cdot 5,2762) - (7,2553 \cdot 2,1044)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3 \cdot 17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 0,6067$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,7015 - 0,6067 \cdot 2,418$$

$$A = 0,1716$$

No	X	Y
1	100	2,805
2	300	5,462
3	600	8,318

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran

Black Sand 100%

N0	X1	Y1	q1=log X1	P1=log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	2,991	2	0,4758	0,9516	4
2	300	6,8669	2,4771	0,8368	2,0728	6,1360
3	600	8,5836	2,7782	0,9337	2,5940	17,8544
	N=3	6,1472	7,2553	2,2462	5,6184	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 6,1472$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,7487$$

$$B = \frac{(3.5,6184) - (7,2553 \cdot 2,2463)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B = 0,6036$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,7487 - 0,6036 \cdot 2,418$$

$$A = 0,1946$$

No	X	Y
1	100	3,1357
2	300	6,0860
3	600	9,2477

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus White Sand 50% + Black Sand 50%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	P1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	2,586	2	0,4126	0,852	4
2	300	7,4612	2,4771	0,8728	2,1620	6,1360
3	600	25,1142	2,7782	1,3999	3,8892	17,8544
	N=3	11,721	7,2553	2,6853	6,9032	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 11,721$$

$$qr = 2,4184$$

$$pr = 0,895$$

$$B = \frac{(3.6,9032) - (7,2553 \cdot 2,6853)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B = 1,3281$$

$$\begin{aligned} \text{Log } A &= pr - B.qr \\ &= 0,895 - 1,3281.2,418 \end{aligned}$$

$$A = 0,0048267$$

No	X	Y
1	100	2,187
2	300	9,408
3	600	23,622

Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus White Sand 100%

NO	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	1,1039	2	0,04293	0,08586	4
2	300	4,246	2,4771	0,6279	1,5554	6,1360
3	600	24,128	2,7782	1,3825	3,8408	17,8544
	N=3	9,826	7,2553	2,0533	5,482	17,8544

Persamaan regresi $Y = A.X^B$

$$Y = 9,826$$

$$qr = 2,4184$$

$$pr = 0,684$$

$$(3.5,482) - (7,2553.2,0533)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,6767$$

$$\text{Log } A = pr - B.qr$$

$$= 0,684 - 1,6767.2,418$$

$$A = 0,0004263$$

No	X	Y
1	100	0,9619
2	300	6,0688
3	600	19,402

Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus Black Sand 100%

N0	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	3,7036	2	0,5686	1,1372	4
2	300	8,5875	2,4771	0,9339	2,3134	6,1360
3	600	21,4541	2,7782	1,3315	3,6992	17,8544
	N=3	11,2484	7,2553	2,834	7,1498	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 11,2484$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,9447$$

$$(3 \cdot 7,1498) - (7,2553 \cdot 2,834)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3 \cdot 17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 0,9611$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,9447 - 0,9611 \cdot 2,418$$

$$A = 0,04175$$

No	X	Y
1	100	3,4902
2	300	10,03269
3	600	19,5316

Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak Terhadap Suhu Pembakaran

Kubus White Sand 50% + Black Sand 50%

N0	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	1,3179	2	0,1199	0,2398	4
2	300	4,5609	2,4771	0,6597	1,6341	6,1360
3	600	21,2539	2,7782	1,3274	3,6878	17,8544
	N=3	9,04423	7,2553	2,107	5,5617	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 9,04423$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,7023$$

$$(3.5,5617) - (7,2553.2,107)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,51353$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,7023 - 1,51353 \cdot 2,418$$

$$A = 0,001103$$

No.	X	Y
1	100	1,1737
2	300	6,1901
3	600	17,6728

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran

Balok White Sand 100%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	P1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	0,840	2	-0,0757	-0,1515	4
2	300	5,063	2,4771	0,7044	1,7449	6,1360
3	600	6,506	2,7782	0,8133	2,2595	17,8544
	N=3	4,1363	7,2553	1,442	2,2595	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 4,1363$$

$$qr = 2,4184$$

$$pr = 0,48067$$

$$(3.3,8529) - (7,2553.1,442)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,1870$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,48076 - 1,1870 \cdot 2,418$$

$$A = 0,004074$$

No	X	Y
1	100	0,9639
2	300	3,5511
3	600	8,0851

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran

Balok Black Sand 100%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	P1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	1,693	2	0,2286	0,4572	4
2	300	5,5793	2,4771	0,7599	1,8824	6,1360
3	600	8,697	2,7782	0,9394	2,6098	17,8544
	N=3	5,381	7,2553	1,9279	4,9494	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 5,381$$

$$qr = 2,4184$$

$$pr = 0,6426$$

$$B = \frac{(3.4,9494) - (7,2553 \cdot 1,9279)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B = 0,9317$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,6426 - 0,9317 \cdot 2,418$$

$$A = 0,0245$$

No	X	Y
1	100	1,7888
2	300	4,9785
3	600	9,4966

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Terhadap Suhu Pembakaran

Balok White Sand 50% + Black Sand 50%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	p1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	2,338	2	0,3688	0,7376	4
2	300	6,814	2,4771	0,8334	2,0644	6,1360
3	600	8,261	2,7782	0,9356	2,5993	17,8544
	N=3	5,9243	7,2553	2,1378	5,4013	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 5,9243$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,7126$$

$$B = \frac{(3.5,4013) - (7,2553 \cdot 2,1378)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B = 0,7507$$

$$\begin{aligned} \text{Log } A &= pr - B.qr \\ &= 0,7126 - 0,7507.2,418 \\ A &= 0,0789 \end{aligned}$$

No	X	Y
1	100	2,5031
2	300	5,7102
3	600	9,6080

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Batu Pembakaran

Balok White Sand 100%

N0	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1 ²
1	100	0,1741	2	-0,7592	4
2	300	4,528	2,4771	0,6559	6,1360
3	600	5,224	2,7782	0,7180	17,8544
	N=3	3,3087	7,2553	0,6147	17,8544

Persamaan regresi $Y = A.X^B$

$$Y = 3,3097$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,7110$$

$$B = \frac{(3.2,1011) - (7,2553.2,107)}{(3.17,8544) - (7,2553)^2}$$

$$B = 1,9956$$

Log A = pr - B.qr

$$= 0,2049 - 1,9956.2,418$$

$$A = 0,00002396$$

No	X	Y
1	100	0,2348
2	300	2,20296
3	600	8,3862

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran

Balok Black Sand 100%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	P1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	0,439	2	-0,3575	-0,715	4
2	300	5,579	2,4771	0,7466	1,8494	6,1360
3	600	8,2608	2,7782	0,9170	2,5476	17,8544
	N=3	4,7596	7,2553	1,3061	3,682	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 4,7596$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,4354$$

$$(3 \cdot 3,682) - (7,2553 \cdot 1,3061)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3 \cdot 17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,7002$$

$$\text{Log } A = pr - B \cdot qr$$

$$= 0,4354 - 1,7002 \cdot 2,418$$

$$A = 0,0002111$$

No	X	Y
1	100	0,5307
2	300	3,4363
3	600	11,1661

Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Suhu Pembakaran

Balok White Sand 50% + Black Sand 50%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	P1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	0,858	2	-0,0665	-0,133	4
2	300	6,494	2,4771	0,8092	2,0045	6,1360
3	600	7,792	2,7782	0,8916	2,4770	17,8544
	N=3	5,0313	7,2553	1,6343	4,3485	17,8544

Persamaan regresi $Y = A \cdot X^B$

$$Y = 5,0313$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 0,5448$$

$$(3.4,3485) - (7,2553.1,6343)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,2862$$

$$\text{Log } A = pr - B.qr$$

$$= 0,5448 - 1,2862.2,418$$

$$A = 0,002721$$

No	X	Y
1	100	1,0165
2	300	4,1764
3	600	10,1856

Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran

Balok White Sand 100%

NO	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	10,8972	2	1,0373	2,0746	4
2	300	35,2645	2,4771	1,5473	3,8328	6,1360
3	600	68,5476	2,7782	1,8359	5,1005	17,8544
	N=3	38,2364	7,2553	4,4205	11,0079	17,8544

Persamaan regresi $Y = A.X^B$

$$Y = 38,2364$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 1,4735$$

$$(3.11,0079) - (7,2553.4,4205)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,03009$$

$$\begin{aligned} \text{Log } A &= pr - B.qr \\ &= 1,4735 - 1,03009.2,418 \end{aligned}$$

$$A = 0,0961$$

No	X	Y
1	100	11,0383
2	300	34,2279
3	600	69,8987

Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran

Balok Black Sand 100%

N0	X1	Y1	q1= log X1	P1= log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	12,3696	2	1,0924	2,1848	4
2	300	32,2419	2,4771	1,5084	3,7365	6,1360
3	600	75,1918	2,7782	1,8762	5,2125	17,8544
	N=3	39,9344	7,2553	4,477	11,1338	17,8544

Persamaan regresi $Y = A.X^B$

$$Y = 39,9344$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 1,4923$$

$$(3.11,1338) - (7,2553.4,477)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 0,9953$$

Log A = pr - B.qr

$$= 1,4923 - 0,9953.2,418$$

$$A = 0,1218$$

No	X	Y
1	100	11,9192
2	300	35,5735
3	600	70,9155

Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Terhadap Suhu Pembakaran

Balok White Sand 50% + Black Sand 50%

NO	X1	Y1	q1 = log X1	P1 = log Y1	q1.p1	q1 ²
1	100	9,6569	2	0,9848	1,9696	4
2	300	25,8229	2,4771	1,4120	3,4977	6,1360
3	600	59,5975	2,7782	1,7752	4,9319	17,8544
	N=3	31,6924	7,2553	4,1720	10,3992	17,8544

Persamaan regresi $Y = A.X^B$

$$Y = 31,6924$$

$$qr = 2,418$$

$$pr = 1,3907$$

$$(3.10,3992) - (7,2553.4,172)$$

$$B = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(3.17,8544) - (7,2553)^2$$

$$B = 1,005087$$

$$\text{Log } A = pr - B.qr$$

$$= 1,3907 - 1,005087.2,418$$

$$A = 0,09128$$

No	X	Y
1	100	9,3444
2	300	28,1902
3	600	56,5795

Analisa regresi perubahan volume kubus terhadap suhu pembakaran

Data perubahan volume kubus white sand 100%

X1	0	100	300	600
Y1	0	-0,272	-0,034	-0,2801

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_1^2 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1^3 \\ \sum x_1^2 & \sum x_1^3 & \sum x_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sum y_1 \\ \sum x_1 y_1 \\ \sum x_1^2 y_1 \end{bmatrix}$$

No	X1	Y1	X1 ²	X1 ³	X1 ⁴	X1.Y1	X1 ² .Y1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,272	1	1	1	-27,2	-2720
3	3	0,034	9	27	81	10,2	3060
4	6	-0,3801	36	216	1296	-228,06	-136836
N=4	10	-0.6181	46	244	1387	-245,06	-136496

Dari tabel diatas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 10a_1 + 46a_2 &= -0,0006181 \\ 10a_0 + 46a_1 + 244a_2 &= -0,024506 \\ 46a_0 + 244a_1 + 1387a_2 &= -0,136496 \end{aligned}$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,000303 \\ a_1 &= -0,00079562 \\ a_2 &= 0,0001225 \end{aligned}$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$Y = (0,000303) + (-0,00079562)x + (0,0001225)x^2$$

	Y
0	0,000303
1	-0,265057
3	-0,3265
6	-0,0667

Analisa regresi perubahan volume kubus terhadap suhu pembakaran

Data perubahan volume kubus Black sand 100%

X1	0	100	300	600
Y1	0	-0,0915	-0,06159	-0,0711

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_1^2 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1^3 \\ \sum x_1^2 & \sum x_1^3 & \sum x_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sum y_1 \\ \sum x_1 y_1 \\ \sum x_1^2 y_1 \end{bmatrix}$$

No	X1	Y1	X1 ²	X1 ³	X1 ⁴	X1.Y1	X1 ² .Y1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,000915	1	1	1	-0,000915	-0,000915
3	3	-0,0006159	9	27	81	-0,0018477	-0,0055431
4	6	-0,000711	36	216	1296	-0,004266	-0,025596
N=4	10	-0,0022419	46	244	1387	-0,0070287	-0,0320541

Dari tabel diatas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 10a_1 + 46a_2 &= -0,0022419 \\ 10a_0 + 46a_1 + 244a_2 &= -0,0070287 \\ 46a_0 + 244a_1 + 1387a_2 &= -0,0320541 \end{aligned}$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,000224 \\ a_1 &= -0,0003342 \\ a_2 &= 0,0000434 \end{aligned}$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$Y = (-0,000224) + (-0,0003342)x + (0,0000434)x^2$$

	Y
0	-0,000224
1	-0,05148
3	-0,12266
6	-0,06668

Analisa regresi perubahan volume kubus terhadap suhu pembakaran

Data perubahan volume kubus white sand 50% + Black sand 50%

X1	0	100	300	600
Y1	0	-0,546	-0,1420	-0,3351

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_1^2 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1^3 \\ \sum x_1^2 & \sum x_1^3 & \sum x_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sum y_1 \\ \sum x_1 y_1 \\ \sum x_1^2 y_1 \end{bmatrix}$$

No	X1	Y1	X1 ²	X1 ³	X1 ⁴	X1.Y1	X1 ² .Y1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,00546	1	1	1	-0,00546	-0,00546
3	3	-0,00142	9	27	81	-0,00426	-0,01278
4	6	-0,003351	36	216	1296	-0,020106	-0,120636
N=4	10	-0,010231	46	244	1387	-0,029826	-0,138876

Dari tabel diatas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 10a_1 + 46a_2 &= -0,010231 \\ 10a_0 + 46a_1 + 244a_2 &= -0,029826 \\ 46a_0 + 244a_1 + 1387a_2 &= -0,138876 \end{aligned}$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$a_0 = -0,005379$$

$$a_1 = 0,00073198$$

$$a_2 = 0,000086226$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$Y = (-0,005379) + (-0,0007319)x + (0,000086226)x^2$$

	Y
0	-0,005379
1	-0,00464
3	-0,00311
6	-0,002117

Analisa regresi perubahan volume kubus terhadap suhu pembakaran

Data perubahan volume balok white sand 100%

X1	0	100	300	600
Y1	0	-0,991	-0,472	-1,400

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_1^2 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1^3 \\ \sum x_1^2 & \sum x_1^3 & \sum x_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sum y_1 \\ \sum x_1 y_1 \\ \sum x_1^2 y_1 \end{bmatrix}$$

No	X1	Y1	X1 ²	X1 ³	X1 ⁴	X1.Y1	X1 ² .Y1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,00991	1	1	1	-0,00991	-0,00991
3	3	-0,00472	9	27	81	-0,01416	-0,04248
4	6	-0,01400	36	216	1296	-0,084	-0,504
N=4	10	-0,02863	46	244	1387	-0,10807	-0,55639

Dari tabel diatas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 10a_1 + 46a_2 &= -0,02863 \\ 10a_0 + 46a_1 + 244a_2 &= -0,10807 \\ 46a_0 + 244a_1 + 1387a_2 &= -0,55639 \end{aligned}$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,0030147 \\ a_1 &= -0,0014163 \\ a_2 &= 0,00005235 \end{aligned}$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$Y = (-0,0030147) + (-0,0014163)x + (0,00005235)x^2$$

	Y
0	-0,00030147
1	-0,4483
3	-0,7735
6	-1,33976

Analisa regresi perubahan: volume kubus terhadap suhu pembakaran

Data perubahan volume kubus Black sand sand 100%

X1	0	100	300	600
Y1	0	-1,239	-0,11006	-0,1133

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk

$$\begin{bmatrix} n & \sum x1 & \sum x1^2 \\ \sum x1 & \sum x1^2 & \sum x1^3 \\ \sum x1^2 & \sum x1^3 & \sum x1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a0 \\ a1 \\ a2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sum y1 \\ \sum x1 y1 \\ \sum x1^2 y1 \end{bmatrix}$$

No	X1	Y1	X1 ²	X1 ³	X1 ⁴	X1.Y1	X1 ² .Y1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,01239	1	1	1	-0,01239	-0,01239
3	3	-0,0011006	9	27	81	-0,003302	-0,009905
4	6	-0,001133	36	216	1296	-0,006798	-0,040788
N=4	10	-0,0146236	46	244	1387	-0,02249	-0,063083

Dari tabel diatas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 10a_1 + 46a_2 &= -0,0146236 \\ 10a_0 + 46a_1 + 244a_2 &= -0,02249 \\ 46a_0 + 244a_1 + 1387a_2 &= -0,063083 \end{aligned}$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,09312 \\ a_1 &= -0,02368 \\ a_2 &= -0,003572 \end{aligned}$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$Y = (0,09312) + (-0,02368)x + (-0,003572)x^2$$

	Y
0	0,09312
1	6,58685
3	-1,0068
6	-17,7552

Analisa regresi perubahan volume kubus terhadap suhu pembakaran

Data perubahan volume kubus white sand 50% + Black sand 50%

X1	0	100	300	600
Y1	0	-1,574	-0,5241	-0,70014

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_1^2 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1^3 \\ \sum x_1^2 & \sum x_1^3 & \sum x_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sum y_1 \\ \sum x_1 y_1 \\ \sum x_1^2 y_1 \end{bmatrix}$$

No	X1	Y1	X1 ²	X1 ³	X1 ⁴	X1 Y1	X1 ² Y1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,01574	1	1	1	-0,01574	-0,01574
3	3	-0,005241	9	27	81	-0,015723	-0,047169
4	6	-	36	216	1296	-	-0,252050
		0,0070014				0,0420084	
N=4	10	-0,027982	46	244	1387	-0,073471	-0,31496

Dari tabel diatas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned} 4a_0 + 10a_1 + 46a_2 &= -0,027982 \\ 10a_0 + 46a_1 + 244a_2 &= -0,073471 \\ 46a_0 + 244a_1 + 1387a_2 &= -0,31496 \end{aligned}$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$a_0 = -0,0046386$$

$$a_1 = -0,0032546$$

$$a_2 = 0,00050257$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$Y = (-0,0046386) + (-0,00032546)x + (0,00050257)x^2$$

	Y
0	-0,0046386
1	-0,73906
3	-0,98793
6	-0,607368

DIREKTORAT JENDERAL GEOLOGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
DIREKTORAT VULKANOLOGI
BALAI PENYELIDIKAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KEGUNUNGAPIAN
Jl. Cendana No.15 Telp.(0274)514180-514192, Fax.563630 Yogyakarta 55166

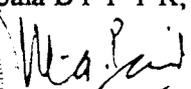
LABORATORIUM KIMIA

Bentuk Conto : Serbuk/Pasir
Pengirim Conto : Sri Hudyati
Asal Conto :
No. Analisa : 07/04/LK/1998

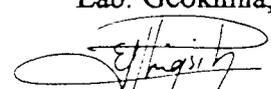
HASIL ANALISIS KIMIA
(Dalam satuan % berat)

Unsur	Pasir hitam (Sidamanik, Jabar)	Pasir putih (Pulau Bangka)
SiO ₂	60,67	98,09
Al ₂ O ₃	14,89	0,46
Fe ₂ O ₃	7,13	0,15
CaO	5,54	0,13
MgO	2,22	0,03
Na ₂ O	3,40	0,05
K ₂ O	1,96	0,06
MnO	0,27	0,00
TiO ₂	0,69	0,28
P ₂ O ₅	0,42	0,00
H ₂ O	0,39	0,01
HD	2,31	0,70

Mengetahui
Kepala B P P T K,


Dr. Ir. Mas Atje Purbawinata
NIP. 100006688

Yogyakarta, 22 Juli 1998
Lab. Geokimia,


Ir. N. Euis Sutaningsih
NIP 100010995





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	HAEDIGORA	89810005		STRUKTUR
2.	SEL HUDIYATI	89810005		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I : : IR. H. MOCH. TEGUH, MSCE
Dosen Pembimbing II : : IR. TAJJUDIN ENA, MSCE

1

2



Yogyakarta,
Dekan, 20 September 1997
An.
Ketua Jurusan Teknik Sipil.

IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE