

**TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM**

**PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN
DENGAN GERGAJIAN BATU ANDESIT TERHADAP
KUAT DESAK DAN KUAT LENTUR BETON**



**MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UJI YOGYAKARTA**

Di susun oleh :

Nama : Hadi Suyitno
No. Mhs : 97 511 072
NIRM : 970051013114120061
Nama : Nofri Sagita
No. Mhs : 97 511 378
NIRM : 97 0051013114120305

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN
DENGAN GERGAJIAN BATU ANDESIT TERHADAP
KUAT DESAK DAN KUAT LENTUR BETON**

Disusun Oleh:



Nama : Hadi Suyitno
No. Mhs : 97 511 072
NIRM : 970051013114120061

Nama : Nofri Sagita
No. Mhs : 97 511 378
NIRM : 970051013114120305

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

IR.H.M.Samsudin, MT
Desen Pembimbing I

IR.Fatkhurrochman N., MT
Desen Pembimbing II


Tanggal: 8-01-02

Tanggal:

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Assalamu' alaikum wr . wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tentang PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN GERGAJIAN BATU ANDESIT TERHADAP KUAT DESAK DAN LENTUR BETON, ini dengan baik.

Penelitian yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dengan selesainya laporan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. H.M. Samsudin, MT, selaku dosen Pembimbing Utama dengan penuh kesabaran dan ketekunan telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
2. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ide- ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya penelitian penulis, juga selaku Kepala Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah banyak meringankan biaya penelitian kami.
3. Ir.H. Susastrawan, MS, selaku dosen tamu pada acara sidang dan pendadaran.

4. Ir. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.
7. Ibu dan Ayah tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberi dorongan baik moral maupun material selama pelaksanaan pendidikan, penelitian, dan penulisan skripsi ini.
8. Segenap staff dan karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan Lab. Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
9. Pimpinan dan karyawan perusahaan dagang Rizky Citra Muntilan.
10. Rekan- rekan: Adi, Eko, Guntur, Andi, Idep, Danar, Ilham, Haekal, Hasim, Nanok, Yuli, Edi, Aziz, Yusuf, Yansah, Agus, Khalis, Dian, Fani, teman-teman klas E'97 yang cantik dan cakep, serta semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah membantu penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca

laporan tugas akhir kami ini, namun penulis berharap agar hasil yang diperoleh ini bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Wabillahittaufik walhidayah, wassalamu' alaikum wr. Wb.

Yogyakarta, November 2001

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR SIMBOL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ABSTRAKSI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI.....	9
3.1 Umum.....	9
3.2 Material Penyusun Beton.....	10
3.2.1 Semen portland.....	10

3.2.2 Agregat.....	12
3.2.3 Air.....	12
3.2.4 Limbah gergajian batu andesit	13
3.2.5 Tinjauan porositas terhadap kekuatan beton.....	16
3.3 Slump.....	20
3.4 Workability.....	20
3.5 Kuat Tekan Beton.....	20
3.6 Kuat Lentur Beton.....	21
3.7 Hubungan Beban dan Lendutan.....	24
3.8 Hubungan Momen dengan Kelengkungan.....	25
3.9 Hipotesis.....	29
BAB IV METODE PENELITIAN.....	31
4.1 Material Pembentuk Beton.....	31
4.1.1 Semen.....	31
4.1.2 Agregat.....	31
4.1.3 Air.....	31
4.1.4 Baja tulangan.....	31
4.1.5 Gergajian batu andesit.....	32
4.2 Peralatan Pengujian.....	32
4.2.1 Timbangan.....	32
4.2.2 Mistar dan kaliper.....	32
4.2.3 Ayakan.....	32
4.2.4 Mesin penyaring.....	33

4.2.4	Mesin penyaring.....	33
4.2.5	Mesin pengaduk beton.....	33
4.2.6	Cetok dan talam baja.....	33
4.2.7	Kerucut abrams.....	33
4.2.8	Mesin uji kuat tarik.....	33
4.2.9	Mesin uji kuat desak.....	34
4.2.10	“Loading frame”.....	34
4.2.11	Dukungan sendi dan rol.....	35
4.2.12	“Tranducer indikator”.....	35
4.2.13	Hidraulic jack.....	36
4.2.14	“Dial gauge”.....	36
4.3	Pelaksanaan Penelitian.....	37
4.3.1	Persiapan.....	37
4.3.2	Pembuatan dan perawatan benda uji.....	37
4.3.3	Pelaksanaan pengujian.....	38
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
5.1	Hasil Penelitian.....	41
5.1.1	Hasil uji kandungan kimia gergajian batu andesit.....	41
5.1.2	Hasil uji kuat desak beton.....	42
5.1.3	Hasil uji kuat tarik baja tulangan.....	43
5.1.4	Hasil uji kuat lentur balok beton bertulang.....	43
5.2	Pembahasan.....	50
5.2.1	Kandungan silika abu batu andesit.....	50

5.2.3	Workability.....	52
5.2.4	Kuat tarik baja	52
5.2.5	Kuat lentur.....	52
5.2.6	Kekakuan.....	54
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....		58
LAMPIRAN		

DAFTAR SIMBOL

A	= Luas
A_s	= Luas Tulangan Tarik
A'_s	= Luas Tulangan Desak
a	= Kandungan Udara Dalam Beton
b	= Lebar Balok
c	= Jarak Serat Tekan Terluar ke Garis Netral
d	= Tinggi Efektif Balok
d'	= Jarak Dari Serat Terluar Desak ke Pusat Tulangan Desak
E_c	= Modulus Elastis Beton
EI	= Faktor Kekakuan
f'_c	= Kuat Tekan Beton
f_{cr}	= Kuat Tekan Beton Rata-rata
f_i	= Kekutan Batas
f_r	= Modulus Retak Beton
f_{rel}	= Kuat tekan Relatif
f_s	= Tegangan Dalam
f_y	= Tegangan Leleh Baja
h	= Tinggi balok
I	= Momen Inersia
K	= Kekakuan
L	= Panjang

M = Momen
M_{cr} = Momen Retak
M_n = Momen Nominal
M_u = Momen Terfaktor
M_y = Momen Pada Saat Leleh
N_D = Gaya Desak
N_T = Gaya Tarik
P = Beban
R = Jari-jari Kelengkungan
s = Jarak Sengkang
sd = Standar Deviasi
SR = Silika Rasio
V_a = Udara Void
V_{ag} = Volume Agregat Dalam Beton
V_c = Volume Semen
V_g = Volume Gel
V_w = Volume Air
W_{ag} = Berat Agregat
W_c = Berat Semen
W_{conc} = Berat Beton
W_w = Berat Air
X_F = Gel Space Ratio
y = Perpindahan

- ϵ_s' = Modulus Elastis Baja Tulangan Desak
- ϵ_s = Modulus Elastis Baja Tulangan Tarik
- ϵ_y = Modulus Elastis Baja
- ϕ = Kelengkungan
- ϕ_{cr} = Kelengkungan Pada Saat Retak Pertama
- ϕ_u = Kelengkungan Pada Saat Beban Ultimit
- ϕ_y = Kelengkungan Pada Saat Leleh
- ρ = Rasio Penulangan
- β = Konstanta Kelas Kuat Beton
- Δ = Lendutan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Skema Komposisi Beton Segar.....	14
Gambar 3.2	Skema Komposisi Pasta.....	15
Gambar 3.3	Skema Hidrasi Semen	16
Gambar 3.4	Hubungan Antara Kehilangan Kekuatan Dengan Ruangan Rongga Udara.....	17
Gambar 3.5	Hubungan Porositas Kapiler dan Kuat Desak Beton.....	17
Gambar 3.6	Menjelaskan Efek Kandungan Udara Terhadap Kuat Tekan Beton	19
Gambar 3.7	Menjelaskan Efek Relatif Dari Kandungan Udara Pada Beberapa Karakteristik Beton.....	20
Gambar 3.8	Distribusi Regangan dan Tegangan Lentur Balok Beton Bertulang	22
Gambar 3.9	Hubungan Beban dan Lendutan.....	24
Gambar 3.10	Kelengkungan Balok Beton Bertulang	25
Gambar 3.11	Lendutan Balok.....	26
Gambar 3.12	Kurva Momen Kelengkungan Ideal.....	29
Gambar 4.1	Loading Frame.....	34
Gambar 4.2	Dukungan Sendi dan Rol.....	35
Gambar 4.4	Tranducer Indikator.....	35
Gambar 4.5	Dongkrak Hidrolik.....	36
Gambar 4.6	Dial Gauge.....	36
Gambar 4.7	Balok Uji.....	38
Gambar 4.8	Metoda Pembebanan.....	40

Gambar 5.1	Grafik Penurunan Kuat Desak Silinder Beton.....	42
Gambar 5.2	Grafik Regresi Penurunan Kuat Desak Silinder Beton.....	42
Gambar 5.3	Diagram Hubungan Beban dan Lendutan.....	45
Gambar 5.4	Diagram Hubungan Beban Lendutan Balok Normal dan Balok Dengan Penggantian Sebagian Semen.....	46
Gambar 5.5	Grafik Penurunan Kapasitas Balok.....	47
Gambar 5.6	Grafik Regresi Penurunan Kapasitas Balok.....	47
Gambar 5.7	Grafik Tri-Linear Momen dan Kelengkungan teoritis.....	48
Gambar 5.8	Grafik Tri-Linear Momen Kelengkungan Untuk Balok Normal dan Balok Dengan Penggantian Sebagian Semen.....	48
Gambar 5.9	Grafik Penurunan Faktor Kekakuan.....	49
Gambar 5.10	Grafik Regresi Penurunan Faktor Kekakuan.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar
- Lampiran 2 : Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus
- Lampiran 3 : Data Pemeriksaan Berat volume Agregat Kasar
- Lampiran 4 : Data Pemeriksaan Modulus Halus Butir Pasir
- Lampiran 5 : Data Pemeriksaan Kandungan Lumpur Dalam Pasir
- Lampiran 6 : Data Analisis Kimia Abu Batu Andesit
- Lampiran 7 : Hasil Pengujian Tarik Baja
- Lampiran 8 : Data Kuat Desak Silinder beton
- Lampiran 9 : Mix Disain Dengan Metode ACI
- Lampiran 10 : Perhitungan Momen Retak Secara Teoritis
- Lampiran 11 : Perhitungan Momen Kelengkungan Secara Teoritis
- Lampiran 12 : Analisis Kandungan Kimia Silika Abu Batu Andesit Terhadap Perubahan Mutu Semen Portland
- Lampiran 13 : Data Uji kuat Lentur Balok Untuk Setiap Variasi
- Lampiran 14 : Grafik Beban Lendutan Balok Untuk Setiap Variasi
- Lampiran 15 : Grafik Bi-Linear Beban Lendutan
- Lampiran 16 : Grafik Bi-Linear Momen Kelengkungan
- Lampiran 17 : Grafik Tri-Linear Momen Kelengkungan
- Lampiran 18 : Grafik Bi-Linear Momen Ultimit Kelengkungan
- Lampiran 19 : Data Kuat Tekan Beton Ditinjau Dari Nilai Slump

DAFTAR TABEL

Tabel.3.1	Porsentasi Dari Komposisi Unsur Kimia Semen Portland	10
Tabel.3.2	Porsentasi Komposisi Semen Portland	10
Tabel.3.3	Hasil Analisis Silika Gergajian Batu Andesit	12
Tabel.3.4	Koefisien Untuk Persamaan 3.7	12
Tabel.3.5	Kandungan Unsur Kimia Batu Andesit	13
Tabel.5.1	Hasil Analisis Silika Gergajian Batu Andesit	41
Tabel.5.2	Hasil Uji Desak Silinder Beton	42
Tabel.5.3	Hasil Uji Tarik Baja	43
Tabel.5.4	Hasil Pengujian Lentur Balok Normal	44
Tabel.5.5	Hasil Analisis Hubungan Beban dan Lendutan	46
Tabel.5.6	Hasil Hitungan Momen Kelengkungan Teoritis	47
Tabel.5.7	Hasil Analisis Momen Kelengkungan Dengan Faktor Kekakuan	49
Tabel.5.8	Kandungan Unsur Kimia Limbah Gergajian Batu Andesit	50

ABSTRAKSI

Perkembangan dalam bidang industri tidak hanya memiliki implikasi yang positif akan tetapi juga dapat memiliki implikasi yang negatif seperti limbah industri yang setiap harinya menumpuk. Fenomena tersebut tidak selamanya diimbangi dengan penanganan limbah yang timbul akibat industri tersebut, salah satu contoh adalah limbah gergajian batu andesit di Muntilan.

Penelitian eksperimental menguji 50 silender dan 15 buah balok dimana penggantian semen dengan gergajian batu andesit bervariasi, mulai dari 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Jumlah sampel terdiri dari 10 buah silinder, 3 buah balok untuk tiap-tiap masing-masing variasi. Semua sampel dibandingkan dengan balok normal (tanpa penggantian sebagian semen dengan abu batu). Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan gergajian batu andesit terhadap kuat desak beton dan kuat lentur beton.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai kuat desak beton, faktor kekakuan (EI), kekakuan balok (K) dan kapasitas momen beton (Mu) mengalami penurunan. Kuat desak mengalami penurunan terkecil pada penggantian semen 5 % sebesar 3,84 %, penurunan terbesar pada penggantian 20 % sebesar 24,7 % dari beton normal. Faktor kekakuan balok (EI) mengalami penurunan terbesar pada penggantian semen 20 % sebesar 52,66 %, sedangkan kekakuan balok (K) mengalami penurunan terkecil pada penggantian semen 5 % yaitu sebesar 15,62 %, penurunan terbesar pada penggantian semen 20 % sebesar 46,25 % dan penurunan kapasitas momen terbesar pada penggantian semen sebesar 20 % yaitu 13,89 % dari beton normal. Dengan memperhatikan kondisi tersebut maka bahan ini tidak dapat digunakan sebagai pengganti semen untuk campuran beton.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang industri tidak hanya memiliki implikasi yang positif akan tetapi juga dapat memiliki implikasi yang negatif seperti limbah industri yang setiap harinya menumpuk. Fenomena tersebut tidak selamanya diimbangi dengan penanganan limbah yang timbul akibat industri tersebut, salah satu contoh adalah limbah gergajian batu andesit di Muntilan. Selama ini usaha pemanfaatan limbah tersebut belum optimal, hanya sebagai bahan urugan dan apabila limbah ini masuk kesawah penduduk mengakibatkan tanah tersebut sulit untuk diolah. Oleh sebab itu perlu dicari alternatif lain untuk pemanfaatan limbah tersebut.

Limbah gergajian batu andesit mempunyai ukuran butiran yang cukup halus yaitu lolos saringan nomor 200 ($75 \mu\text{m}$). Apabila limbah gergajian batu andesit digunakan dalam adukan beton diharapkan dapat mengurangi porositas sehingga kekuatan beton meningkat. Semakin kecil porositas dalam beton maka kuat desak meningkat. selain mempunyai ukuran butiran yang cukup halus gergajian batu andesit ini juga mempunyai kandungan unsur silika. Kandungan unsur silika pada batu andesit berkisar 58,5%, karena itu hal ini menarik untuk diteliti

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, gergajian batu andesit difungsikan sebagai pengganti sebagian semen, hal ini dikarenakan gergajian batu andesit ini mempunyai kandungan silika dan mempunyai ukuran yang sangat halus. Dengan pemanfaatan limbah ini diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah yang setiap hari semakin banyak.

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus pada rumusan masalah diatas, maka perlu diberikannya batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. benda uji menggunakan adalah silender ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
2. benda uji kuat lentur menggunakan balok ukuran 10 x 15 x 200 cm.
3. pengujian sampel silender dan balok dilakukan pada umur beton 28 hari,
4. bahan untuk pembuatan beton : Semen Nusantara tipe 1, agregat halus dari kaliurang, agregat kasar dari celereng, air dari laboratoium bahan konstruksi teknik Universitas Islam Indonesia, limbah gergajian batu andesit berasal dari perusahaan gergajian batu andesit Rizky Citra, Muntilan.
5. rencana campuran benda uji dengan kekuatan $f'c$: 22,5 Mpa dengan metode ACI
6. variasi penggantian semen dengan batu andesit untuk setiap benda uji yaitu 0%, 5%,10%,15%,20% dari berat semen.
7. untuk sampel balok digunakan tulangan polos dengan perincian; \varnothing 12 mm untuk tulangan baja tarik, \varnothing 8 mm untuk tulangan desak dan untuk tulangan sengkang dipakai \varnothing 6 mm

8. penyebaran serbuk batu andesit dalam campuran dianggap homogen dan merata.
9. pengaruh suhu, udara dan faktor lain diabaikan
10. tidak dilakukan pemeriksaan terhadap kandungan pori-pori dalam beton.

1.4. Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan gergajian batu andesit terhadap kuat desak beton dan kuat lentur beton

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan suatu produk beton struktur beton yang bermanfaat dengan implikasi sebagai berikut:

1. Pemakaian limbah gergajian batu andesit dapat memberikan kontribusi terhadap penyelamatan lingkungan dengan adanya pengurangan kuantitas bahan limbah tersebut.
2. Dapat menghasilkan beton struktur yang memenuhi syarat yang cukup inovatif dengan pengurangan jumlah semen akibat pemakaian bahan tambah limbah gergajian batu andesit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut standar **SK-SNI T-15-03 (1991)**, beton terbuat dari bahan semen portland, air, agregat (agregat kasar dan halus) dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Neville, (1975), mengemukakan bahwa komposisi unsur utama semen portland terdiri dari trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A), tetra kalsium (C_4AF).

Nawy, (1990), mengemukakan semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

Anthony Hall, (1987), mengemukakan bahwa batu andesit mempunyai kandungan unsur silika yang cukup tinggi yaitu sekitar 58,9%.

Kusnadi, (1985), mengemukakan bahwa komposisi kimia semen portland dapat dinilai dengan menentukan perbandingan silika (Silika Ratio).

Popovics, (1998), mengatakan bahwa kekuatan beton juga dipengaruhi oleh kandungan senyawa kimia dalam semen.

Murdock dan Brook (1986), mengemukakan bahwa hampir dua pertiga bagian semen terbentuk dari zat kapur yang proporsinya berperannya penting terhadap sifat-sifat semen.

Popovics, (1998), mengatakan bahwa kuat desak beton dipengaruhi oleh porositas yang terdiri dari pori gel, pori kapiler, dan pori udara, semakin besar porositas semakin kecil kuat desak beton yang terjadi.

Popovics, (1998), mengemukakan bahwa kuat desak beton merupakan fungsi eksponensial dari porositas.

Kardiyono, (1992), mengemukakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah sifat agregat yaitu kekasaran dan ukuran maksimum agregat tersebut, pada pemakaian ukuran butiran maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirnya, berarti semakin sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar didalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi.

Dobrowolski, (1998), mengungkapkan bahwa beton mempunyai kandungan porositas 0-20 % dari total volume beton. Pori-pori mempunyai ukuran yang bervariasi yaitu lebih besar dari pori gel dan mungkin hampir sama besar dengan pori kapiler. Beton biasanya terdiri dari udara yang terperangkap. Udara void biasanya mempunyai kandungan sebesar 1-10% dari total volume beton. Pori-pori akan berubah sebagai hidrasi yang berkelanjutan dan menyebabkan reduksi dari pori kapiler dan meningkat dalam pori gel. Pori kapiler secara langsung meningkatkan hidrasi dan menurunkan permeabilitas.

Murdock dan Brook (1986), mengemukakan bahwa tepung batu dapat digunakan untuk menambah karakteristik kohesif dari beton dan oleh karenanya memperbaiki ketahanan terhadap bleeding. Dalam peranannya sebagai pengisi pori-pori bahan ini menguntungkan untuk beton tumbuk yang kasar atau kaku, yang kekurangan partikel halus. Beton dengan kandungan udara mempunyai kekuatan yang 10 % lebih kecil dari beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama, setiap 1% penambahan kandungan udara, tampaknya mengakibatkan kehilangan kekuatan antara 5 dan 6%.

Nawy (1990), mengemukakan besarnya kandungan udara maksimum dari fraksi mortar dalam beton sebesar 9%. Kandungan udara yang berlebihan (5-6% dari campuran beton) akan menurunkan kekuatan beton.

Gambhir (1986), mengemukakan bahwa ketahanan dari struktur beton mempunyai dua kriteria pokok yaitu mempunyai ketahanan terhadap reaksi kimia dan mempunyai kepadatan yang tinggi. Jadi pada beton yang mempunyai porositas dapat mengakibatkan penurunan kualitas dari beton.

Chen dan Saleeb (1982), mengemukakan tiga hal yang perlu ditekankan dalam beton: (1). Besarnya ukuran bidang pemisah antara agregat dan mortar. (2). Besarnya porositas yang terdapat dalam pasta semen ($\pm 30\%$) dan pori yang terisi air dan udara. (3), Untuk semua tingkat ukuran seperti ukuran molekul, udara atau faktor void yang ada. Untuk kuat tekan yang tinggi kandungan void dan kadar pori berpengaruh terhadap perilaku dan kekuatan beton.

Meyer, (1996), mengemukakan bahwa kekerasan campuran beton merupakan fungsi semi logaritma dari faktor air semen, dengan asumsi campuran biasanya padat.

Jika tidak padat akan terbentuk pori-pori yang akan menyebabkan kekuatannya menurun. Porositas dari campuran beton menentukan kekuatannya, jika porositas berkurang maka kekuatannya meningkat.

Tri sriyani (2000), mengemukakan dengan penambahan limbah gergajian batu tuff sebesar 15,6 % terjadi penurunan porositas sebesar 28,54%.

Ari dan Anton, mengemukakan bahwa semakin tinggi penggunaan kadar *silica fume* dan *fly ash* pada campuran beton akan menghasilkan kuat desak yang semakin tinggi (sampai 7.5%).

Indriyani dan Yudi (1997), mengungkapkan bahwa beton dengan agregat kasar ALWA mengalami kenaikan kuat desak dengan penambahan bahan pengisi *fly ash* pada penambahan batas-batas tertentu. Kenaikan kuat desak beton paling tinggi terjadi pada variasi penambahan *fly ash* 2 % dan penambahan *fly ash* selanjutnya cenderung menurunkan kuat desak beton ALWA.

Sarovano dan Elfiandi (1998), mengungkapkan bahwa kuat desak pada penambahan fly ash 15 % dan 20% mengalami kenaikan dari beton normal , dan pada penambahan fly ash 25% mengalami penurunan kembali, kenaikan maksimum terjadi pada fly ash 15% yaitu untuk redaman umur 28 hari dan 88 hari masing-masing sebesar 28.6194 Mpa, 29.6304 Mpa, dan 30.3941 MPa dan rendaman 30 hari dan 60 hari sebesar 28.4728 Mpa dan 27.9040 Mpa.

Park dan Paulay,(1975), mengemukakan bahwa karakteristik beban dan lendutan penampang lentur pada saat leleh dan pada momen ultimit tergantung pada penampang karakteristik momen lengkung.

Nawy, (1990), mengemukakan beban yang bekerja pada struktur menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar.

Istimawan (1994), mengungkapkan pada komposisi tertentu balok menahan beban sedemikian sehingga regangan tekan lentur beton maksimum ($\epsilon'_{b \text{ maks}}$) mencapai 0.003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh. Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam.

George Winter dan Arthur H. Nilson, 1993, mengungkapkan pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada satu sisi dari sumbu netral dan tekan pada sisi lainnya).

Chu-Kia Wang dan Salmon, 1993, mengungkapkan tegangan tekan tercapai bila regangan didalam serat tekan ekstrim sama dengan runtuh beton (ϵ_{cu}). Pemeriksaan dari penampang persegi terhadap lentur dimaksudkan untuk menentukan apakah penampang memiliki kekuatan yang cukup atau tidak dalam memikul beban kerja (atau momen kerja). Lendutan yang berlebihan dapat menjadikan sistem menjadi tidak dapat dipakai.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Karakteristik dari beton perlu dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Kuat desak beton dipengaruhi oleh jenis dan kualitas semen, bentuk dan tekstur permukaan agregat, bahan campur, perawatan, suhu dan umur beton. Menurut SK-SNI, (1993), modulus elastisitas beton normal merupakan fungsi dari kuat desak beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} . \quad (3.1)$$

Jika kuat desak beton ($f'c$) makin meningkat maka modulus elastis beton (E_c) naik, semakin besar nilai E_c faktor kekakuan lentur komponen struktur (EI) makin meningkat dan kekakuannya (K) meningkat sehingga kekuatan beton bertambah.

3.2. Material Penyusun Beton

Beton adalah suatu bahan elemen struktur yang memiliki suatu karakteristik yang spesifik yang terdiri dari beberapa bahan penyusun sebagai berikut.

3.2.1. Semen portland

Komposisi kandungan kimia dalam beton paling banyak adalah CaO dan SiO_2 , untuk kandungan senyawa yang lain dapat dilihat pada Tabel 3.1. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan kedalam empat bagian (Tabel 3.2) yaitu

C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF . C_3S dan C_2S merupakan utama yang menempati sekitar 70 sampai 80 persen dari seluruh proporsi semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen. Bila semen terkena air, maka C_3S akan segera berhidrasi dengan menghasilkan panas. Selain itu, unsur ini juga berpengaruh besar terhadap pengerasan semen, terutama setelah mencapai umur 14 hari. Sebaliknya C_2S bereaksi dengan air lebih 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir. C_2S ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan akan mempengaruhi susutan pengeringan. Unsur ketiga dalam semen adalah C_3A , unsur ini berpengaruh setelah beton berumur 14 hari, sedang unsur keempat C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap proses pengerasan semen, (Neville, 1975).

Tabel 3.1. Porsentasi dari komposisi unsur kimia sement portland (Neville dan Brook, 1986)

Unsur	Kandungan (%)
CaO	63
SiO ₂	20
Al ₂ O ₃	6
Fe ₂ O ₃	3
NgO	1.5
SO ₃	2
K ₂ O } Na ₂ O }	1

Tabel 3.2 Persentasi komposisi semen portland (Neville dan Brook, 1987)

Jenis semen	Komponen (%)							
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	Hilang dalam reaksi
NORMAL, I	59	15	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2
MODIFIKASI, II	46	29	6 (8 max)	12	2.8	0.6	3.0	1
KEKUATAN AWAL TINGGI, III	60	12	12 (15 max)	8	3.9	1.3	2.6	1.9
PEMANASAN RENDAH, IV	30 (35max)	46 (40max)	5 (7 max)	13	2.9	0.3	2.7	1.0
TAHAN SULFAT, V	35	36	4 (5 max)	12	2.7	0.4	1.6	1.0

Menurut **Kusnadi,(1985)**, komposisi silika untuk semen potrland dibatasi dengan menentukan perbandingan “silica ratio” yang didekati dengan Persamaan:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (3.2)$$

Dari Persamaan 3.2 tampak bahwa semakin tinggi kandungan silika dalam semen portland, makin besar nilai SR. Nilai SR dibatasi : $1,6 < SR < 3,5$ dengan nilai rata-rata 2,0-2,5

Neville dan Brook, (1987), pengurangan atau salah satu unsur semen seperti silika akan mengubah persentasi senyawa kimia semen portland. Analisis kimia senyawa tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tricalsium silikat (C_3S)

$$C_3S = 4.07(CaO) - 7.6(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3) \quad (3.3)$$

2. Dikalsium silikat (C_2S)

$$C_2S = 2.87 (SiO_2) - 0.754(C_3S) \quad (3.4)$$

3. Trikalsium aluminat (C_3A)

$$C_3A = 2.65 (Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3) \quad (3.5)$$

4. Tetrakalsium alumino ferrit (C_4AF)

$$C_4AF = 3.04(Fe_2O_3) \quad (3.6)$$

Dari Persamaan 3.6 akan diperoleh persentasi senyawa kimia dari semen portland, sehingga dapat diketahui kenaikan atau penurunan kandungan senyawa kimia dari semen portlant tersebut akibat adanya bahan tambah (Tabel 3.3)

Tabel 3.3 Hasil Analisis Silika Gergajian Batu Andesit

Jenis Semen	Prosentasi (%)				Silika Ratio (SR)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Jenis I	54,1	16,61	10,83	9,12	2,22
Modifikasi 5%	44,42	23,29	10,68	8,66	2,27

Menurut Popovic, (1998), kekuatan beton berdasarkan komposisi kandungan senyawa yang terdapat dalam semen dan umur beton dapat didekati dengan Persamaan 3.7. Untuk koefisien dari Persamaan 3.7 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

$$f = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF) \quad (3.7)$$

Tabel 3.4 Koefisien untuk Persamaan 3.7 (Popovic)

Senyawa Kimia	Umur		
	3 hari	7 hari	28 hari
C ₃ S	27.4	40	48.8
C ₂ S	-1.1	-5.1	19.1
C ₃ A	24.1	58.4	100.1
C ₄ AF	-9.8	-0.2	30.8

3.2.2. Agregat

Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar beton. Agregat ini biasanya menempati sekitar 75 % dari total beton. Agregat halus atau pasir yang digunakan berupa pasir alam dengan ukuran kurang dari 5 mm. Agregat kasar sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan alam atau berupa batu pecah dengan ukuran 5 – 40 mm. Agregat kasar ini dapat berasal dari alam atau dari mesin pemecah batu yang telah disaring dengan ukuran tertentu.

3.2.3. Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk mengadakan reaksi hidrasi dengan semen diperlukan sedikitnya 20-30 % jumlah air dari berat semen.

3.2.4. Limbah gergajian batu andesit

Limbah gergajian batu andesit yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai ukuran 75-150 μm . Bahan tambah ini diharapkan dapat mengisi pori-pori dalam beton sehingga dapat menambah karakteristik kohesif dari beton dan oleh karenanya memperbaiki ketahanan terhadap bleeding. Selain mengandung senyawa silika (SiO_2), batu andesit juga mengandung TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O (Anthony Hall, 1987) lihat Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Kandungan Unsur Kimia Batu Andesit

Parameter	Hasil analisa (%)
SiO_2	58.9
Al_2O_3	17.2
CaO	6.9
Fe_2O_3	3.3
FeO	4.3
TiO_2	0.9
MgO	3.4
Na_2O	3.5
K_2O	1.7

Sumber: Neous Petrology, Anthony Hall, 1987

Menurut Popovic,(1998), udara void dalam pasta semen merupakan hasil konsolidasi yang tidak sempurna atau proses penguapan air yang terlalu cepat atau kedua-duanya. Volume dari udara void (V_a), sebenarnya menunjukkan kandungan yang konstan dalam umur pasta semen atau beton. Dengan kata lain banyaknya void dalam beton keras secara praktis sama dengan umur kandungan udara dari beton dalam bentuk yang masih segar. Sebaliknya volume dari porositas kapiler, volume air (V_w) menurun sejalan dengan umur beton dalam kondisi dibawah normal karena proses hidrasi keluar dari pori-pori tersebut secara berangsur-angsur.

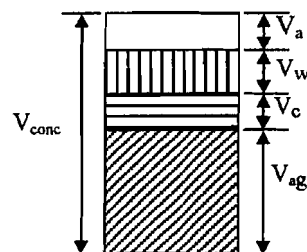
Persamaan dibawah ini menunjukkan kandungan dari volume beton.

$$V_c + V_{ag} + V_w + V_a = V_{conc} \quad (3.7)$$

dimana, V_c dan V_{ag} = volume semen dan volume agregat dalam beton

V_w dan V_a = volume air dan udara dalam beton

V_{conc} = volume sampel beton



Gambar 3.1. Skema komposisi beton segar

Untuk kandungan dalam proporsi berat dapat dilihat dalam Persamaan 3.8.

$$W_c + W_{ag} + W_w = W_{conc} \quad (3.8)$$

Dimana, W_c , W_{ag} = berat semen dan berat agregat

W_w , W_{conc} = berat air, dan berat sampel beton.

Menurut **Popovic, (1998)**, luas permukaan gel di dekati dengan ukuran “gel space ratio” (X_F) yang dapat dihitung dengan Persamaan:

$$X_F = \frac{V_g}{V_w + V_a + V_p} \quad (3.9)$$

dengan, V_g = volume gel

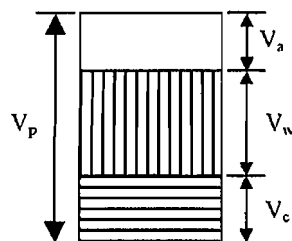
V_p = volume pasta semen

Dari Persamaan 3.9. tampak bahwa semakin besar jumlah gel yang terbentuk maka “gel space ratio” makin besar. Hubungan antara “gel space ratio” dan kuat desak beton dihitung dengan persamaan :

$$f'c = 29000 \cdot X_F^3 \quad (3.10)$$

Dari Persamaan 3.10 tampak bahwa “gel space ratio” (X_F) merupakan fungsi pangkat tiga dari kuat desak beton ($f'c$) sehingga semakin besar “gel space ratio” (X_F), makin besar kuat desak beton ($f'c$).

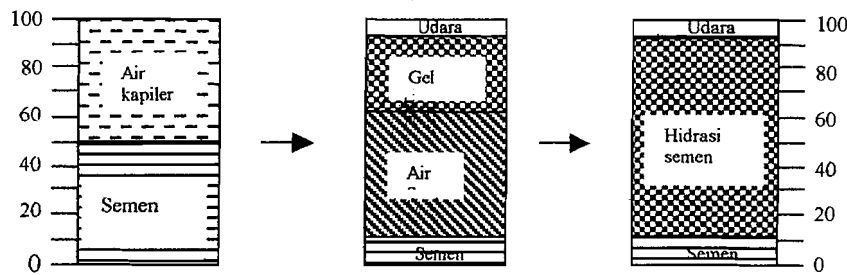
Menurut **Popovic, (1998)**, porositas terbentuk pada saat hidrasi semen berlangsung. Komposisi volume udara, air, dan semen pada saat hidrasi semen dapat diperlihatkan seperti tampak pada Gambar 3.2



Gambar3.2. Skema komposisi pasta

Dari Gambar 3.2. hubungan antara pasta semen (V_p), volume udara (V_a), volume air (V_w), dan volume semen (V_c) dapat didekati dengan Persamaan :

$$V_p = V_a + V_w + V_c \quad (3.11).$$



Gambar 3.3. Skema Hidrasi Semen

Dari Gambar 3.3 pada saat hidrasi berlangsung, proses pencampuran air dan semen menghasilkan gel yang diikuti dengan naiknya air semen ke permukaan (bleding) melalui pori kapiler. Jumlah pori kapiler yang terbentuk dalam hidrasi semen dihitung dalam persen yang didekati dengan Persamaan:

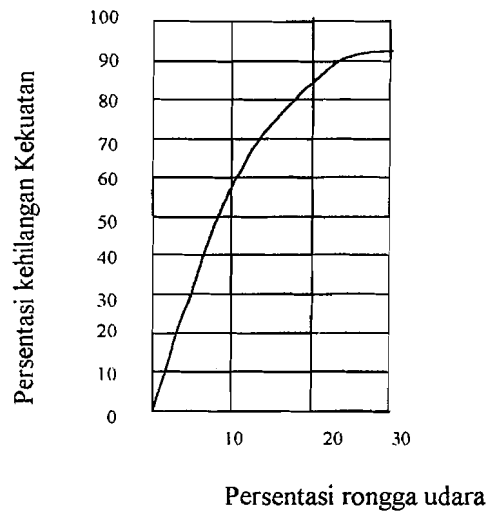
$$p = \frac{V_a + V_w + V_p - V_g}{V} \quad (3.12)$$

Dari Persamaan di atas menunjukkan bahwa karakteristik porositas di dalam pasta semen menunjukkan persentasi ruang yang dapat diisi oleh semen gel.

3.2.5. Tinjauan porositas terhadap kekuatan beton

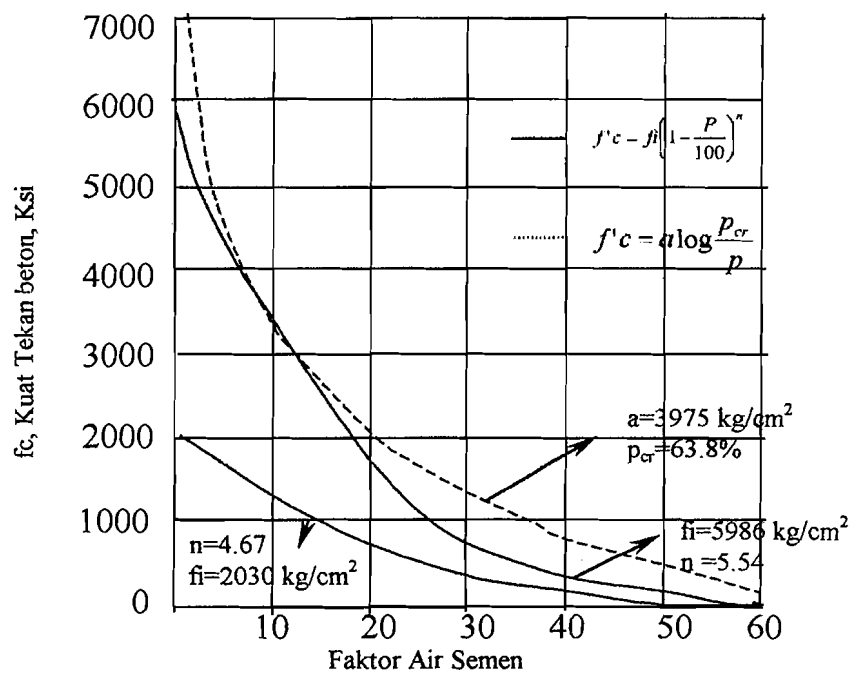
Menurut **Murdock dan Brook (1986)**, suatu indikasi atau petunjuk kehilangan kekuatan yang disebabkan oleh adanya rongga-rongga, Rongga-rongga termasuk volume udara yang terperangkap, dan rongga yang terbentuk oleh pengeringan air yang berlebihan. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 3.4

Dari Gambar 3.4 nampak bahwa semakin besar ruangan rongga maka beton akan kehilangan kekuatan semakin besar.



Gambar 3.4 Hubungan antara kehilangan kekuatan dengan ruangan rongga udara

Kadar pori yang terkandung dalam beton sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, semakin besar kadar pori (porositas) maka kuat tekan semakin kecil, sebaliknya semakin kecil porositasnya maka kuat tekan makin meningkat.



Gambar 3.5 Hubungan porositas kapiler dan Kuat desak beton

Menurut **Popovic (1998)**, mengacu dari Gambar 3.5 hubungan kuat desak beton dan porositas di dekati dengan Persamaan:

$$f'c = f_i \left(1 - \frac{P}{100} \right)^n \quad (3.13)$$

dan

$$f'c = a \log \frac{P_{cr}}{P} \quad (3.14)$$

Dari kedua Persamaan 3.13 dan 3.14 nampak bahwa semakin besar porositas kapiler maka kuat desak beton semakin kecil.

Kuat tekan beton merupakan fungsi eksponensial dari fungsi porositas (Popovic, 1998), hal ini dapat dijelaskan pada Persamaan dibawah ini.

$$f_{rel} = \frac{f}{f_o} = 10^{-\gamma a} \quad (3.15)$$

$$= \frac{1}{B_a^a} \quad (3.16)$$

dengan γ - kofisien eksperimental yang bebas antara kekuatan dan umur material dalam praktek terbatas tetapi tergantung berdasarkan tipe dan kekuatan material.

$$B_a = 10^\gamma \quad (3.17)$$

$$a = \frac{100V_a}{V} \quad (3.18)$$

dengan a = Kandungan udara dalam volume beton (%)

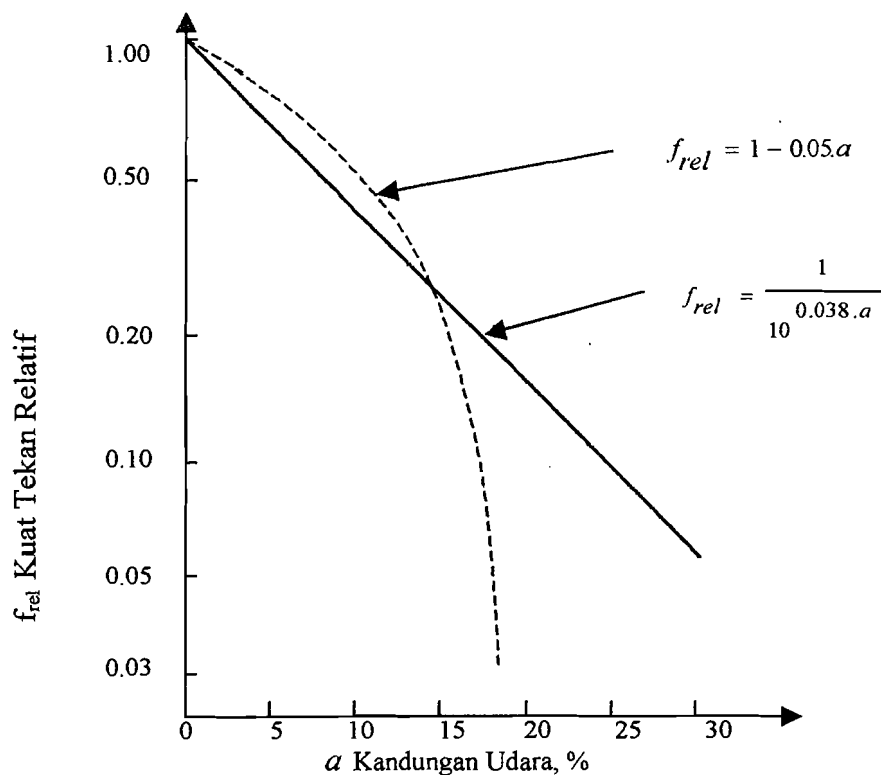
V_a = Volume udara dalam cetakan beton padat

V = Volume beton padat termasuk termasuk volume udara

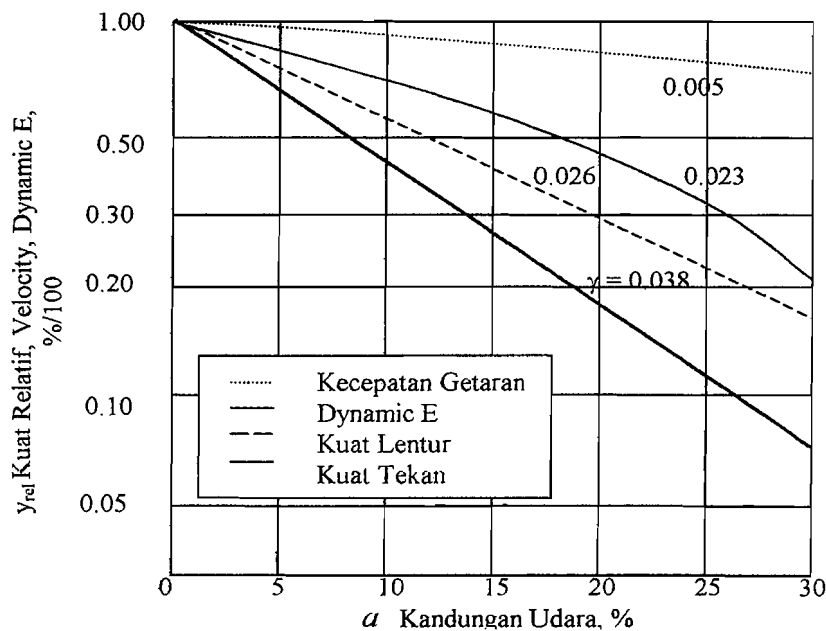
Jika $\gamma = 0.0384$ untuk kuat tekan beton normalnya kira-kira 30% kandungan udaranya dalam umur 7 dan 90 hari (Popovics, 1998).

Dari Persamaan 3.15 dan Gambar 3.6 tampak bahwa semakin kecil porositas semakin tinggi kuat desak beton yang dihasilkan. Seperti digambarkan pada Gambar 3.7 dan Persamaan 3.15 juga dapat digunakan untuk kuat lentur tetapi dengan $\gamma = 0.0232$. Persamaan ini dapat digunakan untuk beberapa bahan material lain penyusun beton keras meskipun nilai γ berbeda.

Dari Persamaan 3.15 dan Gambar 3.7 bahwa kuat lentur beton juga meningkat dengan berkurangnya kandungan pori-pori dalam beton.



Gambar 3.6 Menjelaskan efek kandungan udara terhadap kuat tekan beton



Gambar 3.7 Menjelaskan efek relatif dari kandungan udara pada beberapa karakteristik beton.

3.3. Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat ini berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin besar nilai slump berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakin mudah di kerjakan.

3.4. Workability

Kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan ukuran tingkat kemudahan adukan beton untuk dikerjakan termasuk diaduk, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan penyusun beton dan sifat-sifat bahan penyusun beton, secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan adukan beton.

3.5 Kuat Tekan Beton

Kekuatan desak bila di periksa dengan sejumlah benda uji, nilai akan menyebar sekitar suatu nilai rata-rata tertentu. Dengan menganggap nilai-nilai hasil pemeriksaan tersebut menyebar normal, maka ukuran besar kecilnya penyebaran dari nilai-nilai hasil pemeriksaaan kuat desak beton didapatkan berdasarkan Persamaan deviasi standar (ACI).

$$f'_{ck} = f'_{c} - 1.64 \cdot S \quad (3.19)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (f'_{c} - f'_{cr})^2}{N - 1}} \quad (3.20)$$

dengan : S = deviasi standar

f'_{c} = kuat desak beton masing-masing benda uji

f'_{cr} = kuat desak beton rata-rata

dengan :

$$f'_{cr} = \frac{\sum_1^n f'_{c}}{N} \quad (3.21)$$

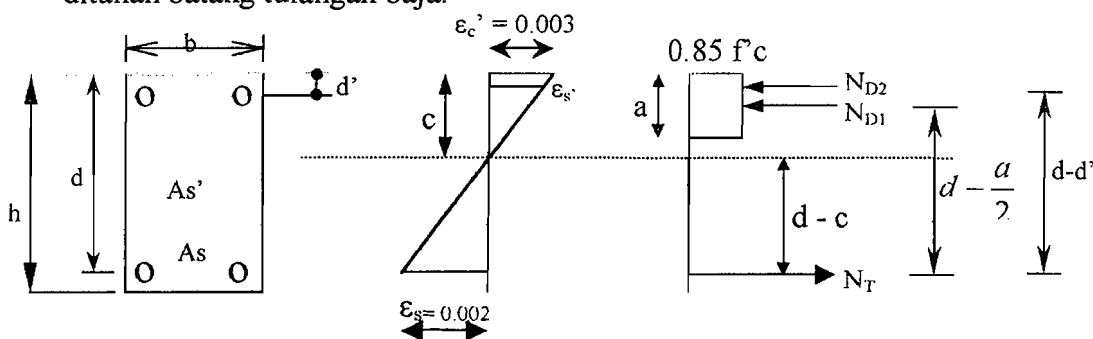
N = jumlah benda uji

3.6 Kuat Lentur

Menurut Istimawan, (1994), Pendekatan dan perencanaan didasarkan atas anggapan-anggapan sebagai berikut:

1. bidang potongan tampang rata sebelum lentur akan tetap rata sesudah lenturan terjadi, berarti nilai regangan akibat lentur terdistribusi linear dengan nilai nol pada garis netral dan nilai maksimum pada serat tepi terluar

2. tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai kira-kira beban sedang yaitu saat tegangan beton tekan tidak melampaui $\pm \frac{1}{2} f'_c$. Bila beban meningkat sampai beban batas, tegangan yang timbul tidak lagi sebanding dengan regangan, sehingga blok tegangan tekan berupa garis lengkung.
3. dalam menghitung kapasitas momen, beton tarik diabaikan, seluruh gaya tarik ditahan batang tulangan baja.



Gambar 3.8 Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang.

Untuk menghitung gaya tekan maka Whitney mengusulkan agar digunakan blok tegangan segi empat ekuivalen, yang berarti juga dapat digunakan untuk menghitung kekuatan lentur penampang. Besarnya tegangan rata-rata dari blok tegangan segiempat ekuivalen adalah $0.85 f'_c$ sedalam "a". besarnya "a" ditentukan dengan Persamaan:

$$a = \beta \cdot c \quad (3.22)$$

dimana, c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.

Harga β diberikan dengan Persamaan sebagai berikut

- untuk $f'_c \leq 30 \text{ MPa} \Rightarrow \beta = 0.85$ (3.23)

- untuk $f'_c > 30 \text{ MPa} \Rightarrow \beta = 0.85 - 0.008 \cdot (f'_c - 30) \geq 0.65$ (3.24)

Dari Gambar 3.8 periksa regangan tulangan baja desak dan baja tarik (kompatibiliti) :

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \epsilon_{cu} \quad (3.25)$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \epsilon_{cu} \quad (3.26)$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (3.27)$$

Dalam perencanaan dimensi balok dengan menggunakan tulangan rangkap terdapat dua anggapan :

- a) jika tulangan baja desak (A_s') telah leleh sebelum beton mencapai regangan 0,003 atau $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ maka :

nilai a dihitung dengan Persamaan :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'c) \cdot b} \quad (3.28)$$

Kekuatan momen lentur nominal dapat dihitung dengan Persamaan:

$$M_n = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot (d - 1/2 \cdot a) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (3.29)$$

- b) jika tulangan baja desak (A_s'), belum leleh pada saat beton mencapai regangan desak 0,003 atau $\epsilon_s' \leq \epsilon_y$ dan $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ maka :

letak garis netral (c) didekati dengan Persamaan :

$$(0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta) c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 d' \cdot A_s' = 0 \quad (3.30)$$

tegangan tulangan baja desak (f_s') dicari dengan Persamaan :

$$f_s' = \frac{c-d'}{c} (600) \quad (3.31)$$

Mengacu dari Gambar 3.8 gaya desak yang terjadi adalah:

$$N_{D1} = 0,85 f'c.a.b \quad (3.32)$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' \quad (3.33)$$

Gaya tarik dihitung dengan Persamaan:

$$N_T = A_s f_y \quad (3.34)$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam adalah:

$$N_{D1} + N_{D2} - N_T = 0 \quad (3.35)$$

Kekuatan momen lentur nominal dapat dihitung dengan Persamaan:

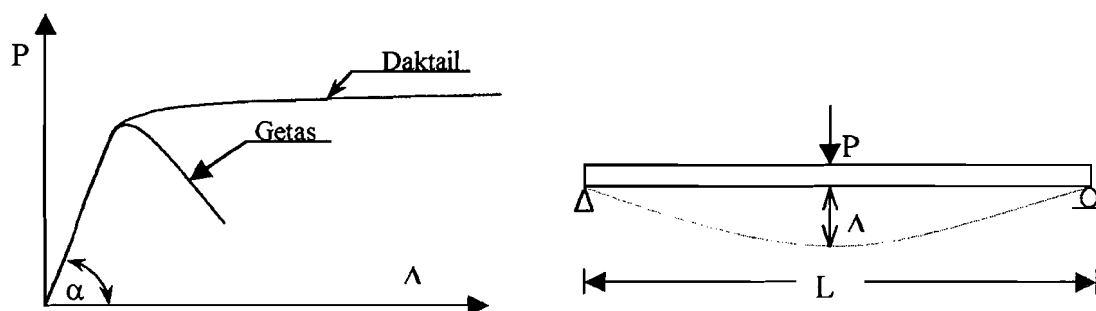
$$M_n = N_{D1} (d - 1/2.a) + N_{D2} (d - d') \quad (3.36)$$

kekuatan momen lentur ultimit dapat dihitung dengan Persamaan:

$$M_u = \phi.M_n \quad (3.37)$$

3.7 Hubungan Beban dan Lendutan

Menurut **Park dan Pauley, (1975)**, jika suatu balok dikenai beban, maka balok yang semula lurus akan mengalami perubahan bentuk menjadi sebuah kurva yang disebut dengan kurva lendutan (Δ). Struktur beton mengalami 2 fase yaitu fase linier dan fase plastis.



Gambar 3.9 Hubungan beban dan lendutan

Dari Gambar 3.9 tampak bahwa semakin besar beban yang bekerja pada beton bertulang, lendutan yang terjadi makin besar, sehingga balok akan mengalami “daktail”. Jika beban bekerja pada balok tanpa tulangan maka struktur akan mengalami getas, sehingga kekakuan balok (K) dapat dihitung dengan Persamaan:

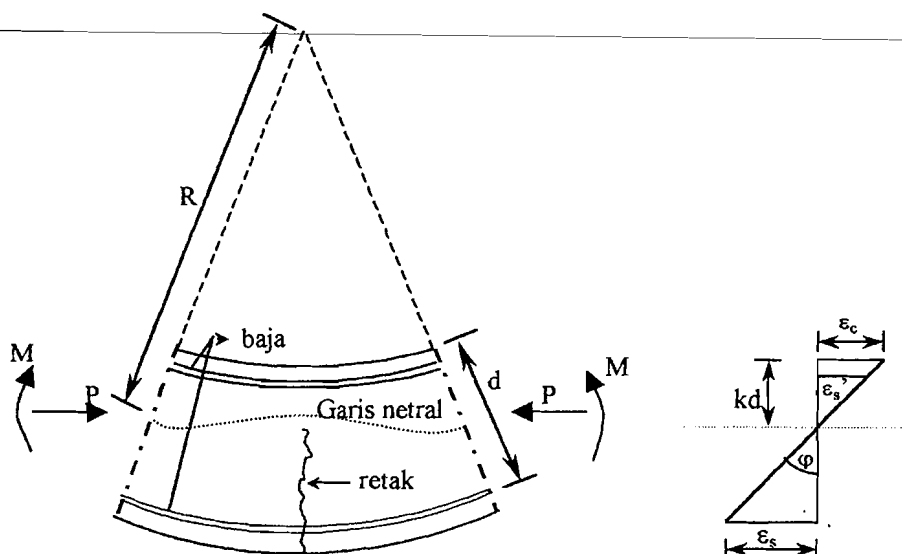
$$K = \text{tg } \alpha = \frac{P}{\Delta} \quad (3.38)$$

3.8 Hubungan Momen Dengan Kelengkungan

Menurut Park dan Pauley, (1975), kelengkungan terjadi pada saat balok mengalami retak karena dibebani gaya aksial yang bekerja. Adanya retak pada beton menunjukkan terjadinya penambahan tegangan pada balok sehingga merubah jari-jari kelengkungan (R), tinggi garis netral (c), regangan beton (ϵ_c), dan regangan baja tarik (ϵ_s). hubungan ketiga parameter tersebut dapat didekati dengan Persamaan:

$$\tan \varphi = \frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (3.39a)$$

$$\varphi = \frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.39b)$$

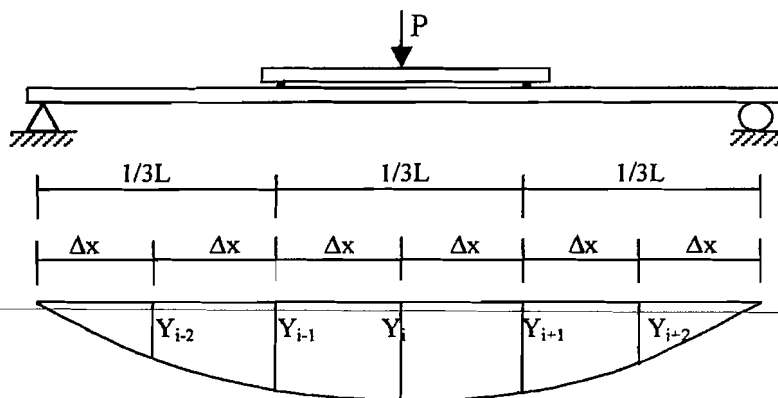


Gambar 3.10 Kelengkungan balok beton bertulang

Untuk menghitung kelengkungan (φ) dapat digunakan memasang alat “strain gauge” pada daerah regangan beton dan regangan baja. Dari Gambar 3.10 kelengkungan dapat di hitung dengan Persamaan sebagai berikut:

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_c}{d} \quad (3.40)$$

Pengujian kuat lentur dengan “strain geuge” sangat praktis tetapi dari segi ekonomi biayanya sangat mahal, sehingga untuk menghitung kelengkungan digunakan metode numerik “central difference”. Metode numeris “central difference” adalah suatu cara pendekatan besarnya lendutan balok akibat pembebanan statis yang diperoleh dengan mengukur lendutan 3 titik secara berurutan pada jarak $1/3$ bentang (L) seperti tampak pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Lendutan balok

Mengacu pada Gambar 3.11 hubungan antara model “displacement” (y) dengan panjang elemen (Δx) dapat didekati dengan Persamaan:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{y_i} = \frac{y_{i+1/2} - y_{i-1/2}}{\Delta x} \quad (3.41)$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{i-1/2} \cong \frac{1}{\Delta x}(y_i - y_{i-1}) \quad (3.42)$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{i+1/2} \cong \frac{1}{\Delta x}(y_{i+1} - y_i) \quad (3.43)$$

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_i \cong \frac{1}{\Delta x} \left(\left(\frac{dy}{dx}\right)_{i+1/2} - \left(\frac{dy}{dx}\right)_{i-1/2} \right) \quad (3.44)$$

atau:

$$\varphi = \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_i = \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}))}{(\Delta x)^2} \quad (3.45)$$

Mengacu dari Gambar 3.11 momen yang terjadi pada bentang (L) karena adanya beban (P) dapat diketahui dengan Persamaan:

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.46)$$

Faktor kekakuan untuk balok beton betulang dapat didekati dengan Persamaan:

$$EI = \frac{M}{\varphi} \quad (3.47)$$

Menurut **Park dan Pauley,(1975)**, menyatakan bahwa hubungan momen dan kelengkungan dinyatakan dalam tiga bagian yaitu:

- a. momen kelengkungan sebelum retak

Momen dan kelengkungan didekati dengan Persamaan :

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y} \quad (3.48)$$

$$\varphi_{cr} = \frac{f_r}{E_c y} \quad (3.49)$$

$$f_r = 0.7 \sqrt{f_c'} \quad (3.50)$$

b. momen kelengkungan setelah retak pada saat leleh pertama

Momen dan kelengkungan yang terjadi pada balok didekati dengan Persamaan:

$$M_y = A_s f_y j d \quad (3.51)$$

$$\varphi_y = \frac{(f_y E_s)}{d(1-k)} \quad (3.52)$$

$$k = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n \quad (3.53)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (3.54)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (3.55)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{bd} \quad (3.56)$$

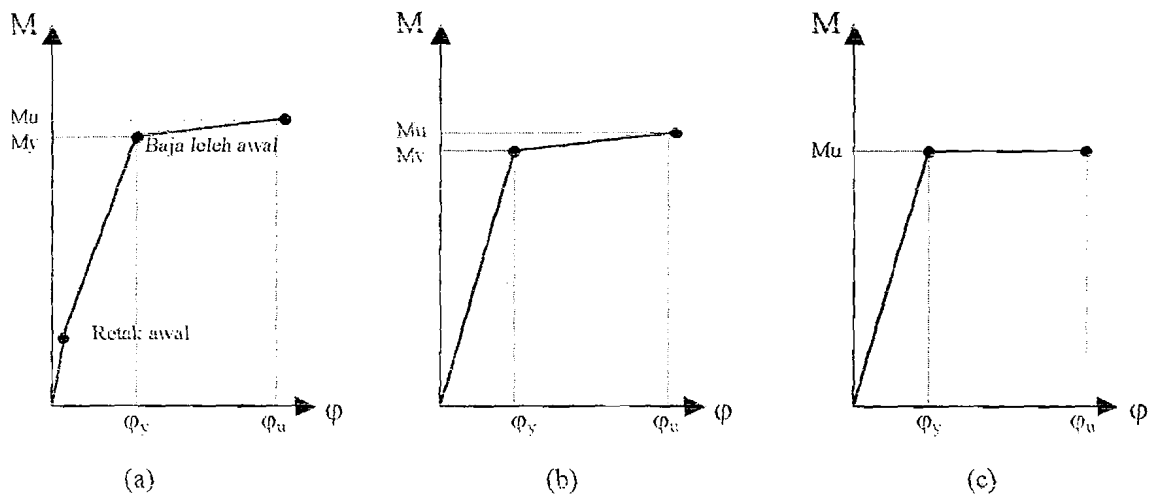
c. momen kelengkungan saat beban ultimit

Momen dan kelengkungan ditunjukkan dalam Persamaan berikut:

$$M_u = 0.85 f_c' ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d') \quad (3.57)$$

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{\varepsilon_c \beta'}{a} \quad (3.58)$$

Hubungan $M-\phi$ ideal pada balok beton bertulang dapat digambarkan dengan grafik trilinear dan bilinear seperti tampak pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Kurva momen-kelengkungan ideal

Mengacu dari Gambar 3.12 (a) garis pertama menunjukkan retak awal, kedua adalah tegangan leleh baja dan ketiga merupakan regangan ultimit dari beton sehingga grafik ini disebut grafik trilinear. Gambar 3.12 (c) merupakan grafik bilinear yang menghasilkan pendekatan dari Gambar 3.12 (b) karena saat hubungan $M-\phi$ terjadi dari beban 0 KN hingga baja leleh, garis pertama dan kedua hampir linear sehingga grafik hubungan $M-\phi$ digambarkan dalam bentuk bilinear.

3.9 Menyesuaikan Kurva (Curve Fitting)

Untuk membantu menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antara variabel, maka langkah pertama adalah mengumpulkan data yang menunjukkan nilai-nilai yang bersangkutan dari variabel-variabel yang diamati. Masalah umum untuk mencari persamaan-persamaan untuk pendekatan kurva yang sesuai dengan

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Material Pembentuk Beton

4.1.1 Semen

Dalam penelitian ini semen yang digunakan adalah semen jenis I merk Nusantara kemasan 50 kg.

4.1.2 Agregat

Terdapat dua macam agregat yang digunakan yaitu:

1. Agregat halus, digunakan pasir yang berasal dari Kaliurang, Sleman, Yogyakarta dengan diameter lolos saringan 4, 75 mm
2. Agregat kasar, digunakan kerikil yang berasal dari daerah Celereng, Kulon Progo, Yogyakarta dengan ukuran butir maksimum 20 mm.

4.1.3 Air

Air diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.1.4 Baja tulangan

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulangan polos \varnothing 12 mm sebagai tulangan tarik, \varnothing 8 mm sebagai tulangan desak dan \varnothing 6 mm sebagai tulangan sengkang.

4.1.5 Gergajian batu andesit

Gergajian Batu Andesit yang digunakan dalam penelitian ini diayak sehingga lolos saringan nomor 200 ASTM (“American Society for Testing Materials”). Bahan ini diambil dari perusahaan gergajian batu Rizky Citra di Muntilan.

4.2 Peralatan Pengujian

Untuk penelitian ini digunakan beberapa peralatan sebagai sarana dalam mencapai maksud dan tujuan penelitian yaitu:

4.2.1 Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah merk “Fa gain” dengan kapasitas 150 kg dan merk “O house” kapasitas 20 kg dan 5 kg digunakan untuk menimbang bahan yang akan digunakan untuk penelitian.

4.2.2 Mistar dan Kaliper

Mistar dari logam dan fiberglas untuk mengukur dimensi cetakan sample balok beton, sedangkan kaliper untuk mengukur diameter tulangan dan benda uji.

4.2.3 Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan kerikil. Ukuran yang dipakai untuk memisahkan diameter butiran pasir adalah 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm. untuk mengayak dalam jumlah besar guna membuat beton maka digunakan ayakan dari kawat kasa dengan lubang maksimal untuk pasir 5 mm dan kerikil 20 mm.

4.2.4 Mesin penyaring

Mesin Penyaring yang digunakan untuk menyaring gergajian batu andesit, pada penelitian ini dipakai Merk Controls, yang dilengkapi dengan saringan nomor 150 dan 200 ASTM (“American Society for Testing Materials”).

4.2.5 Mesin pengaduk beton

Mesin Pengaduk Beton (“Mixer”), yang digunakan untuk mengaduk bahan susun beton (scmen, kerikil, pasir, gergajian batu andesit, dan air) sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen.

4.2.6 Cetok dan Talam baja

Cetok digunakan untuk memasukkan adukan beton ke dalam cetakan balok dan silender beton. Talam baja di gunakan sebagai penampungan sementara adukan beton yang dikeluarkan dari mesin pengaduk beton (“mixer”).

4.2.7 Kerucut abrams

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan beton, tinggi 30 cm dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm dilengkapi dengan alat penumbuk besi dengan panjang 60 cm dan diameter 16 mm.

4.2.8 Mesin uji kuat tarik

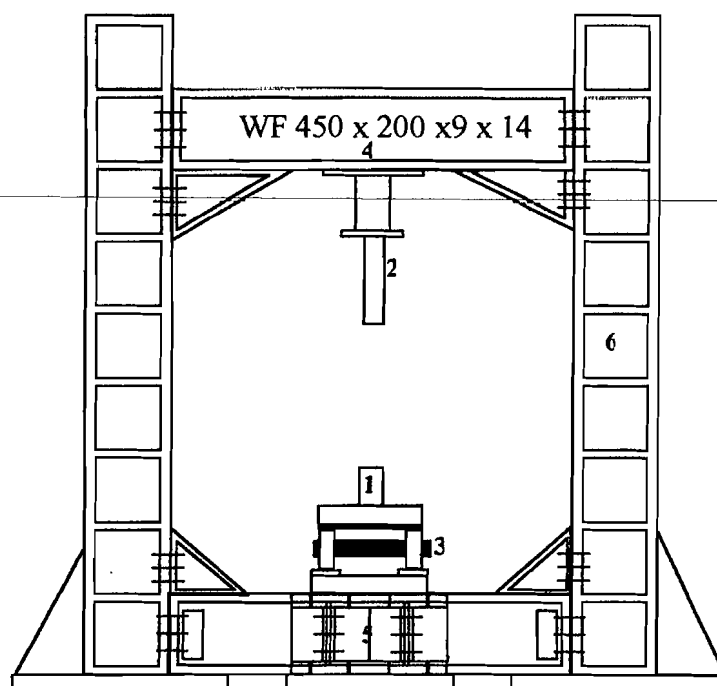
Mesin ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan “Universal Testing Material” (UTM) merk “Shimadzu” tipe UMH 30, kapasitas 30 ton.

4.2.9 Mesin uji kuat desak

Mesin uji kuat desak yang digunakan untuk mengetahui kuat desak silender beton, di dalam penelitian ini dipakai mesin uji desak merk “control” dengan kapasitas 2000 KN.

4.2.10 “Loading frame”

Untuk keperluan penelitian ini dibuat “loading freme” dari dahan baja profil WF 450x200x9x14. Bentuk dasar “loading freme” berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (“Rigit floor”) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm, agar “loading freme” tetap stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya di hubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi portal balok dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut. bentuk fisik “loading frame” dapat dilihat pada Gambar 4.1.



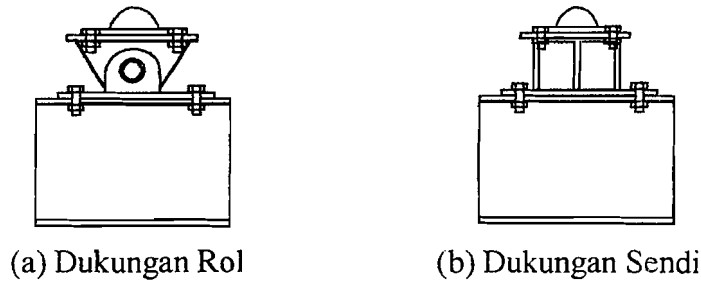
Gambar 4.1 “Loading Frame”

Keterangan :

- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| 1. Sample balok | 4. Balok portal (bias digeser) |
| 2. Dongkrak hidrolik | 5. Balok lintang |
| 3. Dukungan | 6. Kolom |

4.2.11 Dukungan sendi dan Rol

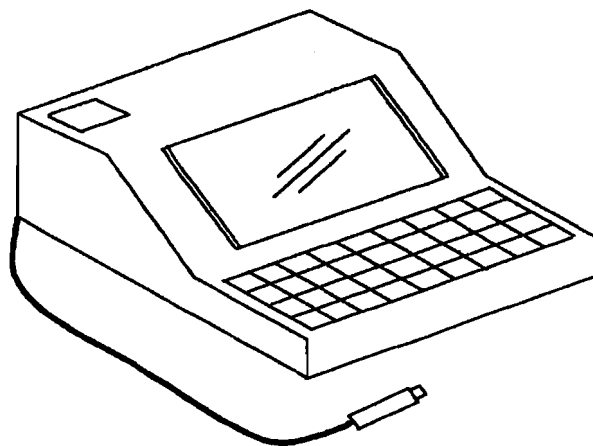
Dukungan Sendi dipasang pada salah satu ujung sampel balok yaitu dengan meletakkan balok di atas dukungan, sedangkan pada ujung yang lain di pasang dukungan rol, sehingga model balok mendekati balok sederhana atau “simple beam” seperti tampak dalam Gambar 4.2



Gambar 4.2 Dukungan Sendi dan Rol

4.2.12 Transducer indikator

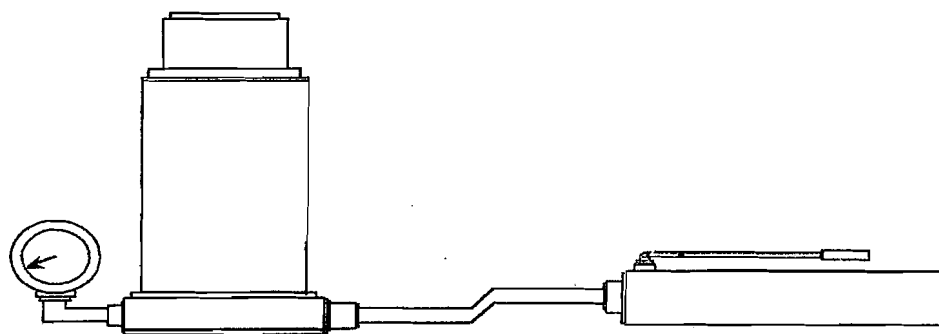
Alat ini merupakan perangkat digital yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi potensial , seperti tampak pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Transducer Indikator

4.2.13 Hidraulic jack

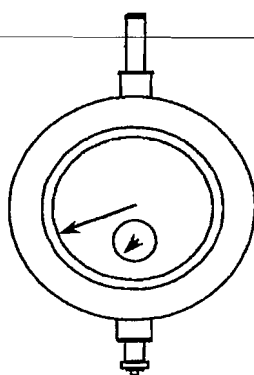
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada benda uji dengan kapasitas maksimum 30 ton (lihat Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Dongkrak Hidrolik

4.2.14 “ Dial gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan tingkat ketelitian 0.01 mm (lihat Gambar 4.6)



Gambar 4.6 Dial Gauge

4.3 Pelaksanaan Penelitian

4.3.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi : uji sifat-sifat teknis bahan susun beton (pasir, kerikil dan semen), perancangan adukan beton, uji kuat tarik baja tulangan.

a) Uji Agregat Halus (pasir)

Hasil uji pasir didapat berat jenis SSD 2,625 (Lampiran 2) dan modulus halus butir 2,8122 (Lampiran 4)

b) Uji Agregat Kasar (kerikil)

Uji agregat kasar (kerikil) bertujuan untuk mendapatkan berat jenis dan berat volume kerikil keadaan SSD ("saturated surface-dry). Didapat berat jenis SSD 2,625 (Lampiran 1) dan berat volume SSD 1,433 t/m³ (Lampiran 3).

c) Perencanaan campuran adukan beton

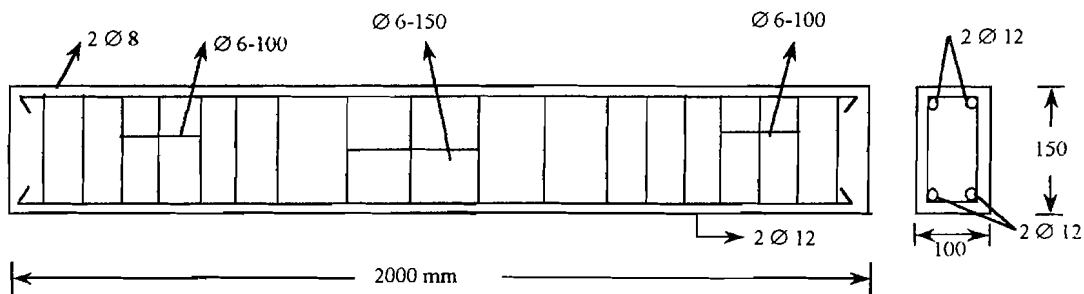
Perencanaan campuran adukan beton menggunakan cara yang direkomendasikan oleh ACI (American Concrete Institute), hitungan disajikan dalam lampiran 9. Untuk setiap 1 m³ beton dengan kuat desak rencana 22,5 Mpa, bahan penyusun yang diperlukan untuk penggantian semen sebesar 5% yaitu semen 293.79 kg, pasir 521.235 kg, kerikil 697.84 kg, air 145,145 liter, dan 15.441 Kg abu batu andesit.

4.3.2 Pembuatan dan Perawatan benda uji

Dalam penelitian ini, dibuat 50 buah silinder beton dengan ukuran (150 mm x 300 mm) dan 15 buah balok beton bertulang dengan ukuran (100 mm x 150 mm x 2000 mm) dengan ketentuan untuk tiap variasi campuran dibuat 10 buah silinder dan 3

buah balok beton bertulang. Balok benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.7. Variasi yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. Sampel (A) tanpa campuran abu batu andesit (normal)
2. Sampel (B) dengan campuran abu batu andesit 5% dari berat semen,
3. Sampel (C) dengan campuran abu batu andesit 10% dari berat semen,
4. Sampel (D) dengan campuran abu batu andesit 15% dari berat semen, dan
5. Sampel (E) dengan campuran abu batu andesit 20% dari berat semen.



Gambar 4.7 Balok Uji

Perawatan terhadap benda uji silinder dan balok beton bertulang dilaksanakan dengan cara merendam dalam bak air. Perawatan terhadap sampel tersebut dilakukan selama 28 hari. Dengan cara tersebut diharapkan hidrasi semen berlangsung dengan baik.

4.3.3 Pelaksanaan pengujian

Pengujian meliputi uji tarik baja, uji desak silinder, dan uji lentur yang diuraikan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1) Pengujian kuat tarik baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil

pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum, beban patah, dan batas luluh awal. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter baja tulangan.

2) Pengujian kuat desak silinder beton

Langkah-langkah yang ditempuh dalam pengujian kuat desak beton adalah :

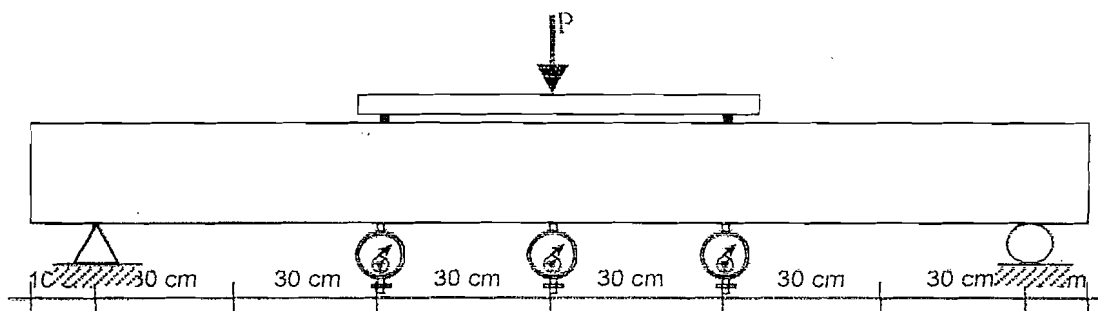
- a. Setelah silinder beton direndam dalam air selama 28 hari, tinggi dan diameternya diukur, setelah itu ditimbang beratnya, kemudian diletakkan pada alas pembebanan mesin uji kuat desak beton.
- b. Mesin uji dihidupkan, pembebanan diberikan dari 0 KN hingga benda uji hancur dan besarnya beban maksimal dicatat sesuai pembacaan.

3) Pengujian kuat lentur balok beton

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Sebelum pengujian dilakukan, sisi permukaan balok beton dicat putih dan dibuat skala dengan ukuran yang seragam, kemudian setelah kering dapat diletakan pada tumpuan dari "Loading Frame" sesuai dengan tanda yang telah diberikan. Pemasangan "Dial" dilakukan pada jarak $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{2}{3}$ bentang (L) dari tumpuan (Gambar 4.8).
- b. Setelah "Load Cell", "Tranducer Indikator", dan dongkrak hidrolik sudah terpasang, pengujian kuat lentur dapat dimulai. Mula-mula balok beton diberi pembebanan dengan interval 150 kg melalui dongkrak hidrolik, besarnya beban yang terjadi dicatat sesuai dengan pembacaan pada "Tranducer Indikator", sedangkan lendutan dapat dibaca melalui "Dial" dan dicatat.

- c. Pada saat pengujian berlangsung, pola retak yang muncul pada permukaan sisi balok beton diperjelas dengan spidol dan diberi notasi angka yang menunjukkan nomor retak saat pembebanan.
- d. Setelah tinggi pola retak yang terjadi hampir mendekati tinggi penampang balok, pembebanan dihentikan dan pola retak tersebut digambar.



Gambar 4.8 Metoda Pembebanan

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data primer berupa kuat desak silender beton, dan kuat lentur beton bertulang dengan atau tanpa bahan tambah berupa gergajian batu andesit. Data tersebut di analisis untuk memperoleh kekakuan dari beban dan lendutan serta faktor kakuan dari momen kelengkungan.

5.1.1 Hasil uji kandungan kimia gergajian batu andesit

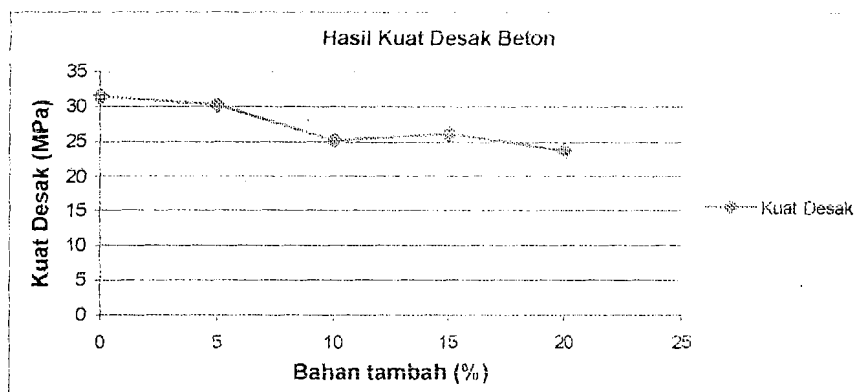
Berdasarkan hasil uji kandungan kimia, di peroleh prosentasi silika sebesar 15,76%. Data tersebut kemudian dianalisa dan dicari pengaruhnya terhadap perubahan jumlah senyawa kimia semen Portland jenis I seperti tampak pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Analisis Silika Gergajian Batu Andesit

Jenis Semen	Prosentasi (%)				Silika Ratio (SR)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Jenis I	54,1	16,61	10,83	9,12	2,22
Modifikasi 5%	44,42	23,29	10,68	8,66	2,27

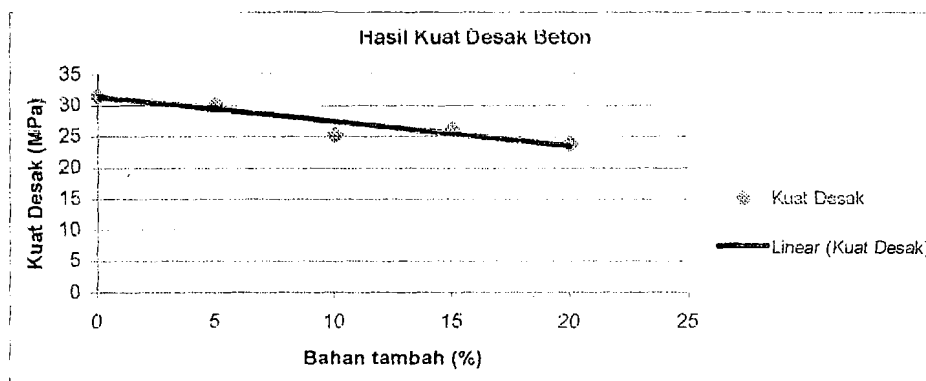
5.1.2 Hasil uji kuat desak beton

Kuat desak beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 22.5 MPa. Dari hasil uji kuat desak beton, dapat digambarkan diagram yang memberikan hubungan prosentasi gergajian batu andesit terhadap penurunan kuat desak beton sebagai berikut.



Gambar 5.1 Grafik Penurunan Kuat Desak Silender Beton

Dari Gambar 5.1 kemudian diregresi menghasilkan Gambar 5.2



Gambar 5.2 Grafik Hasil regresi Penurunan Kuat Desak Silender Beton

Hasil analisis dari Gambar 5.1 dapat dilihat dari Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5.2 Hasil Uji Desak Silender Beton

Sampel	f'_{cr} (MPa)	Standar Deviasi	f'_{c} (MPa)	f'_{c} (%)
Variasi 0%	33,51	1,220	31,50	100.00
Variasi 5%	33,34	1,860	30,29	96.16
Variasi 10%	27,69	1,504	25,23	80.10
Variasi 15%	28,20	1,250	26,15	83.02
Variasi 20%	26,16	1,490	23,72	75.30

5.13 Hasil uji kuat tarik baja tulangan

Untuk mengetahui Kualitas baja tulangan yang terpasang dalam sampel balok, dilakukan uji tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 Hasil Uji Tarik Baja

Diameter (mm)	Kuat Lelah (MPa)	Kuat Tarik Maximum (MPa)
6	284.76	396.89
8	280.33	404.53
12	353.98	514.31

5.1.4 Hasil uji lentur balok beton bertulang

Hasil pengujian balok beton bertulang dengan atau tanpa bahan tambah gergajian batu andesit pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Hubungan beban dan lendutan

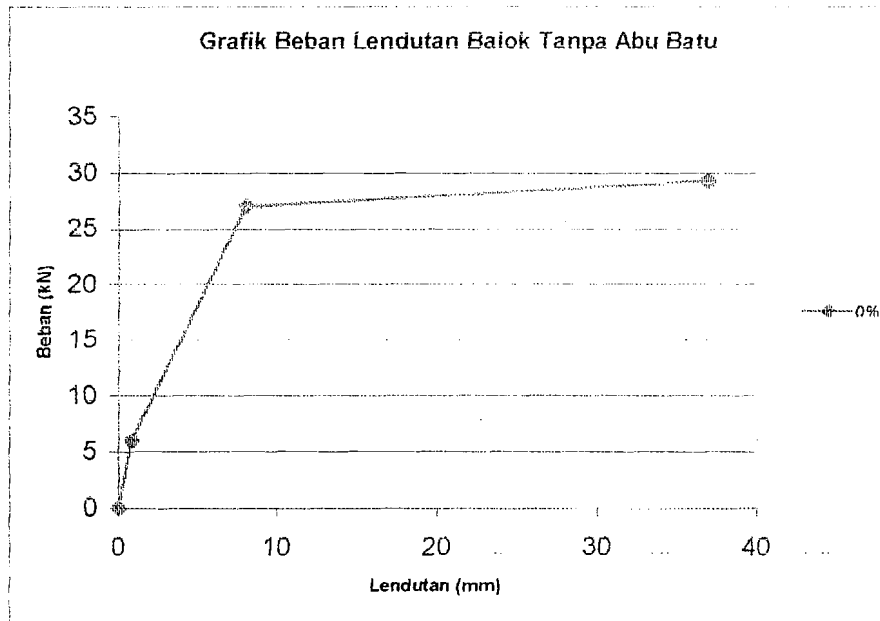
Pelaksanaan uji kuat lentur dilaksanakan di laboratorium struktur Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian kuat lentur

balok diberi pembebanan dengan metoda "Central Difference". Pembebanan dilakukan dengan kenaikan sebesar 1,5 kN, kemudian tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Di bawah ini disajikan hasil pengujian balok normal.

Tabel. 5.4 Hasil Pengujian Lentur Balok Tanpa Abu Batu

No	P (kN)	Defleksi ($\times 10^{-2}$ m)		
		D1	d2	d3
1	0.00	0.0	0.0	0.0
2	1.50	13.0	18.0	16.0
3	3.00	31.0	36.0	34.0
4	4.50	57.8	63.0	58.5
5	6.00	81.0	86.0	81.5
6	7.50	116.0	128.0	115.0
7	9.00	159.0	175.0	158.0
8	10.50	212.0	237.0	215.0
9	12.00	258.0	293.0	260.0
10	13.50	305.0	346.0	309.0
11	15.00	355.0	407.0	358.0
12	16.50	408.0	472.0	411.0
13	18.00	458.0	529.0	480.0
14	19.50	510.0	594.0	522.0
15	21.00	559.0	652.0	564.0
16	22.50	607.0	705.0	605.0
17	24.00	657.0	755.0	648.0
18	25.50	704.0	810.5	705.0
19	27.00	922.0	1035.0	930.0
20	27.50	1460.0	1586.0	1483.0
21	27.75	1620.0	1753.0	1615.0
22	28.50	1934.0	2153.0	1935.0
23	28.50	2875.0	3200.0	2865.0
24	28.50	3154.0	3745.0	3160.0

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur balok normal yang terdapat dalam Tabel 5.4 dapat digambarkan grafik hubungan beban dengan lendutan (P- Δ). Sedangkan grafik hubungan beban lendutan (P- Δ) dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



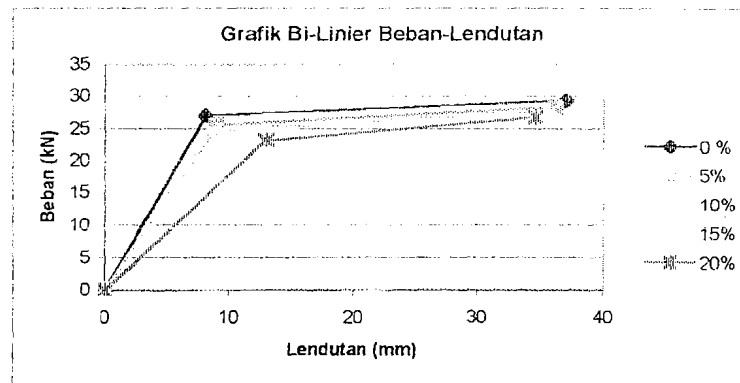
Gambar 5.3 Diagram Hubungan Beban dan Lendutan

Hubungan beban – lendutan uji kuat lentur balok normal, dan balok dengan penggantian sebagian semen ditunjukkan dalam lampiran 13. Dari Gambar 5.3 nampak pada saat beton sebelum retak nilai kekakuan struktur balok lebih besar, kemudian pada saat setelah retak kekakuan berkurang, dan pada saat elastis kekakuan balok paling kecil, hal ini disebabkan beban yang terjadi relatif konstan tetapi lendutan balok semakin besar.

2. Grafik beban – lendutan balok normal, balok dengan penggantian sebagian semen

Grafik beban – lendutan balok normal, balok dengan penggantian sebagian semen ditunjukkan pada Gambar 5.4 sebagai berikut:





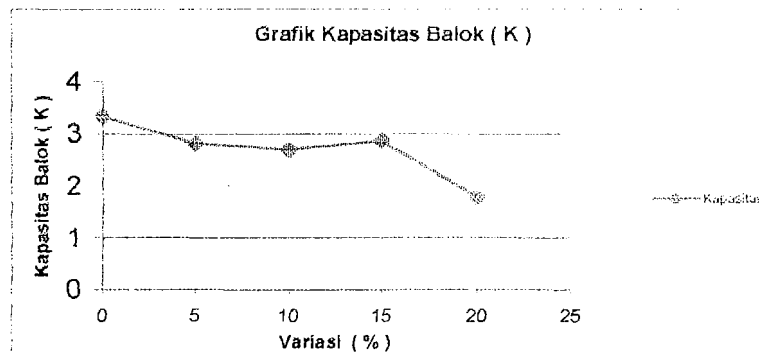
Gambar 5.4 Diagram Hubungan Beban Lendutan Balok Normal dan Balok Dengan Penggantian sebagian semen

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa kekakuan balok pada saat elastis lebih besar dibandingkan dengan pada saat plastis. Hasil analisis hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.5. Balok tanpa bahan tambah (Variasi 0 %) dianggap mempunyai kekakuan 100 %.

Tabel 5.5 Hasil Analisis Hubungan beban dan Lendutan

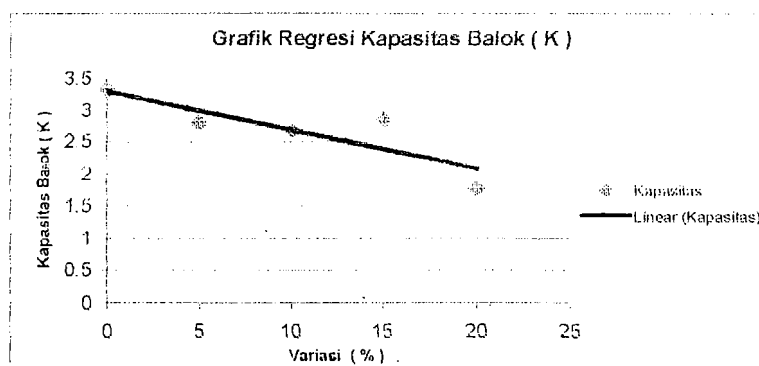
V_{ult} (%)	P (kN)	P (%)	Δ_c (mm)	K (kN/mm)	K (%)
0	27.00	100.00	8.10	3.33	100.00
5	25.50	94.44	9.06	2.81	84.38
10	24.75	91.67	9.20	2.69	80.78
15	24.75	91.67	8.65	2.86	85.89
20	23.25	86.11	13.00	1.79	53.75

Dari hasil analisis beban dan lendutan dapat digambarkan grafik penurunan kekakuan balok beton bertulang seperti tampak pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Penurunan Kekakuan Balok

Dari Gambar 5.5 kemudian diregresi menghasilkan Gambar 5.6



Gambar 5.6 Grafik Regresi Penurunan Kekakuan Balok

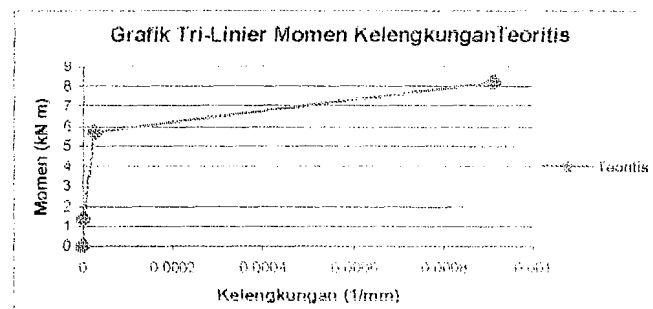
3. Hubungan momen - kelengkungan

Hasil perhitungan momen dan kelengkungan secara teoritis disajikan pada Tabel 5.6 berikut:

Tabel 5.6 Hasil Hitungan Momen-Kelengkungan Teoritis

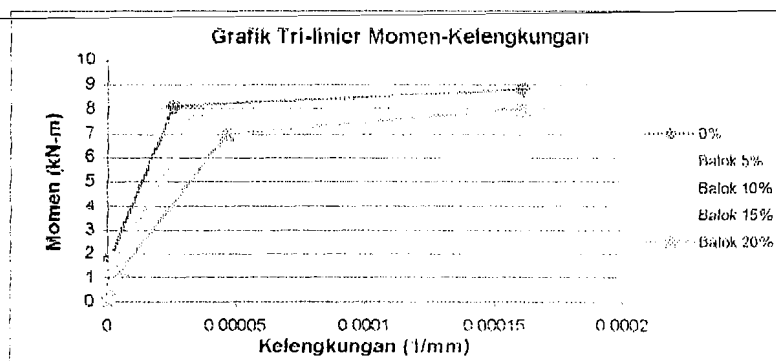
M_{cr} (KN mm)	M_y (KN mm)	M_u (KN mm)	ϕ_{cr} (rad/mm)	ϕ_y (rad/mm)	ϕ_u (rad/mm)
1.38	5.74	8.239	$1.68 \cdot 10^{-1}$	$2.48 \cdot 10^{-5}$	$9.10 \cdot 10^{-1}$

Berdasarkan data hasil hitungan momen kelengkungan teoritis di atas maka dapat digambarkan grafik hubungan antara momen dan kelengkungannya (Gambar 5.7).



Gambar 5.7 Grafik Tri-linier Momen - Kelengkungan

Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa faktor kekakuan struktur terbesar pada saat balok beton sebelum retak, kemudian berkurang setelah balok retak dan faktor kekakuan paling kecil pada saat beton plastis karena momen relatif tetap sedangkan kelengkungan bertambah. Gambar gabungan grafik tri-linier momen - kelengkungan dari setiap variasi balok beton bertulang seperti di tunjukkan pada Gambar 5.8



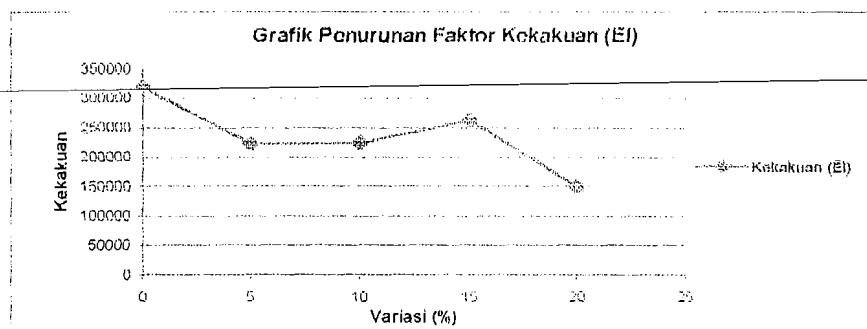
Gambar 5.8 Grafik Tri-linier Momen Kelengkungan Untuk Balok Normal dan Balok Dengan Penggantian Sebagian Semen

Dari hasil analisis momen dan kelengkungan didapatkan faktor kekakuan yang disajikan pada Tabel 5.7. Balok tanpa penggantian semen (variasi 0 %) dianggap mempunyai momen dan faktor kekakuan 100 %.

Tabel 5.7 Hasil Analisis Momen Kelengkungan dengan faktor kekakuan

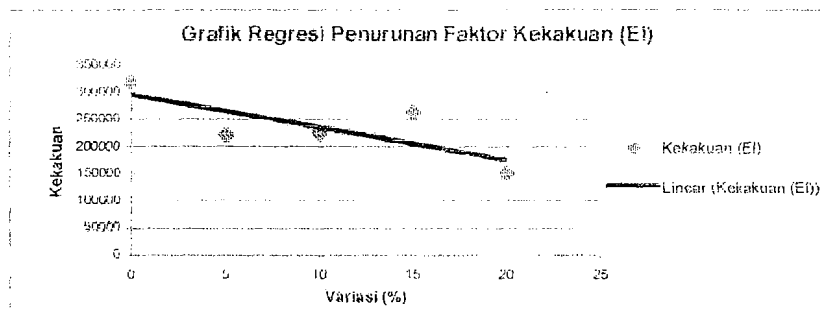
Var. (%)	M_y (kN-mm)	ψ_y (1/mm)	EI (kN-mm ²)	M_y (%)	EI (%)
Teori (0%)	5.740	$2.48 \cdot 10^{-5}$	231451.61	70.86	72.58
0	8.100	$2.54 \cdot 10^{-5}$	318897.60	100.00	100.00
5	7.650	$3.44 \cdot 10^{-5}$	222383.70	94.44	69.74
10	6.975	$3.10 \cdot 10^{-5}$	225000.00	86.11	70.56
15	7.425	$2.82 \cdot 10^{-5}$	263297.90	91.66	82.56
20	6.975	$4.62 \cdot 10^{-5}$	150974.00	86.11	47.34

Dari data pada Tabel 5.7 dapat digambarkan Grafik penurunan faktor kekakuan (EI) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9



Gambar 5.9 Grafik Penurunan Faktor Kekakuan

Dari Gambar 5.9 kemudian diregresi menghasilkan Gambar 5.10



Gambar 5.10 Grafik Regresi Penurunan Faktor Kekakuan (EI)

5.2 Pembahasan

Dalam hasil analisis ini kami tidak membahas kandungan pori-pori yang terdapat dalam beton.

5.2.1 Kandungan silika gergajian batu andesit

Kandungan unsur kimia yang terdapat dalam gergajian batu andesit dianalisa di Laboratorium Analisis Kimia dan Fisika UGM Yogyakarta. Dari hasil penelitian tersebut ternyata kandungan unsur kimia yang terdapat dalam gergajian batu andesit tersebut mengalami penurunan, terutama unsur SiO_2 , Al_2O_3 , CaO yang merupakan unsur pendukung pokok dari semen. Penurunan kandungan unsur kimia terutama SiO_2 ini disebabkan karena ikatan kovalen antara molekul-molekul SiO_2 yang terdapat dalam batu andesit tersebut terpotongnya akibat adanya pengergajian batu tersebut. Hasil analisis kandungan kimia Gergajian batu andesit (Tabel 5.8).

Tabel 5.8 Kandungan Unsur Kimia Limbah Gergajian Batu Andesit

Parameter	Hasil analisa (%)
SiO_2	15.72
CaO	0.1034
Al_2O_3	2.97

Sumber: Laboratorium Analisa Kimia dan Fisika UGM Yogyakarta

Dari data prosentase silika Gergajian batu andesit dapat dihitung perubahan jumlah senyawa kimia semen portland. Dengan membandingkan kandungan senyawa kimia untuk semen portland jenis I dan semen dengan penggantian semen dengan Gergajian batu andesit dapat diketahui adanya penurunan jumlah senyawa kimia semen. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan data pada Lampiran 12 dan ternyata penambahan gergajian batu andesit 10% dari berat semen mengubah sifat semen portland dari jenis I menjadi jenis semen lain.

5.2.2 Kuat desak beton

Dari beban (P) dan luas penampang (A) silinder beton, kuat desak yang terjadi dapat diketahui. Dengan membandingkan kuat desak silinder beton untuk variasi normal dengan variasi campuran abu batu andesit akan didapatkan besarnya prosentase kenaikan/penurunan kuat desak sebagai berikut:

- a. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 5% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 1.21 Mpa atau 3.84%
- b. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 10% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 6.27 Mpa atau 19.90%
- c. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 15% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 5.35 Mpa atau 16.98%
- d. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 20% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 7.78 Mpa atau 24.70%.

Dengan memperhatikan data-data di atas terlihat bahwa penggantian sebagian semen dengan gergajian batu andesit ternyata mengakibatkan terjadinya penurunan

kuat desak beton. Hal ini dikarenakan kandungan senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF berkurang akibat penggantian semen dengan gergajian batu andesit (Lampiran 12). Kandungan senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF berkurang diakibatkan ikatan molekul-molekul kovalen yang terdapat dalam SiO_2 terputus akibat penggergajian batu tersebut.

5.2.3 Workability

Untuk menentukan kemudahan dari pengerjaan beton maka dapat dilihat dari nilai slump (Lampiran 19). Penggantian semen dengan gergajian batu andesit menghasilkan nilai slump yang hampir sama. Hal ini memperlihatkan bahwa penggantian sebagian semen dengan gergajian batu andesit kurang berpengaruh terhadap kelecakan dari mortar beton. Untuk penggantian semen sebesar 10% nilai slump lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi penggantian semen yang lainnya, hal ini disebabkan kondisi agregat pada waktu sebelum pengecoran beton dengan penggantian semen sebesar 10% dalam kondisi basah akibat hujan pada malam sebelum pengecoran dilakukan.

5.2.4 Kuat tarik baja

Dari uji tarik terhadap tulangan baja yang digunakan yaitu D_6 untuk tulangan sengkang, D_8 untuk tulangan baja desak, dan D_{12} untuk tulangan baja tarik dapat diketahui besarnya gaya (P) saat baja mengalami leleh (Lampiran 7). Tegangan leleh dihitung dengan cara membagi gaya (P) dengan luasan penampang baja yang diuji.

5.2.5 Kuat lentur

Kuat lentur berhubungan dengan lendutan yang terjadi. Kemampuan struktur untuk tidak melendut menunjukkan kemampuan struktur menahan momen yang bekerja, sedangkan lendutan berkaitan dengan kelengkungan. Hubungan momen - kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan (EI), jadi kuat lentur berhubungan dengan faktor kekakuan (EI). Faktor kekakuan didapat dari M/ϕ (Persamaan 3.47), faktor kekakuan pada balok dengan variasi penggantian sebagian semen secara umum berbeda. Gambar 5.8 menunjukkan grafik faktor kekakuan yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Dengan membandingkan grafik momen - kelengkungan balok variasi normal dengan variasi penggantian sebagian semen, dapat diketahui faktor kekakuan seperti disajikan dalam Tabel 5.7. Grafik momen-kelengkungan balok variasi normal dianggap mempunyai kekakuan 100%, sedangkan untuk variasi penggantian sebagian semen faktor kekakuan dibandingkan dengan grafik momen-kelengkungan balok variasi normal sehingga didapat kenaikan momen dan faktor kekakuan untuk perhitungan secara teoritis, sedang apabila balok beton normal dibandingkan dengan penggantian sebagian semen mengalami penurunan. Hasil analisis dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Untuk perhitungan secara teoritis terjadi kenaikan momen sebesar 29,14 % dan penurunan faktor kekakuan sebesar 27,42 %,

- b. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 5% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 5,56% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 30,26%,
- c. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 10% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 13,89% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 29,44%,
- d. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 15% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 8,34% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 17,44%,
- e. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 20% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 13,89% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 52,66%.

Dari data di atas terlihat bahwa semakin banyak penggantian semen dengan gergajian batu andesit mengakibatkan terjadi penurunan momen dan faktor kekakuan, hal ini disebabkan kuat desak beton menurun. Penurunan kuat desak beton mengakibatkan modulus elastisitas beton menurun. Dengan turunnya modulus elastisitas beton maka faktor kekakuan balok menurun sehingga kuat lentur dari struktur juga menurun.

5.2.6 Kekakuan

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan dianalisa pengaruh abu batu andesit terhadap kuat lentur balok dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada

benda uji. Dari penelitian didapat hubungan beban (P) dan lendutan (Δ), dalam hal ini nilai kekakuan didapat dari $\text{tg } \alpha = P/\Delta$ (Persamaan 3.38). Perbedaan perilaku kekakuan pada balok dengan atau tanpa variasi campuran secara umum tidak berbeda jauh.

Dengan membandingkan grafik beban dan lendutan balok variasi normal dengan campuran dapat diketahui besarnya nilai kekakuan. Grafik beban dan lendutan dianggap mempunyai kekakuan 100%, sedangkan pada balok dengan variasi campuran kekakuan harus dibandingkan dengan grafik beban dan lendutan balok variasi normal. Dengan demikian diperoleh angka penurunan nilai kekakuan sebagai berikut:

- a) Balok dengan variasi campuran batu andesit 5% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 3,59% atau mempunyai kapasitas sebesar 94,44% penurunan kekakuan sebesar 15,62%,
- b) Balok dengan variasi campuran batu andesit 10% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 8,33 % atau mempunyai kapasitas sebesar 91,67% dan penurunan kekakuan sebesar 19,22%,
- c) Balok dengan variasi campuran batu andesit 15% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 8,33% atau mempunyai kapasitas sebesar 91,67% dan penurunan kekakuan sebesar 14,11%,

- d) Balok dengan variasi campuran batu andesit 20% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 13,89% atau mempunyai kapasitas sebesar 86,11% dan penurunan kekakuan sebesar 46,25%.

Dari data di atas terlihat bahwa semakin banyak penggantian semen dengan gergajian batu andesit mengakibatkan terjadi penurunan kapasitas beban dan kekakuan, hal ini disebabkan modulus elastisitas beton menurun. Dengan turunnya modulus elastisitas beton maka kekakuan balok dan beban mengalami penurunan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pelaksanaan penelitian di laboratorium dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin banyak persentase penggantian semen dengan gergajian batu andesit maka kuat desak menurun.
2. Penurunan kuat desak beton mengakibatkan nilai faktor kekakuan (EI) dan kekakuan (K) balok menurun sehingga kuat lentur balok menurun.
3. Gergajian batu andesit tidak dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen

6.2 Saran

Terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam melaksanakan studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan bahan limbah ini antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang limbah gergajian batu andesit ini untuk dipakai sebagai pengganti bahan lain selain semen atau sebagai bahan tambah.
2. ketelitian dalam pelaksanaan penelitian perlu ditingkatkan untuk peneliti selanjutnya.
3. Pada saat pengujian balok perlu ketelitian dalam membaca dial pembebanan dan dial defleksi balok, serta ketelitian dalam pengamatan retak pertama.

DAFTAR PUSTAKA

- Antony Hall, (1987), NEUS PETROLOGY, Logman Group
- Chen, WF., Saleeb, A.F., 1982, CONSTITUTIVE EQUATION FOR ENGINEERING, Jhon Willy & Sons, Inc, Canada.
- Chu-kia wang, Salmon,C.G., 1993, DISAIN BETON BERTULANG, Erlangga, Jakarta.
- Dobrowolski, J.A., 1998, CONCRETE CONTRUCTION HAND BOOK, Mc Graw Hill, New Delhi
- Gambhir, M.L.,1986, CONSRET OF TECHNOLOGY, Mc Graw Hill, New Delhi
- Istimawan Dipohusodo, 1994, STRUKTUR BETON BERTULANG, Gramedia, Jakarta.
- Kardiyono Cokrodimulyo, 1992, TEKNOLOGI BETON, Biro Penerbit, Yogyakarta
- Kusnadi, 1985, TEKNOLOGI BETON, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, Bandung.
- Murdock,L.J., Brook,K.M., 1986, BAHAN DAN PRAKTEK BETON, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E.G., 1990, BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR, P.T. Eresco, Bandung.
- Neville, Ghali, 1978, ANALISA STRUKTUR, Erlangga, Jakarta.
- Park,R., Paulay,T.,1975,REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, Jhon Wiley& Sons,Inc, Canada
- Popovic, 1998, STRENGTH AND RELATED PROPERTIES OF CONCRETE, Jhon Willy & Sons, Inc, Canada.
- Sagel, Kole, Gedion, 1991, PEDOMAN Pengerjaan BETON BERDASARKAN SKSNI T-15-1991-03 NO. 2, Erlangga, Jakarta.
- Winter,G., Nilson,A.H., 1993, PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG, PT Pradnya Paramita, Jakarta

TAMPARAN

DAFTAR KONSULTASI

NO. TANGGAL	TANGGAL KONSULTASI	TANGGAL
20/05/01	Katan belakawan menegambatkan masalah di masalah di situ	20/05/01
20/08/01	Tulis landasan temaan Tugur profoto Rofone Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper	20/08/01
21/08/01	Tulis landasan temaan Rofone Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper	21/08/01
21/08/01	Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper Rofone Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper	21/08/01
21/08/01	Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper Rofone Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper	21/08/01
21/08/01	Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper Rofone Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper	21/08/01
21/08/01	Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper Rofone Dibuat kuring lewis 20 kuncu paper	21/08/01

Problema p...
 di per...
 20/11/01
 20/11/01
 20/11/01



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Fax. (0274) 895330 Yogyakarta.

DATA PEMERIKSAAN

BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Jenis benda uji : Kerikil Di periksa oleh :
 Nama benda uji : _____ 1. Hadi Suyitno.
 Asal : Celerang 2. Nofri Sasita
 Keperluan : Penelitian Tugas Akhir
 Tanggal : 13 September 2001

ALAT - ALAT

1. Gelas ukur kap 1000 ml
2. Timbangan ketelitian 0.01 gram
3. Piring, Sendok, Lap, dan lain-lain

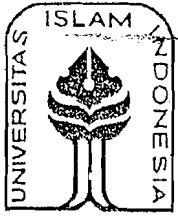
	BENDA UJI I		BENDA UJI II	
Berat agregat (W)	400	Gram	400	Gram
Volume air (V ₁)	500	Cc	500	Cc
Volume air + Agregat (V ₂)	650	Cc	655	Cc
Berat jenis (BJ) $\frac{W}{V_2 - V_1}$	2,67		2,58	
Berat jenis rata -- rata	2,625			

Catatan :

Yogyakarta,

Mengetahui

LABORATORIUM BKT FTSP UII,
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Fax. (0274) 895330 Yogyakarta.

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Jenis benda uji : Pasir Di periksa oleh :
 Nama benda uji : _____ 1. Hadi Suntno.
 Asal : Kaliurang. 2. Nofri. Sagita.
 Keperluan : Penelitian Tugas Akhir
 Tanggal : 13 September 2001

ALAT - ALAT

1. Gelas ukur kap 1000 ml
2. Timbangan ketelitian 0.01 gram
3. Piring, Sendok, Lap. dan lain-lain

	BENDA UJI I		BENDA UJI II	
	Berat agregat (W)	... 400 ...	Gram	... 400 ...
Volume air (V ₁)	... 500 ...	Cc	... 5.00 ...	Cc
Volume air + Agregat (V ₂)	... 655 ...	Cc	... 6.50 ...	Cc
Berat jenis (BJ) $\frac{W}{V_2 - V_1}$... 2.58 2.67 ...	
Berat jenis rata - rata	... 2,625 ...			

Catatan :

Yogyakarta, _____

Mengetahui

LABORATORIUM BKT FTSP UII



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Fax. (0274) 895330 Yogyakarta.

DATA PEMERIKSAAN
BERAT VOLUME AGREGAT KASAR " SSD "

Jenis benda uji : Kerikil Di periksa oleh :
Nama benda uji : _____ 1. Hadi Suryitno
Asal : cederang 2. Nopri Sagita.
Keperluan : Pandituan Tugas Akhir
Tanggal : 13 september 2001

ALAT - ALAT

1. Tabung silinder ($\varnothing 15 \times t 30$) cm
2. Timbangan kap. 20 kg
3. Tongkat penumbuk $\varnothing 16$ panjang 60 cm
4. Serok / sekop , lap dll.

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat tabung (W_1)	5546 Kg	5546 Kg
Berat tabung + Agregat (W_2)	13140 Kg	13140 Kg
Volume tabung $\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot t$	0,0053 m ³	0,0053 m ³
Berat volume $\frac{W_2 - W_1}{V}$	1,433 t / m ³	1,433 t / m ³
Berat volume rata-rata	1,433 t / m ³	

Yogyakarta, _____

Mengetahui

Laboratorium BKT FTSP UII,

LABORATORIUM *Danese*
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Fax. (0274) 895330 Yogyakarta.

DATA PEMERIKSAAN
 MODULUS HALUS BUTIR PASIR

Jenis benda uji : Pasir Di periksa oleh :
 Nama benda uji : _____ 1. Hadi Suryitno.
 Asal : Kaliurang 2. Noori Sagita.
 Keperluan : Pendidikan Tugas Akhir Tanggal : 13 september 2001

Saringan		Berat tertinggal gram		Berat tertinggal %		Berat kumulatif	
No	Ø lubang mm	I	II	I	II	I	II
1	4.75	175	173	7	6,92	7	6,92
2	2.36	175	172	7	6,92	14	13,84
3	1.18	452	445	18,08	17,18	32,08	31,64
4	0.600	638	628	25,52	25,12	57,6	56,76
5	0.300	576	569	23,04	20,36	80,64	77,12
6	0.150	333	344	12,32	12,76	93,96	90,88
7	Pan	151	229	6,64	9,16	-----	-----
Jumlah						285,28	277,16

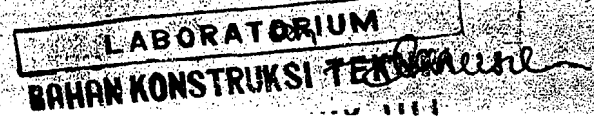
Jumlah rata - rata 281,22

MODULUS HALUS BUTIR = $\frac{281,22}{100} \times 100\% = 281$

Yogyakarta, _____

Mengetahui

Laboratorium BKT-FTSP UII,





DATA PEMERIKSAAN KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR

Di periksa oleh:

1. Hadi Suyitno
2. Nofri Sagita

Alat-Alat

1. Gelas Ukur
2. Timbangan halus
3. Piring
4. Open

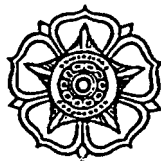
Pengamatan

	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat pasir	100 gr	100 gr
Berat piring + pasir	186.32 gr	243.3 gr
Berat piring kosong	88 gr	145.76 gr
Berat pasir	98.32 gr	97.54 gr
Kandungan lumpur	$\frac{100 - 98.32}{100} \cdot 100\% = 1.68\%$	$\frac{100 - 97.54}{100} \cdot 100\% = 2.46\%$
Kadungan Lumpur Rata2	2.07%	


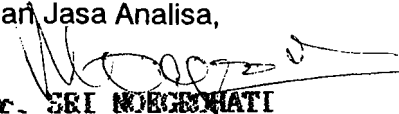
LABORATORIUM

BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK UIN



**LABORATORIUM ANALISA KIMIA DAN FISIKA PUSAT
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

HASIL ANALISA			
TUJUAN ANALISA : <i>Penelitian</i>			KODE JASA ANALISA
IDENTITAS SAMPEL a. No. Reg. : 076/LAKHIP-UKM/PT.01/C.02.03 b. Instansi : Nofri Sagita. c. Alamat : FTSP UMI Jl Kaliburang km 14 Yk			SERVICE
HASIL ANALISA :			
No.	Parameter	Hasil Analisa	Metoda Analisa
1.	<i>Analisa sampel Pasir</i> Kadar Kalsium (Ca)	0,1034 %	AAS-Nyala C ₂ H ₂ -Udara
2.	Kadar (Al ₂ O ₃)	2,97 %	Spektrometer UV-VIS
3.	Kadar (SiO ₂)	15,72 %	Spektrometer UV-VIS
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p>Kepala,</p>  <p>Dr. MARSITO NIP. 19512159</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: right;"> <p>Yogyakarta, 15 AUG 2001</p> <p>Koordinator Bidang Managemen Data dan Jasa Analisa,</p>  <p>Dr. SRI NOERHATI NIP. 130696500</p> </div> </div>			
Kode Pemeriksaan :			



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

JL. Kaliurang Km 14.4 telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

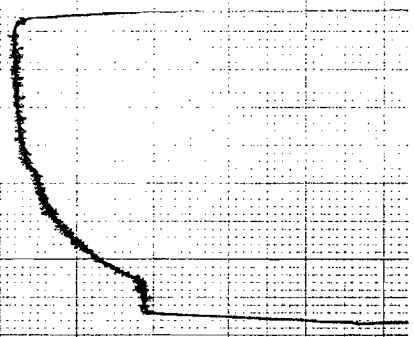
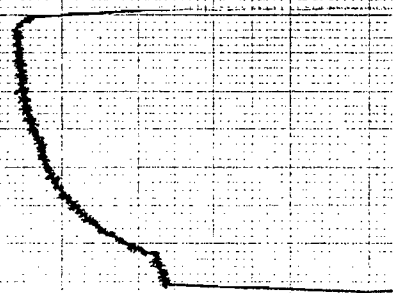
Lampiran 7

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

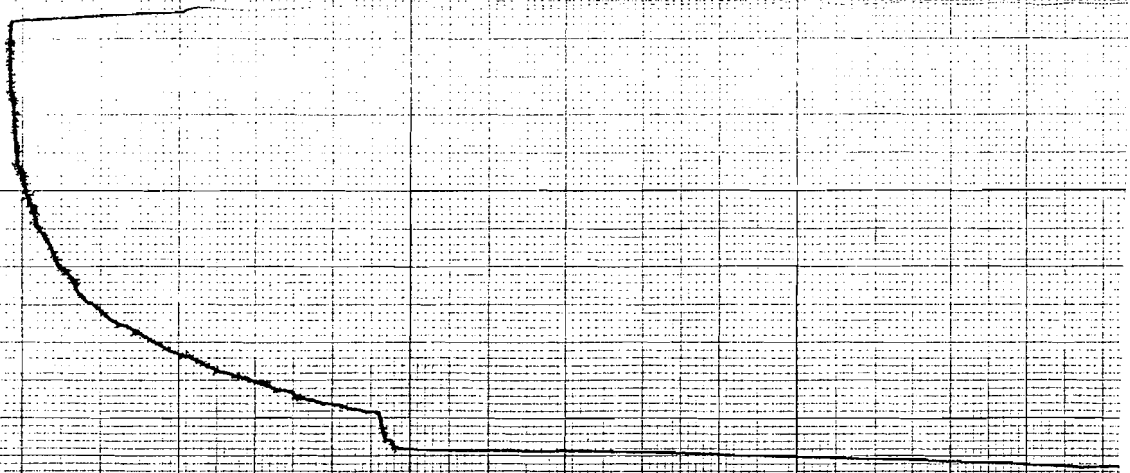
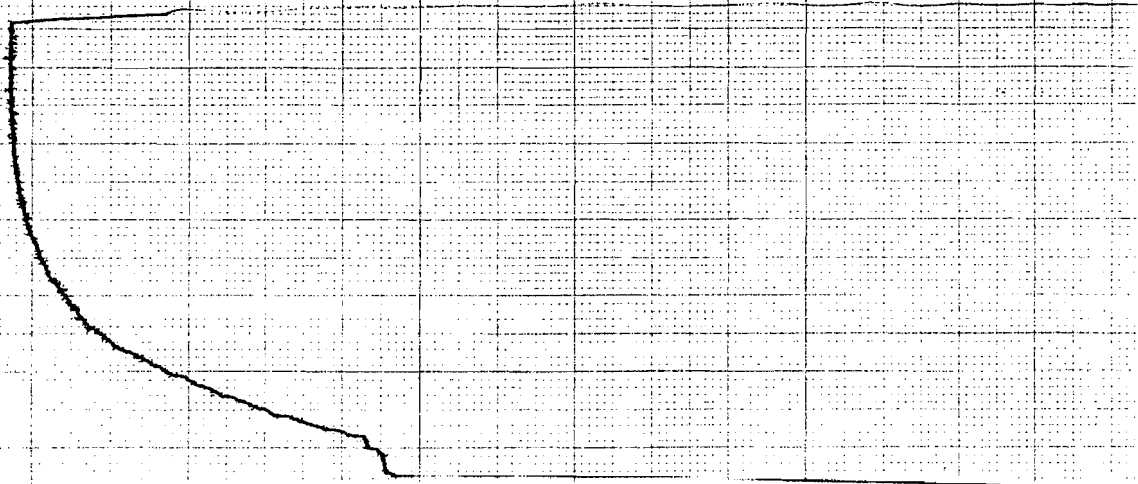
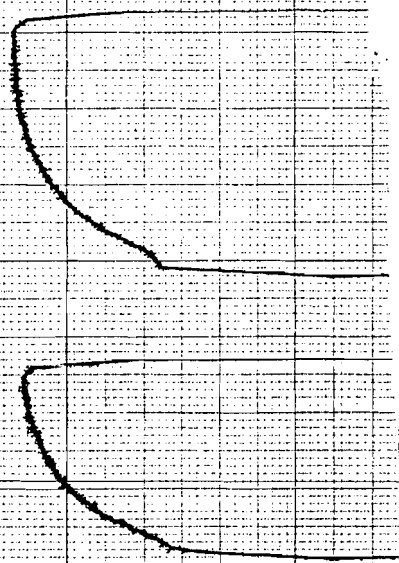
No.	Diameter (mm)		luas (mm ²)	P leleh (Kgf)	P max (Kgf)	P putus (Kgf)	fy Leleh (Kg/mm ²)	fy max (Kg/mm ²)	fy putus (Kg/mm ²)
	Pengenalan	Uji							
1	6	5.32	22.2376	655	900	610	294.5462	404.7199	274.3102
2	6	5.4	22.91143	630	890	600	274.9719	388.4524	261.878
						Rata-rata	284.7591	396.5862	268.0941
3	8	7.35	42.44625	1180	1700	1190	277.9986	400.5065	280.3546
4	8	7.32	42.10046	1190	1720	1220	282.6573	408.5466	289.7831
						Rata-rata	280.328	404.5266	285.0688
5	12	10.75	90.79911	3170	4630	3800	349.1224	509.9169	418.5063
6	12	10.67	89.45271	3210	4640	3920	358.8488	518.7098	438.2204
						Rata-rata	353.9856	514.3134	428.3634

LABORATORIUM *Daru S*
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK DARU S
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

LABORATORIUM
BIMBINGAN KONSISTENSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UT
DARUS



LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UIN
DARUSSALAM





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.4 telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

Lampiran 8

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON NORMAL

Sampel	Bahan	Ukuran		Luas	Berat	Berat/Volume	P max	kuat	f _{cr}	Standar	f _c	Penurunan	
	Tambah	D (cm)	t (cm)	(cm ²)	kg	kg/m ³	kN	desak	MPa	Deviasi	MPa	f _c	%
A1	0%	148.7	300	17373.47	12.6	2417.48	585	33.672	33.51	1.22294	31.5	0	0
A2		148.9	302.3	17420.24	12.8	2430.62	560	32.147					
A3		150	297.6	17678.57	12.5	2375.91	550	31.111					
A4		149.7	300.2	17607.93	12.6	2383.70	580	32.94					
A5		150.8	300.5	17867.65	12.6	2346.71	625	34.979					
A6		149.8	299.4	17631.46	12.6	2366.88	585	33.179					
A7		149.8	295.3	17631.46	12.6	2420.02	590	33.463					
A8		148	301.2	17210.29	12.6	2430.68	595	34.572					
A9		150.6	300.4	17820.28	12.7	2372.41	610	34.231					
A10		147.6	300.8	17117.38	12.55	2437.41	595	34.76					
				Berat rata-rata		2400.18							

LABORATORIUM *Darussalam*
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK DARUS.
FAKULTAS TEKNIK U-I



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON DENGAN BAHAN TAMBAH 5%

Sampel	Bahan Tambah	Ukuran		Luas (cm ²)	Berat	Berat/Volume kg/m ³	P max kuat desak kN	f _{cr} MPa	Standar Deviasi	f _c MPa	Penurunan		
		D (cm)	t (cm)								f _c	%	
B1	0%	149.9	303.3	17655.01	12.8	2390.39	595	33.7	33.34	1.8644	30.29	1.213696	3.85
B2		148.6	301.8	17350.11	12.7	2425.39	550	31.7					
B3		149.9	301.3	17655.01	12.8	2406.26	570	32.29					
B4		150	301.9	17678.57	12.7	2379.54	630	35.64					
B5		148.6	302.3	17350.11	12.6	2402.32	545	31.41					
B6		149.9	302.4	17655.01	12.6	2360.05	585	33.14					
B7		150.3	301.1	17749.36	12.8	2395.06	590	33.24					
B8		149.8	301.1	17631.46	12.7	2392.24	640	36.3					
B9		150.6	301.3	17820.28	12.8	2383.95	550	30.86					
B10		150.4	300.5	17772.98	12.7	2377.93	625	35.17					
				Berat rata-rata		2391.31							

LABORATORIUM *Daru*
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK DARU.
FAKULTAS TEKNIK UII



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km 14.4 telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON DENGAN BAHAN TAMBAH 10%

Sampel	Bahan	Ukuran (mm)		Luas	Berat	Berat/Volume	P max	kuat	fcr	Standar	f _c	Penurunan	
	Tambah	Diameter	Tinggi	(cm ²)	kg	kg/m ³	kN	desak	MPa	Deviasi	MPa	f _c	%
C1	10%	149.7	303.3	17607.9	12.5	2340.61	440	24.98874	24.66	1.2086	22.68	8.8176	27.99
C2		147.1	301.8	17001.6	12.3	2397.15	430	25.29173					
C3		149.2	301.25	17490.5	12.4	2353.38	425	24.2989					
C4		148.2	301.85	17256.8	12.5	2399.70	395	22.88949					
C5		149.5	302.3	17560.9	12.7	2392.32	480	27.33343					
C6		148.2	302.25	17256.8	12.55	2406.11	425	24.62793					
C7		149.5	301.1	17560.9	12.5	2364.03	410	23.34731					
C8		148.3	301.05	17280.1	12.6	2422.06	420	24.30538					
C9		149.8	301.25	17631.5	12.7	2391.05	430	24.38822					
C10		148.3	300.45	17280.1	12.5	2407.64	435	25.17342					

Berat rata-rata 2387.41

LABORATORIUM *Demusul*
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK *DARU S.*
FAKULTAS TEKNIK UII



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.4 telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON DENGAN BAHAN TAMBAH 15%

Sampel	Bahan Tambah	Ukuran		Luas (cm ²)	Berat	Berat/Volume kg/m ³	P max kN	kuat desak	f _{cr} MPa	Standar Deviasi	f _c MPa	Penurunan	
		D (cm)	t (cm)									f _c	%
D1	15%	149.55	301	17572.66	12.6	2382.53	490	27.884	28.2	1.2492	26.15	5.35	16.98
D2		149.5	302.2	17560.91	12.65	2384.08	490	27.903					
D3		148.5	302.6	17326.77	12.6	2403.56	500	28.857					
D4		148.95	298.8	17431.94	12.4	2380.65	500	28.683					
D5		149.7	299.9	17607.93	12.5	2367.15	510	28.964					
D6		150.9	300.5	17891.35	12.6	2343.99	460	25.711					
D7		150.3	302.2	17749.36	12.65	2358.38	480	27.043					
D8		149.5	301.1	17560.91	12.55	2373.48	520	29.611					
D9		148.2	300.6	17256.83	12.5	2410.08	475	27.525					
D10		150.4	303.4	17772.98	12.8	2374.14	530	29.821					
				Berat rata-rata		2377.80							

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
danurrahman



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON DENGAN BAHAN TAMBAH 20%

Sampel	Bahan	Ukuran		Luas	Berat	Berat/Volume	P max	kuat	fcr	Standar	f _c	Penurunan	
	Tambah	D (cm)	t (cm)	(cm ²)		kg/m ³	kN	desak	MPa	Deviasi	MPa	f _c	%
E1	20%	150.1	302.3	17690.36	12.7	2374.81	465	26.286	25.688	2.29981	21.917	9.583388	30.42
E2		149.9	303.15	17655.01	12.8	2391.58	460	26.055					
E3		149.3	301.4	17502.23	12.6	2388.55	420	23.997					
E4		149.5	302.65	17560.91	12.7	2389.55	525	29.896					
E5		151.1	301.45	17926.94	12.75	2359.33	435	24.265					
E6		149.6	301.3	17584.41	12.7	2397.05	440	25.022					
E7		151.4	300.3	17998.22	12.55	2321.98	410	22.78					
E8		151	302.05	17915.07	12.65	2337.72	455	25.398					
E9		149.8	299.45	17619.69	12.55	2378.60	515	29.229					
E10		151.1	304.4	17949.49	12.85	2351.83	430	23.956					
				Berat rat-rata		2369.10							

LABORATORIUM *Sanum*
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII
DAPUS.

Lampiran 9

Mix Design dengan metoda ACI

Pengaruh Penambahan Limbah Gergajian Batu Andesit Terhadap Kuat Desak dan Lentur beton

hasil penelitian bahan penyusun beton:

Pasir BJ : 2.625

MHB : 2.85

kerikil BJ : 2.625

berat satuan kerikil : 1.3625 t/m³

cetakan silinder : jumlah sample untuk penelitian adalah 50 buah

- tinggi = 30 cm

- Diameter = 15 cm

volume = $0.25 \times \pi \times 0.15^2 \times 0.3 \times 50 = 0.265 \text{ m}^3$

Balok : jumlah sample balok adalah 15 buah.

- tinggi = 15 cm

- lebar = 10 cm

- panjang = 200 cm

volume = $0.15 \times 0.1 \times 2 \times 15 = 0.45 \text{ m}^3$

jadi total volume beton = 0.715 m³

Jenis konstruksi diasumsikan untuk plat, balok, kolom.

digunakan nilai slump : min = 7,5 cm ; max = 15 cm

Lampiran 9

- Deviasi standar

volume total beton = $0.715 \text{ m}^3 < 1000 \text{ m}^3$, maka dari table 1 didapat :

mutu pelaksanaan cukup, diambil nilai $ds = 75 \text{ kg/cm}^2$

Langkah-langkah perencanaan menurut metode ACI :

1. Menghitung kuat desak rata-rata beton, berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya.

Nilai margin : $m = 1,64 \times sd$

$$m = 1.64 \times 7,5 = 12.3 \text{ MPa}$$

dengan sd nilai deviasi standar yang diambil dari tabel 4.2.

kuat tekan rata-rata dihitung dari kuat tekan yang disyaratkan ditambah nilai margin:

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

$$f'_{cr} = 22.5 + 12.3 = 34.8 \text{ MPa}$$

dengan: f'_{cr} = kuat tekan rata-rata (MPa)

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

Tabel 4.2. Nilai deviasi standar (kg/cm^2)

Volume pekerjaan	m ³	mutu pelaksanaan		
		baik sekali	baik	cukup
Kecil	<1000	45<sd<=55	55<sd<=65	65<sd<=85
Sedang	1000-3000	35<sd<=45	45<sd<=55	55<sd<=75
Besar	>3000	25<sd<=35	35<sd<=45	45<sd<=65

Lampiran 9

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 kontinyu berhubungan dengan air :	
a. Air tawar	0.57
b. Air laut	0.52

dari tabel 4.4 dipakai untuk keadaan keliling non korosif = 0.60

- dipakai fas minimum = 0.47
3. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slam dan ukuran maksimum agregatnya (lihat tabel 4.5 dan 4.6)

Tabel 4.5. Nilai Slump (cm)

Pemakaian beton	Maks	Min
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12.5	5.0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah	9.0	2.5
Plat, balok, kolom dan dinding	15.0	7.5
Pengerasan jalan	7.5	5.0
Pembetonan masal	7.5	2.5

Lampiran 9

- dipakai slump antara 7,5-15 cm

Tabel 4.6. Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	Balok/kolom	plat
62.5	12.5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

- dipakai ukuran maksimum agregat 20 mm

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump (lihat tabel 4.7.)

Tabel 4.7. Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat, liter

Slump (mm)	Ukuran maksimum agregat (mm)		
	10	20	40
25-50	206	182	167
75-100	226	203	177
150-175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

dipakai perkiraan kebutuhan air 203 liter dengan udara terperangkap 1 %

5. Menghitung berat semen yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (2)

dan (4) di atas

$$W_s = A/fas$$

$$W_s = 203/0,47 = 431.91 \text{ kg/m}^3$$

Lampiran 9

6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus agregat (lihat tabel 4.8)

$$W_k = BS_k \times V_k$$

$$= 1.6 \times 0.61 = 0.976 \text{ ton} = 976 \text{ kg}$$

$$\text{Volume kerikil} = 0.976 / 2.625 = 0.372 \text{ m}^3$$

dimana, W_k = berat kerikil

S_k = berat satuan kerikil

V_k = volume kerikil

Tabel 4.8. Perkiraan kebutuhan kerikil per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus agregat

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus buli pasir (mm)			
	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	0.90	0.88	0.86	0.84

7. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, dan agregat kasar yang diperlukan, serta udara yang terperangkap dalam adukan, (tabel 4.7.) dengan cara hitungan volume absolut.

$$V_p = 1 - (V_a + V_s + V_k + V_u)$$

Lampiran 9

$$= 1 - (0,203 + 0,431/3,15 + 0,372 + 0,01)$$

$$= 0,278 \text{ m}^3$$

$$W_p = V_p \times BJ_p$$

$$= 0,278 \times 2,625 = 0,729 \text{ ton}$$

dimana V_p = volume pasir

V_a = volume air

V_s = volume semen

V_u = volume udara

W_p = berat pasir

BJ_p = berat jenis pasir

8. Menghitung volume bahan tambah yang diperlukan

$$\text{Kadar Ba} = p \times W_s$$

Dimana, Ba = kadar bahan tambah batu andesit

p = persentasi getgajian batu andesit terhadap berat semen

W_s = berat semen portland

Kebutuhan bahan untuk sampel :

Semen : $0,715 \times 431,91 = 308,82 \text{ kg}$

Kerikil : $0,715 \times 976 = 697,84 \text{ kg}$

Pasir : $0,715 \times 729 = 521,235$

Bahan Tambah Misal 5% : $308,82 \times 5\% = 15,441 \text{ kg}$

Semen sebenarnya : $308,82 - 15,441 = 293,379 \text{ kg}$

PERHITUNGAN TEORITIS MOMEN RETAK

Menurut Park & Paully momen retak secara teoritis dinyatakan dengan persamaan :

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y}$$

dengan : M_{cr} = Momen retak

f_r = Modulus retak beton = $0.7 \times \sqrt{f'_c}$

I = inersia balok

y = jarak garis netral ke tepi terdesak

$$f'_c = 31,5 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0.7 \times \sqrt{f'_c} = 0.7 \times \sqrt{31,5} = 3,929 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} I &= \left(\frac{1}{12} \times 100 \times 150^3 \right) + (15000 \times 0,856^2) + (743,766 \times 42,114^2) \\ &\quad + (330,68 \times 45,856^2) \\ &= 30150471,12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$A_s = 0,25 \times \pi \times 12^2 = 113 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,25 \times \pi \times 8^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{31,5} = 26378,68 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{26378,68} = 7,582$$

$$\begin{aligned} A &= bh + (n-1)(A_s + A_s') \\ &= (100 \times 150) + (7,582-1)(113+50,24) \\ &= 16074,446 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Lampiran 10

$$y = \frac{\{(100 \times 150) \times 75\} + \{(6,582 \times 113)118\} + \{(6,582 \times 50,26) \times 30\}}{16118,658}$$
$$= 75,856 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y} = \frac{3,292 \times 30150471,12}{(150 - 75,856)} = 13,387 \times 10^5 \text{ Nmm}$$
$$= 1,338 \text{ KNm}$$

Jadi berdasarkan perhitungan momen retak secara teoritis didapatkan momen retak $M_{cr} = 1,338 \text{ KNm}$.

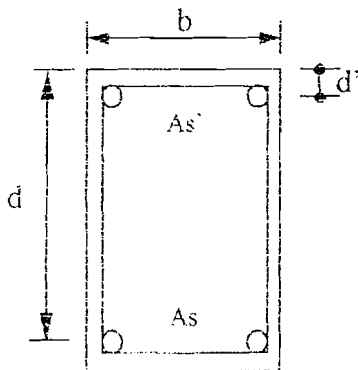
Kemudian untuk P retak (P_{cr}) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$M_{cr} = \frac{P_{cr} \times L}{6}$$

$$P_{cr} = \frac{M_{cr} \times 6}{L} = \frac{1,338 \times 6}{1,8} = 4,46 \text{ KN}$$

PERHITUNGAN MOMEN KELENGKUNGAN

SECARA TEORITIS



$$f_y \text{ } \varnothing 12 = 353,98 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ } \varnothing 8 = 280,33 \text{ MPa}$$

$$A_s = 0,25 \times \pi \times 12^2 = 113 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 0,25 \times \pi \times 8^2 = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{2 \times 113}{(100 \times 118)} = 1,9 \times 10^{-2}$$

$$\rho' = \frac{A_{s'}}{bd} = \frac{2 \times 50,26}{(100 \times 118)} = 8,5 \times 10^{-3}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{31,5} = 26378,68 \text{ MPa} = 26,378 \text{ kN/m}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{26378,68} = 7,582$$

I. Sebelum Retak

$$A = bh + (n-1)(A_s + A_{s'})$$

$$= (100 \times 150) + (7,582 - 1)(113 + 50,26)$$

$$= 16118,658 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{\{(100 \times 150) \times 75\} + \{(6,582 \times 113) \times 118\} + \{(6,582 \times 50,26) \times 30\}}{16118,658}$$

$$= 75,856 \text{ mm}$$

$$I = \left(\frac{1}{12} \times 100 \times 150^3\right) + (15000 \times 0,856^2) + (743,766 \times 42,114^2) + (330,68 \times 45,856^2)$$

Lampiran 11

$$= 30150471,12 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0.7 \times \sqrt{f'_c} = 0.7 \times \sqrt{31,5} = 3,929 \text{ MPa} = 3,929 \times 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y_b} = \frac{3,292 \times 30,15 \times 10^6}{74,441} = 13,775 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

$$\varphi_{cr} = \frac{f_r I}{y_b E_s} = \frac{3,292 \times 10^{-3} \cdot 26,37868}{7,44 \times 10^{-2}} = 1,677 \times 10^{-3} \text{ rad/m}$$

2. Setelah retak pada saat leleh pertama

dengan menganggap beton elastis maka:

$$k = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^2 - (\rho + \rho') n$$

$$k = \left[\left(1,9 \times 10^{-2} + 8,5 \times 10^{-3} \right)^2 7,582^2 + 2 \left(1,9 \times 10^{-2} + \frac{8,5 \times 10^{-3} \cdot 30}{118} \right) 7,582 \right]^2 - (1,9 \times 10^{-2} + 8,5 \times 10^{-3}) 7,582$$
$$= 0,395$$

$$\text{maka } k \cdot d = 0,395 \times 118 = 46,61 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{353,98}{200000} = 1,77 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_c = \frac{1,77 \times 10^{-3} \cdot 46,61}{71,39} = 1,16 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{1,77 \times 10^{-3} \cdot 6,61}{71,39} = 1,64 \times 10^{-4}$$

$$f_c = 1,16 \times 10^{-3} \cdot 26378,68 = 30,599 \text{ MPa}$$

$$f'_s = 1,64 \times 10^{-4} \cdot 200000 = 32,8 \text{ MPa}$$

Lampiran 11

$$C_c = \frac{1}{2} \times f_c \times b \times kd = \frac{1}{2} \times 30,599 \times 100 \times 46,61 = 71310,97 \text{ N} = 71,311 \text{ kN}$$

$$C_s' = A_s' \times f_s' = 50,26 \times 32,8 = 1648,528 \text{ N} = 1,648 \text{ kN}$$

$$C = C_c + C_s = 71,311 + 1,648 = 72,959 \text{ kN}$$

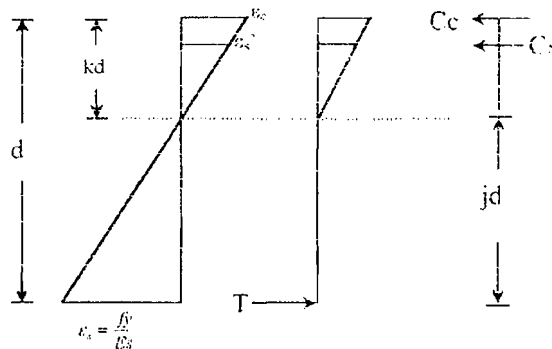
$$Y = \frac{(d' \times C_s') + (C_c \times kd)}{C} = \frac{(30 \times 1648,528) + (71310,97 \times 46,61)}{72959} = 46,235 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi } jd = d - Y = 118 - 46,235 = 71,765 \text{ mm}$$

Maka:

$$M_y = A_s \times f_y \times jd = 226 \times 353,98 \times 71,765 = 5741162,268 \text{ Nmm} = 5,74 \text{ kNm}$$

$$\varphi_y = \frac{f_y / E_s}{(d - kd)} = \frac{353,98 / 200000}{(118 - 46,235)} = 2,48 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$



3. Setelah retak, pada saat beban maksimum

diasumsikan tulangan tekan telah leleh :

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y)(A_s' \cdot f_y)}{0,85 \cdot f' \cdot c \cdot b} = \frac{(226 \times 353,98) - (100,48 \times 280,33)}{0,85 \times 31,5 \times 100} = 19,358 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{19,358}{0,85} = 22,774 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas nampak bahwa garis netral terletak di atas tulangan atas, jadi tulangan tersebut berfungsi sebagai tulangan tarik.

Lampiran 11

Dari diagram didapatkan :

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \varepsilon_{cu} = \frac{22,74-30}{22,74} 0,003 = -0,00096$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{280,33}{200000} = 0,0014$$

$\Rightarrow \varepsilon_s' < \varepsilon_y \rightarrow$ Tulangan tekan belum leleh

$$T = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a + f_s \cdot A_s'$$

$$a = \beta \cdot c$$

$$f_s = \varepsilon_s' \cdot E_s = \frac{c-d'}{c} \varepsilon_c \cdot E_s$$

$$A_s \cdot f_y = (0,85 \cdot f_c) \cdot b \cdot \beta \cdot c + 0,003 \cdot \frac{c-d'}{c} \cdot E_s \cdot A_s'$$

$$A_s \cdot f_y \cdot c = (0,85 \cdot f_c) \cdot b \cdot \beta \cdot c^2 + c \cdot 0,003 \cdot E_s \cdot A_s' - d' \cdot (0,003) \cdot E_s \cdot A_s'$$

$$(0,85 \cdot f_c) \cdot b \cdot \beta \cdot c^2 + (0,003 \cdot E_s \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - d' \cdot (0,003) \cdot E_s \cdot A_s' = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c) \cdot b \cdot \beta \cdot c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot d' \cdot A_s' = 0$$

$$(0,85 \cdot 31,5 \cdot 100 \cdot 0,85) c^2 + (600 \cdot 100,53 - 226 \cdot 353,98) \cdot c - 600 \cdot 30 \cdot 100,53$$

$$2275,875 \cdot c^2 - 19681,48 \cdot c - 1809540 = 0$$

$$c = 32,851 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{c-d'}{c} \cdot 600 = \frac{32,851-30}{32,851} \cdot 600 = 52,071 \text{ MPa} < 280,33 \text{ MPa}$$

\Rightarrow Dengan demikian anggapan benar.

$$a = \beta \cdot c = 0,85 \cdot 32,851 = 27,923 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 31,5 \cdot 27,923 \cdot 100 = 74763,83 \text{ N} = 74,764 \text{ kN}$$

Lampiran 11

$$C_s = A's \cdot f's = 100,53 \cdot 52,071 = 5234,74 \text{ N} = 5,234 \text{ kN}$$

$$C = C_c + C_s = 74763,83 + 5234,74 = 79998,57 \text{ N} = 79,99 \text{ kN}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 226 \times 353,98 = 79999,48 \text{ N} = 79,99 \text{ kN}$$

$$C = T$$

$$M_u = C_c(d - \frac{1}{2}a) + C_s(d - d')$$

$$= 74763,83 (118 - \frac{1}{2}27,923) + 5234,74 (118 - 30) = 8238973,847 \text{ Nmm}$$

$$= 8,239 \text{ kN.m}$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,003}{32,851} = 9,1 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

ANALISA KANDUNGAN KIMIA SILIKA ABU BATU ANDESIT TERHADAP PERUBAHAN MUTU SEMEN PORTLAND

Pada penelitian ini dipakai abu batu andesit dengan data sebagai berikut:

Tabel komposisi kimia abu batu andesit

Unsur Kimia	Prosentase (%)
Kapur, CaO	0.1034
Silika, SiO ₂	15.072
Alumina, Al ₂ O ₃	2.97

Semen portland yang digunakan adalah jenis I dengan data sebagai berikut:

Tabel Komposisi kimia semen jenis I

Unsur Kimia	Prosentase (%)
Kapur, CaO	63
Silika, SiO ₂	20
Alumina, Al ₂ O ₃	6
Besi, Fe ₂ O ₃	3
Sulfur, SO ₃	2

Lampiran 12

Asumsi: Abu batu andesit dianggap mampu mereduksi 10% dari berat semen sehingga besarnya "silika ratio" adalah:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

$$SR = \frac{(20 \times 90\%) + (15,72 \times 10\%)}{\{(6 \times 90\%) + (2,97 \times 10\%)\} + \{(3 \times 90\%) + (0)\}} = 2,33$$

Check: $1,6 < SR < 3,5$ O.K

Besarnya "silika ratio" untuk semen portland jenis I adalah:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \frac{20}{6 + 3} = 2,22$$

Hitungan prosentase senyawa kimia untuk semen jenis I:

$$\begin{aligned} C_3S &= 4,07(CaO) - 7,6(SiO_2) - 6,72(Al_2O_3) - 1,43(Fe_2O_3) - 2,85(SO_3) \\ &= 4,07(63\%) - 7,6(20\%) - 6,72(6\%) - 1,43(3\%) - 2,85(2\%) \\ &= 54,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2S &= 2,87(SiO_2) - 0,754(C_3S) \\ &= 2,87(20\%) - 0,754(54,1\%) = 16,61\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_3A &= 2,65(Al_2O_3) - 1,69(Fe_2O_3) \\ &= 2,65(6\%) - 1,69(3\%) = 10,83\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_4AF &= 3,04(Fe_2O_3) \\ &= 3,04(3\%) = 9,12\% \end{aligned}$$

Lampiran 12

Hitungan senyawa kimia untuk semen modifikasi (jenis I + silika abu batu andesit):

$$\begin{aligned}
 C_3S &= 4,07(\text{CaO}) - 7,6(\text{SiO}_2) - 6,72(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1,43(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2,85(\text{SO}_3) \\
 &= 4,07\{(63 \times 90\%) + (0,1034 \times 10\%)\} - 7,60\{(20 \times 90\%) + (15,72 \times 10\%)\} - \\
 &\quad 6,72\{(6 \times 90\%) + (2,97 \times 10\%)\} - 1,43\{(3 \times 90\%) + (0 \times 10\%)\} - 2,85\{(2 \times 90\%) \\
 &\quad + (0 \times 10\%)\} \\
 &= 34,789
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_2S &= 2,87(\text{SiO}_2) - 0,754(C_3S) \\
 &= 2,87\{(20 \times 90\%) + (15,72 \times 10\%)\} - 0,754(34,789) \\
 &= 29,941
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_3A &= 2,65(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1,69(\text{Fe}_2\text{O}_3) \\
 &= 2,65\{(6 \times 90\%) + (2,97 \times 10\%)\} - 1,69\{(3 \times 90\%) + (0 \times 10\%)\} \\
 &= 10,534
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_4AF &= 3,04(\text{Fe}_2\text{O}_3) \\
 &= 3,04\{(3 \times 90\%) + (0 \times 10\%)\} \\
 &= 8,208
 \end{aligned}$$

Perkiraan kekuatan beton bila ditinjau dari komposisi kandungan unsur kimia yang terdapat dalam semen dapat didekati dengan persamaan berikut ini:

$$f_c = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF)$$

↳ Kekuatan beton untuk variasi campuran 0% (umur 28 hari)

$$f_c = a(C_3S) + b(C_2S) + c(C_3A) + d(C_4AF)$$

$$f_c = 48,8(54,1) + 19,1(16,61) + 100,1(10,83) + 30,8(9,12)$$

$$= 4.322,28 \text{ psi} = 303,90 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Lampiran 12

- ↻ Kekuatan beton untuk variasi campuran 5 % (umur 28 hari)

$$\begin{aligned} f'c &= 48,8 (44,42) + 19,1 (23,29) + 100,1 (10,68) + 30,8 (8,66) \\ &= 3.948,84 \text{ psi} = 277,64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

- ↻ Kekuatan beton untuk variasi campuran 10 % (umur 28 hari)

$$\begin{aligned} f'c &= 48,8 (34,75) + 19,1 (29,97) + 100,1 (10,53) + 30,8 (8,21) \\ &= 3.575,40 \text{ psi} = 251,39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

- ↻ Kekuatan beton untuk variasi campuran 15 % (umur 28 hari)

$$\begin{aligned} f'c &= 48,8 (25,07) + 19,1 (36,65) + 100,1 (10,39) + 30,8 (7,75) \\ &= 3.201,96 \text{ psi} = 225,13 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

- ↻ Kekuatan beton untuk variasi campuran 20 % (umur 28 hari)

$$\begin{aligned} f'c &= 48,8 (15,39) + 19,1 (43,34) + 100,1 (10,24) + 30,8 (7,30) \\ &= 2.828,53 \text{ psi} = 198,87 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

Tabel di bawah ini memperlihatkan komposisi kimia dari semen, abu batu andesit dan besarnya kuat desak beton berdasarkan tingkatan umur dari beton tersebut:

Kandungan Senyawa Semen Portland dan Kuat Tekan Berdasarkan Umur Beton

sement portland	
cao	63
sio2	20
al2o3	6
fe2o4	3
sio	2

bahan tambah	
cao	0.1034
si2o3	15.72
al2o3	2.97

senyawa	0%	5%	10%	15%	20%
cao	63	59.850052	56.7001034	53.5501551	50.400207
sio2	20	19.786	19.572	19.358	19.144
al2o3	6	5.8485	5.697	5.5455	5.394
Fe2o3	3	2.85	2.70	2.55	2.40
so3	2	1.90	1.80	1.70	1.60

senyawa	0%	5%	10%	15%	20%
SR	2.22	2.27	2.33	2.39	2.46
C3S	54.10	44.42	34.75	25.07	15.39
C2S	16.61	23.29	29.97	36.65	43.34
C3A	10.83	10.68	10.53	10.39	10.24
C4AF	9.12	8.66	8.21	7.75	7.30

umur	f'c(psi)				
	0	5	10	15	20
1 hari	572.77	511.86	450.95	390.04	329.13
3 hari	1,635.70	1,364.12	1,092.54	820.96	549.38
7 hari	2,693.53	2,264.67	1,835.81	1,406.95	978.09
28 hari	4,322.28	3,948.84	3,575.40	3,201.96	2,828.53
3 bulan	5,030.93	4,885.79	4,740.65	4,595.52	4,450.38
1 tahun	5,970.23	5,880.06	5,789.89	5,699.72	5,609.55
2 tahun	5,573.54	5,424.41	5,275.28	5,126.15	4,977.03

umur	f'c (kg/cm ²)				
	0	5	10	15	20
1 hari	40.27	35.99	31.71	27.42	23.14
3 hari	115.01	95.91	76.82	57.72	38.63
7 hari	189.38	159.23	129.08	98.92	68.77
28 hari	303.90	277.64	251.39	225.13	198.87
3 bulan	353.72	343.52	333.32	323.11	312.91
1 tahun	419.77	413.43	407.09	400.75	394.41
2 tahun	391.88	381.39	370.90	360.42	349.93

Kandungan Senyawa Semen Portland dan Kuat Tekan Berdasarkan Umur Beton

sement portland	
cao	63
sio2	20
al2o3	6
fe2o4	3
sio	2

bahan tambah	
cao	0.1034
si2o3	15.72
al2o3	2.97

senyawa	0%	1%	2%	3%	4%
cao	63	62.37001	61.7400207	61.110031	60.480041
sio2	20	19.9572	19.9144	19.8716	19.8288
al2o3	6	5.9697	5.9394	5.9091	5.8788
Fe2o3	3	2.97	2.94	2.91	2.88
so3	2	1.98	1.96	1.94	1.92

senyawa	0%	1%	2%	3%	4%
SR	2.22	2.23	2.24	2.25	2.26
C3S	54.10	52.16	50.23	48.29	46.36
C2S	16.61	17.94	19.28	20.62	21.95
C3A	10.83	10.80	10.77	10.74	10.71
C4AF	9.12	9.03	8.94	8.85	8.76

umur	fc(psi)				
	0	1	2	3	4
1 hari	572.77	560.59	548.41	536.23	524.05
3 hari	1,635.70	1,581.38	1,527.07	1,472.75	1,418.43
7 hari	2,693.53	2,607.76	2,521.98	2,436.21	2,350.44
28 hari	4,322.28	4,247.60	4,172.91	4,098.22	4,023.53
3 bulan	5,030.93	5,001.90	4,972.87	4,943.84	4,914.82
1 tahun	5,970.23	5,952.20	5,934.16	5,916.13	5,898.10
2 tahun	5,573.54	5,543.71	5,513.88	5,484.06	5,454.23

umur	fc (kg/cm ²)				
	0	1	2	3	4
1 hari	40.27	39.42	38.56	37.70	36.85
3 hari	115.01	111.19	107.37	103.55	99.73
7 hari	189.38	183.35	177.32	171.29	165.26
28 hari	303.90	298.65	293.40	288.15	282.89
3 bulan	353.72	351.63	349.64	347.60	345.56
1 tahun	419.77	418.50	417.23	415.96	414.70
2 tahun	391.88	389.73	387.68	385.58	383.49

Balok Normal					
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen	kelengkungan
	d1	d2	d3	kN.m	1/mm
0	0	0	0	0	0
1.5	0.13	0.18	0.16	0.45	7.77778E-07
3	0.31	0.36	0.34	0.9	7.77778E-07
4.5	0.578	0.63	0.585	1.35	1.07778E-06
6	0.81	0.86	0.815	1.8	1.05556E-06
7.5	1.16	1.28	1.15	2.25	2.77778E-06
9	1.59	1.75	1.58	2.7	3.66667E-06
10.5	2.12	2.37	2.15	3.15	5.22222E-06
12	2.58	2.93	2.6	3.6	7.55556E-06
13.5	3.05	3.46	3.09	4.05	8.66667E-06
15	3.55	4.07	3.58	4.5	1.12222E-05
16.5	4.08	4.72	4.11	4.95	1.38889E-05
18	4.58	5.29	4.8	5.4	1.33333E-05
19.5	5.1	5.94	5.22	5.85	1.73333E-05
21	5.59	6.52	5.64	6.3	2.01111E-05
22.5	6.07	7.05	6.05	6.75	0.000022
24	6.57	7.55	6.48	7.2	2.27778E-05
25.5	7.04	8.105	7.05	7.65	2.35556E-05
27	9.22	10.35	9.3	8.1	2.42222E-05
27.75	14.6	15.86	14.83	8.325	2.54444E-05
27.75	16.2	17.53	16.15	8.325	3.01111E-05
28.5	19.34	21.53	19.35	8.55	4.85556E-05
28.5	28.75	32	28.65	8.55	7.33333E-05
29.25	29.79	36.98	29.68	8.775	0.000161

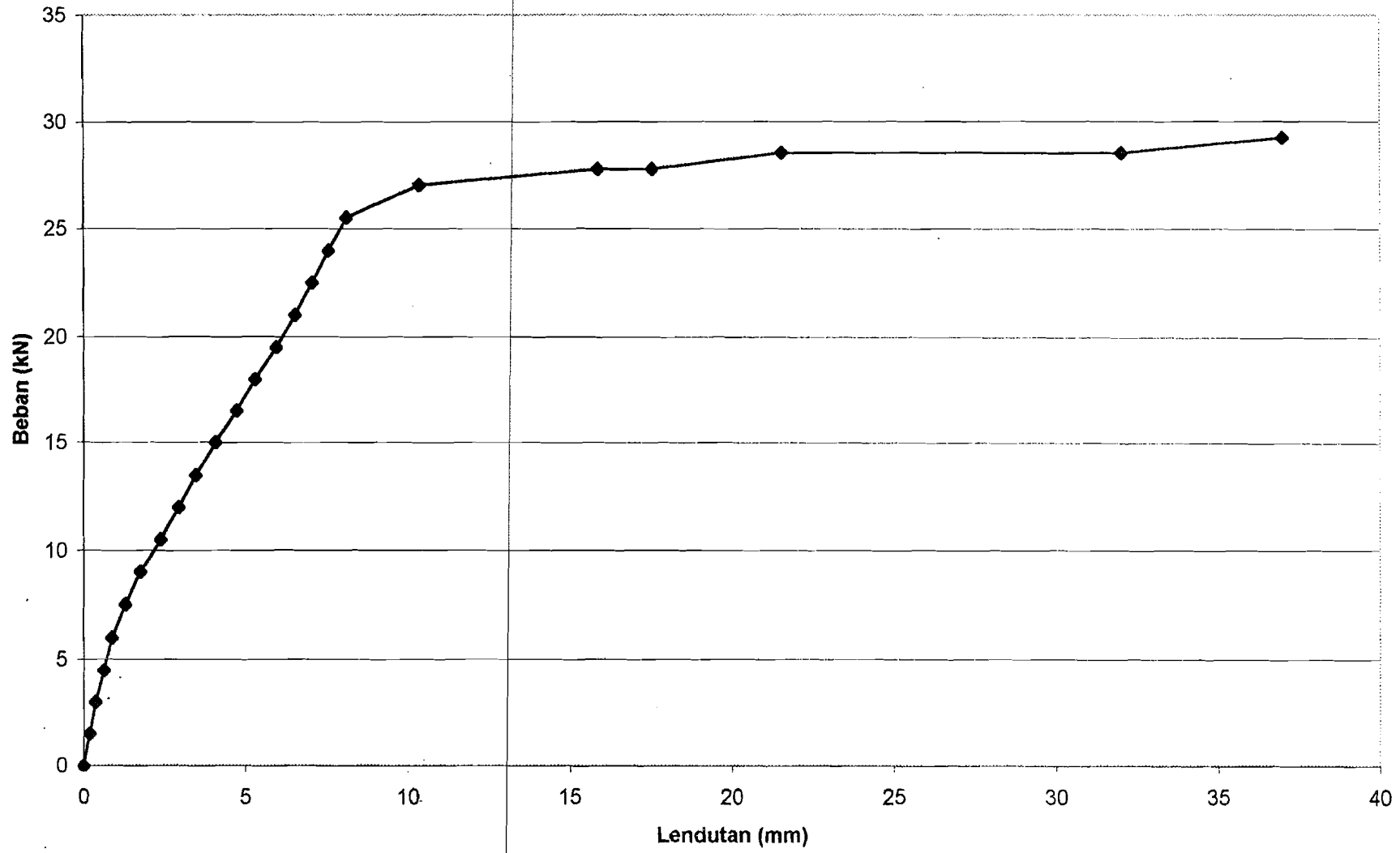
Balok 5%					
P (kN)	Defleksi (x 0.01 mm)			Momen kN.m	kelengkungan 1/mm
	d1	d2	d3		
0	0	0	0	0	0.0000000000
1.5	8	19	18	0.45	0.0000013333
3	26	39.5	35	0.9	0.0000020000
4.5	45	62	55	1.35	0.0000026667
6	70	91	78	1.8	0.0000037778
7.5	108	140	123	2.25	0.0000054444
9	145	189	168	2.7	0.0000072222
10.5	198	261	233	3.15	0.0000101111
12	237	315	285	3.6	0.0000120000
13.5	279	370	335	4.05	0.0000140000
15	328	439	400	4.5	0.0000166667
16.5	369	498	455	4.95	0.0000191111
18	403	546	498	5.4	0.0000212222
19.5	445	611	555	5.85	0.0000246667
21	515	680	600	6.3	0.0000272222
22.5	560	740	652	6.75	0.0000297778
24	630	823	712	7.2	0.0000337778
25.5	720	906	782	7.65	0.0000344444
26.25	805	1030	855	7.875	0.0000444444
26.25	834	1080	882	7.875	0.0000493333
26.25	986	1310	1215	7.875	0.0000465556
27	1128	1579	1385	8.1	0.0000716667
27	1433	2140	1790	8.1	0.0001174444
27	1460	2188	1833	8.1	0.0001203333
27	1490	2235	1870	8.1	0.0001233333
27	1661	2455	2034	8.1	0.0001350000
27	1696	2515	2097	8.1	0.0001374444
27.75	1749	2600	2155	8.325	0.0001440000
27.75	1933	2835	2362	8.325	0.0001527778
27.75	2110	3122	2650	8.325	0.0001648889
27.75	2453	3450	2989	8.325	0.0001620000
28.2	2618	3612	3105	8.46	0.0001667778

Balok 10%					
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen	kelengkungan
	d1	d2	d3	kN.m	1/mm
0	0	0	0	0	0
1.5	0.25	0.25	0.16	0.45	0.000001
3	0.43	0.49	0.33	0.9	2.44444E-06
4.5	0.67	0.75	0.53	1.35	3.33333E-06
6	1.2	1.42	1.15	1.8	5.44444E-06
7.5	1.6	1.92	1.53	2.25	7.88889E-06
9	2.15	2.59	2.05	2.7	1.08889E-05
10.5	2.71	3.32	2.6	3.15	1.47778E-05
12	3.25	4.005	3.15	3.6	1.78889E-05
13.5	3.7	4.62	3.65	4.05	0.000021
15	4.2	5.29	4.2	4.5	2.42222E-05
16.5	4.87	6.2	4.92	4.95	0.000029
18	5.3	6.79	5.35	5.4	3.25556E-05
19.5	5.75	7.37	5.82	5.85	3.52222E-05
21	6.19	7.98	6.27	6.3	3.88889E-05
22.5	6.65	8.6	6.75	6.75	4.22222E-05
23.25	8.3	10.75	9.04	6.975	4.62222E-05
24	8.93	13	9.93	7.2	7.93333E-05
24.75	9.91	15.04	11.5	7.425	9.63333E-05
24.75	12	18.1	13.6	7.425	0.000117778
25.5	15.09	21.69	16.32	7.65	0.000133
25.5	15.95	23.07	17.32	7.65	0.000143
26.25	21.32	30.09	24.86	7.875	0.000155556
26.7	25.86	34.58	28.79	8.01	0.000161222

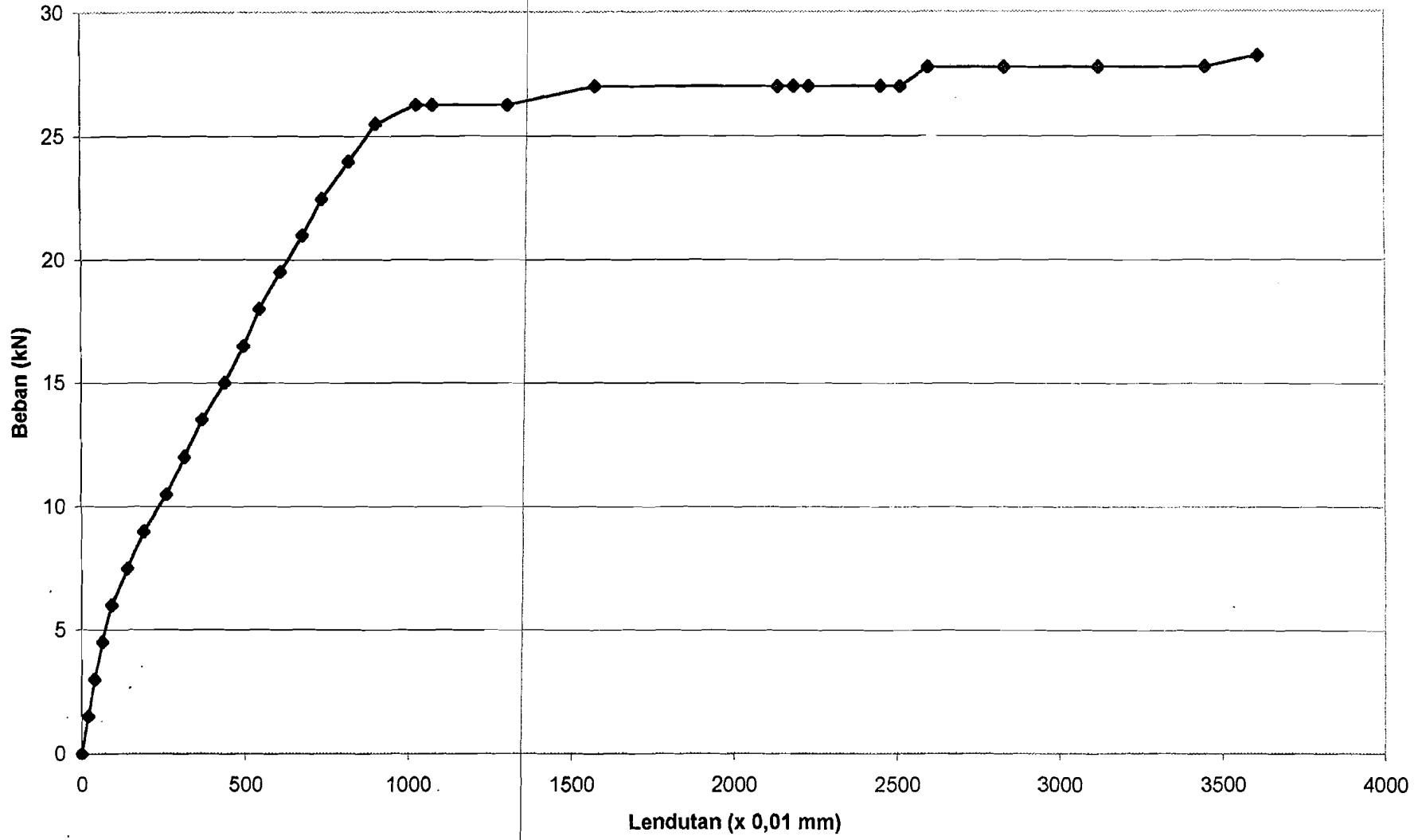
Balok 15%					
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN.m	kelengkungan 1/mm
	d1	d2	d3		
0	0	0	0	0	0
1.5	0.21	0.23	0.21	0.45	4.44444E-07
3	0.36	0.4	0.32	0.9	1.33333E-06
4.5	0.57	0.64	0.57	1.35	1.55556E-06
6	0.76	0.95	0.79	1.8	3.88889E-06
7.5	1.15	1.31	1.12	2.25	3.88889E-06
9	1.53	1.85	1.65	2.7	5.77778E-06
10.5	2	2.41	2.15	3.15	7.44444E-06
12	2.4	2.86	2.62	3.6	7.77778E-06
13.5	2.98	3.53	3.25	4.05	9.22222E-06
15	3.31	3.95	3.63	4.5	1.06667E-05
16.5	3.75	4.49	4.1	4.95	1.25556E-05
18	4.4	5.28	4.72	5.4	0.000016
19.5	4.92	5.91	5.25	5.85	1.83333E-05
21	5.43	6.51	5.73	6.3	2.06667E-05
22.5	6.12	7.25	6.19	6.75	2.43333E-05
24	6.55	7.85	6.63	7.2	0.000028
24.75	7.23	8.65	7.35	7.425	3.02222E-05
25.5	8.02	9.65	8.05	7.65	3.58889E-05
25.5	9.98	11.555	9.55	7.65	3.97778E-05
25.5	11.2	13.38	11.3	7.65	4.73333E-05
25.875	11.49	13.88	11.72	7.7625	5.05556E-05
25.875	11.78	14.34	12.2	7.7625	5.22222E-05
25.875	13.33	16.71	14.83	7.7625	5.84444E-05
25.875	13.69	16.98	14.27	7.7625	6.66667E-05
25.875	14	17.32	14.68	7.7625	6.62222E-05
25.875	14.36	17.98	14.86	7.7625	7.48889E-05
25.875	14.96	18.68	15.15	7.7625	8.05556E-05
26.25	15.7	19.87	15.87	7.875	9.07778E-05
26.25	16.29	20.29	16.27	7.875	8.91111E-05
26.25	16.71	20.85	16.75	7.875	9.15556E-05
26.25	17	21.26	17.02	7.875	9.44444E-05
26.25	17.21	21.55	17.23	7.875	9.62222E-05
27	17.92	22.57	17.95	8.1	0.000103
27	18.28	23.04	18.24	8.1	0.000106222
27	19.45	24.4	19.48	8.1	0.000109667
27	19.7	24.44	19.75	8.1	0.000104778
27	20.03	24.92	20.01	8.1	0.000108889
27	20.4	25.42	20.43	8.1	0.000111222
27.75	20.98	26.3	20.96	8.325	0.000118444
27.75	21.95	27.58	21.97	8.325	0.000124889
27.75	22.4	28.3	22.45	8.325	0.000130556
27.75	23.48	30.05	23.49	8.325	0.000145889
27.75	26.41	33.25	26.12	8.325	0.000155222
27.75	28.45	35.85	28.39	8.325	0.000165111

Balok 20%					
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen	kelengkungan
	d1	d2	d3	kN.m	1/mm
0	0	0	0	0	0
1.5	0.15	0.29	0.19	0.45	2.66667E-06
3	0.26	0.39	0.27	0.9	2.77778E-06
4.5	0.41	0.59	0.43	1.35	3.77778E-06
6	0.68	0.95	0.74	1.8	5.33333E-06
7.5	1.09	1.49	1.17	2.25	0.000008
9	1.4	1.87	1.51	2.7	9.22222E-06
10.5	1.84	2.48	2.04	3.15	0.000012
12	2.2	2.88	2.35	3.6	1.34444E-05
13.5	2.65	3.46	2.85	4.05	1.57778E-05
15	3.09	4	3.33	4.5	1.75556E-05
16.5	3.5	4.54	3.8	4.95	1.97778E-05
18	3.7	4.89	4.05	5.4	2.25556E-05
19.5	4.15	5.4	4.53	5.85	2.35556E-05
21	4.44	5.78	4.87	6.3	0.000025
21.75	4.89	6.31	5.39	6.525	0.000026
22.5	5.36	6.95	5.92	6.75	2.91111E-05
23.25	5.59	7.29	6.2	6.975	0.000031
24	5.89	7.8	6.53	7.2	3.53333E-05
24.75	6.28	8.7	7.03	7.425	4.54444E-05
25.5	6.69	9.6	7.51	7.65	5.55556E-05
26.25	6.96	10.4	7.85	7.875	6.65556E-05
26.25	10.28	14.62	12.18	7.875	7.53333E-05
26.25	14.91	19.28	16.87	7.875	7.53333E-05
26.25	18.95	23.53	20.84	7.875	8.07778E-05
26.25	22.51	27.12	24.01	7.875	8.57778E-05
26.25	24.78	30.62	26.25	7.875	0.000113444
26.55	25.03	32.34	27.19	7.965	0.000138444
26.55	26.13	34.53	28.08	7.965	0.000165

Grafik Beban - Lendutan Balok Normal

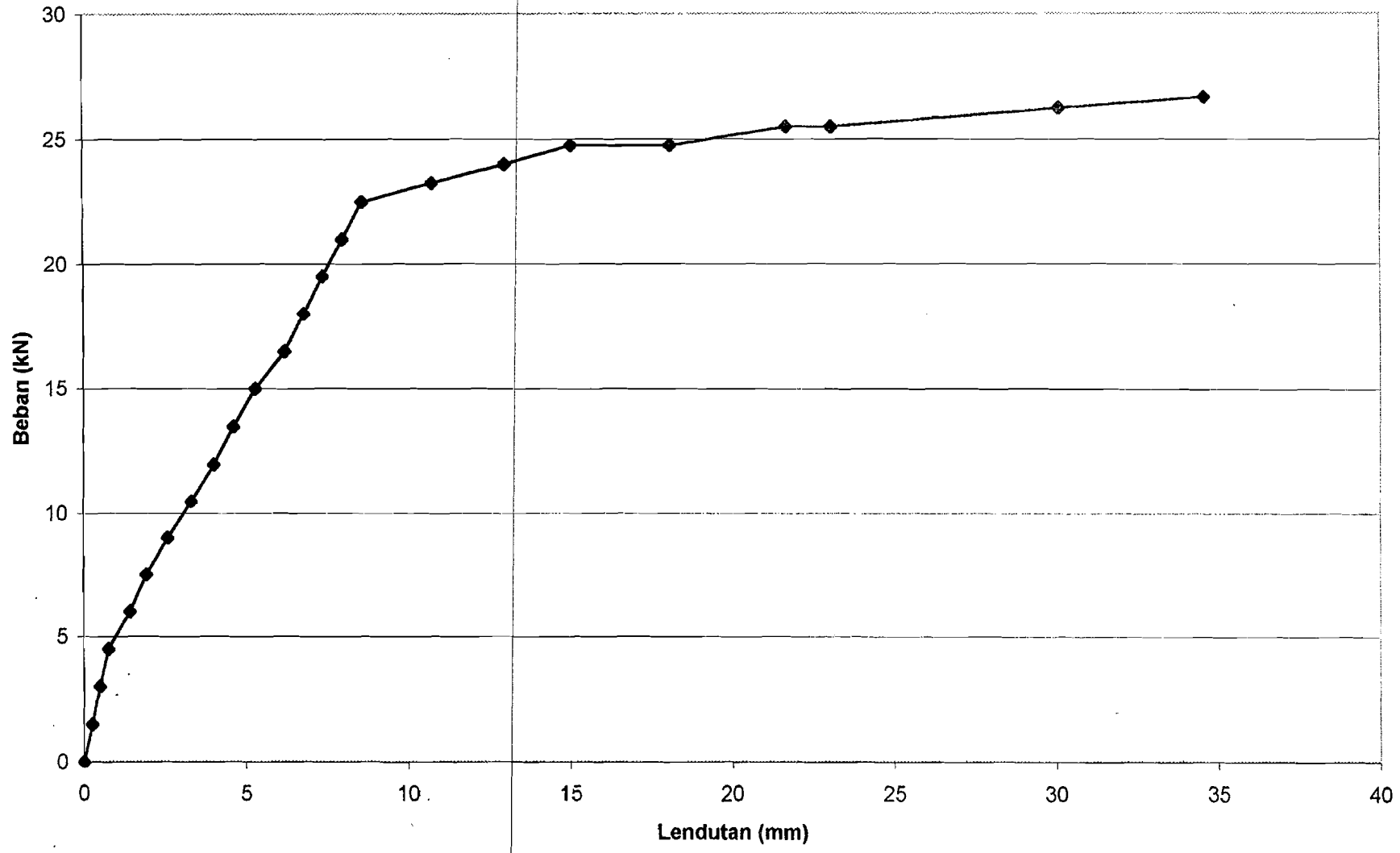


Grafik Beban - Lendutan Balok 5 %



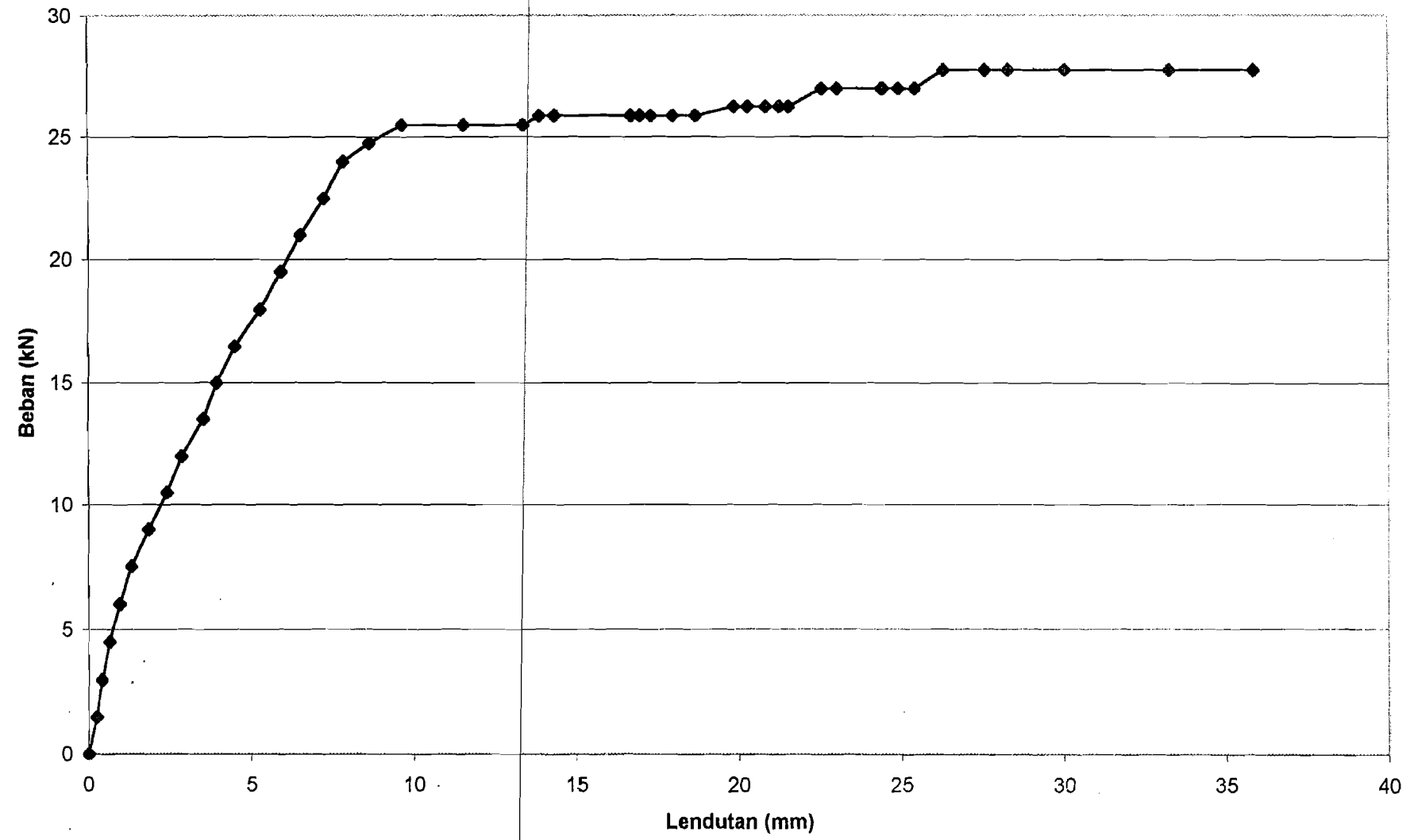
Dial 2

Grafik Beban - Lendutan Balok 10 %



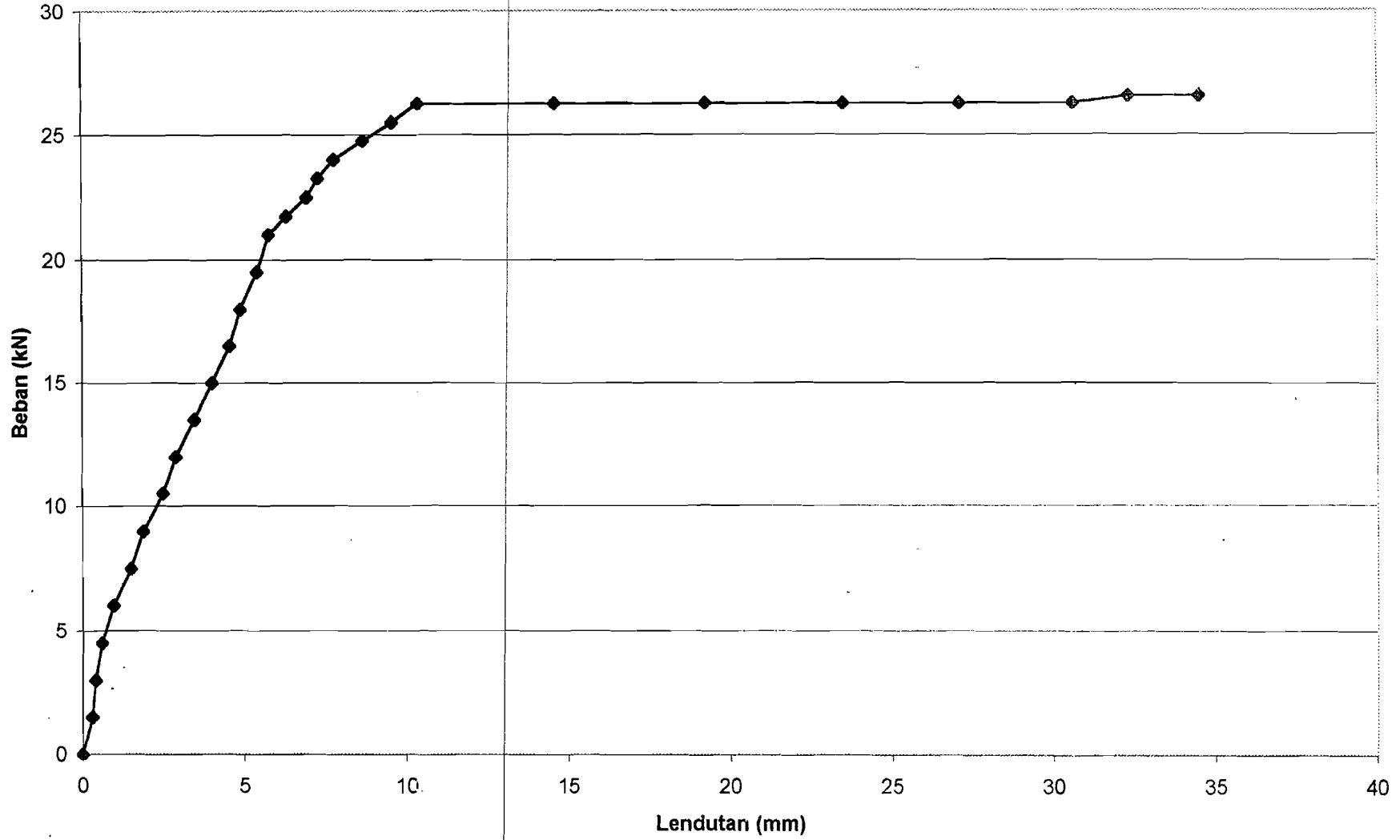
—◆— Dial 2

Grafik Beban - Lendutan Balok 15 %

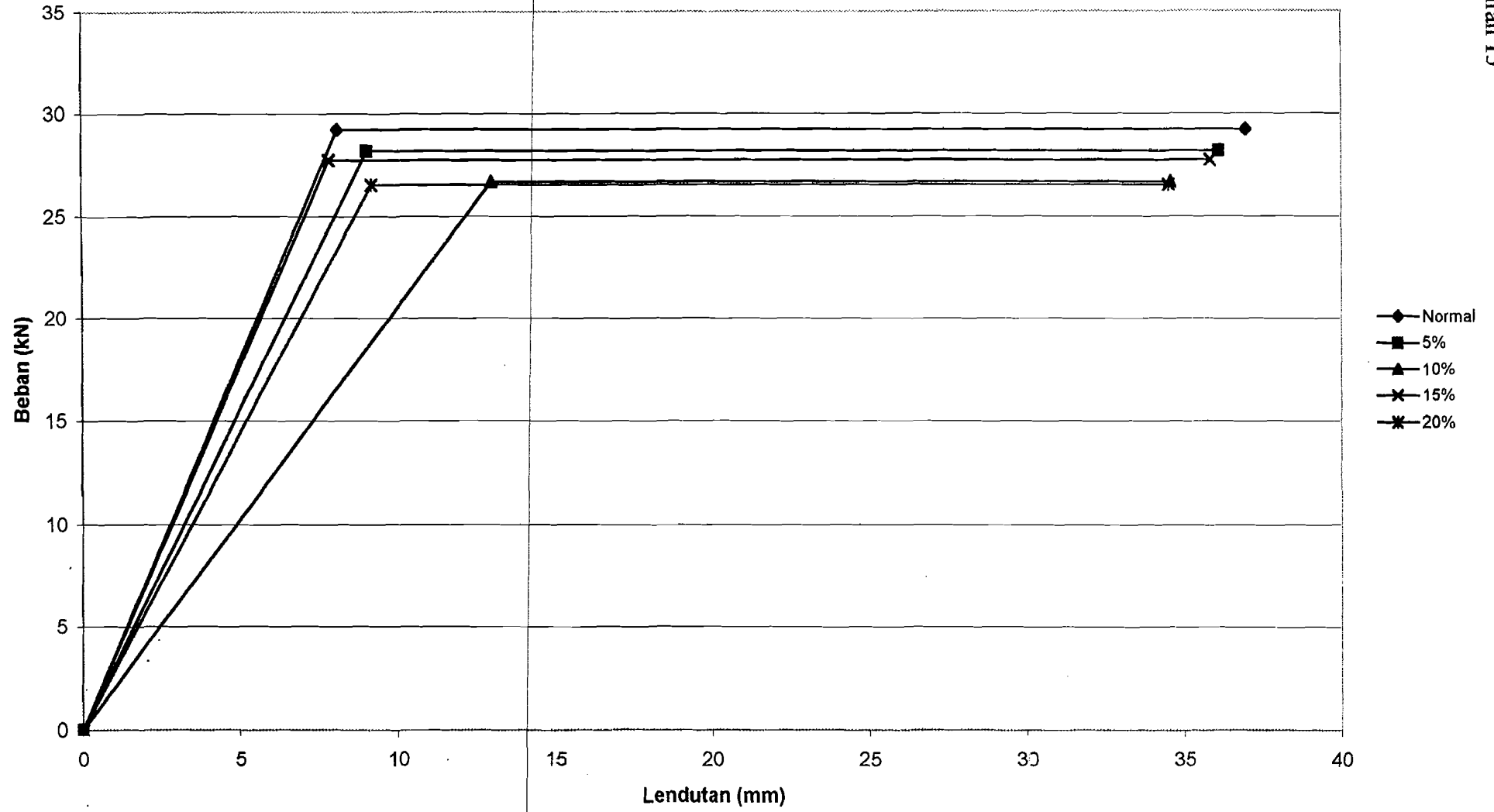


—●— Dial 2

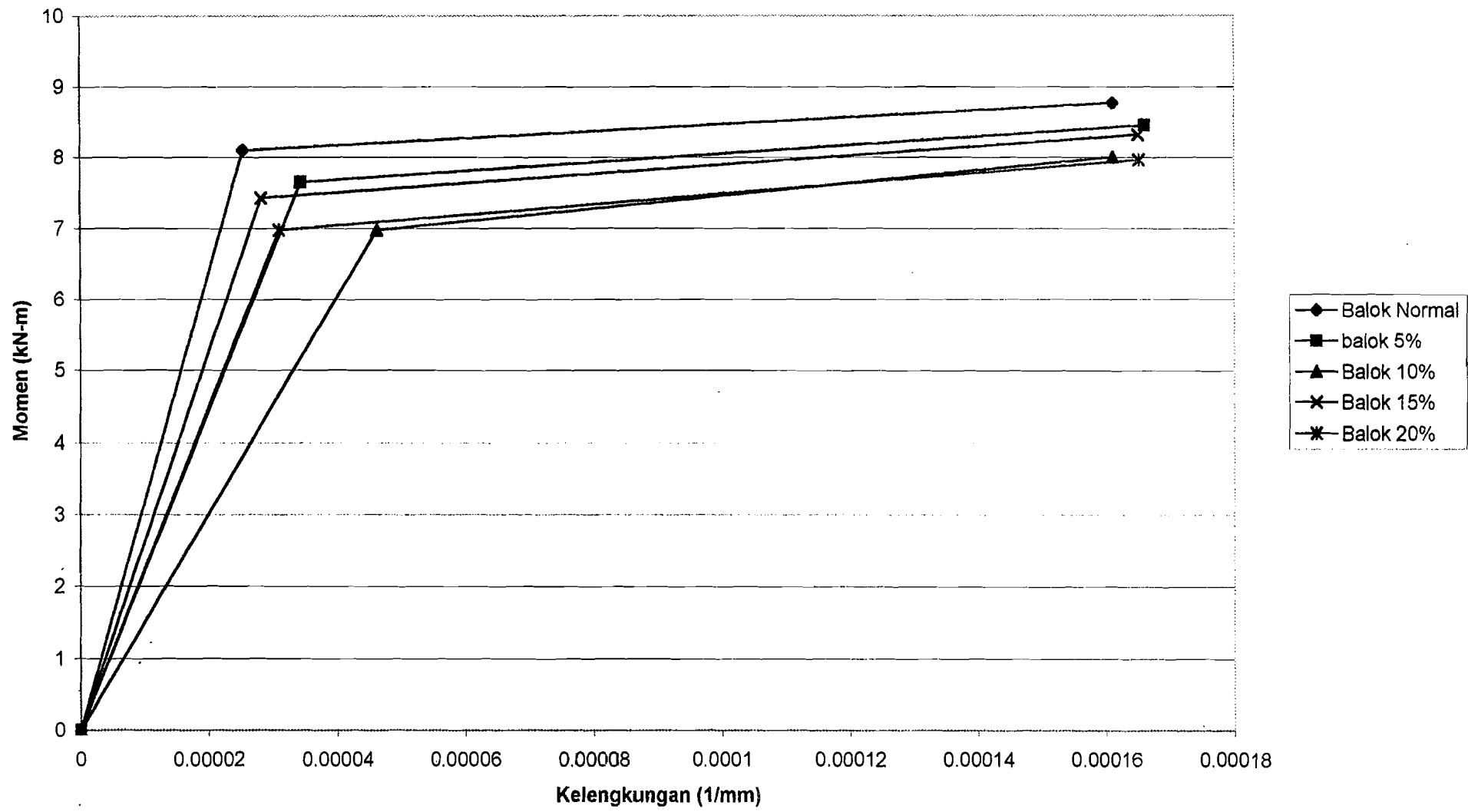
Grafik Beban - Lendutan Balok 20 %



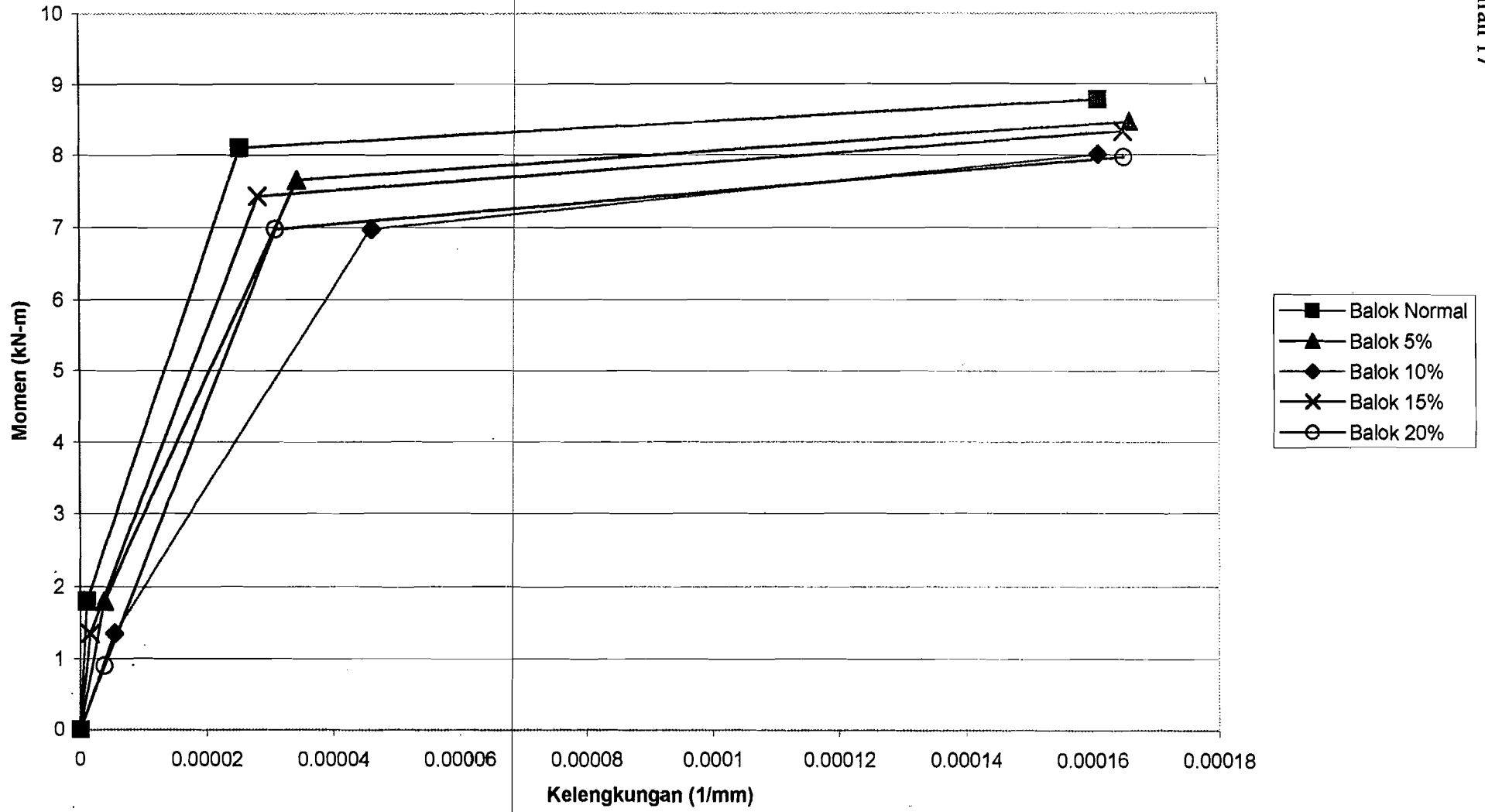
Grafik Bi-Linier Beban-Lendutan



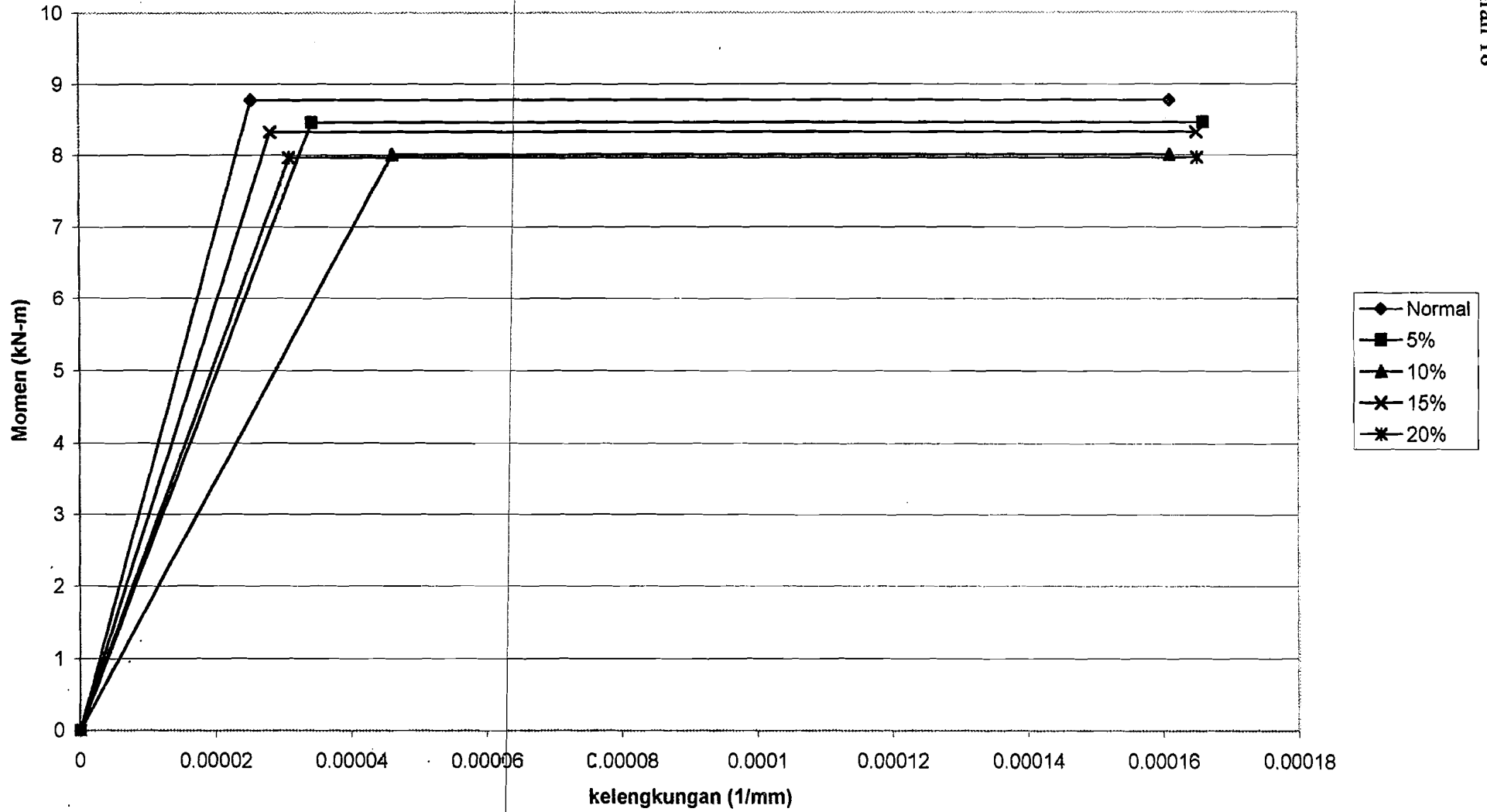
Grafik Bi-linier Momen-Kelengkungan



Grafik Tri-linier Momen-Kelengkungan



Grafik Bi-linier Momen Ultimit-Kelengkungan



Kuat Tekan Beton Ditinjau Dari Nilai Slump

Variasi	Normal	5%	10%	15%	20%
Slump (S) cm	7.5	7.5	9	7	7
Berat Semen (c) kg/m ³	308.82	308.82	308.82	308.82	308.82

AH	4647	4647	4647	4647	4647
CH	-3642	-3642	-3642	-3642	-3642
M	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58
c (lb/cu yd)	523.2783	523.2783	523.2783	523.2783	523.2783
S (in)	2.952756	2.952756	3.543307	2.755906	2.755906
Kuat tekan Beton (psi)	4134.543	4134.543	3994.044	4188.381	4188.381
Kuat tekan Beton (MPa)	29.09484	29.09484	28.10615	29.47369	29.47369

AH dan CH = koefisien

m = modulus halus agregat (kita anggap nilainya= 6,58)

c = berat semen per satuan kubik

S = nilai slump

f = kuat desak beton

$$f = \left(\frac{4}{S} \right)^{0.1} \left\langle \frac{A_H}{\left\{ \frac{14.5[(m-5.9)^2 + 14.6]}{(c-100)} \right\} + 0.1} \right\rangle + C_H$$

Untuk Contoh hitungan dipakai nilai slump pada variasi 10%

$$f = \left(\frac{4}{3.54} \right)^{0.1} \left\langle \frac{4647}{\left\{ \frac{14.5[(6.58-5.9)^2 + 14.6]}{(523.28-100)} \right\} + 0.1} \right\rangle - 3642$$

$$= 3994,044 \text{ psi}$$

$$= 28.11 \text{ MPa}$$

Kuat Tekan Beton Ditinjau Dari Nilai Slump

Variasi	Normal	5%	10%	15%	20%
Slump (S)	7.5	7.5	9	7	7
Berat Semen (c)	308.82	293.379	277.938	262.497	247.056

AH	4647	4647	4647	4647	4647
CH	-3642	-3642	-3642	-3642	-3642
M	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58
c (lb/cu yd)	523.2783	497.1144	470.9505	444.7866	418.6227
S (in)	2.952756	2.952756	3.543307	2.755906	2.755906
Kuat tekan Beton (psi)	4134.543	3727.809	3187.094	2934.300	2498.804
Kuat tekan Beton (MPa)	29.09484	26.23264	22.42763	20.64877	17.58412

AH dan CH = koefisien

m = modulus halus agregat (kita anggap nilainya= 6,58)

c = berat semen per satuan kubik

S = nilai slump

f = kuat desak beton

$$f = \left(\frac{4}{S} \right)^{0.1} \left\langle \frac{A_H}{\left\{ \frac{14.5(m-5.9)^2 + 14.6}{(c-100)} \right\} + 0.1} \right\rangle + C_H$$

Untuk Contoh hitungan dipakai nilai slump pada variasi 10%

$$f = \left(\frac{4}{3.54} \right)^{0.1} \left\langle \frac{4647}{\left\{ \frac{14.5(6.58-5.9)^2 + 14.6}{(470.75-100)} \right\} + 0.1} \right\rangle - 3642$$

$$= 3187,094 \text{ psi}$$

$$= 22,428 \text{ MPa}$$