

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN BAHAN  
TAMBAH LIMBAH KATALIS PENYULINGAN MINYAK  
BUMI



Disusun oleh :

**AGUNG DWI CHANDRA**

No. Mhs : 92310120

NIRM : 920051013114120120

**ZULKARNAIN**

No. Mhs : 92310040

NIRM : 920051013114120040

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

HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

**PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN BAHAN  
TAMBAH LIMBAH KATALIS PENYULINGAN MINYAK  
BUMI**

Disusun oleh :

**AGUNG DWI CHANDRA**

No. Mhs : 92310120

NIRM : 920051013114120120

**ZULKARNAIN**

No. Mhs : 92310040

NIRM : 920051013114120040

TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH :

**IR. H. MOCH. TEGUH, MSCE**  
DOSEN PEMBIMBING I



TANGGAL : 19-9-1998

**IR. FAISOL AM., MS**  
DOSEN PEMBIMBING II



TANGGAL : 19-9-1998

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT, hanya dengan pertolongan dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat sarjana pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tugas akhir ini merupakan study penelitian laboratorium dengan topik "Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Limbah Katalis Penyulingan Minyak Bumi". Penelitian dan pengujian dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Atas segala bantuan yang telah diberikan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan, dalam kesempatan ini kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Widodo, MSc. Phd., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Tajudin, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Univesitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Moch. Teguh, MSCE., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Faisol AM, Ms., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.

5. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE., selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia.
6. Segenap karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia.
7. Ayah, Ibu, Kakak dan Adik-adik tercinta, yang telah banyak memberikan bantuan moril maupun spiritual.
8. Semua pihak yang telah membantu sehingga terselesaikan tugas akhir ini.

Dengan rendah hati tanpa mengurangi tanggung jawab terhadap isi tugas akhir ini, kami menyadari laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu keritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini sangat kami harapkan.

Akhir kata kami berharap mudah-mudahan hasil penelitian dapat bermanfaat bagi siapa saja yang memerlukan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 1998

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
INTISARI .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pokok Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan masalah .....	4
1.6 Metode Penelitian .....	5
BAB II LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Umum .....	7

	2.2 Beton .....	8
	2.2.1 Sifat-sifat Beton .....	8
	2.2.2 Kuat Desak Beton.....	12
	2.2.3 Pengujian Slump.....	19
	2.2.4 Bahan Pembentuk beton. ....	20
	2.2.5 Kajian Limbah Katalis .....	32
	2.2.6 Metode Perancangan Campuran Beton .....	36
BAB	III PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN .....	44
	3.1 Persiapan Bahan dan Peralatan .....	44
	3.1.1 Bahan Penelitian .....	44
	3.1.2 Peralatan Penelitian .....	45
	3.2 Pemeriksaan Bahan .....	45
	3.1.1 Pemeriksaan Modulus Halus Butir (MHB).....	45
	3.1.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Berat Satuan.....	47
	3.3 Perhitungan Campuran Beton .....	48
	3.4 Pembuatan dan Rawatan Benda uji .....	52
	3.5 Pengujian Kuat Desak Beton.....	53
	3.6 Hasil Pengujian .....	54
	3.5.1 Hasil Pengujian Slump .....	54
	3.5.2 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton .....	54
BAB	IV ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN .....	65

4.1 Analisis Nilai Slump .....	65
4.2 Analisis Kuat Desak Beton .....	67
4.3 Pembahasan .....	88
4.3.1 Nilai Slump Terhadap Penambahan Limbah Katalis...	88
4.3.2 Kuat Desak Beton Terhadap Penambahan Limbah Katalis .....	89
4.3.3 Perbandingan Prosentase Kuat Desak Beton .....	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	97
5.1 Kesimpulan .....	97
5.2 Saran-saran .....	98
DAFTAR PUSTAKA.....	99
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai deviasi standard .....	37
Tabel 2.2	Nilai k untuk beberapa keadaan .....	37
Tabel 2.3	Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari .....	38
Tabel 2.4	Faktor air semen maksimum .....	39
Tabel 2.5	Nilai slump .....	40
Tabel 2.6	Ukuran maksimum agregat .....	40
Tabel 2.7	Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump .....	41
Tabel 2.8	Perkiraan kebutuhan kerikil per meter kubik beton, berdasarkan ukuran agregat dan mhb pasir, pada berat jenis kerikil ( $m^3$ ).....	42
Tabel 3.1	Perhitungan modulus halus butir (mhb) pasir .....	46
Tabel 3.2	Perbandingan bahan campuran .....	51
Tabel 3.3	Nilai slump terhadap prosentase penambahan limbah katalis .....	54
Tabel 3.4	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 0%.....	55
Tabel 3.5	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 0,5%.....	56
Tabel 3.6	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 1%.....	57
Tabel 3.7	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 1,5%.....	58

Tabel 3.8	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 2%.....	59
Tabel 3.9	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 5%.....	60
Tabel 3.10	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 10%.....	61
Tabel 3.11	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 15%.....	62
Tabel 3.12	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 20%.....	63
Tabel 3.13	Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 25%.....	64
Tabel 4.1	Nilai slump rerata untuk berbagai prosentase penambahan limbah katalis.....	65
Tabel 4.2	Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur beton .....	67
Tabel 4.3	Kuat desak rata-rata untuk berbagai prosentase limbah katalis umur 7 hari .....	70
Tabel 4.4	Kuat desak rata-rata untuk berbagai prosentase limbah katalis umur 28 hari .....	75
Tabel 4.5	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 0% .....	78
Tabel 4.6	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 0,5%.....	79
Tabel 4.7	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 1%.....	80
Tabel 4.8	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 1,5%.....	81

Tabel 4.9	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 2% .....	82
Tabel 4.10	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 5% .....	83
Tabel 4.11	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 10% .....	84
Tabel 4.12	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 15% .....	85
Tabel 4.13	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 20% .....	86
Tabel 4.14	Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 25% .....	87
Tabel 4.15	Kuat desak beton rata-rata pada umur 7 hari .....	90
Tabel 4.16	Kuat desak beton rata-rata pada umur 28 hari .....	90
Tabel 4.17	Kuat desak karakteristik beton pada umur 28 hari .....	91
Tabel 4.18	Prosentase kuat desak beton pada umur 7 hari terhadap beton umur 28 hari .....	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan kuat desak beton dengan faktor air semen .....	14
Gambar 2.2	Pengaruh fas terhadap laju kenaikan kuat desak beton .....	14
Gambar 2.3	Pengaruh suhu terhadap laju kenaikan kuat desak beton .....	15
Gambar 2.4	Kuat desak beton untuk berbagai jenis semen .....	16
Gambar 2.5	Pengaruh jumlah semen terhadap kuat desak pada nilai slump yang sama .....	17
Gambar 2.6	Pengaruh jenis agregat terhadap kuat desak beton .....	18
Gambar 2.7	Grafik hubungan antara faktor k dan bagian hasil pemeriksaan yang diperkirakan di bawah kekuatan desak minimum .....	38
Gambar 4.1	Grafik hubungan nilai slump dengan prosentase limbah katalis ..	66
Gambar 4.2	Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata terhadap umur beton .....	92
Gambar 4.3	Grafik hubungan kuat desak karakteristik beton terhadap prosentase limbah katalis .....	92
Gambar 4.4	Grafik hubungan kuat desak beton umur 7 hari dan 28 hari dengan prosentase limbah katalis.....	96

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1a	Tabel data hasil pengujian kuat desak dan berat satuan beton
Lampiran 2a	Analisa regresi dan korelasi hubungan kuat desak beton dengan prosentase limbah katalis pada umur 7 hari .....
Lampiran 2b	Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata dengan prosentase limbah katalis pada umur 7 hari .....
Lampiran 3a	Analisa regresi dan korelasi hubungan kuat desak beton dengan prosentase limbah katalis pada umur 28 hari .....
Lampiran 3b	Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata dengan prosentase limbah katalis pada umur 28 hari .....

## INTISARI

Katalis merupakan zat kimia yang dipakai untuk mempercepat proses terjadi minyak pada kilang minyak bumi. Tetapi jika katalis tersebut dipakai terus menerus akan mengalami kejenuhan sehingga tidak dapat dipakai kembali untuk proses selanjutnya. Limbah katalis ini dibuang atau ditimbun di sekitar lokasi. Limbah ini dihasilkan setiap hari berkisar antara 15-20 ton. Namun demikian secara psikologi bahan tersebut tampak sangat mengotori lingkungan, sehingga perlu penyelesaian lanjut mengenai dampaknya. Dalam penelitian ini limbah katalis dipakai sebagai salah satu alternatif penggunaan bahan-tambah, hal ini karena limbah tersebut mengandung unsur-unsur yang sama dengan unsur-unsur pembentuk semen yaitu oksida silika serta alumina. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa penambahan limbah katalis berpengaruh terhadap kuat desak beton. Pada penambahan limbah katalis 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% kedalam adukan beton, akan meningkatkan kuat desak beton. Pada penambahan 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% akan menurunkan kuat desak beton, sedangkan penambahan limbah katalis 1,5%, didapat kuat desak maksimum. Dari kenyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah katalis 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% akan meningkatkan kuat desak beton tetapi penambahan limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% akan menurunkan kuat desak beton.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

✓ Pada dekade sekarang ini, pembangunan di segala bidang berkembang sangat pesat terutama pembangunan fisik. Seiring dengan semakin maraknya pembangunan fisik ini, akan meningkatkan kebutuhan bahan-bahan bangunan, sehingga alternatif penggunaan bahan-tambah pada beton akan lebih menghemat penggunaan bahan bangunan, khususnya semen. Penggunaan bahan-tambah pada beton dilakukan untuk memperoleh mutu beton yang memenuhi standar/persyaratan yang berlaku dengan biaya yang relatif murah.

Beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan dan merupakan salah satu unsur struktur yang sangat penting. Hampir setiap bangunan menggunakan beton sebagai struktur utama dikarenakan bahan tersebut mudah didapat, mudah dibuat serta murah harganya. Beton adalah suatu komposisi yang terbentuk dari empat bahan pokok, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Selain empat bahan pokok pembentuk beton tersebut dipakai juga suatu bahan-tambah (*admixture*) untuk mengubah sifat-sifat beton sesuai dengan yang diinginkan seperti pengerjaan yang lebih mudah, proses pengerasan yang lebih cepat, meningkatkan mutu beton dan sebagainya. Pada penelitian ini dicoba menggunakan suatu bahan-

tambah limbah katalis dari penyulingan minyak bumi sebagai salah satu alternatif untuk menghemat penggunaan bahan bangunan khususnya semen, ini dikarenakan adanya kesamaan unsur-unsur limbah katalis dengan unsur-unsur pembentuk semen. Dengan adanya kesamaan unsur-unsur tersebut dimungkinkan dapat meningkatkan kuat desak beton.

Usaha di bidang industri minyak sekarang ini juga mengalami peningkatan. Setiap industri minyak selalu menggunakan katalis untuk mempercepat terjadi minyak tetapi jika katalis tersebut dipakai terus-menerus akan mengalami kejenuhan sehingga tidak dapat dipakai untuk proses selanjutnya. Limbah katalis ini dibuang atau ditimbun disekitar lokasi. Limbah katalis ini dihasilkan setiap hari berkisar antara 15-20 ton. Untuk itu pemanfaatan limbah katalis sebagai bahan-tambah pada beton merupakan salah satu alternatif penyelesaian. Dengan demikian jika limbah ini ditangani secara serius untuk bahan-tambah beton akan mendatangkan keuntungan.

Data ( *limbah katalis* ) penelitian ini diambil dari "KILANG BBM PERTAMINA UNIT PENGOLAHAN VI BALONGAN" pada bagian unit RCC ( *Residue Catalis Cracker* ). Katalis yang dipergunakan untuk RCC tersebut, merupakan zeolites kristalin dengan struktur reguler dan mengandung unsur-unsur oxida silika serta alumina. Unsur-unsur yang terkandung dalam limbah katalis juga merupakan unsur-unsur pembentuk semen, sehingga dapat dipakai sebagai bahan-tambah untuk adukan beton. Dengan kesamaan unsur-unsur tersebut dengan unsur-unsur penyusun semen dimungkinkan terjadi penurunan faktor air semen ( *f<sub>as</sub>* ) dan peningkatan kuat desak beton tersebut. Menurut hasil penelitian yang dilakukan di

Amerika dan Australia, limbah katalis bekas yang dihasilkan oleh RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dan hasil pengukuran PH menjelaskan, katalis bekas mengandung 3,96-4,80 sehingga tidak bersifat korosif, Oleh karena limbah katalis tersebut tidak berbahaya dan dalam jumlah yang cukup, maka dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran adukan beton.

Untuk itu diperlukan penelitian dengan bahan-tambah limbah katalis penyulingan minyak bumi. Dengan penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan mutu beton sebagai bahan konstruksi beton yang memenuhi persyaratan yang berlaku.

## **1.2 Pokok Masalah**

1. Adakah pengaruh penambahan limbah katalis pada adukan beton akan menurunkan fas tetapi menaikkan kuat desak beton.
2. Berapa perbandingan penambahan limbah katalis agar dapat menaikkan kuat desak beton.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. mengetahui penambahan limbah katalis pada adukan beton terhadap kuat desak beton optimum.
2. mengetahui perbandingan yang tepat terhadap campuran adukan beton dengan limbah katalis.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini antara lain :

1. penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu teknologi beton, khususnya mengenai bahan-tambah,
2. dengan menambahkan bahan-tambah limbah katalis dari penyulingan minyak bumi, diharapkan acuan beton dapat dibuka lebih cepat dan dapat meningkatkan kuat desak beton, hal ini akan menguntungkan bagi pengusaha jasa konstruksi karena akan menghemat waktu dan biaya produksi.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat terarah sesuai dengan maksudnya, maka permasalahannya perlu dibatasi sebagai berikut ini.

1. Pengujian kuat tekan beton dengan bahan-tambah limbah katalis dan membandingkannya dengan kuat tekan beton tanpa bahan-tambah limbah katalis.
2. Pengujian kuat tekan beton ini menggunakan kuat beton mutu  $f_c' = 22,5$  Mpa
3. Penggunaan limbah katalis sebagai bahan-tambah pada campuran beton dibatasi dengan perbandingan volume 0% s/d 25% dengan interval 5%.
4. Penelitian ini hanya meninjau pengaruh limbah katalis terhadap kuat tekan beton, tanpa memperhitungkan keawetannya.
5. Menggunakan semen Portland Tipe I, dengan merk Gresik.

6. Menggunakan pasir dan kerikil dari Kali Progo.
7. Menggunakan limbah katalis (bubuk) dari penyulingan minyak bumi di Balongan.
8. Menggunakan air dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia di Jalan Kaliurang KM 14,4 Yogyakarta.

### **1.6 Metodologi Penelitian**

Dalam suatu penelitian agar pelaksanaan penelitian dan tujuan yang diinginkan dapat berjalan dengan sistematis dan lancar, maka harus digunakan suatu metode penelitian. Metode penelitian yang digunakan disesuaikan dengan prosedur, alat dan jenis penelitian.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Tahap perumusan masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan serta pembatasan permasalahan.

2. Tahap perumusan teori

Pada tahap ini dilakukan perumusan tinjauan pustaka dan landasan teori, terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan ukuran dalam penelitian. Dari tinjauan pustaka dan landasan teori tersebut, disusun hipotesis terhadap pokok penelitian.

3. Tahap pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian disesuaikan dengan jenis penelitian dan hasil yang ingin didapat. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut.

- a. Penelitian terhadap bahan dasar pembentuk beton, yaitu agregat kasar (split) dan agregat halus (pasir) untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut.
  - b. Perhitungan rencana campuran beton berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian bahan di atas.
  - c. Pelaksanaan pembuatan benda uji silinder beton, urutan pelaksanaan pekerjaan tersebut meliputi menyiapkan alat dan bahan, pencampuran adukan beton, pengujian nilai slump, pencetakan, rawatan dan pengujian kuat desak beton.
4. Tahap analisis dan pembahasan
- Analisis dilakukan terhadap hasil pengujian laboratorium, hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan hipotesis, kemudian dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian yang ditinjau berdasarkan teori yang melandasi.
5. Tahap kesimpulan
- Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dapat diambil kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab pemecahan terhadap permasalahan

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Umum**

Bahan campuran tambahan ( *admixture* ) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan kedalam campuran beton sesaat atau selam pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Bahan tambah ditambahkan kedalam campuran beton untuk mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan ( Nawy, 1990 ).

Bahan kimia tambahan ( *chemical admixture* ) ialah bahan tambah yang dicampurkan ke dalam adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang sedikit berbeda pada beton segar atau beton yang dihasilkan, sebagai contoh sifat pengerjaan yang lebih mudah, sifat pengikatan yang lebih cepat, laju kenaikan kekuatan yang lebih cepat. Sebelum bahan kimia tambah dipakai, sebaiknya dibuktikan dulu dengan percobaan laboratorium untuk memastikan manfaat dari bahan tambah tersebut.

Bahan untuk mempercepat pengerasan ( *accelerator* ), berfungsi untuk mempercepat pengerasan beton dan mempercepat peningkatan kuat beton.

Penggunaan bahan pemercepat ini, memungkinkan pelepasan acuan lebih awal dan berkonsekuensi mengurangi biaya, karena produksi akan lebih cepat. Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai pemercepat pengerasan beton adalah kalsium klorida, alumunium klorida dan bahan kimia yang berintikan karbonat, silikat, alumunium dan silico flurides. Dalam pemilihan dan pemakaian bahan kimia tersebut perlu diperhatikan masalah yang dapat mempengaruhi kekuatan beton, misalnya korosi pada tulangan didalam beton, ketahanan terhadap agresi sulfat dan sifat sensitif pada komposisi kimia dari semen ( Murdock dan Brook, 1986 ).

Bahan tambah seharusnya hanya berguna kalau sudah ada evaluasi yang teliti tentang pengaruhnya pada beton, khususnya dalam kondisi dimana beton diharapkan akan digunakan. Dalam hal-hal yang meragukan terutama untuk pekerjaan-pekerjaan khusus, perlu diadakan pemeriksaan pada contoh-contoh yang mewakili, agar diperoleh informasi yang dapat dipercaya. Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, dan pengawasan yang ketat harus diberikan agar tidak berlebihan yang justru akan memperburuk sifat beton. Sifat-sifat yang diperbaiki itu antara lain kecepatan hidrasi atau waktu ikat, kemudahan pengerjaan, dan kedekatan terhadap air.

## **2.2 Beton**

### **2.2.1 Sifat-sifat Beton**

Sifat-sifat beton dapat dipengaruhi oleh proporsi campuran, kualitas bahan, cara pelaksanaan dan perawatan beton. Sifat-sifat beton dapat ditinjau dalam dua keadaan, yaitu : sifat beton sebelum dan sesudah mengeras.

## 1. Sifat Beton Sebelum Mengeras

Sifat beton yang baru selesai dicampur dan proses pengikatannya belum dimulai biasanya ditinjau dari sifat mudah dikerjakan. Maksud sifat mudah dikerjakan sekurang-kurangnya mempunyai 3 sifat, yaitu sebagai berikut ini.

- a. Kompaktibilitas, yaitu kemudahan beton untuk dipadatkan dengan baik dan rongga-rongga udara dapat dikeluarkan.
- b. Mobilitas, yaitu kemudahan beton untuk dapat mengalir kedalam cetakan dan disekitar tulangan.
- c. Stabilitas, yaitu kemudahan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, stabil selama penuangan dan pepadatan tanpa terjadi pemisahan (*segresi*) butiran dari bahan utamanya.

Sifat kemudahan pengerjaan beton segar dipengaruhi oleh beberapa faktor, sebagai berikut ini.

- 1) Jumlah relatif dari pasta dan agregatnya, semakin banyak pasta dalam campuran, gradasi dari agregat semakin tidak penting karena tempat kosong diantara butiran agregat dapat dipenuhi oleh pasta semen. Jika jumlah pasta semen dikurangi, maka jumlah pasta semen tidak mencukupi untuk menempati rongga-rongga diantara butiran agregat sehingga campuran akan tampak kasar dan sukar dikerjakan.
- 2) Plastisitas adukan beton sangat tergantung pada perbandingan jumlah semen dan air, alasannya bila pada campuran kadar air ditambah sedang kadar semen tetap, maka pasta semen akan sulit untuk mengadakan pengikatan dengan agregat yang

menyebabkan terjadi pemisahan bahan. Sedangkan bila campuran kekurangan air, maka reaksi kimia (*hidrasi*) semen tidak berjalan sempurna dan adukan sulit untuk dipadatkan. Oleh sebab itu dalam perencanaan adukan beton harus ditetapkan kadar semen minimum dan faktor air semen maksimum.

- 3) Plastisitas adukan dipengaruhi oleh gradasi agregat, karena jumlah pasta semen yang diperlukan untuk mengisi tempat di sekitar agregat dengan baik akan dipenuhi. Gradasi yang kurang baik akan menghambat gerakan butiran agregat.

Secara keseluruhan arti workabilitas adalah sifat beton segar yang menentukan sifat pengerjaan dengan kehilangan keseragaman seminimal mungkin. Beton yang mudah dikerjakan adalah beton yang saat dicetak tetap plastis, kohesif, tidak keropos dan mempunyai konsistensi yang baik.

Selain itu yang perlu diperhatikan dalam menentukan tingkat workabilitas adalah kemungkinan terjadi hal-hal sebagai berikut.

- a) Segresi adalah pemisahan dari berbagai butiran campuran beton segar, yang disebabkan oleh penggunaan air pencampur terlalu banyak dan penggetaran terlalu lama. Komponen penyusun beton cenderung untuk memisahkan diri karena akan terjadi pengendapan pada partikel yang berat dan partikel yang ringan akan menuju ke permukaan adukan.
- b) *Bleeding* adalah peristiwa keluarnya air ke permukaan beton setelah dipadatkan tetapi belum mengeras, hal ini terjadi karena pencampuran air terlalu banyak. Kondisi *bleeding* dapat terlihat langsung pada permukaan beton.

## 2. Sifat Beton Setelah Mengeras

Beton dalam keadaan yang telah mengeras, mempunyai sifat-sifat diantaranya sebagai berikut ini.

### a. Kekuatan ( *strenght* )

Sifat kekuatan beton setelah mengeras, meliputi kekuatan desak, kekuatan tarik dan kekuatan geser. Beton mempunyai kuat desak yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan lain. Besar kuat tarik beton berkisar 10%-15% dari kuat desaknya sedang kuat geser sekitar 20% dari kuat desak. Berdasarkan kondisi tersebut maka dalam perencanaan, beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya desak. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat desak beton adalah :

- 1) mutu bahan ( semen, agregat dan air ),
- 2) proporsi campuran,
- 3) pelaksanaan,
- 4) rawatan.

### b. Daya tahan ( *durability* )

Beton dikatakan mempunyai daya tahan yang baik apabila dapat bertahan pada kondisi tertentu tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Kondisi yang dapat mengurangi daya tahan beton dapat disebabkan oleh faktor dari luar dan dari dalam beton itu sendiri. Faktor dari luar misalnya cuaca, temperatur dan zat-zat reaktif dari alam maupun dari industri. Sedangkan faktor dari dalam adalah akibat reaksi antara penyusun beton dengan senyawa alkali dan permeabilitas.

### c. Rangkak (*Creep*)

Rangkak adalah perubahan bentuk yang tidak elastis akibat dari pembebanan. Rangkak merupakan sifat dari beberapa material yang akan mengalami deformasi untuk jangka waktu yang panjang pada tegangan atau pembebanan konstan. Akibat dari rangkak adalah dapat menambah defleksi pada konstruksi. Rangkak dapat diakibatkan karena bahan penyusun beton yang tidak homogen, sehingga kadar beton masih tersisa adanya pori-pori dan pori-pori tersebut akan menutup apabila terjadi pembebanan pada beton. Deformasi yang terjadi pada beton besarnya sebanding dengan besarnya tegangan yang bekerja ( untuk harga tegangan tertentu ). Beton yang berkualitas tinggi akan menunjukkan proses rangkak yang lebih kecil dibandingkan dengan beton yang berkekuatan tinggi.

### 2.2.2 Kuat Desak Beton

Sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat desak lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat desak saja. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat desak beton antara lain yaitu : faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat.

#### 1. Faktor Air Semen :

Faktor air semen adalah angka yang menyatakan perbandingan berat air dengan berat semen. Teori faktor air semen menyatakan bahwa untuk suatu kombinasi bahan yang sudah memenuhi konsistensi untuk dikerjakan , kekuatan

beton pada umur tertentu tergantung kepada perbandingan berat air dan berat semen dalam campuran beton. Dengan perkataan lain jika angka perbandingan air terhadap semen sudah tertentu, maka kekuatan beton yang direncanakan pada umur tertentu pada dasarnya dapat diperoleh dengan syarat bahwa campuran tersebut dapat dikerjakan, agregat baik, tahan lama dan bebas dari material yang merugikan.

Hubungan antara faktor air semen dengan kuat desak beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan oleh Duff Abrams ( 1919 ), sebagai berikut.

$$f_c = \frac{A}{B^{1.5x}}$$

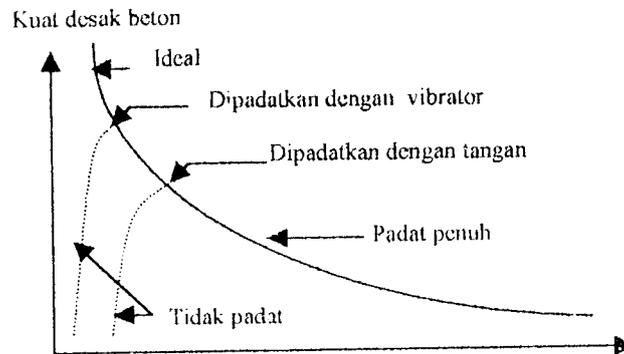
Dengan :

$f_c$  = kuat desak beton,

$x$  = fas ( yang semula dalam proporsi volume ),

A,B = konstanta.

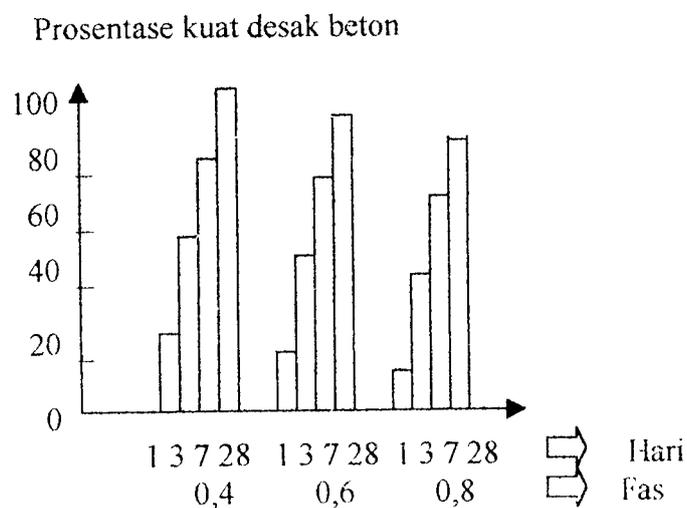
Dari rumus diatas dan gambar 2.1 maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar faktor air semen semakin rendah kuat desak beton dan semakin rendah faktor air semen kuat desak semakin tinggi. Walaupun semakin rendah faktor air semen kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi dibawah fas tertentu ( sekitar 0,40 ) kuat desak beton akan rendah, hal ini terjadi karena kesulitan dalam pemadatan aduka beton sehingga beton menjadi kurang padat.



Gambar 2.1 Hubungan kuat desak beton dengan faktor air semen

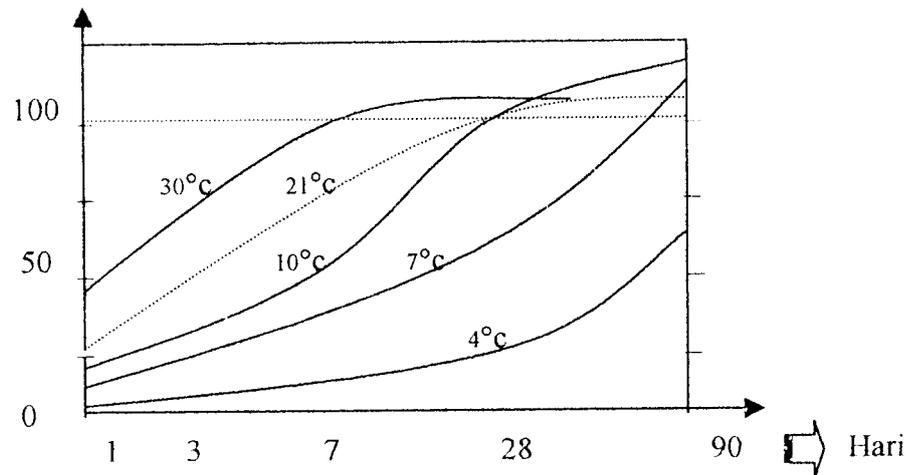
## 2. Umur Beton

Kuat desak beton bertambah sesuai dengan bertambah umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi faktor air semen semakin rendah kekuatan beton dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya, seperti pada gambar 2.2 dan gambar 2.3.



Gambar 2.2 Pengaruh fas terhadap laju kenaikan kuat desak beton

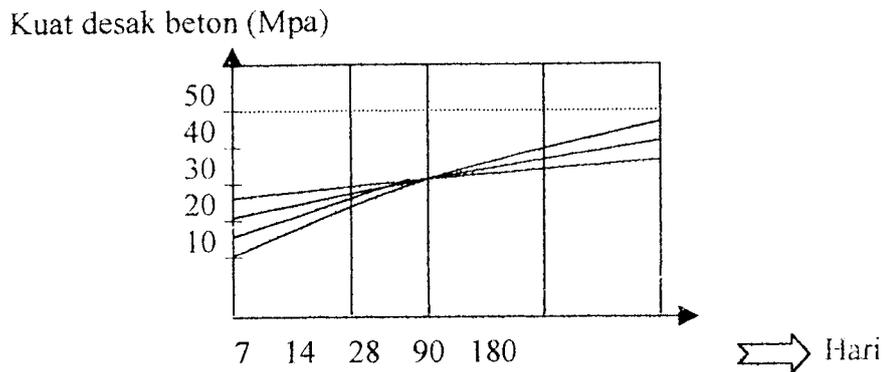
Prosentase kuat desak beton



Gambar 2.3 Pengaruh suhu pada laju kenaikan kuat desak beton

### 3. Jenis Semen

Beberapa macam jenis semen telah dijelaskan pada bagian awal, yaitu meliputi semen jenis I, II, III, dan jenis IV. Kecepatan penambahan kekuatan semen dan beton, tergantung dari senyawa yang terkandung dalam jenis semen dan penggunaan jenis semen dipengaruhi oleh tujuan konstruksi beton yang akan dipakai. Hubungan kuat desak beton dengan jenis semen, lihat gambar 2.4.



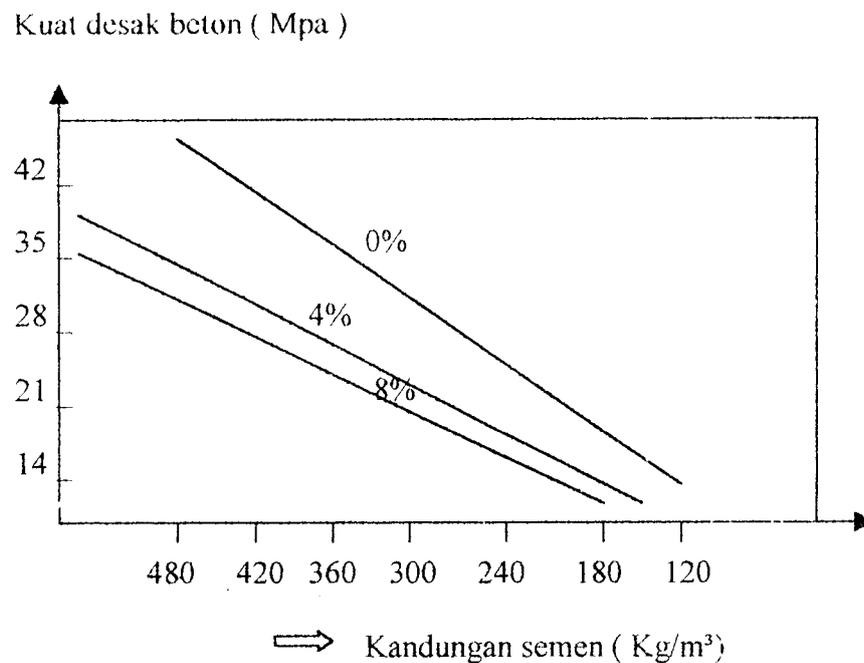
Gambar 2.4 Kuat desak beton untuk berbagai jenis semen

#### 4. Jumlah Semen

Jika faktor air semen sama, beton dengan kandungan semen lebih sedikit mempunyai kekuatan yang lebih sedikit karena dengan jumlah semen lebih sedikit berarti jumlah air juga sedikit, pastinya juga sedikit. Ini berarti kandungan pori lebih sedikit daripada beton dengan kandungan semen banyak. Jika faktor air semen sama dengan kandungan semen lebih sedikit maka akan terjadi adukan yang kental sehingga pengadukan lebih sulit.

Apabila nilai slump sama, ( nilai faktor air semen berubah ) beton akan mempunyai kekuatan lebih tinggi jika kandungan semen lebih banyak. Hal ini karena nilai slump banyak ditentukan oleh jumlah air dalam adukan, sehingga variasi hanya terjadi pada jumlah semen dan agregat saja. Jika jumlah semen banyak maka akan mengurangi nilai faktor air semen, berarti penambahan kekuatan beton. Untuk kondisi seperti ini jumlah semen per meter kubik beton mempengaruhi kekuatan

beton. Pengaruh jumlah semen terhadap kuat desak pada nilai slump sama, lihat gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pengaruh jumlah semen terhadap kuat desak pada nilai slump sama

### 5. Sifat Agregat

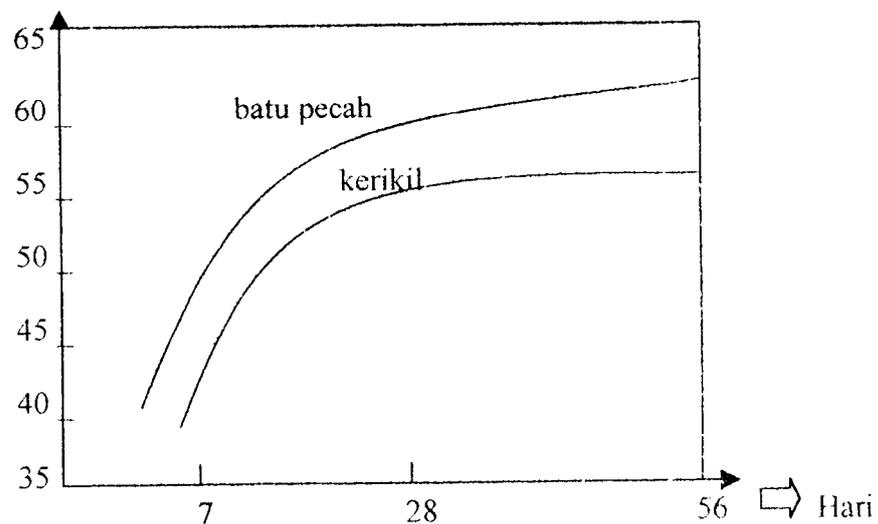
Sifat agregat akan mempengaruhi kekuatan beton, agar kekuatan beton tinggi diperlukan agregat yang kuat yang melebihi kekuatan pastanya. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya.

Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Pengaruh ini

akan berkurang jika adukan beton didasarkan pada nilai slump yang sangat besar, karena agregat permukaan yang halus memerlukan air yang sedikit.

Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai akan berakibat semakin tinggi kekuatan betonnya. Hal ini karena pada pemakaian butiran agregat besar, menyebabkan pemakaian pasta yang lebih sedikit berarti pori sedikit pula. Namun karena butir-butiran besar mengakibatkan luas permukaan lebih sempit, dan ini berakibat lekatan antara pasta semen dan agregat kurang kuat. Selain itu karena butiran besar menghalangi susut pasta, dan ini mengakibatkan terjadi retak-retak kecil pada pasta disekitar butiran. Kedua hal terakhir ini memperlemah kekuatan beton. Hubungan antara jenis agregat terhadap kuat desak beton dapat dilihat pada gambar 2.6 .

Kuat desak beton ( Mpa )



Gambar 2.6 pengaruh jenis agregat terhadap kuat desak beton

### 2.2.3 Pengujian Slump

Pengujian slump adalah suatu cara untuk mengukur kelecakan adukan beton segar, yaitu tingkat kecairan atau kepadatan adukan beton yang berguna dalam pengerjaan beton.

Jumlah air dalam campuran mempengaruhi kekuatan dan kemudahan pengerjaan beton. Pada dasarnya pengujian slump di lapangan tujuannya adalah untuk menghasilkan beton yang seragam, untuk mempertahankan faktor air semen yang tetap, dan untuk menentukan jumlah air dalam campuran.

Alat-alat yang dipergunakan dalam pengujian slump sebagai berikut:

1. sebuah corong kerucut baja dengan diameter lubang atas 10 cm, diameter lubang bawah 20 cm dan tinggi 30 cm,
2. tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm, pada bagian ujung baja dibulatkan.

Cara pelaksanaan pengujian slump, sebagai berikut ini. Mula-mula corong kerucut diletakkan diatas tempat yang rata dan tidak menghisap air, dengan posisi diameter yang besar dibawah dan diameter yang kecil diatas. Adukan beton dimasukan kedalam corong tersebut dengan hati-hati dan corong dipegang agar tidak bergerak. Kerucut diisi dengan adukan beton dalam tiga lapisan yang kira-kira sebanyak sepertiga volume corong, setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat baja, lalu permukaan adukan beton diratakan sama dengan permukaan corong. Setelah selesai didiamkan selama 60 detik, kemudian corong kerucut ditarik

vertikal keatas dengan hati-hati, ukurlah penurunan permukaan atas adukan beton setelah corong ditarik. Besar penurunan adukan beton tersebut disebut nilai slump.

#### **2.2.4 Bahan pembentuk beton**

Beton adalah suatu komposisi yang terbentuk dari empat bahan pokok, yaitu : semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah ( *admixture* ) untuk mengubah sifat-sifat beton sesuai dengan yang diinginkan.

Material tersebut diaduk dengan rata sampai bersifat palstis, kemudian dituangkan kedalam cetakan dan dibiarkan beberapa jam hingga mengeras. Pengerasan tersebut terjadi oleh peristiwa reaksi kimia antara air dan semen, dan ini hal ini berjalan selama waktu yang panjang, dan mengakibatkan campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya. Beton yang sudah mengeras dapat dianggap sebagai batu tiruan.

Kekuatan, keawetan dan sifat beton lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasar pembentuknya, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan , dan cara perawatan selama proses pengerasan.

Ditinjau dari fungsinya, material pembentuk beton mempunyai fungsi yakni, semen dan air membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai perekat, kemudian pasta semen bersama agregat halus ( *pasir* ) membentuk mortar untuk mengikat agregat kasar ( *kerikil* ) menjadi satu kesatuan yang kompak. Fungsi dari bahan tambah adalah untuk mempengaruhi perilaku semen dalam adukan beton, baik

sebagai pengendali waktu pengikatan, mereduksi air, membentuk gelembung udara atau menambah kekuatan dalam mengadakan ikatan.

## 1. Semen

secara umum semen dapat dikatakan sebagai material sangat halus yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif dan dapat mengikat butiran-butiran agregat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen yang dipakai didalam pembuatan beton dapat terbentuk dan mengeras dalam air melalui reaksi kimia, sehingga disebut semen hidrolis.

Semen portland merupakan semen hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung kapur, silika, alumina dan kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah yang dibakar dengan suhu 1550 °C.

Nama *portland semen* diusulkan oleh Joseph Asphin pada tahun 1842. Nama itu diusulkan karena berbentuk bubuk yang dicampur dengan air, pasir dan batubatuan yang ada di pulau portland, Inggris. Pertama kali semen portland diproduksi ( dengan pabrik ) di Amerika Serikat oleh David saylor di kota Coplay, Pennsylvania, pada tahun 1875.

Semen portland dibuat dengan melalui beberapa langkah, sehingga sangat halus dan memiliki sifat adhesif dan kohesif. Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan suatu campuran yang mengandung kalsium karbonat atau batu

gamping dan yang mengandung alumina dengan perbandingan tertentu. Setelah itu dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Biasanya ditambahkan gips atau kalsium sulfat sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan.

Reaksi kimia antara semen portland dengan air menghasilkan senyawa-senyawa yang disertai dengan pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan kecenderungan retak pada beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi dua yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis keadaan keras, sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah proses pengikatan selesai.

Semen portland sebagai penyusun beton mempunyai sifat sebagai berikut ini,

a. Susunan kimia

Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan terjadinya proses ikatan dan pengerasan. Ada empat oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu, sebagai berikut.

1) Trikalsium silikat,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (C3S)

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen umumnya yaitu apabila ditambah dengan air senyawa ini akan mengeras dalam beberapa jam, dengan melepaskan panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan

pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umumnya, terutama dalam 14 hari pertama.

2) Dikalsium silikat,  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (C2S)

Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, yang terjadi dari 14 sampai 28 hari dan seterusnya. Proporsi yang banyak dalam semen akan menyebabkan semen mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap agresi kimia yang relatif tinggi dan penyusutan kering yang relatif rendah.

3) Trikalsium Aluminat,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (C3A)

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai dengan pelepasan panas yang besar, menyebabkan pengerasan awal tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas, kurang ketahanan terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan sangat besar untuk retak oleh perubahan volume.

4) Tetrakalsium Aluminoforit,  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (C4AF)

Senyawa ini tidak tampak berpengaruh terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lain.

b. Hidrasi semen

Bilamana semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah keluar dan kedalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap dibagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut

berlangsung lambat, antara 2 – 5 jam ( yang disebut periode induksi atau tak aktif ) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah. Pada tahap hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel ( suatu butiran sangat halus hasil hidrasi yang memiliki luas permukaan amat besar ) dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$ , air dan beberapa senyawa lain.

c. Kekuatan pasta semen dan faktor air semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25% dari berat semen, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air yang berlebihan memang akan memudahkan pencampuran beton secara baik, memudahkan pengadukan dan dapat dicetak tanpa rongga yang besar ( tidak keropos ). Akan tetapi, hendaknya selalu diusahakan jumlah air sedikit mungkin agar kekuatan beton tidak terlalu rendah.

d. Sifat fisik semen

Sifat fisik semen antara lain kehalusan butiran, waktu ikat dan berat jenis semen. kehalusan butiran semen akan meningkatkan daya kohesi pada beton segar dan mengurangi *bleeding*, tetapi akan mempunyai sifat susut yang lebih besar dan retak mudah terjadi. Waktu ikat semen dan air dipengaruhi oleh jumlah air, kehalusan semen, temperatur dan penambahan zat kimia tertentu.

Waktu ikat ini penting sebagai pertimbangan waktu pengangkutan, penuangan, pemadatan dan perataan muka. Berat jenis semen berkisar pada 3,15. Berat jenis bukan merupakan petunjuk dari kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam hitungan perbandingan campuran saja.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia menurut PUBLI 1982, dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut.

Jenis I : semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Jenis II : semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jenis III: semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

Jenis IV: semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.

Jenis V : semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

## **2. Agregat**

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume

beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton karena sangat berpengaruh terhadap sifat dan mutu beton.

Sifat-sifat yang paling penting dari suatu agregat adalah kekeuatan hancur, dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatan dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap perubahan musim, agresi zat kimia dan penyusutan.

Maksud dari penggunaan agregat dalam adukan beton adalah menghasilkan kuat desak yang besar pada beton, mengurangi susut pengerasan pada beton, mencapai susunan pampat betonya dengan gradasi yang baik dari butira itu, memberikan kekerasan sehingga mampu menahan beban, goresan dan cuaca. Penggunaan agregat juga ditunjukkan untuk mengontrol sifat dapat dikerjakan (*workability*) adukan beton plastis dengan gradasi baik dan menurunkan nilai ekonomi karena penggunaan agregat akan menghemat penggunaan semen.

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak digunakan adalah berdasarkan pada ukuran butiran. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, sedangkan yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu :

- a. batu, untuk besar butiran lebih besar dari 40 mm,
- b. kerikil, untuk butiran antara 5mm dan 40 mm,
- c. pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5mm.

Pada penelitian ini, dalam campuran beton digunakan split sebagai agregat kasar dan pasir sebagai agregat halus. Sifat-sifat, karakteristik serta persyaratan kedua macam agregat tersebut akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1) Agregat halus (pasir )

Agregat halus berupa pasir alam, terbentuk dari pecahan batu yang diperoleh dari sumber endapan yang bermacam-macam kondisinya. Jenis batuan tergantung dari asal pembentukannya, misalnya dari dalam tanah yang disebut sebagai pasir galian dan dari dasar sungai yang disebut sebagai pasir sungai. Agregat halus (pasir ) sangat berperan dalam menentukan kemudahan pengerjaan (*workability* ), kekuatan (*strenght* ), dan tingkat keawetan (*durability* ). Oleh karena itu mutu pasir dikendalikan agar diperoleh beton yang lebih seragam. Pasir bersama semen dan air membentuk mortal yang berfungsi untuk mengikat agregat kasar menjadi satu kesatuan yang kuat dan kompak. Dengan demikian baik tidak ikatan ini sangat tergantung dari mutu dan kuat mortal. Peraturan beton bertulang indonesia, 1971 memberikan batasan pada pasir yang dapat digunakan sebagai bahan campur beton, yaitu sebagai berikut.

- a) Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras, bersifat kekal dalam arti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari atau hujan.
- b) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% ( ditentukan terhadap berat kering ). Yang diartikan lumpur adalah bagian-bagian yang

dapat melalui saringan 0,063 mm. Apabila kandungan lumpur melampaui 5% maka agregat halus harus dicuci.

- c) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalau banyak. Hal ini dapat dilakukan dengan percobaan warna ( memakai larutan NaOH ) dan hasilnya harus sesuai dengan warna standar.
- d) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan melewati saringan 4,75 mm.
- e) Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton.

## 2) Agregat kasar ( kerikil )

Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah ( *split* ) yang diperoleh dari pemecahan batu yang lebih besar. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai sifat mudah dikerjakan ( *workability* ) yang baik, homogen dan kerapatan yang baik maka diperlukan ukuran butiran ( *gradasi* ) kerikil yang baik. Peraturan Beton Bertulang Indonesia, 1971 memberikan batasan agregat kasar yang memenuhi syarat, yaitu sebagai berikut.

- a) Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butiran-butiran pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca

- b) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% ( ditentukan terhadap berat kering ). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian yang dapat melalui saringan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- c) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang reaktif alkali.
- d) Kohorensi dari butiran-butiran agregat kasar diperiksa dengan penguji Rudellif atau mesin Los Angelos dengan syarat-syarat tertentu.
- e) Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan tidak melewati saringan 4,75 mm.
- f) Besar butiran agregat maksimum tidak boleh lebih dari  $1/5$  jarak terkecil antar bidang-bidang samping dari cetakan,  $3/4$  dari tebal plat, atau  $3/4$  dari jarak bersih minimum antara berkas tulangan.

Agregat kasar dalam campuran adukan beton yang menggunakan kerikil dengan tekstur permukaan bersudut, akan menghasilkan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bertekstur bulat dan licin. Pemakaian batu pecah (*split*) sebagai agregat kasar akan lebih baik, karena permukaannya mempunyai sudut yang tajam dan dihasilkan dari batu alam yang keras.

### 3. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan untuk bahan pelumas antara agregat, agar didapat mudah

dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang dibutuhkan hanya 30% dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta beton akan porous. Secara umum air yang dapat digunakan untuk pencampuran beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling.

Menurut PUBI 1982, dalam pemakaian untuk adukan beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut.

- a. Tidak mengandung lumpur ( benda-benda melayang lainnya ) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton ( asam, zat organik, dan lainnya ) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung klorida ( Cl ) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter

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

### 3) Bahan Kimia Tambah

Bahan kimia tambah adalah bahan tambah yang dicampurkan kedalam adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang sedikit berbeda pada beton yang dihasilkan. Sifat-sifat tersebut, misalnya pengerjaan yang lebih mudah, proses pengikatan awal dan pengerasan lebih tinggi, laju kekuatan yang lebih cepat dan sebagainya.

Menurut PUBI 1982, bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut.

- a. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan demikian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai slump yang sama, (*water reducing admixture*).
- b. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton, (*retarder*).
- c. Bahan kimia tambah untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton, (*accelerating admixture*).
- d. Bahan kimia tambah berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton.
- e. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Pada penelitian ini digunakan bahan kimia limbah katalis dari penyulingan minyak bumi. Adapun rumus yang menyusun limbah katalis jenis Zeolit kristalin adalah sebagai berikut :  $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dengan struktur reguler, yang merupakan hasil

proses dari RCC ( *Residue Catalic Craker* ). Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis mengandung unsur-unsur oxida silika dan alumina. Selain itu, didalamnya juga mengandung unsur-unsur kecil lainnya, seperti : sodium, calsium, magnesium dan rare earth family ( *lathanum, cerium* ). Sebagian besar unsur-unsur penyusun dari zeolit kristalin merupakan sebagai bahan dasar bangunan ( *semen* ) seperti : Alumina, Silika, Kalsium.

Dengan penambahan limbah katalis ini akan mengakibatkan bertambahnya jumlah kandungan alumina dalam semen, menurut Murdock dan brook dalam buku Bahan dan Praktek Beton, bilamana di dalam semen terdapat senyawa alumina berkadar tinggi dan silika pada kadar rendah maka semen akan mengikat dengan cepat dan kekuatan tinggi.

#### **2.2.5 Kajian Limbah Katalis**

Limbah katalis yang dipergunakan untuk bahan-tambah adukan beton pada penelitian ini merupakan hasil proses dari RCC ( *Residue Catalic Craker* ). Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis Zeolit Kristalin dengan struktur reguler, yang mengandung unsur-unsur oxida, calsium, magnesium, dan rare earth family ( *lathanum, cerium* ).

Limbah katalis ini digunakan pada suatu kilang minyak yang di lengkapi dengan RCC sebgai bahan bantu untuk mengarahkan dan mempercepat laju reaksi produk utama yang diinginkan seperti : LPG ( *Elpiji* ), Propylene, Polygasoline, Naptha, LCD ( *bahan dasar diesel* ) dan Decant Oil ( *bahan dasar fuel oil* ).

Sedangkan sifat-sifat pada limbah katalis jenis Zeolit Kristalin adalah sebagai berikut:

1. kapasitas adsorpsi tinggi,
2. tidak bersifat korosif

Adapun rumus yang menyusun limbah katalis jenis Zeolit kristalin adalah sebagai berikut :  $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dengan struktur reguler, yang merupakan hasil proses dari RCC ( *Residue Catalic Craker* ). Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis mengandung unsur-unsur oxida silika dan alumina. Selain itu, didalamnya juga mengandung unsur-unsur kecil lainnya, seperti : sodium, calsium, magnesium dan rare earth family (*lathanum, cerium*). Sebagian besar unsur-unsur penyusun dari zeolit kristalin merupakan sebagai bahan dasar bangunan (*semen* ) seperti : Alumina, Silika, Kalsium.

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai untuk proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25% dari berat semen, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air kelebihan dari yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton, agar campuran beton dapat campur dengan baik, diangkut dengan mudah, dan dapat dicetak tanpa rongga-rongga yang besar ( *tidak keropos* ). Akan tetapi, hendaknya selalalu diusahakan jumlah air sesedikit mungkin, agar kekuatan beton tidak terlalu rendah. Seperti yang telah diuraikan diatas, pasta semen yang mengeras merupakan bagian yang porous. Konsentrasi hasil-hasil hidrasi yang padat pada seluruh ruang atau volume yang tersedia ( volume yang semula ditempati oleh air dan semen )

karena limbah katalis tidak berbahaya dan cukup aman, maka dapat digunakan sebagai bahan tambah adukan beton.

Katalis ini digunakan pada suatu kilang minyak, yang biasanya dilengkapi dengan RCC (*Residue Catalis Cracker*), yakni unit konversi yang menggunakan katalis sebagai bahan bantu. Ini untuk mengarahkan dan mempercepat laju reaksi produk utama yang diinginkan.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan di Amerika maupun Australia, (*Majalah Konstruksi, No: 253 - Juni - B, 1997*) limbah katalis bekas yang dihasilkan oleh RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Dari hasil pengukuran pH menunjukkan, katalis bekas dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  hanya sebesar 3,96 – 4,80. Sehingga, tidak bersifat korosif.

Sedangkan menurut hasil analisis TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching procedure*), limbah katalis memiliki logam dibawah baku mutu yang ditetapkan. Sehingga lebih aman untuk lingkungan. Berdasarkan hal tersebut katalis bekas tidak dapat digolongkan dalam limbah B3. Karena tidak memenuhi uji karakteristik penggolongan secara kimia.

Oleh karena limbah katalis tidak berbahaya dan cukup aman, maka dapat digunakan sebagai campuran untuk memproduksi bahan bangunan maupun produk-produk keramik. Pemanfaatan limbah katalis seperti dilakukan di unit RCC UP-VI Balongan, oleh pengelola dikomersialkan dengan cara dibuat menjadi berbagai produk bahan bangunan seperti, batako, paving block dan lain-lain. Dan pembuatan batako, paving block dengan menggunakan limbah katalis jauh lebih murah

dibandingkan dengan pembuatan batako biasa. Proses pembuatan produk tersebut dilakukan dengan mencampurkan beberapa bahan dengan perbandingan: pasir 64%, limbah katalis 16%, semen 20% dan air untuk membuat adukan.

### 2.2.6 Metode Perancangan Campuran Beton

Pada penelitian ini digunakan metode ACI ( *American Concrete Institute* ) sebagai metode perancangan campuran beton. Metode ini digunakan karena menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperlihatkan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan serta kekuatan yang diinginkan . cara ACI ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan beton menentukan tingkat konsistensi/kekentalan ( *slump* ) adukan beton.

Tahap perhitungan perancangan campuran beton berdasarkan metode ACI adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak beton rata-rata berdasarkan kuat desak karakteristik beton dan nilai margin.

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

dengan :

$$f'_{cr} = \text{kuat desak beton rata-rata (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{kuat desak karakteristik beton (Mpa)}$$

$$m = \text{nilai margin (Mpa)}$$

Nilai margin tergantung pada tingkat pengawasan mutu dan didefinisikan sebagai:  $m = k.Sd$ , dengan  $Sd$  adalah nilai deviasi standar yang diambil dari tabel 2.1. sedangkan  $k$  adalah konstanta yang telah ditetapkan sebesar 1,64.

Tabel 2.1 Nilai deviasi standar ( $kg/cm^2$ )

Volume pekerjaan ( $M^3$ )	Mutu pekerjaan		
	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil : < 1000	$45 < sd \leq 55$	$55 < sd \leq 65$	$65 < sd \leq 85$
Sedang : 1000-3000	$35 < sd \leq 45$	$45 < sd \leq 55$	$55 < sd \leq 75$
Besar : > 3000	$25 < sd \leq 45$	$35 < sd \leq 45$	$45 < sd \leq 65$

- Menentukan faktor air semen berdasarkan kuat desak rata-rata pada umur beton yang dikehendaki tertera pada tabel 2.3, dan keawetan berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan tertera pada tabel 2.4, dari keduanya dipilih yang paling rendah.

Tabel 2.3 Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari

Faktor air semen	Perkiraan kuat desak (Mpa)
0,35	42
0,44	35

Lanjutan Tabel 2.3.

Faktor air semen	Perkiraan kuat desak (Mpa)
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 2.4 Faktor air semen maksimum

Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,6
b. Keadaan keliling korosif, atau disebabkan oleh kondensasi atau uap air	0,52
Beton di luar ruang bangunan:	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau dari air tanah	0,52
Beton yang kontinu berhubungan dengan air :	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

3. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat ( dari tabel 2.5 dan 2.6 ).

Tabel 2.5 Nilai slump (cm)

Pemakaian beton	Maksimum	Minimum
Dinding, palat fondasi dan fondasi bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
Palat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Tabel 2.6 Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum , mm	Balok / Kolom	Plat
62,5	12,5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan berdasarkan dari ukuran maksimum agregat dan nilai slump ( tabel 2.7 )

Tabel 2.7 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump

Slump (mm)	Ukuran Maksimum 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%

5. Menghitung berat semen yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (2) dan (4) diatas.
6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum dari agregat dan nilai modulus halus agregat halusnya ( lihat tabel 2.8 )

Tabel 2.8 Perkiraan kebutuhan kerikil permeter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan mhb pasir, pada bj. Kerikil 2,68 (M<sup>3</sup>)

Ukuran maksimum Agregat , mm	Modulus halus Pasir ( mhb )			
	2,4	2,6	2,8	3,0
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	0,98	0,88	0,86	0,84

Modulus halus didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas satu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Susunan pada lubang ayakan adalah 38 mm, 19 mm, 9,6 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, dan 0,15 mm.. Makin besar nilai modulus halus menunjukkan makin besar butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butiran antara 1,5 sampai 3,8, sedangkan kerikil antara 5 sampai 8. Modulus halus campuran kerikil dengan pasir berkisar antara 5 sampai 6,5.

7. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan, serta udara yang terperangkap dalam

adukan ( dari tabel 2,7 ), dengan cara hitungan volume absolut. Volume agregat halus =  $1 - (\text{volume air} + \text{volume kerikil} + \text{volume semen} + \text{volume udara terperangkap})$ .

8. Menghitung berat masing-masing bahan susunan beton.

## **BAB III**

### **PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN**

Pada penelitian ini adanya kesalahan anggapan pertama bahwa penambahan limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% akan meningkatkan kuat desak beton tetapi setelah diuji justru menurunkan kuat desak beton, yang berarti tidak sesuai dengan teori dan hipotesis dari penelitian ini. Untuk itu ditambahkan benda uji sebanyak 40 sampel dengan prosentase limbah katalis 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% masing-masing 10 benda uji.

#### **3.1 Persiapan Bahan dan Peralatan**

##### **3.1.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. -Semen portland tipe I merk gresik, kemasan 50 kg.
2. Agregat kasar ( split ) dari Lab. BKT UII.
3. Agregat halus ( pasir ) dari sungai boyong.
4. Bahan tambah berupa limbah katalis (  $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ) dari penyulingan minyak bumi.
5. Air dari PAM ( perusahaan air minum ).

### 3.1.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mesin pencampur adukan beton.
2. Mesin *siever*, sebagai pengayak mekanik.
3. Mesin Uji desak, untuk pengujian desak beton.
4. Timbangan, untuk menimbang bahan.
5. Ayakan, untuk menyaring agregat.
6. Gelas ukur, untuk menakar air.
7. Kerucut Abrams, untuk pengujian slump.
8. Tongkat penumbuk, untuk memadatkan adukan beton.
9. Cetakan silinder.
10. Kaliper, untuk mengukur benda uji.
11. Alat bantu lain : ember, sekop, cetok dan kereta dorong.

### 3.2 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan laboratorium terhadap bahan yang digunakan, meliputi pemeriksaan modulus halus butir ( mhb ) pasir dan pemeriksaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.

#### 3.2.1 Pemeriksaan Modulus Halus Butir ( MHB) pasir

Modulus halus butir ialah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Nilai modulus halus butir diperoleh dengan cara analisis



saringan, dari analisis saringan akan didapat jumlah prosentase komulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu ayakan dan kemudian dibagi seratus. Modulus halus butir selain untuk menjadi ukuran kehalusan butir juga dapat dipakai untuk mencari nilai perbandingan antara berat pasir dan kerikil pada pembuatan campuran beton. Perhitungan modulus halus butir ( mhb) pasir, sebagai berikut :

Tabel 3.1 Perhitungan modulus halus butir ( mhb) pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan		Berat Tertahan Kumulatif (%)
	Gram	%	
4,75	38,35	3,835	3,835
2,36	35,35	3,535	7,370
1,18	115,65	11,565	18,935
0,60*	240,10	24,010	42,945
0.30	229,55	22,955	65,90
0,15	214,80	21,480	87,38
sisia	121,80	12,180	—
		100 %	226,365

$$\text{Modulus halus butir (mhb), pasir} = \frac{226,365}{1000} \times 100\% = 22,6365\%$$

$$\text{Mhb} = 2,26$$

### 3.2.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Berat Satuan

Berat jenis agregat ialah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung pori-pori yang ada dalam butiran dan tertutup/tidak saling berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah, yaitu :

1. berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori,
2. berat jenis semu ( berat jenis tampak ), jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m<sup>3</sup>. Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dapat dihitung volumenya adalah volume padat ( meliputi pori tertutup ) dan volume pori terbuka. Dengan bentuk rumus dapat ditulis sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis} = \frac{w}{V_b} \quad (\text{ton/m}^3)$$

$$\text{Berat satuan} = \frac{w}{V_b + V_p} \quad (\text{ton/m}^3)$$

Keterangan :

W = berat agregat (ton),

V<sub>b</sub> = volume butiran, termasuk pori tertutup (m<sup>3</sup>),

V<sub>p</sub> = volume pori terbuka (m<sup>3</sup>).

Pada penelitian ini berat jenis agregat dan berat satuan agregat adalah sebagai berikut:

1. berat jenis agregat halus (pasir), (SSD) = 2,5 gr/cc,
2. berat jenis agregat kasar (split), (SSD) = 2,66 gr/cc,
3. berat satuan agregat kasar (split) = 1,5 gr/cc.

### 3.3 Perhitungan Campuran Beton

Perhitungan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui proporsi bahan susun beton. Perhitungan proporsi bahan susun beton pada penelitian ini dengan menggunakan metode ACI, yang tahapan perencanaanya telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Perhitungan campuran beton didasarkan pada data bahan susun beton sebagai berikut :

1. diameter maksimum agregat kasar (split) = 30 mm,
2. modulus halus butir (mhb), pasir = 2,26,
3. berat jenis pasir (SSD) = 2,5 t/m<sup>3</sup>,
4. berat jenis split (SSD) = 2,66 t/m<sup>3</sup>,
5. berat satuan split = 1,5 t/m<sup>3</sup>,
6. kuat desak beton rencana = 22,5 Mpa,
7. berat jenis semen = 3,15 t/m<sup>3</sup>.

Tahapan perhitungan campuran beton dengan metode ACI adalah sebagai berikut ini

1. Menentukan Sd (standar deviasi)

Mutu pekerjaan cukup dan volume pekerjaan kecil  $Sd=6,5$  Mpa

2. Menentukan nilai k

K untuk 10 % defektif dan jumlah benda uji 10 buah = 1,28

3. Menentukan nilai m

$$m = k \times Sd$$

$$= 1,28 \times 6,5 = 8,32 \text{ Mpa}$$

4.  $f'c = 22,5$  Mpa

$$f'cr = f'c + m$$

$$= 22,5 + 8,32 = 30,82 \text{ Mpa}$$

5. Menentukan nilai fas (faktor air semen)

a.  $f'cr = 30,82$  Mpa

(Tabel 2.3 ) didapat fas = 0,49

b. berdasarkan lingkungan didapat fas = 0,6

c. maka fas yang dipakai adalah fas yang terkecil yaitu = 0,49

6. Menentukan nilai slump

(Tabel 2.5 ) didapat nilai slump 7,5-15

7. Menentukan ukuran maksimum agregat

Ukuran maksimum agregat adalah 38,1 mm

8. Menentukan kebutuhan air

berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump dan (Tabel 2.7 ) didapat

volume air = 179 liter dengan volume udara terperangkap 1%

#### 9. Menentukan jumlah semen (PC)

$$\text{Berat PC} = \frac{\text{Berat air}}{f_{as}}$$

$$\text{Berat PC} = \frac{179}{0,49} = 365,31 \text{ Kg tiap } 1\text{m}^3 \text{ beton}$$

$$\text{Volume PC} = \frac{\text{Berat PC}}{\text{BJ PC}} = \frac{365,31}{3,15 \times 10^3} = 0,1166 \text{ m}^3$$

#### 10. Menentukan kebutuhan kerikil

Berdasarkan (Tabel 2.8 ) dengan ukuran maksimum butir = 38,1 mm dan MHB pasir =

2,2 didapat kebutuhan kerikil = 0,77 m<sup>3</sup> tiap m<sup>3</sup>

Volume kerikil kering tusuk (SSD) = 0,77 m<sup>3</sup> tiap 1 m<sup>3</sup>

Berat kerikil = vol. Kerikil SSD x BJ Kering tusuk

$$= 0,77 \times 1,50 \cdot 10^3$$

$$= 1155 \text{ t/m}^3$$

Volume kerikil padat =  $\frac{\text{Berat kerikil}}{\text{BJ kerikil SSD}}$

$$= \frac{1155}{2,5 \cdot 10^3} = 0,43 \text{ m}^3$$

#### 11. Menentukan kebutuhan pasir

Dari hitungan di atas didapat,

Volume tanpa pasir = Volume air + Volume Pc + Volume kerikil + 1% udara

$$\begin{aligned} \text{Volume tanpa pasir} &= \text{Volume air} + \text{Volume Pc} + \text{Volume kerikil} + 1\% \text{ udara} \\ &= 0,179 + 0,1166 + 0,43 + 0,01 \\ &= 0,7356 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume pasir} = 1 - 0,7356 = 0,2644 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir} &= B_j \text{ pasir} \times \text{Volume pasir} \\ &= 2,5 \cdot 10^3 \times 0,2644 \\ &= 661 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan Berat} &= \text{Pc} : \text{Ps} : \text{Krk} : \text{Air} \\ &= 365,31 : 661 : 1155 : 179 \\ &= 1 : 1,8 : 3,2 : 0,5 \end{aligned}$$

Tabel 3.2 Perbandingan bahan campuran

No	Umur (hari)	Perbandingan bahan campuran				
		PC	Psr	Krk	Air	Limbah
1	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	0%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	0,5%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	1%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	1,5%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	2%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	5%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	10%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	15%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	20%
	7 hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	25%
2	28hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	0%
	28hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	5%
	28hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	10%
	28hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	15%
	28hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	20%
	28hr (10 Benda uji)	1	1,8	3,2	0,5	25%

### 3.5 Pengujian Kuat Desak Beton

Untuk mengetahui kekuatan beton yang telah dibuat, dilakukan pengujian kuat desak terhadap benda uji beton yang telah mengeras pada saat benda uji berumur 7 hari dan 28 hari. Kuat desak beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum yang diterima dengan luas bidang desak benda uji, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$f_c = \frac{P_{mak}}{A}$$

keterangan :

$f_{c28}$  = kuat desak beton (Mpa),

$P_{mak}$  = beban desak maksimum (kN),

$A$  = luas bidang desak (cm<sup>2</sup>).

Tahapan pelaksanaan pengujian kuat desak beton adalah sebagai berikut ini.

1. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman, sehari sebelum dilaksanakan pengujian dan dibersihkan dari kotoran.
2. Benda uji diukur tinggi dan diameternya
3. Benda uji dipasang/ditempatkan pada alat uji desak beton dengan sentris.
4. Mesin desak dihidupkan/dijalankan, maka mesin desak beton akan melakukan pembebanan pada benda uji beton. Mesin uji desak dijalankan terus sampai benda uji beton hancur dan dicatat beban maksimum yang terjadi.

Tabel 3.4 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 0%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A0	12,75	7	14,94	30,06	175,30	252	14,38
2	A0	12,75	7	15,23	30,34	182,18	294	16,14
3	A0	12,75	7	15,11	30,05	179,32	274	15,28
4	A0	12,75	7	14,94	30,00	175,30	273	15,57
5	A0	12,75	7	15,00	30,14	176,71	288	16,30
6	A0	12,75	7	15,00	29,96	176,71	303	17,15
7	A0	12,75	7	15,07	29,65	178,37	267	14,97
8	A0	12,75	7	15,00	30,08	176,71	248	13,58
9	A0	12,75	7	14,96	29,94	175,77	321	18,27
10	A0	12,75	7	15,06	30,19	178,13	199	11,19
11	B0	12,75	28	15,10	29,97	179,08	387	21,61
12	B0	12,75	28	14,99	30,05	176,48	365	20,68
13	B0	12,75	28	15,02	30,02	177,19	527	29,74
14	B0	12,75	28	15,05	30,11	177,89	458	25,75
15	B0	12,75	28	14,99	29,99	176,48	446	25,27
16	B0	12,75	28	15,18	30,55	180,98	449	24,81
17	B0	12,75	28	15,01	30,16	176,95	430	24,30
18	B0	12,75	28	15,03	30,06	177,42	304	17,13
19	B0	12,75	28	15,02	30,00	177,19	406	22,91
20	B0	12,75	28	15,07	30,04	178,37	399	22,37

Tabel 3.5 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 0,5%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A1	12,50	7	15,00	29,98	177,89	278	15,73
2	A1	12,50	7	15,01	29,99	176,95	284	16,01
3	A1	12,50	7	14,96	30,07	175,77	277	15,76
4	A1	12,50	7	15,25	29,93	182,65	279	15,27
5	A1	12,50	7	15,09	30,01	178,84	279	15,60
6	A1	12,50	7	14,98	30,23	176,24	263	14,92
7	A1	12,50	7	15,02	30,15	177,19	269	15,18
8	A1	12,50	7	15,01	30,07	176,95	267	15,46
9	A1	12,50	7	15,05	29,92	177,89	275	15,46
10	A1	12,50	7	15,01	30,15	176,95	265	14,98

Tabel 3.6 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 1%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A2	11,75	7	14,94	30,08	175,30	335	19,11
2	A2	11,75	7	14,95	30,37	175,54	250	14,24
3	A2	11,75	7	15,25	30,26	182,65	276	15,11
4	A2	11,75	7	15,24	30,11	182,14	295	16,17
5	A2	11,75	7	15,06	29,96	178,13	279	15,66
6	A2	11,75	7	15,09	30,14	178,84	329	18,40
7	A2	11,75	7	14,94	30,06	175,30	297	16,94
8	A2	11,75	7	14,99	30,17	176,48	288	16,32
9	A2	11,75	7	15,02	29,97	177,19	283	15,97
10	A2	11,75	7	15,05	30,16	177,89	296	16,64

Tabel 3 7 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 1,5%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A3	11,25	7	15,03	30,19	177,42	340	19,16
2	A3	11,25	7	15,03	30,08	177,42	320	14,04
3	A3	11,25	7	15,10	29,97	179,08	327	18,26
4	A3	11,25	7	14,99	30,05	176,48	323	18,30
5	A3	11,25	7	15,05	30,02	177,89	341	19,17
6	A3	11,25	7	15,01	29,99	176,95	334	18,88
7	A3	11,25	7	14,99	30,16	176,48	342	19,38
8	A3	11,25	7	15,03	30,06	178,13	298	16,80
9	A3	11,25	7	15,07	30,00	178,37	252	14,13
10	A3	11,25	7	15,02	30,04	177,19	329	18,57

Tabel 3 8 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 2,0%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A4	10,75	7	15,08	30,16	178,60	240	13,44
2	A4	10,75	7	15,13	30,01	179,79	260	14,46
3	A4	10,75	7	15,01	30,29	176,95	253	14,30
4	A4	10,75	7	15,04	30,06	177,66	257	14,47
5	A4	10,75	7	15,02	30,04	177,19	249	14,05
6	A4	10,75	7	14,99	29,94	176,48	232	13,15
7	A4	10,75	7	15,00	30,01	176,71	237	13,41
8	A4	10,75	7	14,97	29,99	176,01	266	15,11
9	A4	10,75	7	15,01	30,00	176,95	255	14,41
10	A4	10,75	7	14,98	29,97	176,24	259	14,70

Tabel 3.9. Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 5%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A5	10,25	7	15,06	30,09	178,13	221	12,41
2	A5	10,25	7	15,01	29,89	176,95	271	15,31
3	A5	10,25	7	15,05	30,13	177,89	198	11,13
4	A5	10,25	7	15,06	29,90	178,13	269	15,10
5	A5	10,25	7	15,05	30,07	177,89	158	8,88
6	A5	10,25	7	15,03	30,01	177,42	250	14,09
7	A5	10,25	7	15,10	30,03	179,08	236	13,18
8	A5	10,25	7	15,05	29,92	177,89	249	13,99
9	A5	10,25	7	15,03	29,94	177,42	263	14,83
10	A5	10,25	7	15,07	30,02	178,37	242	13,57
11	B1	10,25	28	15,26	30,29	183,13	377	20,61
12	B1	10,25	28	15,07	30,02	178,37	306	17,16
13	B1	10,25	28	15,04	30,06	177,66	358	20,15
14	B1	10,25	28	15,08	29,61	178,60	399	22,34
15	B1	10,25	28	15,13	30,01	179,79	351	19,47
16	B1	10,25	28	15,14	29,96	180,03	442	24,55
17	B1	10,25	28	14,99	30,04	176,48	363	20,57
18	B1	10,25	28	15,21	30,36	181,70	452	24,88
19	B1	10,25	28	15,22	29,94	181,94	299	16,43
20	B1	10,25	28	15,24	30,44	182,41	361	19,79

Tabel 3.10 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 10%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A6	9,75	7	15,05	30,15	177,89	165	9,28
2	A6	9,75	7	15,05	29,99	177,89	213	11,97
3	A6	9,75	7	15,01	29,93	176,95	232	13,18
4	A6	9,75	7	15,14	30,03	180,03	225	12,50
5	A6	9,75	7	14,96	30,07	175,77	228	12,97
6	A6	9,75	7	15,25	30,56	182,65	279	15,28
7	A6	9,75	7	15,01	30,01	176,95	238	13,45
8	A6	9,75	7	15,09	30,07	178,84	264	14,76
9	A6	9,75	7	15,02	29,92	177,19	230	12,98
10	A6	9,75	7	14,98	29,98	176,24	265	15,03
11	B2	9,75	28	15,04	29,94	177,66	333	18,74
12	B2	9,75	28	14,96	29,98	175,77	342	19,46
13	B2	9,75	28	15,07	29,67	178,37	267	14,97
14	B2	9,75	28	15,23	30,20	182,18	395	21,68
15	B2	9,75	28	14,97	29,99	176,01	332	18,79
16	B2	9,75	28	15,00	29,99	176,71	345	19,50
17	B2	9,75	28	15,01	30,07	176,95	363	20,51
18	B2	9,75	28	15,01	30,07	176,95	395	22,32
19	B2	9,75	28	15,05	30,13	177,89	363	20,41
20	B2	9,75	28	15,24	30,42	182,41	361	19,97

Tabel 3.11 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 15%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pmak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A7	9,25	7	15,26	30,47	182,89	227	12,41
2	A7	9,25	7	15,09	30,16	178,84	212	11,86
3	A7	9,25	7	15,11	30,29	179,32	175	9,76
4	A7	9,25	7	15,08	30,25	178,60	200	11,20
5	A7	9,25	7	15,05	30,08	177,89	245	13,77
6	A7	9,25	7	15,09	30,03	178,84	287	16,05
7	A7	9,25	7	15,07	30,16	178,37	197	11,04
8	A7	9,25	7	15,12	30,53	179,55	235	13,09
9	A7	9,25	7	15,06	30,25	178,13	182	10,22
10	A7	9,25	7	15,06	30,20	178,13	221	12,41
11	B3	9,25	28	15,27	30,48	183,13	345	18,84
12	B3	9,25	28	15,25	30,55	182,65	339	18,56
13	B3	9,25	28	14,99	30,04	176,48	351	19,89
14	B3	9,25	28	15,06	30,13	178,13	391	21,95
15	B3	9,25	28	15,00	30,07	176,71	334	18,90
16	B3	9,25	28	15,00	30,07	176,71	403	22,81
17	B3	9,25	28	15,03	30,10	177,42	357	20,12
18	B3	9,25	28	15,05	30,12	177,89	299	16,81
19	B3	9,25	28	14,99	30,19	176,48	299	16,94
20	B3	9,25	28	15,05	30,16	177,42	311	17,48

Tabel 3.12 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 20%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Prnak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A8	8,50	7	15,09	30,08	178,84	200	11,18
2	A8	8,50	7	15,01	29,97	176,95	257	14,52
3	A8	8,50	7	15,05	30,17	177,89	160	9,00
4	A8	8,50	7	15,06	30,06	178,13	242	13,59
5	A8	8,50	7	15,04	29,96	177,66	235	13,23
6	A8	8,50	7	15,23	30,54	182,18	207	11,36
7	A8	8,50	7	15,05	30,11	177,89	218	12,25
8	A8	8,50	7	14,99	30,26	176,48	190	10,76
9	A8	8,50	7	15,09	30,37	178,84	215	12,03
10	A8	8,50	7	15,15	30,16	180,27	230	12,76
11	B4	8,50	28	15,08	29,93	178,60	380	21,28
12	B4	8,50	28	14,99	30,12	176,48	369	20,91
13	B4	8,50	28	15,01	30,04	176,95	270	15,26
14	B4	8,50	28	15,05	29,94	177,89	391	21,98
15	B4	8,50	28	15,05	29,69	177,89	325	18,27
16	B4	8,50	28	15,12	30,14	179,55	336	18,17
17	B4	8,50	28	15,24	30,55	182,41	275	15,08
18	B4	8,50	28	15,25	30,44	182,65	358	19,60
19	B4	8,50	28	15,27	30,15	183,13	297	16,22
20	B4	8,50	28	15,09	30,01	178,84	352	19,68

Tabel 3. 13 Kuat desak beton dengan penambahan limbah katalis 25%

No	Kode	Slump (cm)	Umur (hari)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas bidang desak( $A=\frac{1}{4}\pi D^2$ ) (cm <sup>2</sup> )	Pinak (kN)	Kuat Desak (Mpa)
1	A9	8,25	7	15,25	30,49	182,65	197	10,78
2	A9	8,25	7	15,24	30,44	182,41	231	13,00
3	A9	8,25	7	15,06	30,07	178,13	208	11,67
4	A9	8,25	7	15,09	30,03	178,84	184	10,29
5	A9	8,25	7	14,94	30,16	175,30	172	9,81
6	A9	8,25	7	14,99	30,07	176,48	222	12,58
7	A9	8,25	7	15,02	30,03	177,19	217	12,25
8	A9	8,25	7	15,24	30,38	182,41	205	11,24
9	A9	8,25	7	15,02	29,69	177,19	185	10,44
10	A9	8,25	7	15,05	30,11	177,89	230	12,93
11	B5	8,25	28	15,00	30,02	176,71	330	18,67
12	B5	8,25	28	15,05	30,02	177,89	292	16,41
13	B5	8,25	28	15,05	30,12	177,89	207	16,70
14	B5	8,25	28	15,04	30,07	177,66	347	19,53
15	B5	8,25	28	15,04	30,06	177,66	281	15,82
16	B5	8,25	28	15,26	30,06	182,89	319	17,44
17	B5	8,25	28	15,17	30,04	180,74	319	17,65
18	B5	8,25	28	15,04	30,08	177,66	341	19,91
19	B5	8,25	28	15,04	30,00	177,66	330	18,57
20	B5	8,25	28	15,01	30,04	176,95	347	19,61

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Analisis Nilai Slump

Pengujian yang dilakukan pada beton segar, yaitu pengujian slump. Pengujian dilakukan pada saat campuran telah diaduk dan dalam keadaan homogen.

Pada penelitian ini pencampuran adukan beton dilakukan dalam dua kali pencampuran untuk satu variasi penambahan limbah katalis, tiap campuran masing-masing untuk 10 benda uji. Hasil pengujian nilai slump rata-rata dan prosentase penurunan nilai slump untuk berbagai variasi penambahan limbah katalis dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Nilai slump rerata untuk berbagai prosentase penambahan limbah katalis

No	Prosentase Limbah katalis	Nilai slump rerata (cm)	Prosentase penurunan Nilai slump
1	0%	12,75	0%
2	0,5%	12,50	1,96%
3	1%	11,75	7,84%
4	1,5%	11,25	11,76%
5	2%	10,75	15,69%

## 4.2 Analisis Kuat Desak Beton

Pada penelitian ini, metode perancangan adukan beton dan benda uji standar yang digunakan dalam pengujian kuat desak beton mengikuti ketentuan SK SNI M-14 - 1998-F dan ACI ( *American Concrete Institute* ). Benda uji standar yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder.

Dalam menghitung kuat desak karakteristik beton, perbandingan kuat desak beton pada berbagai umur terhadap beton yang berumur 28 hari, diambil menurut Peraturan Bertulang Indonesia ( PBI,1971 ) seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur beton

Umur beton (hari)	7	14	21	28
Semen portland biasa	0,65	0,88	0,95	1,00

Dalam perhitungan kuat desak karakteristik beton dan menganalisis hubungan kuat desak terhadap pengaruh variasi penambahan limbah katalis, digunakan rumus-rumus sebagai berikut.

### 1. Rumus menghitung kuat desak

$$f_c = \frac{P_{mak}}{A} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$f'_{cr} = \frac{\sum_1^N fc_{28}}{N} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_1^N (fc_{28} - f'_{cr})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$m = k \cdot Sd \dots\dots\dots (4.3)$$

$$f_c = f'_{cr} - m \dots\dots\dots (4.4)$$

keterangan :

$P_{mak}$  : beban maksimum (kN), (1 kN = 101,9 kg),

$A$  : luas bidang desak (cm<sup>2</sup>),

$f_c$  : kuat desak beton dari masing-masing benda uji (Mpa),

$f'_{cr}$  : kuat desak beton rata-rata (Mpa),

$fc_{28}$  : kuat desak beton yang dikonversikan ke umur 28 hari (Mpa),

$N$  : jumlah benda uji,

$Sd$  : standar deviasi (Mpa),

- $m$  : nilai margin (Mpa),  
 $k$  : konstanta (  $k = 1,64$  untuk 20 benda uji ),  
 $f'c$  : kuat desak karakteristik beton (Mpa).

## 2. Rumus analisis statistik regresi dan korelasi

### a. Regresi model parabola kuadratik

$$\sum Y_i = na + b\sum X_i + c\sum X_i^2 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$\sum X_i Y_i = a\sum X_i + b\sum X_i^2 + c\sum X_i^3 \dots\dots\dots (4.7)$$

$$\sum X_i^2 Y_i = a\sum X_i^2 + b\sum X_i^3 + c\sum X_i^4 \dots\dots\dots (4.8)$$

### b. Koefisien korelasi (r)

$$r = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[(n\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2][(n\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2]}} \dots\dots\dots (4.9)$$

Perhitungan kuat desak beton rata-rata dan kuat desak karakteristik beton, untuk berbagai variasi penambahan limbah katalis dapat dilihat pada tabel-tabel sebagai berikut ini.

Tabel 4.3 Kuat desak rata-rata untuk berbagai prosentase limbah katalis pada umur 7 hari

No	Prosentase limbah katalis (%)	Kuat desak rata-rata (Mpa)
1	0	23,51
2	0,5	23,65
3	1,0	25,27
4	1,5	27,74
5	2,0	21,73
6	5,0	20,38
7	10	20,21
8	15	18,74
9	20	18,57
10	25	17,69

Tabel 4.4 Kuat desak rata-rata untuk berbagai prosentase limbah katalis pada umur 28 hari

No	Prosentase limbah katalis (%)	Kuat desak rata-rata (Mpa)
1	0	23,46
2	5	20,60
3	10	19,62
4	15	19,23
5	20	18,65
6	25	17,96

Selanjutnya untuk menghitung  $f_c$  setiap sampel yang berbeda digunakan rumus-rumus yang tertulis di dalam persamaan 4.1 sampai dengan 4.5. perhitungan tersebut disusun dalam Tabel 4.5 sampai 4.14.

Tabel 4.5 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 0% (beton normal).

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	14,38	22,08	-1,38	1,9044
2	7	16,14	24,78	1,32	1,7424
3	7	15,28	23,46	0	0
4	7	15,57	23,91	0,45	0,2025
5	7	16,30	25,03	1,57	2,4649
6	7	17,15	26,33	2,87	8,2369
7	7	14,97	22,98	-0,48	0,2304
8	7	13,58	20,85	-2,61	6,8121
9	7	18,27	28,05	4,59	21,0681
10	7	11,19	17,18	-6,28	39,4384
11	28	21,61	21,61	-1,85	3,4225
12	28	20,68	20,68	-2,78	7,7284
13	28	29,74	29,74	6,28	39,4384
14	28	25,75	25,75	2,29	5,2441
15	28	25,27	25,27	1,81	3,2761
16	28	24,81	24,81	1,35	1,8225
17	28	24,30	24,30	0,84	0,7056
18	28	17,13	17,13	-6,33	40,0689
19	28	22,91	22,91	-0,55	0,3025
20	28	22,37	22,37	1,09	1,1881
Jumlah			469,22		185,2972
$f_{cr}$		23,46 Mpa			
Sd		3,1229 Mpa			
m		5,1216 Mpa			
$f_c$		18,3384 Mpa			

$$S_d = 37,226 \text{ kg/cm}^2 = 3,1229 \text{ Mpa}$$

$$R_i = k \cdot f_{cr} \rightarrow m = \frac{S_d}{k} = \frac{3,1229 \text{ Mpa}}{1,64}$$

$$m = \frac{S_d}{k} \quad \text{--- } R_{28} = 4,3 \text{ hal. 62}$$

Tabel 4.6 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 0,5%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	15,73	24,15	0,5	0,2500
2	7	16,01	24,58	0,93	0,8649
3	7	15,76	24,20	0,55	0,3025
4	7	15,27	23,45	-0,20	0,0400
5	7	15,60	23,95	0,30	0,0900
6	7	14,92	22,91	-0,74	0,5476
7	7	15,18	23,31	-0,34	0,1156
8	7	15,09	23,17	-0,48	0,2304
9	7	15,46	23,74	0,09	0,0081
10	7	14,98	23,00	-0,65	0,4225
Jumlah			236,46		2,8716
$f_{cr}$			23,65 Mpa		
Sd			0,5649 Mpa		
m			0,7230 Mpa		
$f_c$			22,9270 Mpa		

rata<sup>2</sup>

Sd

m

f<sub>c</sub>

23,65

0,56

0,72

18,85

0,5% → 2,87  
 23,65  
 0,56  
 0,72  
 18,85  
 maka  
 23,65  
 0,56  
 0,72  
 18,85  
 maka  
 0,5%  
 maka  
 0,5%  
 maka  
 0,5%

maka  
 0,5%  
 maka  
 0,5%

Tabel 4.7 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 1%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	19,11	29,34	4,07	16,5649
2	7	14,24	21,86	-3,41	11,6281
3	7	15,11	23,20	-2,87	4,2849
4	7	16,17	24,83	-0,44	0,1936
5	7	15,66	24,04	-1,23	1,5129
6	7	18,40	28,25	2,98	8,8804
7	7	16,94	26,01	0,74	0,5476
8	7	16,32	25,06	-0,21	0,0441
9	7	15,97	24,52	-0,75	0,5625
10	7	16,64	25,55	0,25	0,0784
Jumlah			252,66		44,2974
$f'_{cr}$		25,27 Mpa			
Sd		2,2185 Mpa			
m		2,8397 Mpa			
$f'_c$		22,4303 Mpa			

Tabel 4.8 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 1,5%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	19,16	29,42	1,68	2,8224
2	7	18,04	27,70	-0,04	0,0016
3	7	18,26	28,04	0,30	0,0900
4	7	18,30	28,10	0,36	0,1296
5	7	19,17	29,43	1,69	2,8561
6	7	18,88	28,99	1,25	1,5625
7	7	19,38	29,76	2,02	4,0804
8	7	16,80	25,79	-1,95	3,8025
9	7	14,13	21,70	-6,04	36,4816
10	7	18,57	28,51	0,77	0,5929
Jumlah			277,44		52,4196
$f'_{cr}$				27,74	Mpa
Sd				2,4134	Mpa
m				3,0891	Mpa
$f_c$				24,6509	Mpa

30

Tabel 4.9 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 2,0%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	13,44	20,64	-1,09	1,1881
2	7	14,46	22,20	0,47	0,2209
3	7	14,30	21,96	0,23	0,0529
4	7	14,47	22,22	0,49	0,2401
5	7	14,05	21,57	-0,16	0,0256
6	7	13,15	20,19	-1,54	2,3716
7	7	13,41	20,59	-1,14	1,2996
8	7	15,11	23,20	1,47	2,1609
9	7	14,41	22,12	0,39	0,1521
10	7	14,70	22,57	0,84	0,7056
Jumlah			217,26		8,4174
$f_{cr}$			21,73 Mpa		
Sd			0,9671 Mpa		
m			1,2379 Mpa		
$f_c$			20,4921 Mpa		

Tabel 4.10 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 5%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	12,41	19,29	-1,3800	1,9044
2	7	15,31	23,80	3,1300	9,7969
3	7	11,13	17,30	-3,3700	11,3569
4	7	15,10	23,48	2,8100	7,8961
5	7	8,88	13,81	-6,8600	47,0596
6	7	14,09	21,91	1,2400	1,5376
7	7	13,18	20,49	-0,1800	0,0224
8	7	13,99	21,75	1,0800	1,1664
9	7	14,83	23,06	2,3900	5,7121
10	7	13,57	22,65	1,9800	3,9204
11	28	20,61	20,61	-0,0600	0,0036
12	28	17,16	17,16	-3,5100	12,3201
13	28	20,15	20,15	-0,5200	0,2704
14	28	22,34	22,34	1,6700	2,7889
15	28	19,47	19,47	-1,2000	1,4400
16	28	24,55	24,55	3,8800	15,0544
17	28	20,57	20,57	-0,1000	0,0100
18	28	24,88	24,88	4,2100	17,7241
19	28	16,43	16,43	-4,2400	17,9776
20	28	19,79	19,79	-0,8800	0,7744
Jumlah			413,49		158,7463
$f'_{cr}$		20,67 Mpa			
Sd		2,8905 Mpa			
m		4,7404 Mpa			
$f_c$		15,9296 Mpa			

Tabel 4.11 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 10%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	9,28	13,86	-5,7695	33,2871
2	7	11,97	17,88	-1,7495	3,0608
3	7	13,18	19,68	0,0505	0,0026
4	7	12,50	18,67	-0,9595	0,9206
5	7	12,97	19,37	-0,2595	0,0673
6	7	15,28	22,82	3,1905	10,1793
7	7	13,45	20,09	0,4605	0,2121
8	7	14,76	22,04	2,4105	5,8105
9	7	12,98	19,38	-0,2495	0,0623
10	7	15,03	22,45	2,8205	7,9552
11	28	18,74	18,74	-0,8895	0,7912
12	28	19,46	19,46	-0,1695	0,0287
13	28	14,97	14,97	-4,6595	21,7109
14	28	21,68	21,68	2,0505	4,2046
15	28	18,79	18,79	-0,8395	0,7048
16	28	19,50	19,50	-0,1295	0,0168
17	28	20,51	20,51	0,8805	0,7753
18	28	22,32	22,32	2,6905	7,2388
19	28	20,41	20,41	0,7805	0,6092
20	28	19,97	19,79	0,3405	0,1159
Jumlah			392,59		97,7540
$f'_{cr}$		19,6295 Mpa			
Sd		2,2682 Mpa			
m		3,7199 Mpa			
$f_c$		15,9096 Mpa			

20/11/14

Tabel 4.12 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 15%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})$ (Mpa)	$(f_c - f'_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	12,41	19,58	0,3600	0,1296
2	7	11,86	18,72	-0,5100	0,2601
3	7	9,76	15,41	-3,8250	14,5924
4	7	11,20	17,68	-1,5500	2,4025
5	7	13,77	21,74	2,5100	6,3001
6	7	16,05	25,34	6,1100	37,3321
7	7	11,04	17,43	-1,8000	3,2400
8	7	13,09	20,67	1,4400	2,0736
9	7	10,22	16,14	-3,0900	9,5481
10	7	12,41	19,59	0,3600	0,1296
11	28	18,84	18,84	-0,3900	0,1521
12	28	18,56	18,56	-0,6700	0,4489
13	28	19,89	19,89	0,6600	0,4359
14	28	21,95	21,95	2,7200	7,3984
15	28	18,90	18,90	-0,3300	0,1089
16	28	22,81	22,81	3,5800	12,8164
17	28	20,12	20,12	0,8900	0,7921
18	28	16,81	16,81	-2,4200	5,8564
19	28	16,94	16,94	-2,2900	5,2441
20	28	17,48	17,48	-1,7500	3,0625
Jumlah			384,61		112,3235
$f'_{cr}$		19,23 Mpa			
Sd		2,4314 Mpa			
m		3,9875 Mpa			
$f'_c$		15,9975 Mpa			

Tabel 4.13 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 20%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	11,18	17,29	-1,2567	1,5793
2	7	14,52	22,46	3,9088	15,2787
3	7	9	13,92	-4,6281	21,4193
4	7	13,59	21,02	2,4705	6,1034
5	7	13,23	20,46	1,9138	3,6626
6	7	11,36	17,57	-0,9782	0,9571
7	7	11,25	17,39	-1,1484	1,3188
8	7	10,76	16,64	-1,9062	3,6336
9	7	12,03	18,60	0,0579	0,0034
10	7	12,76	19,73	1,1869	1,4087
11	28	21,28	21,28	2,7329	7,4687
12	28	20,91	20,91	2,3629	5,5833
13	28	15,26	15,26	-3,2871	10,8050
14	28	21,98	21,98	3,4329	11,7848
15	28	18,27	18,27	-0,2771	0,0768
16	28	18,17	18,17	-0,3771	0,1422
17	28	15,08	15,08	-0,4671	12,0208
18	28	19,60	19,60	1,0529	1,1086
19	28	16,22	16,22	-2,3271	5,4154
20	28	19,68	19,68	1,1329	1,2835
Jumlah			370,9412		111,0540
$f_{cr}$		18,5471 Mpa			
Sd		2,4176 Mpa			
m		3,9646 Mpa			
$f_c$		14,5822 Mpa			

Tabel 4.14 Kuat desak karakteristik beton dengan penambahan limbah katalis 25%.

No	Umur (hr)	$f_c$ (Mpa)	$f_{c28}$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})$ (Mpa)	$(f_{c28} - f'_{cr})^2$ (Mpa <sup>2</sup> )
1	7	10,78	13,38	-2,7400	7,5076
2	7	13,00	16,14	0,0200	0,0004
3	7	11,67	14,48	-1,6400	2,6896
4	7	10,29	12,77	-3,3500	11,2225
5	7	9,81	12,18	-3,9400	15,5236
6	7	12,58	15,61	-0,5100	0,2601
7	7	12,25	15,20	-0,9200	0,8464
8	7	11,24	13,95	-2,1700	4,7089
9	7	10,44	12,96	-3,1600	9,9856
10	7	12,93	16,05	-0,0700	0,0049
11	28	18,67	18,67	2,5500	6,5025
12	28	16,41	16,41	0,2900	0,0841
13	28	16,70	16,70	0,5800	0,3364
14	28	19,53	19,53	3,4100	11,6281
15	28	15,82	15,82	-0,3000	0,0900
16	28	17,44	17,44	1,3200	1,7424
17	28	17,65	17,65	1,5300	2,3409
18	28	19,19	19,19	3,0700	9,4249
19	28	18,57	18,57	2,4500	6,0025
20	28	19,61	19,61	3,4900	12,1801
Jumlah			322,31		103,0815
$f'_{cr}$		16,12 Mpa			
Sd		2,3292 Mpa			
m		3,8199 Mpa			
$f'_c$		12,3001 Mpa			

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Nilai Slump Terhadap Penambahan Limbah Katalis

Dalam proses pencampuran adukan beton, digunakan faktor air semen tetap, kondisi agregat dibuat sama yaitu dalam kondisi kering udara dan proporsi agregat kasar dibuat sama dalam tiap pencampuran. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan limbah katalis (*zeolits kristalin*) pada adukan beton segar, yang dapat diketahui dengan pengujian slump.

Pada tabel 4.1 dan gambar grafik 4.1, dapat dilihat bahwa penambahan limbah katalis (*zeolits kristalin*) kedalam adukan beton akan menurunkan nilai slump. Pada penambahan limbah katalis 0% (beton normal) nilai slump yang dihasilkan berkisar antara 11,75 cm sampai dengan 12,75 cm, hal ini sesuai dengan nilai slump yang direncanakan sehingga proses pencampuran adukan beton mudah dikerjakan. Dengan penambahan limbah katalis (*zeolits kristalin*) sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen, nilai slump yang dihasilkan mengecil berkisar antara 8,25 cm sampai 12,50 cm, hal ini menyebabkan kelecakan adukan beton berkurang akan tetapi adukan beton segar masih bisa dikerjakan. Pada kondisi ini terlihat sebagian agregat kasar terpecah diri dari pasta semennya, hal ini menyebabkan proses pencampuran, pencetakan dan pemadatan adukan beton sulit untuk dikerjakan.

Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan limbah katalis ke dalam adukan beton, akan menurunkan nilai slump yang berarti mengurangi kelecakan adukan beton dan mengurangi workability. Dari

kesimpulan di atas, maka hipotesis yang menyatakan makin besar prosentase limbah katalis maka nilai slump semakin turun, terbukti.

#### 4.3.2 Kuat Desak Beton Terhadap Penambahan Limbah Katalis

Hasil perhitungan kuat desak beton rata-rata, kuat desak karakteristik beton serta prosentase kenaikan dan penurunan kuat desak beton terhadap kuat desak beton normal akibat penambahan limbah katalis pada umur 7 hari, dan 28 hari. Selanjutnya untuk menghitung prosentase kenaikan dan penurunan kuat desak beton rata-rata maupun kuat desak karakteristik digunakan rumus-rumus yang tertulis di dalam persamaan berikut ini :

1. Rumus prosentase kuat desak beton rata-rata umur 7 hari dan 28 hari.

$$\text{Prosentase kuat desak beton} = \left( \frac{f'cr_n - f'cr_0}{f'cr_0} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4.10)$$

2. Rumus prosentase kuat desak karakteristik beton umur 28 hari.

$$\text{Prosentase kuat desak karakteristik beton} = \left( \frac{f'c_n - f'c_0}{f'c_0} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4.11)$$

Keterangan :

$f'cr_0$  = kuat desak beton rata-rata beton normal (0% limbah katalis),

$f'cr_n$  = kuat desak beton rata-rata dengan penambahan n% limbah katalis,

$f'c_0$  = kuat desak karakteristik beton normal (0% limbah katalis),

$f'c_n$  = kuat desak karakteristik beton dengan penambahan n% limbah katalis.

dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 4.15 Kuat desak beton rata-rata pada umur 7 hari

No	Prosentase katalis	f <sub>cr</sub> (Mpa)	Prosentase	
			Kenaikan	Penurunan
1	0%	23,51	0%	0%
2	0,5%	23,65	0,5955%	-
3	1%	25,27	7,4862%	-
4	1,5%	27,74	17,9923%	-
5	2%	21,73	-	7,5712%
6	5%	20,38	-	13,3135%
7	10%	20,21	-	14,0366%
8	15%	18,74	-	20,2892%
9	20%	18,57	-	21,0123%
10	25%	17,69	-	24,7554%

Tabel 4.16 Kuat desak beton rata-rata pada umur 28 hari

No	Prosentase katalis	f <sub>cr</sub> (Mpa)	Prosentase	
			Kenaikan	Penurunan
1	0%	23,46	0%	0%
2	5%	20,60	-	12,1910%
3	10%	19,62	-	16,3683%
4	15%	19,23	-	18,0307%
5	20%	18,65	-	20,5030%
6	25%	17,96	-	

Sel besu 28 m. keatas  
 2.1  
 sampai ↓

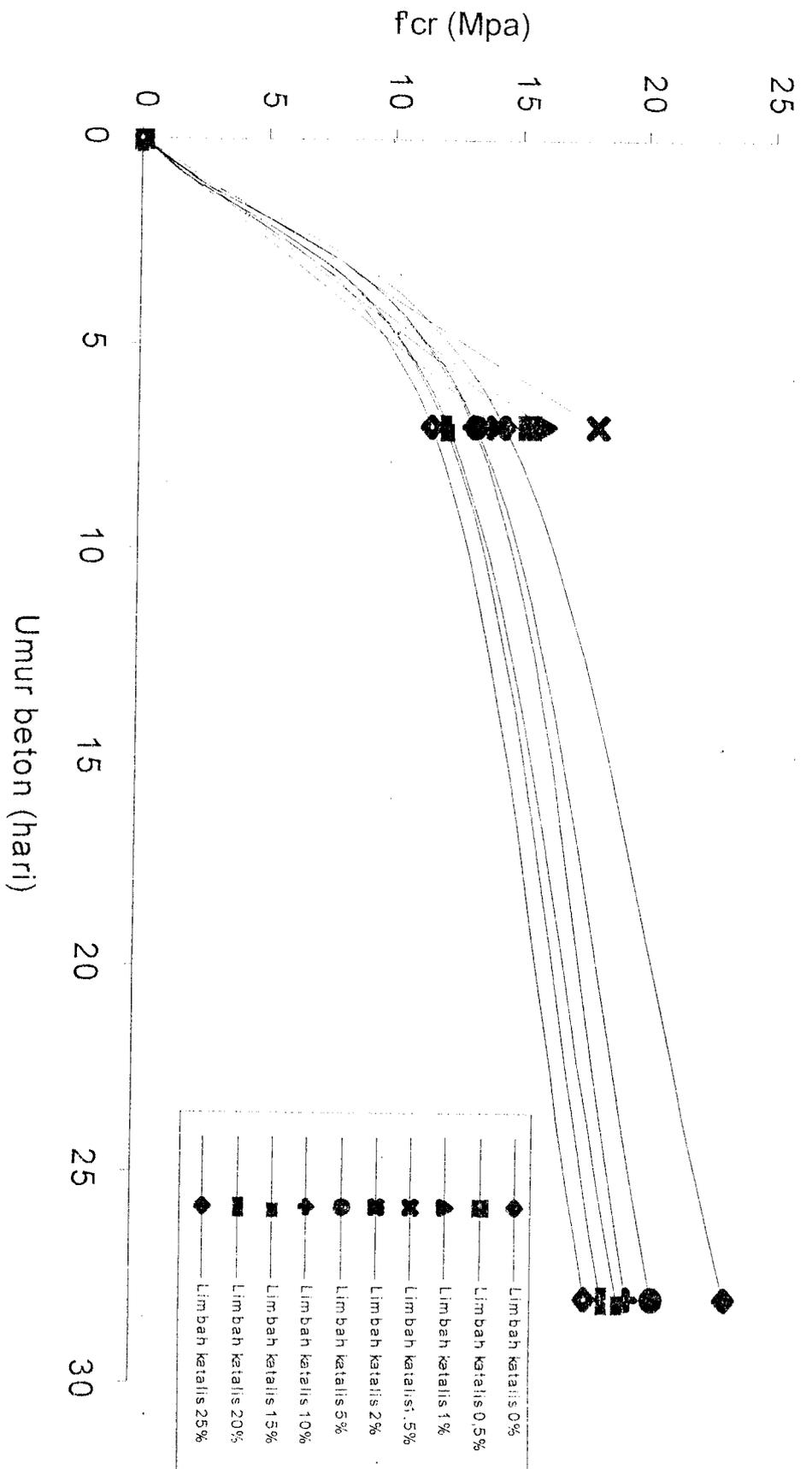
keatas Sel besu  
 keatas Sel besu

Tabel 4.17 Kuat desak karakteristik beton pada umur 28 hari

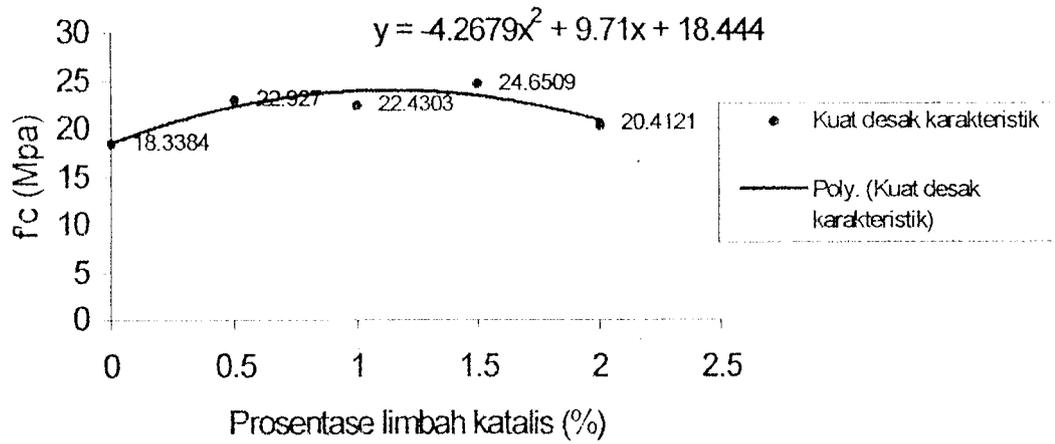
No	Prosentase katalisi	f'c (Mpa)	Prosentase	
			Kenaikan	Penurunan
1	0%	18,3384	0%	0%
2	0,5%	22,9270	25,0218%	-
3	1%	22,4303	22,3133%	-
4	1,5%	24,6509	34,4223%	-
5	2%	20,4121	11,3080%	-
6	5%	15,9296	-	13,1353%
7	10%	15,9096	-	13,2443%
8	15%	15,9975	-	12,7650%
9	20%	14,5822	-	20,4827%
10	25%	12,3001	-	32,9271%

jumlah 5 susas  
 untuk 5 kubus  
 apakah mungkin  
 kembali aliter  
 cupress!

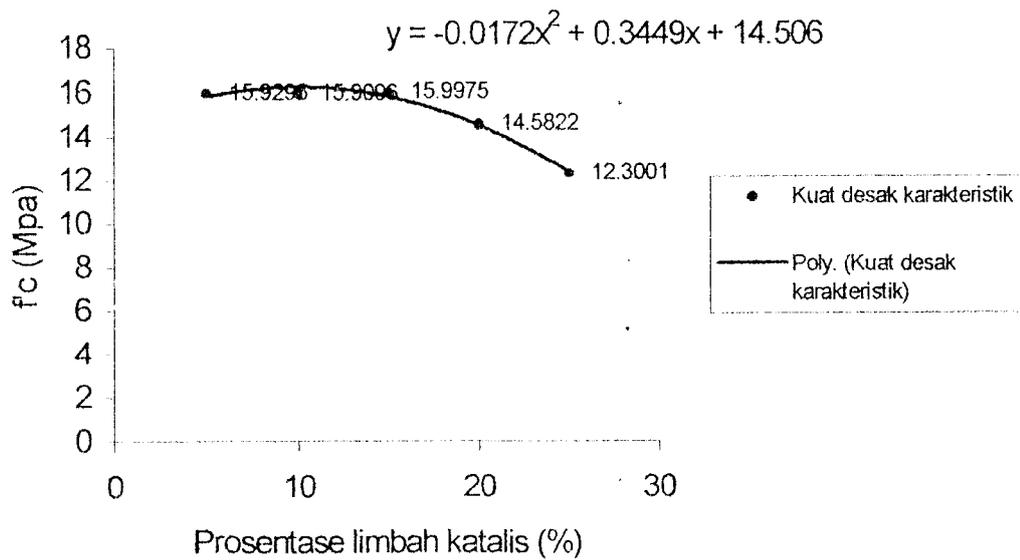
Untuk melihat hubungan antara kuat desak rata-rata beton dengan umur beton 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Grafik 4.2, sedangkan untuk melihat hubungan antara kuat desak karakteristik beton dengan prosentase limbah katalis dapat dilihat pada Grafik 4.3



Gambar 4.2 Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata terhadap umur beton



Gambar 4.3 Grafik hubungan kuat desak karakteristik beton terhadap prosentase limbah katalis 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%



Gambar 4.4 Grafik hubungan kuat desak karakteristik beton terhadap prosentase limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%

Untuk menentukan kemungkinan hubungan antara kuat desak beton terhadap prosentase penambahan limbah katalis ( zeolits kristalin ), dapat dianalisis dengan metode statistik yaitu dengan menggunakan analisis regresi dan korelasi. Tujuannya adalah untuk memprediksikan atau meramalkan suatu nilai dari satu variabel dalam hubungannya dengan variabel lain, hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan. Dalam hal ini prosentase limbah katalis ( zeolit kristalin ) adalah variabel yang mempengaruhi ( variabel X ) dan kuat desak beton adalah variabel yang dipengaruhi ( variabel Y ).

Perhitungan analisis regresi dan korelasi, dapat dilihat pada lampiran no: 1a dan 2a. Hasil analisis regresi dan korelasi hubungan antara kuat desak beton rata-rata terhadap prosentase penambahan ( limbah katalis ) pada umur beton 7 hari dan 28 hari, sebagai berikut ini.

1. Kuat desak beton rata-rata terhadap prosentase limbah katalis pada umur 7 hari.
  - persamaan regresi :  $Y = 24,7183 - 0,6056X + 0,0135X^2$
  - koefisien korelasi :  $r = -0,83$
2. Kuat desak beton rata-rata terhadap prosentase limbah katalis pada umur 28 hari.
  - persamaan regresi :  $Y = 23,0711 - 0,4151X + 0,0089X^2$
  - koefisien korelasi :  $r = -0,92$

Dari hasil analisis regresi dan koerelasi, nilai koefisien regresi ( r ) pada umur beton 7 hari dan 28 hari ternyata cukup besar. Hal ini dapat diprediksikan bahwa penambahan limbah katalis ( zeolits kristalin ) berpengaruh terhadap kuat desak

beton. Pada penambahan limbah katalis ( 0,5%, 1%, 1,5%, 2% ) terjadi kenaikan kuat desak beton. Sedangkan penambahan limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, 25% terjadi penurunan kuat desak beton.

Pada tabel 4.15 dan gambar grafik 4.2, dapat dilihat bahwa pada umur beton 7 hari dengan penambahan limbah katalis 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% prosentase kenaikan kuat desak beton terhadap beton normal cukup tinggi, untuk penambahan prosentase limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terjadi penurunan kuat desak beton yang relatif tinggi. Pada penambahan limbah katalis 1,5% pada data didapat hasil kuat desak beton yang maksimum. Dan setelah diplot kuat desak maksimum terjadi pada penambahan limbah katalis antara 1% - 1,5%.

Pada tabel 4.17 dan gambar grafik 4.3, memperlihatkan bahwa kuat desak beton setelah penambahan limbah katalis dengan prosentase 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% terjadi kenaikan mutu kuat desak beton dibandingkan dengan beton normal. Sedangkan untuk penambahan limbah katalis dengan prosentase 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% kuat desak beton yang dihasilkan semakin kecil, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: proses pengerjaan yang sulit karena nilai slump yang dihasilkan cukup kecil, proses pemadatan yang kurang baik karena kelecekan adukan beton rendah sehingga beton yang dihasilkan berongga ( keropos ). Pada penambahan prosentase limbah katalis 1% terjadi penurunan kuat desak beton yang sangat kecil dibandingkan dengan penambahan prosentase limbah katalis 0,5%, yang mana seharusnya pada penambahan prosentase limbah katalis 1% terjadi kenaikan kuat desak beton dibandingkan penambahan prosentase limbah katalis 5%. Hal ini

disebabkan karena kurangnya ketelitian pada waktu pembuatan sampel, dan kuat desak beton optimum pada data terjadi pada penambahan prosentase limbah katalis 1,5%. Dan setelah diplot kuat desak optimum terjadi pada penambahan limbah katalis antara 1% - 1,5%.

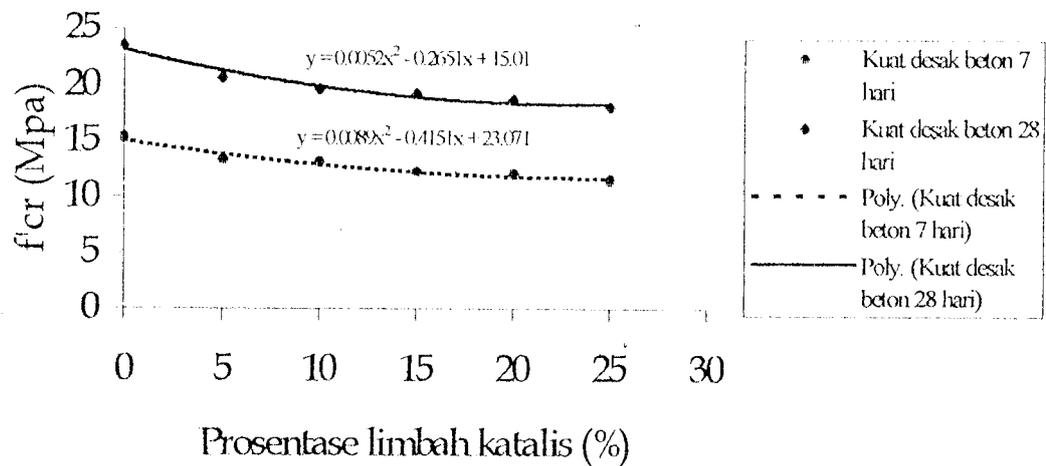
#### 4.3.3 Perbandingan Prosentase Kuat Desak Beton

Prosentase kuat desak beton untuk berbagai penambahan limbah katalis pada umur 7 hari, terhadap kuat desak beton umur 28 hari, dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 4.18 Konversi kuat desak beton pada umur 7 hari terhadap beton umur 28 hari

No	Prosentase limbah katalis	$f'_{cr}$ 7 hari (Mpa)	$f'_{cr}$ 28 hari (Mpa)	Konversi
1	0%	15,28	23,46	65,13%
2	5%	13,25	20,60	64,32%
3	10%	13,13	19,62	66,96%
4	15%	12,18	19,23	63,34%
5	20%	12,06	18,65	64,66%
6	25%	11,64	17,96	64%

Hasil pengujian kuat desak beton umur 7 hari dan 28 hari, dapat dibuat grafik hubungan antara kuat desak rata-rata dengan prosentase limbah katalis, sebagai berikut ini:



Gambar 4.4 Grafik hubungan kuat desak beton umur 7 hari dan 28 hari dengan prosentase limbah katalis.

Prosentase kuat desak beton umur 7 hari terhadap beton umur 28 hari pada penambahan limbah katalis ( zeolits kristalin ) 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, terjadi penurunan prosentase kuat desak bila dibandingkan terhadap prosentase kuat desak beton normal. Sedangkan prosentase kuat desak beton umur 7 hari pada penambahan limbah katalis 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%, terjadi kenaikan prosentase kuat desak beton dibandingkan terhadap prosentase kuat desak beton normal. Kuat desak maksimum pada data terjadi pada penambahan limbah katalis 1,5%. Dan setelah diplot kuat desak maksimim terjadi pada penambahan limbah katalis antara 1% - 1,5%.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada hasil penelitian dan pembahasan tentang tinjauan nilai slump dan kuat desak beton terhadap pemakaian limbah katalis sebagai bahan tambah, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Penambahan limbah katalis ke dalam adukan beton akan menurunkan nilai slump, makin tinggi prosentase penambahan limbah katalis, nilai slump semakin rendah
2. Penambahan limbah katalis ke dalam adukan beton berpengaruh pada kuat desak beton. Pada penambahan limbah katalis 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% akan meningkatkan kuat desak beton tetapi pada penambahan limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% akan menurunkan kuat desak beton
3. Penambahan limbah katalis optimum pada 1,5% yang akan meningkatkan kuat desak beton maksimum

#### **5.2 Saran-saran**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diberikan saran-saran berikut ini.

1. Perlu diadakan penelitian lagi yang lebih teliti dengan bahan tambah limbah katalis prosentase antara 2,5% - 5%.
2. Untuk memanfaatkan limbah katalis ini, perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai besar prosentase unsur –unsur penyusun limbah katalis.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Antono, Ahmad, Prof. Ir. Diktat Bahan Konstruksi Teknik Sipil I, Laboratorium BKT Jurusan Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1985.
2. Edward G, 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, PT. Eresco, Bandung.
3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI), Badan Peneliti dan Pengembangan Departemen Perkejaan Umum, Bandung, 1992.
4. Murdock, L.J. and Brook, K.M. dan Stephanus Hendarko, Ir., 1979, Bahan Dan Praktek Beton, Erlangga, Jakarta.
5. Istimawan Dipohusodo, 1994, Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15 – 1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
6. M. Kusnadi, " \_\_\_\_\_ Teknologi Beton, Departemen Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, ITB, Bandung.
7. Majalah Konstruksi, No: 253 – Juni – B, 1997
8. Gambhir. ML, 1986, Concrete Technology.



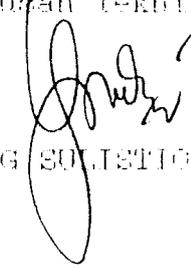
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	MULKARUAIN	92 310 040		STRUKTUR
2.	AGUNG LWI CHAUDEA	92 310 120		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I : IR. H. IRCHIL. TEGUH, MSCE  
Dosen Pembimbing II : IR. FAISOL AH., MS  
1 2



Yogyakarta, 06 Desember 1997  
An. Dekan,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil.  
  
IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE

0,5 1 1,5 2

LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN BAHAN TAMBAH LIMBAH KATALIS  
PENYULINGAN MINYAK BUMI

No	Tanggal	Keterangan	paraf
	1/98 7	Perbaikan pecah mix dengan, cari penyebab pecahnya kuat tekan beton	ul
	28/21 7	Detailis	ul
	29/21 7	Daftar doc pembeking	ul
	11/8 98	Doc untuk mendaftarkan rjiran	ul
	16/9 98	Doc dapat diperbanyak	ul

LAMPIRAN 2a

1. Analisa segresi dan korelasi hubungan kuat desak beton dengan prosentase limbah katalis pada umur 7 hari.

Keterangan :

X = kuat desak beton rata-rata (Mpa)

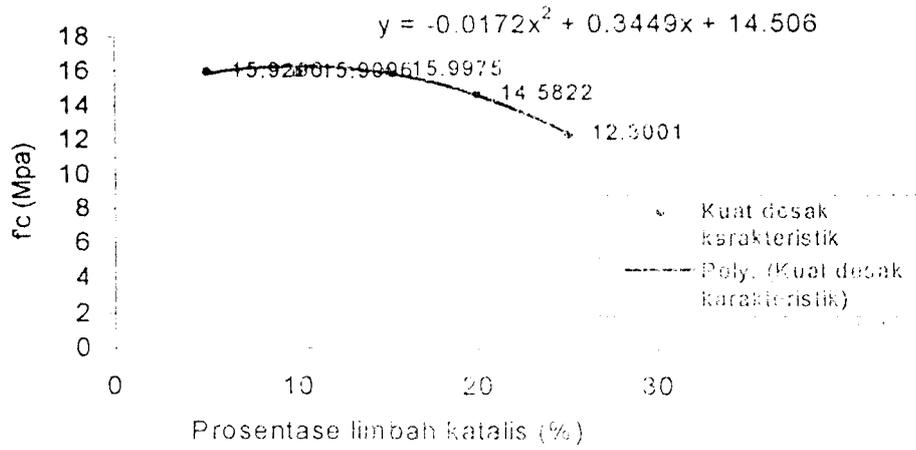
Y = prosentase limbah katalis (%)

Y	Y <sup>2</sup>	X	X <sup>2</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	XY	X <sup>2</sup> Y
23,46	550,3716	0	0	0	0	0	0
23,65	559,3225	0,5	0,25	0,125	0,0625	11,825	5,9125
25,27	638,5729	1	1	1	1	25,27	25,27
27,74	769,5076	1,5	2,25	3,375	5,0625	41,61	62,415
21,73	472,1929	2	4	8	16	43,46	86,92
20,38	415,3444	5	25	125	625	101,9	509,5
20,21	408,4441	10	100	1000	10000	202,1	2021,0
18,74	351,1876	15	225	3375	50625	281,1	4216,5
18,57	344,8449	20	400	8000	160000	371,4	7428
17,69	312,2289	25	625	15625	390625	442,25	11056,25
217,44	4822,017	80	1382,5	28137,5	611897,125	1520,915	25411,76

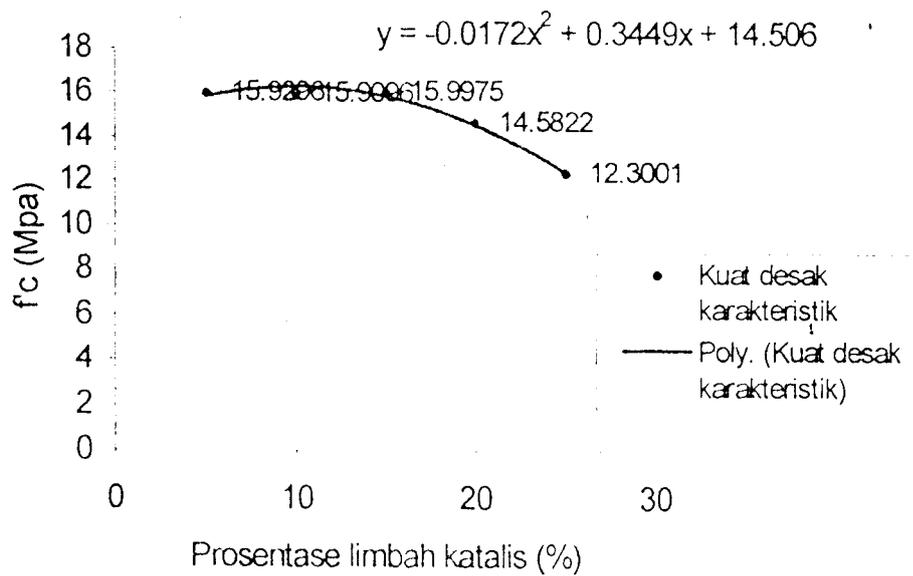
Persamaan regresi :  $y = -0,0007x^3 + 0,0398x^2 - 0,8423x + 24,965$

Koefisien korelasi :  $r = \frac{10.1520,915 - 80.217,44}{\sqrt{(10.1382,5 - 80^2).(10.4822,0174 - 217,44^2)}} = -0,83$

LAMPIRAN 2B



Gambar 1. Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata dengan prosentase limbah katalis 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% pada umur 7 hari.



Gambar 2. Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata dengan prosentase limbah katalis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% pada umur 7 hari.

LAMPIRAN 3a

2. Analisa segresi dan korelasi hubungan kuat desak beton dengan prosentase limbah katalis pada umur 28 hari.

Keterangan :

X = kuat desak beton rata-rata (Mpa)

Y = prosentase limbah katalis (%)

Y	Y <sup>2</sup>	X	X <sup>2</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	XY	X <sup>2</sup> Y
23,46	550,3716	0	0	0	0	0	0
20,60	424,36	5	25	125	625	103	515
19,62	384,9444	10	100	1000	10000	196,2	1962
19,23	369,7929	15	225	3375	50625	288,45	1962
18,65	347,8225	20	400	8000	160000	373	4326,75
17,96	322,5616	25	625	15625	390625	449	11225
119,52	2399,853	75	1375	28125	611875	1409,65	25488,75

$$6.a + 75.b + 1375.c = 119,52$$

$$75.a + 1375.b + 28125.c = 1409,65$$

$$1375.a + 28125.b + 611875.c = 25488,75$$

didapat :

$$a = 23,0711$$

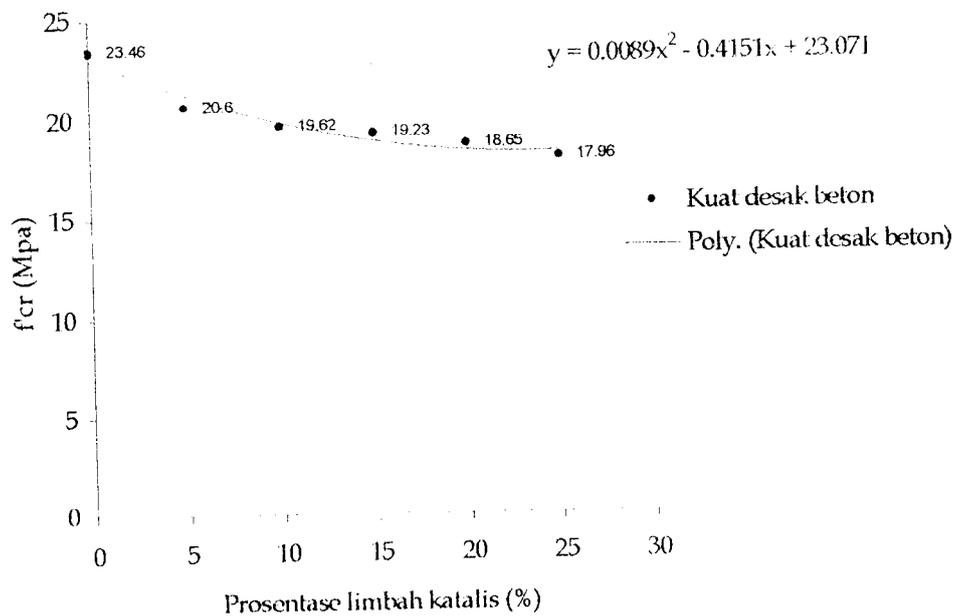
$$b = -0,4151$$

$$c = 0,0089$$

LAMPIRAN 3b

Persamaan regresi :  $y = 23,0711 - 0,4151 \cdot x + 0,0089 \cdot x^2$

Koefisien korelasi :  $r = \frac{6.1409,65 - 75.119,52}{\sqrt{(6.1375 - 75^2) \cdot (6.2399,8530 - 119,52^2)}} = -0,92$



Gambar 2. Grafik hubungan kuat desak beton rata-rata dengan prosentase limbah katalis pada umur 28 hari.

Tabel 4.3 Kuat desak rata-rata untuk berbagai prosentase limbah katalis pada umur 7 hari

No	Kode	Prosentase limbah katalis	$f_{c28}$ silinder (Mpa)	$f_c$ rata-rata (Mpa)
1	A0	0%	22,12	23,51
2	A0		24,83	
3	A0		23,51	
4	A0		23,96	
5	A0		25,07	
6	A0		26,38	
7	A0		23,03	
8	A0		20,89	
9	A0		28,10	
10	A0		17,21	
11	A1	0,5%	24,15	23,65
12	A1		24,58	
13	A1		24,20	
14	A1		23,45	
15	A1		23,95	
16	A1		22,91	
17	A1		23,31	
18	A1		23,17	
19	A1		23,74	
20	A1		23,00	

Lanjutan Tabel 4.3.

No	Kode	Prosentase limbah katalis	$f_{c28}$ silinder (Mpa)	$f_c$ rata-rata (Mpa)
21	A2	1,0%	29,34	25,27
22	A2		21,86	
23	A2		23,20	
24	A2		24,83	
25	A2		24,04	
26	A2		28,25	
27	A2		26,01	
28	A2		25,06	
29	A2		24,52	
30	A2		25,55	
31	A3	1,5%	29,42	27,74
32	A3		27,70	
33	A3		28,04	
34	A3		28,10	
35	A3		29,43	
36	A3		28,99	
37	A3		29,76	
38	A3		25,79	
39	A3		21,70	
40	A3		28,51	

Lanjutan Tabel 4.3.

No	Kode	Prosentase limbah katalis	$f_{c28}$ silinder (Mpa)	$f_c$ rata-rata (Mpa)
41	A4	2,0%	20,64	21,75
42	A4		22,20	
43	A4		21,96	
44	A4		22,22	
45	A4		21,57	
46	A4		20,19	
47	A4		20,59	
48	A4		23,20	
49	A4		22,12	
50	A4		22,57	
51	A5	5%	19,09	20,38
52	A5		23,56	
53	A5		17,12	
54	A5		23,23	
55	A5		13,66	
56	A5		21,68	
57	A5		20,27	
58	A5		21,53	
59	A5		22,81	
60	A5		20,87	

Lanjutan Tabel 4.3.

No	Kode	Prosentase limbah katalis	fc28 silinder (Mpa)	fc rata-rata (Mpa)
61	A6	10%	14,27	20,21
62	A6		18,42	
63	A6		20,27	
64	A6		19,23	
65	A6		19,96	
66	A6		23,50	
67	A6		20,69	
68	A6		22,71	
69	A6		19,97	
70	A6		23,13	
71	A7	15%	19,09	18,74
72	A7		18,24	
73	A7		15,01	
74	A7		17,23	
75	A7		21,19	
76	A7		24,69	
77	A7		16,99	
78	A7		20,14	
79	A7		15,72	
80	A7		19,09	

Lanjutan Tabel 4.3.

No	Kode	Prosentase limbah katalis	fc <sub>28</sub> silinder (Mpa)	fc rata-rata (Mpa)
81	A8	20%	17,20	18,57
82	A8		22,34	
83	A8		13,84	
84	A8		20,90	
85	A8		20,35	
86	A8		17,48	
87	A8		18,85	
88	A8		16,56	
89	A8		18,50	
90	A8		19,63	
91	A9	25%	16,59	17,69
92	A9		20,00	
93	A9		17,96	
94	A9		15,83	
95	A9		15,09	
96	A9		19,35	
97	A9		18,84	
98	A9		17,29	
99	A9		16,06	
10	A9		19,89	

Tabel 4.4 Kuat desak rata-rata untuk berbagai prosentase limbah katalis pada umur 28 hari

No	Kode	Prosentase limbah katalis	fc28 silinder (Mpa)	fc rata-rata (Mpa)
1	B0	0%	21,61	23,46
2	B0		20,68	
3	BQ		29,74	
4	B0		25,75	
5	B0		25,27	
6	B0		24,81	
7	B0		24,30	
8	B0		17,13	
9	B0		22,91	
10	B0		22,37	
11	B1	5%	20,61	20,60
12	B1		17,16	
13	B1		20,15	
14	B1		22,34	
15	B1		19,47	
16	B1		24,55	
17	B1		20,57	
18	B1		24,88	
19	B1		16,43	
20	B1		19,79	

Lanjutan Tabel 4.4.

No	Kode	Prosentase limbah katalis	fc <sub>28</sub> silinder (Mpa)	fc rata-rata (Mpa)
21	B2	10%	18,74	19,62
22	B2		19,46	
23	B2		14,97	
24	B2		21,68	
25	B2		18,79	
26	B2		19,50	
27	B2		20,51	
28	B2		22,32	
29	B2		20,41	
30	B2		19,79	
31	B3	15%	18,84	19,23
32	B3		18,56	
33	B3		19,89	
34	B3		21,95	
35	B3		18,90	
36	B3		22,81	
37	B3		20,12	
38	B3		16,81	
39	B3		16,94	
40	B3		17,48	

Lanjutan Tabel 4.4.

No	Kode	Prosentase limbah katalis	$f_{c28}$ silinder (Mpa)	$f_c$ rata-rata (Mpa)
41	B4	20%	21,28	18,65
42	B4		20,91	
43	B4		15,26	
44	B4		21,98	
45	B4		18,27	
46	B4		18,17	
47	B4		15,08	
48	B4		19,60	
49	B4		16,22	
50	B4		19,68	
51	B5	25%	18,67	17,96
52	B5		16,41	
53	B5		16,70	
54	B5		19,53	
55	B5		15,82	
56	B5		17,44	
57	B5		17,65	
58	B5		19,19	
59	B5		18,57	
60	B5		19,61	