

SKRIPSI

**EFEKTIFITAS *FINE MEST* Ø2-50 SEBAGAI *CONFINEMENT* DAN
RETROFITING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP
KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc})**



Disusun Oleh :
YUDHA ARNANTA
(06.21.054)

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL dan PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**EFEKTIFITAS *FINE MEST* Ø2 -50 SEBAGAI *CONFINEMENT* DAN
RETROFITING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP
KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc})**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S-1)
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

Yudha Arnanta

06.21.054

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

Dosen Pembimbing II

(Ir. Togi H. Nainggolan, MS)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

(Ir. H. Hirijanto, MT.)

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIFITAS *FINE MESH* Ø2-50 SEBAGAI
CONFINEMENT dan *RETROFITING* KOLOM BULAT BETON
BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) dan REGANGAN (ϵ'_{cc})

SKRIPSI

Diprtahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi

Jenjang Srata Satu (S-1)

Pada Hari : Senin

Tanggal : 20 Februari 2012

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

YUDHA ARNANTA
(06.21.054)

Disahkan Oleh :

Ketua



Ir. H. Hirijanto, MT.

Sekretaris



Lila Ayu Ratna winanda, ST, MT.

Anggota Penguji :

Penguji I

Penguji II



Yosimson Petrus Manaha, ST, MT

STATE OF TEXAS

County of ... State of Texas

Know all men

that the undersigned, the legal heirs and assigns of the late ... of the County of ... State of Texas, do hereby certify that the within and foregoing is a true and correct copy of the original ...

Witness my hand and seal this ... day of ... 19...

Notary Public in and for the State of Texas

My Comm. Expires

My Comm. Expires

Subscribed and sworn to before me this ... day of ... 19...

Notary Public in and for the State of Texas

My Comm. Expires

Notary Public in and for the State of Texas

My Comm. Expires

Subscribed and sworn to before me this ... day of ... 19...

Notary Public in and for the State of Texas

Notary Public in and for the State of Texas

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIFITAS *FINE MESH* \varnothing 2-50 SEBAGAI
CONFINEMENT dan *RETROFITING* KOLOM BULAT BETON
BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) dan REGANGAN (ϵ'_{cc})

SKRIPSI

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi

Jenjang Srata Satu (S-1)

Pada Hari : Senin

Tanggal : 20 Februari 2012

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

YUDHA ARNANTA
(06.21.054)

Disahkan Oleh :

Ketua



Ir. H. Hirijanto, MT.

Sekretaris



Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT.

Anggota Penguji :

Penguji I



Ir. Eding Iskak, MT.

Penguji II



Yosimson Petrus Manaha, ST, MT

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012

ABSTRAK

Nama :Yudha Arnanta, NIM :0621054, Judul :**EFEKTIFITAS FINE MESH SEBAGAI CONFINEMENT DAN RETROFITING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc}).**Pembimbing I :Ir A.Agus Santosa, MT ,Pembimbing II :Ir. Togi H Nainggolan, MS

Keruntuhan bangunan yang terjadi banyak disebabkan oleh kegagalan struktur memikul beban gempa terutama elemen struktur kolom. Faktor yang mengakibatkan kegagalan kolom antara lain perancangan kolom yang tidak memperhitungkan daktilitas atau pengekanan, detailing kolom yang kurang baik sehingga kinerja kolom tersebut menurun dari yang direncanakan, selain itu perencana masih mengabaikan konsep "*Strong Columns Weak Beams*".

Salah satu cara untuk meningkatkan daktilitas kolom pada struktur gedung lama adalah meretrofit kolom tersebut dengan cara meliliti kolom menggunakan tulangan transversal yang berfungsi sebagai tulangan pengekan. Namun pada penelitian ini akan dikaji apakah fungsi tulangan transversal sebagai tulangan pengekan mungkin digantikan oleh *Fine Mesh (FM)*. Parameter kunci yang diteliti dalam penelitian ini adalah f'_{cc} ; ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} . Permasalahan yang perlu diteliti adalah kedua parameter itu dibutuhkan untuk mempertahankan kinerja kolom terhadap beban siklik gempa yang lebih besar dari beban gempa nominal.

Untuk memverifikasi peningkatan efektifitas seperti yang diprediksi melalui pendekatan analisis, maka dilakukan uji eksperimental. Pengujian eksperimental tersebut memakai benda uji kolom bulat diameter 150 mm dengan tiga tipe kolom yaitu kolom beton terkekang *fine mesh* (CCFM), kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* (CCS) dan kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh* (CCFMS).

Hasil penelitian yang diperoleh dibandingkan dengan hasil analisis teoritis berdasarkan hubungan tegangan-regangan beton terkekang yang dikembangkan oleh Mander, dkk. dapat disimpulkan bahwa *fine mesh* cukup efektif bilamana digunakan sebagai tulangan pengekan pada kolom beton dalam arti meningkatkan daktilitas beton. Ini dibuktikan *fine mesh* pada kolom beton terkekang *tulangan spiral* yang dibungkus lagi oleh *fine mesh* (CCFMS) memberi efektifitas pengekanan yang setara dengan kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* (CCS) dengan perbedaan rasio tulangan transversal $\rho_s = 13,23$ %, kuat tekan (f'_{cc}) berbeda 1,9 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda 15 % dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda 4,7 %. Sebaiknya kolom beton yang belum dirancang memikul beban gempa dapat diretrofit menggunakan *fine mesh*, agar dapat meningkatkan daktilitas dari kolom tersebut.

Kata kunci : *Tulangan transversal, daktilitas, fine mesh, kolom beton bertulang, kuat tekan beton, pengekanan, regangan beton*

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Yudha Arnanta**
Nim : **06.21.054**
Jurusan : **Teknik Sipil S - 1**
Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan bahwa dengan sesungguhnya Skripsi yang berjudul :

**EFEKTIFITAS FINE MEST Ø2 -50 SEBAGAI CONFINEMENT DAN
RETROFITING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP
KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc})**

Adalah benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur karya orang lain kecuali disebut dari sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Malang, 05 Maret 2012

Yang Membuat Pernyataan


METERAI
RAKAP
6000 DJP
AF017368545

(Yudha Arnanta)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat-Nya penyusun dapat menyelesaikan **Laporan skripsi yang berjudul EFEKTIFITAS FINE MESH Ø -50 SEBAGAI CONFINEMENT DAN RETROFITING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc})** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam kesempatan ini penyusun juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, diantaranya :

1. Bapak Ir. H. Hirijanto, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1.
2. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda, ST., selaku sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
3. Bapak Ir. Togi H. Nainggolan, MT., selaku Koordinator Skripsi Bidang Penelitian sekaligus dan dosen Pembimbing I.
4. Bapak Ir. Agus Santosa, MT., selaku dosen Pembimbing I dan Dekan Fakultas Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Rekan-rekan Teknik Sipil S-1 yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian laporan ini.

Penyusun berharap skripsi ini dapat menambah wawasan bagi penyusun, khususnya untuk pembaca pada umumnya. Dan penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan di masa mendatang.

Malang, 05 Maret 2012

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK	iii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II STUDI PUSTAKA	
2.1 Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Terkekang ...	6
2.2 Pengekangan pada Beton	9
2.2.1 Pengekangan Beton Dengan Tulangan Transversal	11
2.2.2 Pengekangan Beton Dengan Fine Mesh	12
2.3 Persyaratan Tulangan Transversal	14
2.3.1 Untuk Penampang Bulat.....	15
2.3.2 Kolom Pendek dengan Beban Konsentrik.....	15
2.4 Kurva Tegangan-Regangan Beton	16
2.5 Diagram Tegangan-Regangan Baja Tulangan	17
BAB III METODA PENELITIAN	
3.1 Studi Pustaka	19
3.2 Analisis Preliminary Penelitian	19

DAFTAR ISI

i	.....	LEMBAR PERSETUJUAN
ii	.....	LEMBAR PENGESAHAN
iii	.....	ABSTRAK
iv	.....	LEMBAR KEMAHALAN EKSPRES
v	.....	KATA PENGANTAR
vi	.....	DAFTAR ISI
vii	.....	DAFTAR GAMBAR
viii	.....	DAFTAR TABEL
ix	.....	DAFTAR PUSTAKA
		BAB I PENDAHULUAN
1	.....	1.1 Latar Belakang
2	.....	1.2 Rumusan Masalah
3	.....	1.3 Tujuan Penelitian
4	.....	1.4 Manfaat Penelitian
5	.....	1.5 Batasan Masalah
		BAB II STUDI PUSTAKA
6	.....	2.1 Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Terekspang
7	.....	2.2 Pengembangan pada beton
8	.....	2.2.1 Pengembangan Beton Dengan Tulangan Transversal
9	.....	2.2.2 Pengembangan Beton Dengan Fibre Mesh
10	.....	2.3 Pengembangan Tulangan Transversal
11	.....	2.3.1 Untuk Penguatan Balok
12	.....	2.3.2 Kolom Pondor dengan Hebat Konsentrik
13	.....	2.4 Kuda-kuda Rangka-Rangka Beton
14	.....	2.5 Rangka Rangka-Rangka Baja Tulangan
		BAB III METODE PENELITIAN
15	.....	3.1 Studi Pustaka
16	.....	3.2 Analisis Perhitungan Penelitian

3.3	Parameter Penelitian.....	19
3.4	Model Analisa	20
3.5	Pengujian Laboratorium	21
3.5.1	Spesifikasi Material	21
3.5.2	Benda Uji	22
3.5.3	Peralatam Pengujian Silinder dan Kolom	27
3.5.4	Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	28
3.6	Prediksi Analitis	29
3.6.1	Kolom Beton Terkekang Fine Mesh (CCFM)	30
3.6.2	Kolom Beton Terkekang Tulangan Spiral (CCS)	36
3.6.3	Kolom Beton Terkekang Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)	41
3.7	Laporan yang telah dikerjakan.....	48
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian Laboratorium	50
4.1.1	Perancangan Campuran Beton	50
4.1.2	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	50
4.1.3	Pengujian Tarik Baja Tulangan dan Fine Mesh	51
4.2	Hasil Pengujian Tekan Kolom	51
4.2.1	Kolom Beton terkekang Fine Mesh (CCFM)	51
4.2.2	Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral (CCS)	54
4.2.3	Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)	56
4.2.4	Kurva hubungan tegangan regangan gabungan 3 kolom	59
4.3	Bukti Hipotesa Hasil Analisa	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN		
LEMBAR ASISTENSI		

19	..... Parameter Penelitian	3.3
20	..... Model Analisa	3.4
21	..... Penelitian Laboratorium	3.5
21	..... 3.5.1 Spesifikasi Material	3.5.1
22	..... 3.5.2 Benda Uji	3.5.2
27	..... 3.5.3 Perencanaan Penelitian Silinder dan Kolom	3.5.3
28	..... 3.5.4 Tahap Pelaksanaan Eksperimen	3.5.4
29	..... 3.6 Prediksi Analisa	3.6
30	..... 3.6.1 Kolom Beton Terkekang Fine Mesh (CCFM)	3.6.1
30	..... 3.6.2 Kolom Beton Terkekang Tulangan Spiral (CCS)	3.6.2
41	..... 3.6.3 Kolom Beton Terkekang Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)	3.6.3
48	..... 3.7 Laporan yang telah dikerjakan	3.7

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

50	..... 4.1 Hasil Penelitian Laboratorium	4.1
50	..... 4.1.1 Perencanaan Campuran Beton	4.1.1
50	..... 4.1.2 Penelitian Kain Tekan Beton Silinder	4.1.2
51	..... 4.1.3 Penelitian Torsi Baja Tulangan dan Fine Mesh	4.1.3
51	..... 4.2 Hasil Penelitian Tekan Kolom	4.2
51	..... 4.2.1 Kolom Beton terkekang Fine Mesh (CCFM)	4.2.1
54	..... 4.2.2 Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral (CCS)	4.2.2
56	..... 4.2.3 Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)	4.2.3
59	..... 4.2.4 Kurva hubungan regangan regangan smpungan 3 kolom	4.2.4
59	..... 4.3 Rinci Hipotesis Hasil Analisa	4.3

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

63	..... 5.1 Kesimpulan	5.1
63	..... 5.2 Saran	5.2
64	..... DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR ISI
LEMBAR AWAL

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aksi busur pada beton terkekang (a) Pengekangan dengan sengkang persegi (b) Pengekangan dengan tulangan spiral	11
Gambar 2.2	Kolom dengan tulangan longitudinal (a) Terkekang dengan sengkang (b) Terkekang dengan tulangan spiral	12
....		
Gambar 2.3	Pengekangan kolom bulat dengan <i>fine mesh</i> (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang	13
.....		
Gambar 2.4	Pengekangan dengan tulangan spiral yang dibungkus <i>fine mesh</i> (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang	14
.....		
Gambar 2.5	Kurva hubungan tegangan-regangan untuk pembebanan monotonik beton tidak terkekang dan beton terkekang	16
.....		
Gambar 2.7	Kurva hubungan tegangan-regangan baja tulangan	17
.....		
Gambar 3.1a	Benda uji kolom bulat yang terkekang <i>fine mesh</i>	24
.....		
Gambar 3.1b	Benda uji kolom bulat yang terkekang tulangan spiral BJTP	25
.....		
Gambar 3.1c	Benda uji kolom bulat yang terkekang tulangan spiral BJTP ditambah <i>fine mesh</i>	26
.....		
Gambar 3.2	Ilustrasi set-up pengujian kolom	27
.....		
Gambar 3.3	Kurva hubungan tegangan-regangan analisa teoritis kolom CCFM	36
.....		
Gambar 3.4	Kurva hubungan tegangan-regangan analisa teoritis kolom CCS	41

	
Gambar 3.5	Kurva hubungan tegangan-regangan analisa teoritis kolom CCFMS	46
	
Gambar 3.6	Kurva tegangan-regangan kolom beton analisa teoritis gabungan	47
	
Gambar 4.1	Pengujian kolom terkekang <i>fine mesh</i> (CCFM) (a) Pada Saat Mulai Retak (b) Pada Saat Beban puncak.....	52
Gambar 4.2	Kurva tegangan-regangan kolom beton terkekang <i>fine mesh</i> (CCFM)	53
	
Gambar 4.3	Pengujian kolom terkekang tulangan spiral (CCS) (a) Pada Saat Mulai Retak (b) Pada Saat beban puncak	54
	
Gambar 4.4	Kurva tegangan-regangan kolom beton terkekang tulangan spiral (CCS)	55
Gambar 4.5	Pengujian kolom terkekang tulangan spiral yang dibungkus <i>fine mesh</i> (CCFMS) (a) Pada Saat Mulai Retak (b) Pada Saat Beban Puncak	57
	
Gambar 4.6	Kurva tegangan-regangan kolom beton terkekang tulangan spiral yang diberi lapisan <i>fine mesh</i> (CCFMS)...	58
Gambar 4.14	Kurva gabungan tegangan-regangan kolom beton eksperimen.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Perincian benda uji yang telah diteliti	22
Tabel 3.2	Tegangan regangan kolom beton terkekang fine mesh (CCFM) menurut Mander, dkk.	34
Tabel 3.3	Tegangan regangan kolom beton terkekang tulangan spiral BJTP (CCS) menurut Mander, dkk.	39
Tabel 3.4	Tegangan regangan kolom beton terkekang tulangan spiral BJTP yang dibungkus fine mesh (CCFMS) menurut Mander, dkk.	44
Tabel 3.5	Hasil perhitungan tagangan regangan teoritis	47
Tabel 4.1	Proporsi campuran beton mutu 20 MPa	50
Tabel 4.2	Hasil tegangan-regangan analisa eksperimen	60
Tabel 4.3	Validasi hasil analisa teoritis dan eksperimen... ..	60

DAFTAR NOTASI

BJTP = Baja Tulangan Polos

ρ_s = Rasio volumetrik tulangan spiral

ρ_{sfm} = Rasio volumetrik *fine mesh*

d_s = Diameter tulangan BJTP

d_{sfm} = Diameter *fine mesh*

m_1 = Jumlah tulangan BJTP arah longitudinal

m_2 = Jumlah *fine mesh* arah longitudinal

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

f_{yh} = Kuat leleh tulangan spiral BJTP (MPa)

f_{yfm} = Kuat leleh *fine mesh* (MPa)

f_y = Kuat leleh tulangan longitudinal BJTP (MPa)

A_g = Luas total penampang kolom (mm²)

A_c = Luas penampang beton kolom bulat yang terkekang tulangan spiral (mm²)

A_{cfm} = Luas penampang beton kolom bulat yang terkekang *fine mesh* (mm²)

A_{sh} = Luas tulangan spiral BJTP (mm²)

s = Spasi tulangan spiral BJTP (mm)

s_{fm} = Spasi *fine mesh* (mm)

D_c = Diameter penampang beton kolom yang terkekang dari sumbu ke sumbu spiral (mm)

D'_c = Diameter penampang beton kolom yang terkekang dari sisi luar spiral (mm)

D_{cfm} = Diameter penampang beton kolom yang terkekang dari sumbu ke sumbu *fine mesh* (mm)

D'_{cfm} = Diameter penampang beton kolom yang terkekang dari sisi luar *fine mesh* (mm)

- Z = Nilai daktilitas
- ε_c = Regangan beton
- ε_y = Regangan baja tulangan
- f'_{lx} = Tegangan kekang efektif arah x penampang (MPa)
- f'_{ly} = Tegangan kekang efektif arah y penampang (MPa)
- ρ_x = Rasio luas penampang efektif sengkang terhadap inti beton terkekang arah x
- ρ_y = Rasio luas penampang efektif sengkang terhadap inti beton terkekang arah y
- K_e = Koefisien efektifitas pengekangan, penampang kolom bulat, $K_e = 0,95$
- f'_{cc} = Kuat tekan beton terkekang (MPa)
- ε_{c0} = Regangan beton tidak terkekang pada saat tegangan maksimum
- ε'_{cc} = Regangan beton terkekang pada saat tegangan maksimum
- ε'_{cu} = Regangan beton ultimit
- ε_{sm} = Regangan baja tulangan pada tegangan tarik maksimum
- ε_{cm} = regangan beton terkekang maksimum
- E_s = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
- E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
- n = Perbandingan Modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton
- A_s = Luas total tulangan longitudinal (mm^2)
- A_{sfin} = Luas penampang *fine mesh* (mm^2)
- K = Rasio kuat tekan beton terkekang

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Di zaman sekarang ini banyak bencana yang terjadi di sekitar, termasuk gempa bumi yang sewaktu waktu bisa mengancam bagi umat manusia, gempa bumi juga tidak bisa di prediksi. Gempa bumi merupakan gejala alam yang sering terjadi dan tidak ada hal yang bisa mencegah gempa bumi, tetapi bagaimana mengurangi kehancuran, kehilangan nyawa, kehilangan harta benda dan penderitaan akibat gempa bumi. Oleh karena itu sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan para ahli terus melakukan penelitian di bidang struktur tahan gempa, agar dapat menemukan solusi baru yang murah dan praktis untuk memperbaiki kinerja dengan cara meretrofit struktur gedung yang tak dirancang memikul beban gempa agar tidak mengalami keruntuhan getas (mendadak) selama terjadi gempa bumi.

Gempa bumi selama ini banyak mengakibatkan keruntuhan gedung yang di disebabkan oleh beberapa factor, antara lain perancangan kolom yang tidak memperhitungkan kebutuhan daktilitas atau pengekangan, pelaksanaan pengecoran kolom yang kurang baik sehingga terjadi penurunan mutu beton, pelaksanaan yang kurang memperhatikan *detailing* di lapangan, selain itu perencana masih mengabaikan konsep "*Strong Columns Weak Beams*".

Perancangan struktur kolom beton bertulang tahan gempa sesuai dengan SNI 03-2847-2002 mensyaratkan pemakaian tulangan pengekang untuk mencapai daktilitas yang disyaratkan. Pendetailan khusus dalam bentuk pengekangan diberikan terutama di daerah yang mempunyai potensi terjadinya sendi plastis, selain itu pada daerah yang mengalami tegangan atau gaya dalam yang dominan, seperti pada ujung-ujung kolom dan di daerah sambungan tulangan longitudinal, memerlukan pengekangan yang lebih ketat, untuk menjamin daktilitas yang cukup agar bangunan tidak mengalami kegagalan getas yang tidak diinginkan.

Pemakaian jaring halus (*fine mesh*), merupakan salah satu solusi yang lebih ekonomis untuk dipakai sebagai bahan *retrofit* kolom yang kurang daktil, karena harga *fine mesh* yang relatif murah, mudah didapat dan mempunyai nilai praktis yang sangat tinggi. Selain itu *Fine mesh* sudah terfabrikasi dalam bentuk jaring, sehingga hal tersebut memberikan presisi yang lebih baik. Oleh karena itu penelitian mengenai efektifitas *fine mesh* sebagai tulangan pengekang kolom beton maupun sebagai bahan *retrofit* kolom beton bangunan lama yang terletak pada wilayah gempa kuat perlu dilakukan.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah penelitian yang suda diteliti adalah “*Bagaimana efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat Ø2-50 beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})*” dengan rincian permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana efektifitas *fine mesh* Ø2-50 sebagai pengekang (*confinement*) kolom bulat beton ?
2. Bagaimana efektifitas *fine mesh* Ø2-50 sebagai pengekang (*confinement*) kolom bulat beton dibanding tulangan *spiral* BJTP ?
3. Bagaimana efektifitas tulangan *spiral* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP ?
4. Bagaimana model kurva hubungan tegangan-regangan kolom bulat beton yang terkekang *fine mesh* Ø2-50 dibanding tulangan *spiral* BJTP ?
5. Bagaimana model kurva hubungan tulangan sengkang BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah “Untuk Mengetahui efektifitas *fine mesh* Ø2-50 dibanding tulangan konvensional (BJTP) sebagai pengekang kolom bulat beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})” dengan rincian sebagai berikut :

1. Mengetahui efektifitas *fine mesh* Ø2-50 sebagai pengekang (*confinement*) kolom bulat beton.
2. Mengetahui efektifitas *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom persegi beton dibanding tulangan *spiral* BJTP.

3. Mengetahui efektifitas tulangan *spiral* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP.
4. Mengetahui model kurva hubungan tegangan-regangan kolom silinder beton yang terkekang *fine mesh* Ø2-50 dibanding tulangan *spiral* BJTP.
5. Mengetahui model kurva hubungan tulangan spiral BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman perilaku struktur kolom beton bertulang terkekang, terutama kolom terkekang *fine mesh* dan kolom yang di-*retrofit fine mesh* dan dikenai beban aksial tekan konsentrik.

Secara khusus, manfaat utama dari hasil penelitian ini adalah :

1. Memberikan perumusan analisis yang cocok terhadap model kurva hubungan tegangan-regangan untuk kolom beton yang dikekang dengan *fine mesh* Ø2-50 tulangan *spiral* yang dibungkus dan di-*retrofit fine mesh*.
2. Mendapatkan kurva diagram hubungan tegangan-regangan yang lebih sesuai bila dimanfaatkan untuk memprediksi kekuatan kolom beton yang dikekang dengan *fine mesh* dan tulangan *spiral* yang di-*retrofit fine mesh*.

3. Memberikan informasi kepada para praktisi atau perencana tentang pengekanan kolom beton bertulang menggunakan *fine mesh* pada bangunan gedung yang akan dibangun, terutama pada bangunan gedung yang terletak di wilayah gempa menengah dan gempa kuat.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat dilakukan secara menyeluruh dan penyelesaian tidak menyimpang dari tujuan semula, maka perlu dikemukakan batasan masalah yang menitik beratkan pada :

1. Parameter perancangan yang telah dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - Diameter $\varnothing = 150$ mm dan tinggi $h = 600$ mm
 - Selimut beton kolom = 10 mm.
 - Mutu beton $f'_c = 20,09$ MPa.
 - Tegangan leleh baja tulangan polos $f_y = 200,96$ MPa
 - Tegangan leleh *fine mesh* $f_{ym} = 404$ MPa
 - Baja tulangan polos $\varnothing = 5,8$ mm dan $\varnothing = 7,8$ mm
 - Diameter *fine mesh* adalah $\varnothing = 1,9$ mm dengan ukuran grid 50 x 50 mm.
 - Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai sebanyak 2 (dua) lapis, untuk kolom beton terkekang *fine mesh* (CCFM).
 - Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai sebanyak 2 (dua) lapis untuk membungkus kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* yang memikul beban gravitasi.
2. Model hubungan kurva tegangan regangan beton terkekang menggunakan usulan Mander, dkk. (1988)
3. Perencanaan campuran beton menggunakan metode ACI (America Concrete institute)

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Terkekang

Penelitian awal untuk mengetahui perilaku atau karakteristik beton terkekang telah dilakukan oleh Richart dkk. pada *Normal Strength Concrete* (NSC) yang dikekang dengan tekanan hidrostatis dan tulangan spiral. Hasil risetnya yang terkenal yakni rumusan tegangan inti terkekang $f'_{cc} = f'_c + 4,1f_t$ (Blume, 1961). Selanjutnya riset tentang pengekangan terus berlanjut dilakukan oleh Chan (1955), Roy dan Sozen (1963), Slimon dan Yu (1967), Sargin (1971), Kent dan Park (1971), Vallenas, dkk. (1977) Dark, dkk. (1982), yang menghasilkan model-model pengekangan NSC. Riset-riset ini meneliti pengaruh ukuran, kekuatan, jumlah dan spasi tulangan transversal, tingkat pembebanan dan jumlah tulangan longitudinal.

Penelitian yang dilakukan sebelum tahun 1980 umumnya tidak memperlihatkan adanya pengaruh distribusi tulangan longitudinal dan konfigurasi tulangan transversal. Pengaruh ini terbukti signifikan mempengaruhi karakteristik pengekangan berdasarkan penelitian Sheikh dan Uzumeri (1980) pada kolom yang dibebani secara aksial tekan konsentrik. Selain itu, signifikan konfigurasi tulangan transversal juga dibuktikan oleh Scott, dkk. (1982) pada kolom yang dibebani aksial tekan konsentrik dan eksentrik secara monotonik, serta Ozcebe dan Saatcioglu (1987) untuk pembebanan secara siklik. Jika diamati pada rumusan model-model beton terkekang, maka model-model awal seperti yang diusulkan

oleh Park, dkk. (1982) serta Fafitis dan Shah (1985) belum memasukkan konfigurasi tulangan transversal sebagai parameter yang menentukan di dalam pemodelannya. Pengaruh konfigurasi tulangan transversal pertama kali dikemukakan oleh Sheikh dan Uzumeri (1982) yang mengutarakan konsep “luas efektif inti terkekang (*effectively confined core area*)”. Selanjutnya model ini dimodifikasi oleh Sheikh dan Yeh (1986, 1992) dengan memasukkan pengaruh tulangan longitudinal dan eksentrisitas beban aksila tekan pada benda uji kolom dibawah pembebanan tekan yang tinggi.

Model teoritis beton terkekang yang komprehensif menggunakan konsep “luas efektif inti terkekang” diusulkan oleh Mander, dkk. (1988) berdasarkan benda uji kolom persegi. Selanjutnya, Saatcioglu dan Razvi (1992) mengajukan konsep kekuatan dan deformasi (*strength and deformability*) yang dihasilkan oleh tekanan lateral tulangan pengekan. Model ini didasarkan bukti bahwa tekanan lateral ekivalen yang berasal dari tulangan kekang berbeda-beda besarnya, tergantung konfigurasi tulangan pengekan. Model ini diterapkan pada kolom penampang bulat dan persegi dengan pembebanan konsentrik maupun eksentrik.

Berdasarkan penelitian Yong, dkk. (1988) dan Razvi (1995). Saat ini model-model pengekan untuk *High Strength Concrete* (HSC) telah banyak diusulkan, umumnya merupakan modifikasi model-model NSC yang telah ada. Model-model tersebut seringkali memiliki keterbatasan, misalnya model Ahmad dan Shah (1982), Martinez, dkk. (1988), Fafitis dan Shah (1985) hanya sesuai untuk kolom bulat. Model Yong, dkk. (1988), Muguruma, dkk. (1993), Azizinamimi, dkk. (1994) serta Cusson dan Paultre (1995) hanya sesuai untuk kolom persegi. Akan tetapi model Maguruma (1993) dan Li, dkk. (2001) dapat

diterapkan baik untuk NSC dan HSC serta tulangan transversal mutu tinggi. Berbeda dengan model Hong dan Han (2005) yang diturunkan berdasarkan pada kolom persegi HSC, model tersebut menunjukkan peningkatan tegangan leleh tulangan transversal tidak terlalu meningkatkan pengaruh pengekangan pada inti beton.

Selain penelitian diatas telah dilakukan penelitian oleh Yosimson P. M. pada tahun (2007) "Evektivitas Pengekangan Kolom Bulat Beton Bertulang dengan Fine Mesh dibanding Tulangan Spiral Biasa dalam hal Peningkatan Kekuatan (f'_{cc}) dan Regangan (ϵ'_{cc}) dan (ϵ'_{cu}). (2008) "Model Kurva Hubungan Tegangan –Regangan Kolom Beton Terkekang Fine Mesh. (2009) "Efektifitas pengekangan Fine Mesh Terhadap Peningkatan Daktilitas Kolom Beton Terkekang di Daerah Gempa Kuat.

Gempa bumi selama ini banyak mengakibatkan keruntuhan gedung yang di disebabkan oleh beberapa factor, antara lain perancangan kolom yang tidak memperhitungkan kebutuhan daktilitas atau pengekangan, dan daktilitas itu sendiri adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk menagalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatn dan kekuatan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Selain itu perencana masih mengabaikan konsep "*Strong Columns Weak Beams*". Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang mengacu pada konsep "*Strong Columns Weak Beams*" memprioritaskan balok untuk mengalami plastifikasi terlebih dahulu sebelum kolom, sehingga bangunan tidak

collapse dengan tiba-tiba. Pada konsep ini, kekuatan kolom lebih besar dari pada kekuatan balok, sehingga sendi plastis terjadi di balok. Sebaliknya, jika kekuatan balok lebih besar daripada kolom, maka dapat terjadi sendi-sendi plastis pada ujung-ujung atas dan bawah kolom, akibatnya terjadi keruntuhan total pada bangunan tanpa terlebih dahulu menunjukkan adanya tanda-tanda keruntuhan pada bangunan.

Salah satu alternatif yang murah, mudah didapat, praktis dan mudah dibentuk, sehingga penggunaan *fine mesh* pada NSC maupun HSC masih diperlukan sejumlah riset yang signifikan. Riset-riset terdahulu menunjukkan bahwa jika mutu beton ditingkatkan maka jumlah kebutuhan tulangan transversal untuk pengekanan juga meningkat, sehingga tidak dapat dihindari saling berhimpitnya tulangan transversal tersebut. Riset penggunaan *fine mesh* untuk pengekanan belum banyak dilakukan sehingga belum dapat dibuat kesimpulan akhir bahwa *fine mesh* efektif untuk pengekanan.

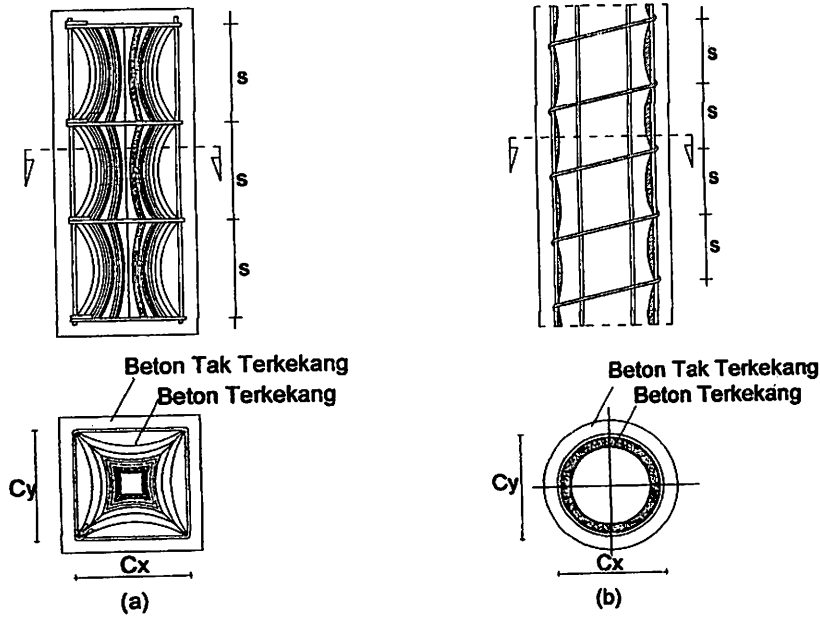
2.2. Pengekanan Pada Beton

Pengekanan pada beton perlu dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2002 agar elemen struktur baik balok maupun kolom tidak mengalami kegagalan akibat geser. Tulangan transversal sangat berperan dalam mengekan pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton, mencegah terjadinya keruntuhan geser pada kolom, dan

mencegah *premature buckling* tulangan longitudinal yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas penampang kolom beton bertulang. Semakin tinggi beban aksial yang bekerja terhadap kolom, semakin banyak pula kebutuhan tulangan transversal yang diperlukan agar struktur kolom tersebut lebih kuat dan daktil.

Beton dapat dikekang dengan tulangan sengkang yang berbentuk sengkang tunggal biasa (*hoop*), sengkang pengikat silang (*cross ties*) atau sengkang tumpang (*overlapping hoops*) dan sengkang bulat atau spiral. Lilitan sengkang bulat atau spiral memberikan tekanan tekan (*confined*) disekeliling penampang, karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada keliling lingkaran. Sedangkan sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada sudut-sudut sengkang.

Kemampuan deformasi dari beton akan meningkat dengan adanya pengekangan, dan dapat mencapai regangan yang lebih tinggi pada puncak pembebanan. Besarnya regangan pada saat dicapainya tegangan puncak sangat tergantung pada efektifitas pengekangan yang dipasang. Pada penampang persegi daerah efektif terkekang tidak sebaik pada penampang bulat. Daerah efektif terkekang penampang persegi akan semakin meningkat apabila sudut bengkokan (*hook*) yang dipasang tulangan longitudinal semakin besar. Beton yang terkekang secara efektif dapat dinyatakan dalam daerah inti beton ketika tegangan kekang sepenuhnya terbentuk akibat busur (*arching action*), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1a dan 2.1b.

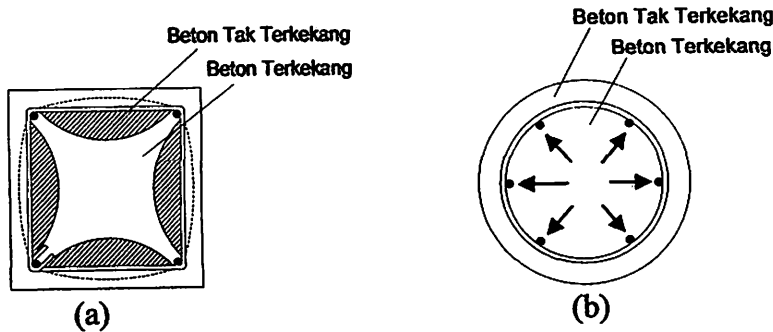


Gambar 2.1. Aksi busur pada beton terkekang (a) Pengekangan dengan sengkang persegi (b) Pengekangan dengan tulangan spiral

2.2.1. Pengekang Beton Dengan Tulangan Transversal Konvensional

Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan sengkang yang berbentuk persegi dan tulangan spiral yang berbentuk bulat. Tulangan sengkang atau spiral berfungsi untuk memikul gaya geser, mengekang beton agar mengurangi resiko pecahnya beton dan membuat lebih kaku sambungan tulangan memanjang. Sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut-sudut sengkang yang terpasang tulangan longitudinal, sedangkan lilitan spiral pada penampang bulat memberikan gaya kekang pada semua sisi spiral, seperti terlihat dalam Gambar 2.2a dan 2.2b. Penampang beton yang diberikan tulangan

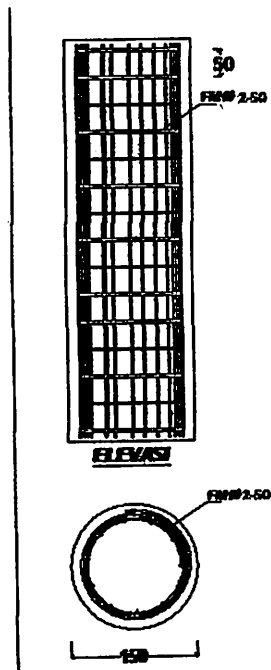
segitiga (tulangan transversal) dengan detailing yang benar akan meningkatkan kuat tekan dan daktilitas beton. (Park and Paulay, 1975).



Gambar 2.2 Kolom dengan tulangan longitudinal (a) Terkekang dengan segitiga (b) Terkekang dengan tulangan spiral

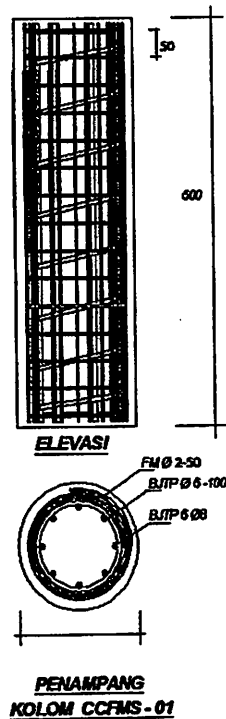
2.2.2. Pengekang Beton Dengan Fine Mesh

Pengekangan dengan *fine mesh* akan memberikan luasan daerah inti beton yang terkekang lebih banyak dan tekanan kekang yang akan lebih merata dibandingkan tulangan spiral, sehingga pengekangan inti beton akan menjadi lebih efektif. Tekanan kekang nominal (f_l) dari tulangan pengekang segitiga persegi biasa, dan *fine mesh* dapat dikerahkan terhadap inti beton bila tegangan kekang dapat dikembangkan penuh. Sedangkan pengekangan kolom bulat dengan menggunakan *fine mesh* dapat dilihat pada Gambar 2.3a dan 2.3b



Gambar 2.3. Pengekangan kolom bulat dengan fine mesh
 (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang

Pengaruh konfigurasi grid pada sejumlah penelitian *fine mesh* belum menunjukkan kesimpulan yang seragam, bahwa semakin kecil jarak grid makin meningkatkan kekuatan dan daktilitas, sehingga masih dibutuhkan sejumlah penelitian untuk menentukan pengaruh konfigurasi grid ini. Jika *fine mesh* digunakan sebagai bahan untuk *retrofit* kolom pada bangunan yang sudah ada, maka *fine mesh* dapat pasangkan dengan cara melilitkan *fine mesh* pada tulangan konvensional yang sudah ada, kolom bulat beton bertulang yang dililitkan *fine mesh* dan pada Gambar 2.5a dan 2.5b kolom bulat beton bertulang yang dililitkan *fine mesh*.



Gambar 2.5. Pengekangan dengan *tulangan spiral* yang dibungkus *fine mesh* (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang

2.3. Persyaratan Tulangan Transversal

Pada perancangan struktur kolom beton bertulang tahan gempa menurut peraturan SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4 dan ACI 318-2005 section 21.4.4.1, harus diberi detailing khusus (tulangan kekang transversal) agar dapat dicapai daktilitas yang disyaratkan, terutama di daerah yang berpotensi/ yang dirancang sebagai sendi plastis, di mana luas total penampang sengkang tertutup persegi berupa sengkang tunggal (*single ties*) atau sengkang tumpuk (*overlapping hoops*) dengan atau tanpa tulangan pengikat silang (*cross ties*) yang disyaratkan tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada persamaan di bawah ini :

2.3.1. Untuk Penampang Bulat

Rasio tulangan spiral harus tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0,12 \frac{f'_c}{f_{yh}} \geq 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yh}}, \dots\dots\dots (2.1)$$

untuk wilayah Gempa kuat SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4(4(1))

$$\rho_s \geq 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yh}}, \dots\dots\dots (2.2)$$

2.3.2. Kolom Pendek dengan Beban Konsentrik

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh duluan karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Apabila kolom runtuh karena kegagalan meterialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*). Mengenai batasan kolom langsing untuk *non sway mechanism* diberikan dalam ACI 318-05 yang menyatakan bahwa faktor kelangsingan kolom dapat diabaikan jika memenuhi syarat :

$$\frac{k \cdot \lambda_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

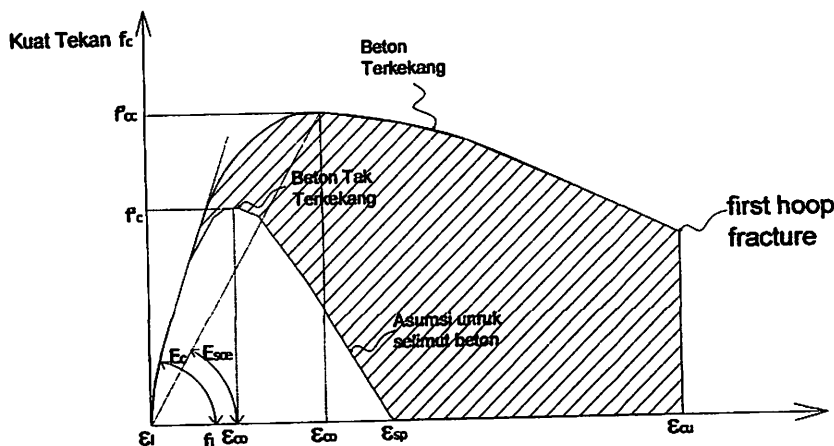
Kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) \cdot f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st} \cdot f_y$. yang digunakan dalam perhitungan disini adalah f'_c , dengan demikian kapasitas beban centris maks adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_o = f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\phi P_{n(max)} = 0,8\phi \cdot [f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots\dots\dots(2.7)$$

2.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan

Mander, Priestley dan Park (1988) memberikan gambaran hubungan tegangan-regangan tekan pada beton terkekang, kekuatan tekan dan regangan beton akan meningkat akibat adanya pengekekangan, seperti terlihat dalam Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Kurva hubungan tegangan-regangan untuk pembebanan monotonik beton tak dikekang dan beton terkekang

Untuk penampang beton terkekang :

$$f'_{tx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$f'_{ty} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f_c} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$f_c = \frac{f_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{scc}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$E_{scc} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Regangan tekan puncak beton terkekang

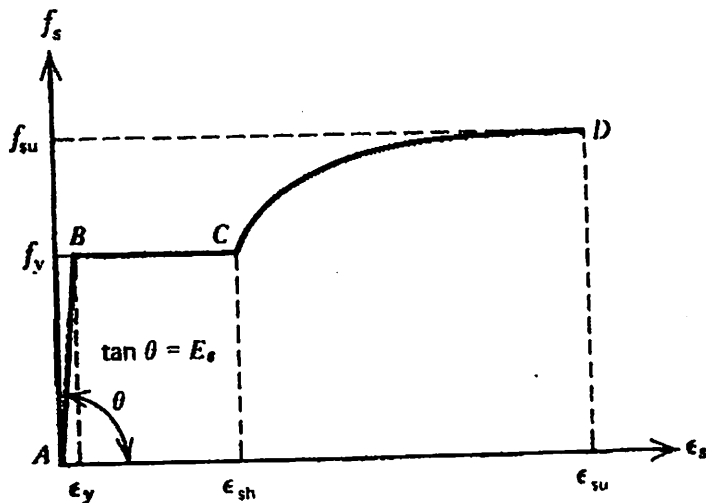
$$\epsilon'_{cc} = 0,002 [1 + 5(f'_{cc} / f'_c - 1)] \dots\dots\dots (2.15)$$

Regangan ultimit beton terkekang adalah

$$\epsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\epsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots (2.16)$$

2.5. Diagram Tegangan-Regangan Baja Tulangan

Park and Paulay 1975, memberikan bentuk diagram hubungan tegangan dan regangan baja tulangan pada saat menerima gaya tarik atau gaya tekan seperti terlihat dalam Gambar 2.7 di bawah ini :



Gambar 2.7 Kurva hubungan tegangan-regangan baja tulangan

Pada kurva tersebut dapat dilihat karakteristik-karakteristik sebagai berikut :

Daerah AB adalah daerah elastis : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Daerah BC adalah daerah plastis : $\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$

$$f_s = f_y \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Daerah CD adalah pengerasan regangan : $\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$

$$f_s = f_y \left[\frac{m(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 2}{60(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{sh})(60 - m)}{2(30.r + 1)^2} \right] \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

$$m = \frac{\left(\frac{f_{su}}{f_y} \right) (30.r + 1)^2 - 60.r - 1}{15.r^2} \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

di mana :

$$r = \epsilon_{su} - \epsilon_{sh} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Studi Pustaka

Studi pustaka yang telah dilakukan yaitu dengan mendalami materi yang tercantum di Bab II dan kepustakaan yang meliputi berbagai buku teks, journal, peraturan, tata cara dan Standar Nasional maupun Internasional.

3.2. Analisis Preliminary Penelitian

Pemilihan spesimen didasarkan pada kondisi dan kapasitas alat pengujian kolom yaitu *Universal Testing Machine (UTM)* yang ada di Laboratorium Beton jurusan Teknik Sipil. Sesuai dengan kondisi alat tersebut, diperoleh tinggi maksimum spesimen yang dapat diletakkan pada alat UTM adalah 100 cm, sehingga tinggi spesimen yang dibuat pada penelitian ini adalah 60 cm. Kapasitas beban maksimum alat *Universal Testing Machine (UTM)* adalah 200 ton, sedangkan beban tekan maksimum yang diijinkan pada saat pengujian adalah 170 ton.

Berdasarkan kapasitas alat tersebut, dengan melakukan *trial and error* akhirnya diperoleh diameter spesimen, kuat tekan beton, diameter tulangan konvensional, diameter dan grid *fine mesh* serta jumlah *layer fine mesh*. Perhitungan *trial and error* selengkapnya, dapat dilihat pada Lampiran L1.1.

3.3. Parameter Penelitian

Parameter perancangan yang telah dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Kolom pendek dengan penampang berbentuk bulat dengan diameter $\varnothing = 150$ mm dan tinggi $h = 600$ mm
- b. Selimut beton kolom = 10 mm.
- c. Mutu beton $f'_c = 20,09$ MPa.

- d. Tegangan leleh baja tulangan polos $f_y = 200,96$ MPa
- e. Tegangan leleh *fine mesh* $f_{ym} = 404$ MPa
- f. Baja tulangan polos $\varnothing = 5,8$ mm dan $\varnothing = 7,8$ mm
- g. Diameter *fine mesh* adalah $\varnothing = 1,9$ mm dengan ukuran grid 50 x 50 mm.
- h. Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai sebanyak 2 (dua) lapis, untuk kolom beton terkekang *fine mesh* (CCFM).
- i. Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai sebanyak 2 (dua) lapis untuk membungkus kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* yang memikul beban gravitasi.
- j. Kurva hubungan tegangan-regangan kolom beton polos, kurva hubungan tegangan-regangan kolom beton terkekang *fine mesh*, kurva hubungan tegangan-regangan kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP*, kurva hubungan tegangan-regangan kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh*.

3.4. Model Analisa

Model analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Analisa efektifitas kolom bulat yang terkekang *fine mesh* (CCFM) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- b. Analisa efektifitas kolom bulat yang terkekang *tulangan spiral BJTP* (CCS) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- c. Analisa efektifitas kolom bulat yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh* (CCFMS) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- d. Analisa data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom CCFM.
- e. Analisa data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom CCS.
- f. Analisa data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom CCFMS.

- g. Analisa data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ε'_{cc} dan ε'_{cu}) kolom CCFM.
- h. Analisa data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ε'_{cc} dan ε'_{cu}) kolom CCS.
- i. Analisa data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ε'_{cc} dan ε'_{cu}) kolom CCFMS.
- n. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ε'_{cc} dan ε'_{cu}) kolom CCFM.
- o. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ε'_{cc} dan ε'_{cu}) kolom CCS.
- p. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ε'_{cc} dan ε'_{cu}) kolom CCFMS.
- q. Hasil analisa teoritis dan hasil analisa data eksperimen, ditarik suatu kesimpulan.

3.5. Pengujian di Laboratorium

3.5.1. Spesifikasi Material

Tulangan longitudinal yang telah digunakan adalah baja tulangan polos (BJTP) $\varnothing = 7,8$ mm dan tulangan transversal menggunakan baja tulangan polos $\varnothing = 5,8$ mm dan $\varnothing = 5,8$ mm, melalui pengujian tarik baja diperoleh kuat leleh baja tulangan polos sebesar $f_y = 200,96$ Mpa dan kuat putus $f_u = 331,90$ MPa . Jaring kawat menggunakan *fine mesh* diameter $\varnothing = 1,9$ mm grid = 50 x 50 mm dengan jarak dari as ke as grid $s = 50$ mm, melalui pengujian tarik *fine mesh* diperoleh kuat leleh *fine mesh* $f_{yfm} = 404$ Mpa, sedangkan kuat putus diperoleh $f_{ufm} = 534,50$ Mpa. Kuat tekan beton diperoleh dengan melakukan pengujian silinder beton berukuran 150 x 300 mm sebanyak 24 buah yang telah berumur 28 hari dan diperoleh kuat tekan beton $f'_c = 20,09$ Mpa.

3.5.2. Benda Uji

Pengujian yang telah dilakukan adalah pengujian benda uji silinder beton berukuran 150 x 300 mm, berumur 28 hari dan jumlah benda uji silinder beton sebanyak 24 buah. Selanjutnya dilakukan pengujian tekan kolom beton yang terkekang *fine mesh* sebanyak 3 buah, kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* sebanyak 3 buah, dan kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh* sebanyak 3 buah.

Tabel 3.1. Perincian benda uji yang telah diteliti

Kode Benda Uji	Penampang Kolom	Jenis Tulangan		Keterangan
		Konvensional	Fine mesh (FM)	
CCFM-1	D=150 mm	-	Ø2-50	Sampel 1
CCFM-2	D=150 mm	-	Ø2-50	Sampel 2
CCFM-3	D=150 mm	-	Ø2-50	Sampel 3
CCS-1	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	-	Sampel 4
CCS-2	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	-	Sampel 5
CCS-3	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan	-	Sampel 6

		Transversal $\varnothing=$ 5,8mm		
CCFMS-1	D=150 mm	Longitudinal $\varnothing=7,8\text{mm}$ dan Transversal $\varnothing=5,8\text{mm}$	FM $\varnothing 2-50\text{mm}$	Sampel 7
CCFMS-2	D=150 mm	Longitudinal $\varnothing=7,8\text{mm}$ dan Transversal $\varnothing=5,8\text{mm}$	FM $\varnothing 2-50\text{mm}$	Sampel 8
CCFMS-3	D=150 mm	Longitudinal $\varnothing=7,8\text{mm}$ dan Transversal $\varnothing=5,8\text{mm}$	FM $\varnothing 2-50 \text{ mm}$	Sampel 9

Keterangan :

CCFM = *Circular Column Fine Mesh*

CCS = *Circular Column Spiral*

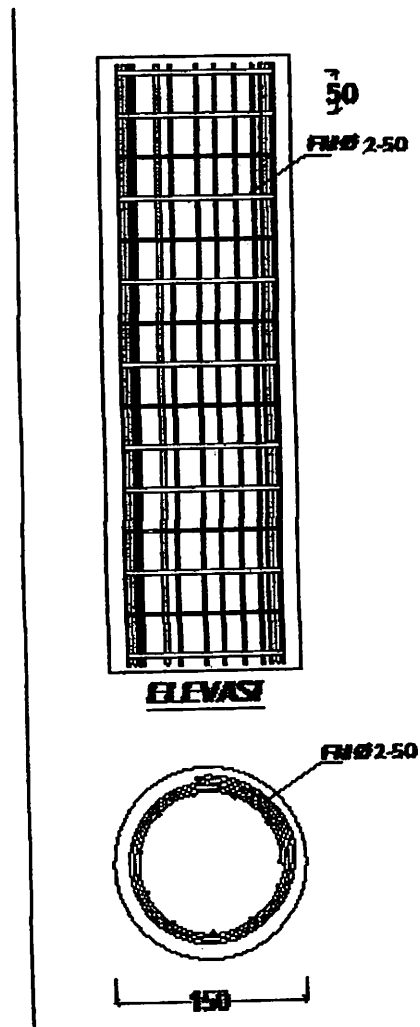
CCFMS = *Circular Column Fine Mesh and Spiral*

D = Diameter kolom

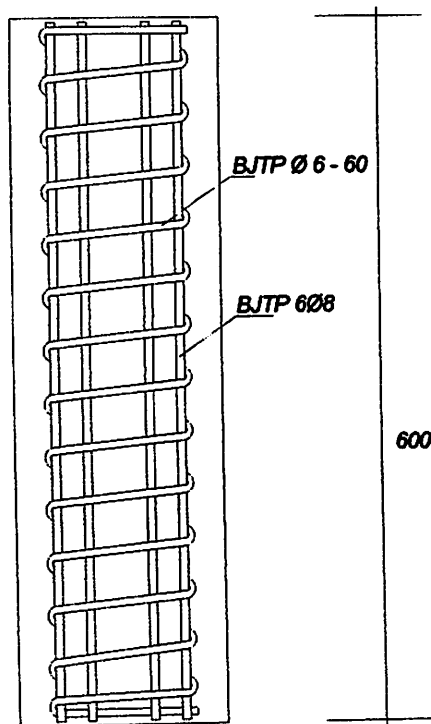
FM = *Fine Mesh*

s = *Jarak Tulangan Spiral BJTP*

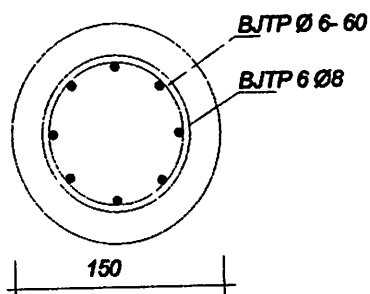
Model benda uji kolom yang telah diteliti dapat dilihat dalam Gambar 3.1a, 3.1b, 3.1c dan berikut ini :



Gambar 3.1a. Benda Uji Kolom Bulat yang terkekang *fine mesh*

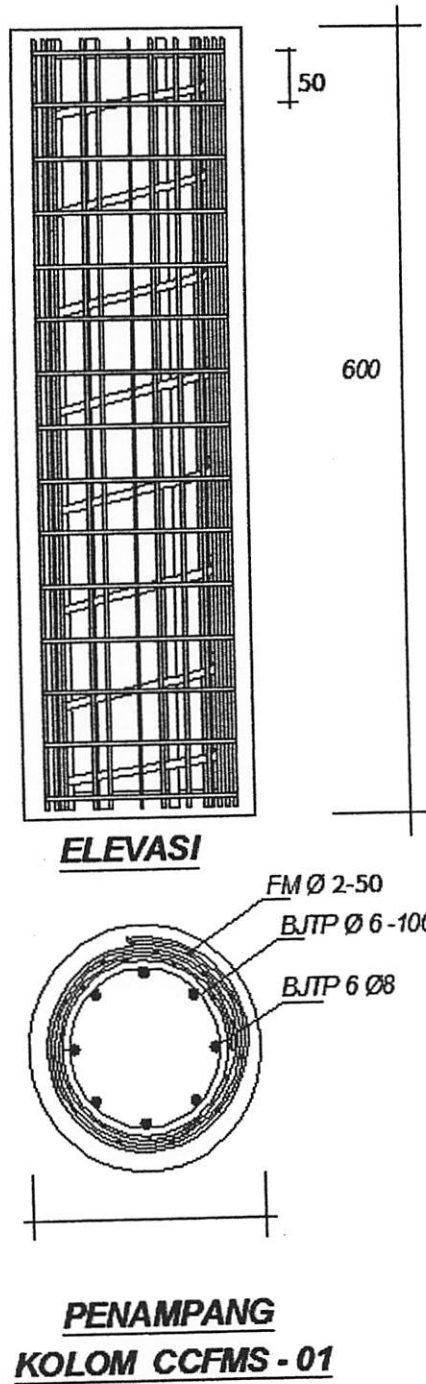


ELEVASI



PENAMPANG
KOLOM CCS

Gambar 3.1b. Benda Uji Kolom Bulat yang terkekang *tulangan spiral BJTP*

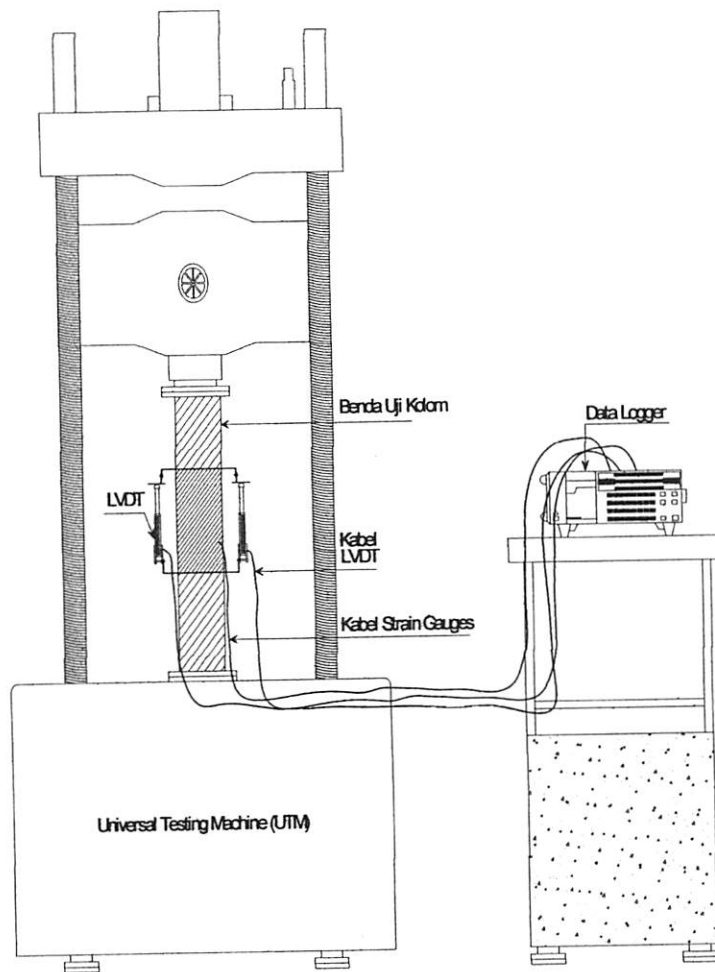


Gambar 3.1c. Benda Uji Kolom Bulat yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh*

3.5.3. Peralatan Pengujian Silinder dan Kolom

Untuk menguji kolom, masing-masing kolom diuji dengan beban aksial konstan pada bagian ujung atas kolom. Beban aksial konstan diperoleh dari alat *Universal Testing Machine (UTM)* dengan kapasitas 200 ton.

Ilustrasi set-up instrument yang telah digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada Gambar 3.2, memperlihatkan ilustrasi set up instrument pada waktu melakukan pengujian benda uji kolom, yang mana kolom telah dipasangkan *dial gauge* untuk pembacaan displacement arah vertikal dan pada kolom sudah terpasang *strain gauge* untuk pembacaan regangan pada *tulangan spiral BJTP* maupun *fine mesh*. Pembacaan displacement pada dial gauges dan regangan pada *tulangan spiral BJTP* maupun *fine mesh* digunakan alat *data logger*.



Gambar 3.2 – Ilustrasi set-up pengujian kolom

3.5.4. Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Sesuai proposal penelitian, pelaksanaan eksperimen yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan uji tarik *fine mesh*.
2. Melakukan uji tarik baja tulangan polos (BJTP)
3. Melakukan penelitian analisa material untuk mendapatkan mix desain campuran beton sesuai dengan kuat tekan rencana $f'c = 20,09$ MPa.
4. Melakukan pekerjaan begisting kolom bulat $\varnothing = 150$ mm sebanyak 9 buah.
5. Melakukan pekerjaan pembesian *tulangan konvensional* yaitu tulangan longitudinal dan tulangan spiral untuk 4 buah kolom.
6. Melakukan pekerjaan pembentukkan dan pemasangan *fine mesh* 2 benda uji kolom bulat.
7. Melakukan pekerjaan pembentukkan dan pemasangan *fine mesh* 2 benda uji kolom bulat yang telah dipasang *tulangan konvensional*.
8. Memasang strain gauge pada *tulangan spiral BJTP* sebanyak 1 buah pada 2 buah kolom CCS.
9. Memasang strain gauge pada *fine mesh* layer 1 dan 2 arah transversal masing-masing sebanyak 1 buah dan pada *tulangan spiral BJTP* sebanyak 1 buah pada 2 buah kolom CCFMS.
10. Memakai hasil perancangan campuran beton sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk melakukan pengecoran benda uji silinder dan kolom.
11. Membuat benda uji silinder sebanyak 24 buah dan benda uji kolom bulat sebanyak 4 pasang.
12. Setelah 48 jam atau beton telah cukup kering, cetakan benda uji silinder dan kolom dibuka.

13. Setelah cetakan dibuka, dilakukan perawatan beton dengan cara merendam benda uji silinder ke dalam bak yang berisi air dan kolom dibungkus dengan karung goni yang selalu dalam keadaan basah.
14. Setelah benda uji silinder berumur 28 hari, dilakukan pengangkatan 24 buah benda uji silinder dari dalam bak air dan dilakukan pengujian kuat tekan.
15. Setelah benda uji kolom berumur 28 hari, dilakukan pengecatan dengan cat warna putih, kemudian setelah cat kering dilanjutkan dengan membuat garis pada kolom berbentuk grid dengan jarak garis 50 mm.
16. Setelah pembuatan garis selesai, dilakukan pengangkatan benda uji ke tempat pengujian di laboratorium beton untuk dilakukan pengujian tekan.
17. Pengujian dilakukan dengan sistem *load control* dan *displacement control*.
18. Nilai regangan aksial kolom diperoleh dari harga rata-rata 2 buah LVDT yang dibagi dengan tinggi pemasangan LVDT awal yaitu 260 mm. Besar displacement kolom dapat dibaca langsung dari *data logger*, dimana nilai displacement berkorelasi langsung terhadap beban P.
19. Pengambilan data regangan *tulangan spiral BJTP* dan *fine mesh* arah transversal pada saat pembebanan diperoleh melalui strain gauge yang terpasang menggunakan alat *data logger*.
20. Selama pembebanan dilakukan pengamatan, pemotretan dan pencatatan data.
21. Data yang dicatat adalah :
 - a. Pencatatan data pembebanan naik dan turun.
 - b. Pencatatan fenomena retak dan besar beban pada awal retak
 - c. Lompatan beban dan besar beban pada saat kolom runtuh.
 - d. Data regangan *tulangan spiral* dan *fine mesh* berdasarkan hasil dari *strain gauge*.

3.6. Prediksi Analitis

Dari kepustakaan yang ada, telah kami lakukan analisis teoritis kurva hubungan tegangan regangan beton tidak terkekang dan beton terkekang. Dari

beberapa model kurva tersebut, kami pilih yang paling cocok untuk dipakai sebagai hipotesa perilaku *fine mesh* adalah menggunakan usulan Hognestad untuk model hubungan tegangan-regangan beton tidak terkekang sedangkan untuk model hubungan tegangan-regangan beton terkekang menggunakan usulan Mander, dkk.(1988).

3.6.1. Kolom Beton Terkekang Fine Mesh (CCFM)

Luas total fine mesh arah longitudinal adalah :

$$\begin{aligned} A_{sfm} &= m_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= 19 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,9^2 \\ &= 53,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Modulus elastisitas Beton Adalah :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \sqrt{20,09} \\ &= 21066 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perbandingan modulus elastisitas baja (E_s) terhadap beton (E_c) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{21066} \\ &= 9,49 \end{aligned}$$

Rasio volumetric *fine mesh* (ρ_{sfm}) untuk 1 (satu) layer adalah :

1). Menggunakan *Fine Mesh* ϕ 1,9 mm grid 50 mm, dengan $s = 50$ mm

Luas penampang *fine mesh* adalah :

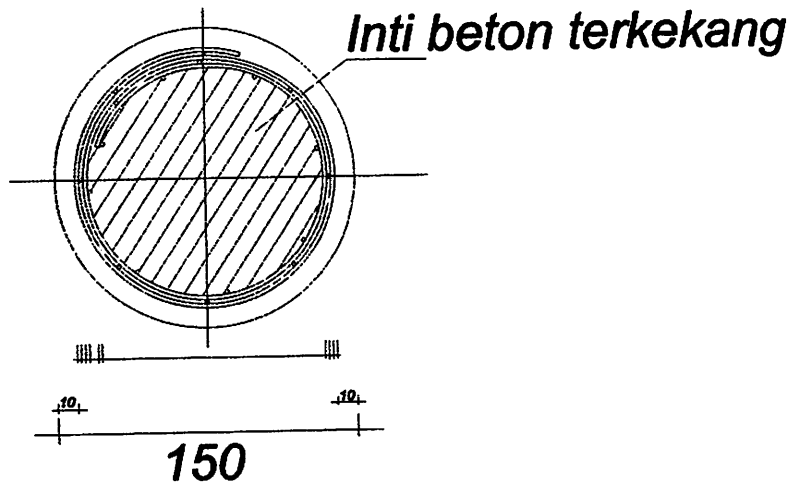
$$\begin{aligned} A_{fm} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,9^2 \\ &= 2,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- *Layer 1 (lapisan dalam)* :

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = D - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times \varnothing \text{ Fine mesh}) - (2 \times \varnothing \text{ Fine mesh}) - \text{Fine mesh} .$$

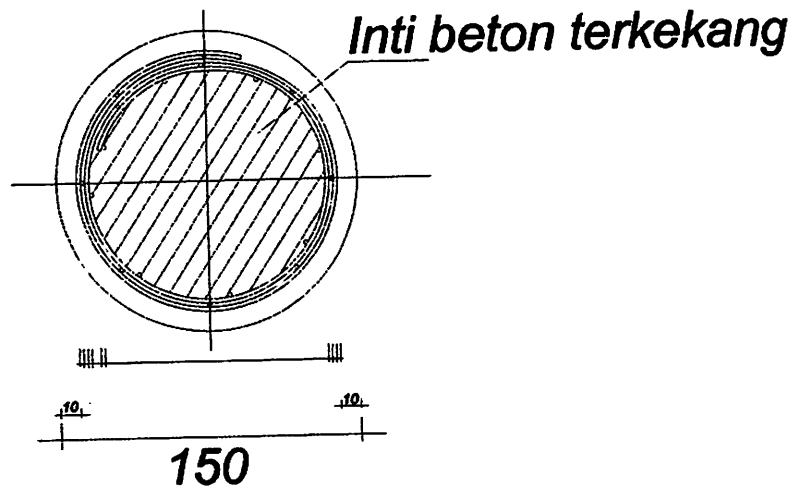
$$= 150 - 10 - 10 - (1,9 \times 2) - (1,9 \times 2) - 1,9 = 120,5 \text{ mm}$$



Gambar D_{cfm} .

$$D'_{cfm} = D - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times \varnothing \text{ Fine mesh}) - (2 \times \varnothing \text{ Fine mesh}) - \text{mesh} .$$

$$= 150 - 10 - 10 - (1,9 \times 2) - (1,9 \times 2) = 122,4 \text{ mm}$$



Gambar D'_{cfm} .

Rasio *fine mesh* (ρ_{sfm}) untuk layer dalam adalah :

$$\rho_{sfm1} = \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot D'_{cfm}{}^2\right) s}$$

$$= \frac{(\pi \cdot 120,5)(2,83)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 122,4^2\right) 50}$$

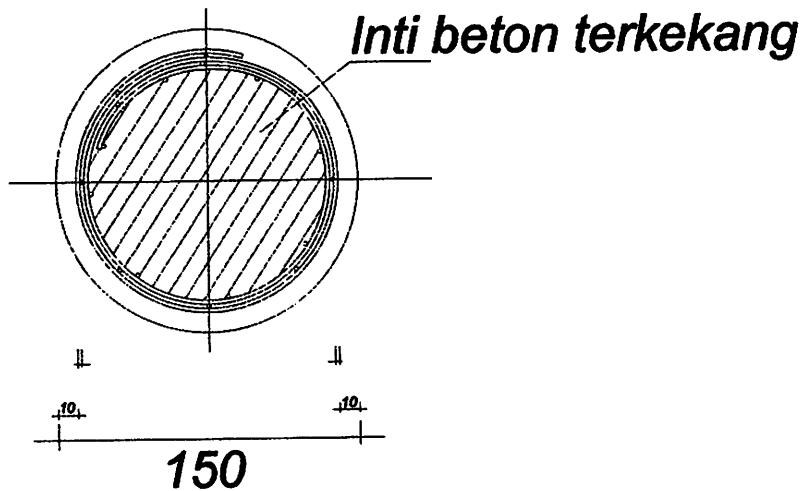
$$= 0,00182$$

- *Layer 2 (lapisan luar) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = D - (2 \times \text{selimut beton}) - \text{Fine mesh .}$$

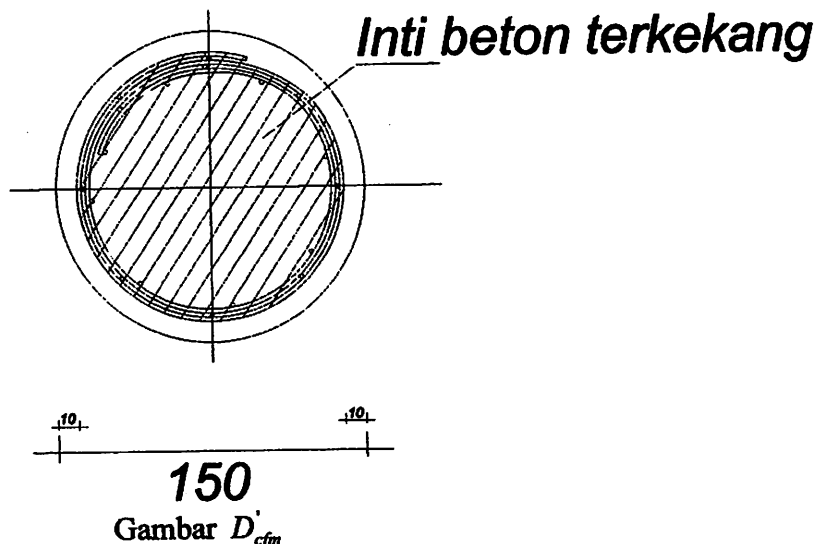
$$= 150 - 10 - 10 - 1,9 = 128,1 \text{ mm}$$



Gambar D_{cfm} .

$$D'_{cfm} = D - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$= 150 - 10 - 10 = 130 \text{ mm}$$



Rasio *fine mesh* (ρ_{sfm}) untuk layer dalam adalah :

$$\rho_{sfm2} = \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot D_{cfm}^2\right) S}$$

$$= \frac{(\pi \cdot 128,1) (2,83)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) 50}$$

$$= 0,00172$$

$$\text{Rasio total} = \rho_x = \rho_y = \rho_{sfm1} + \rho_{sfm2} = 0,00182 + 0,00172$$

$$\rho_{sfm} = \rho_x = \rho_y = 0,00354$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_{sfm} \cdot f'_{yfm} \quad (2.11)$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_{sfm} \cdot f'_{yfm} \quad (2.12)$$

$$K_e = 0,95$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,95 \times 0,00354 \times 404$$

$$= 1,36 \text{ MPa}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{1,36}{20,09} = 0,0672$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_{sfm} \left(\frac{f'_{yh}}{f'_c} \right) \quad (2.13)$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,00354 \times \left(\frac{404}{20,09} \right) = 1,146$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c} \implies f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1,146 \times 20,09 = 23,026 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (2.18)$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{23,026}{20,09} - 1 \right) \right] = 0,00346$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_{sfm} \cdot f'_{yfm} \cdot \frac{\varepsilon'_{sm}}{f'_c} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,00376 \times 404 \times \frac{0,15}{23,026} = 0,017$$

Beban maksimum kolom CCFM adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_{sfm}) + (A_{sfm} \times n)) \\ &= 23,026 \times ((17662,5 - 53,89) + (53,89 \times 9,49)) \\ &= 417237,56 \text{ N} = 41,723 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 3.2. Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang *Fine Mesh* (CCFM) menurut Mander, dkk.

No	ε_c	X	f _c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00060	0.17256	10.790
3	0.00119	0.34512	17.264
4	0.00179	0.51767	20.653
5	0.00239	0.69023	22.266
6	0.00299	0.86279	22.908
7	0.00346	1.03535	23.026
8	0.00418	1.20790	22.844
9	0.00478	1.38046	22.514
10	0.00538	1.55302	22.105
11	0.00597	1.72558	21.659
12	0.00657	1.89814	21.201
13	0.00717	2.07069	20.746
14	0.00776	2.24325	20.302
15	0.00836	2.41581	19.872
16	0.00896	2.58837	19.460
17	0.00956	2.76092	19.066
18	0.01015	2.93348	18.690
19	0.01075	3.10604	18.332
20	0.01135	3.27860	17.991
21	0.01720	3.45116	17.666

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.2.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik

$$\varepsilon_c = \frac{0,002}{10}$$

Regangan beton turun

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,002 \cdot f'_c}{f'_c - 1000}$$

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0,002 [1 + 5(f'_{cc} / f'_c - 1)]$$

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

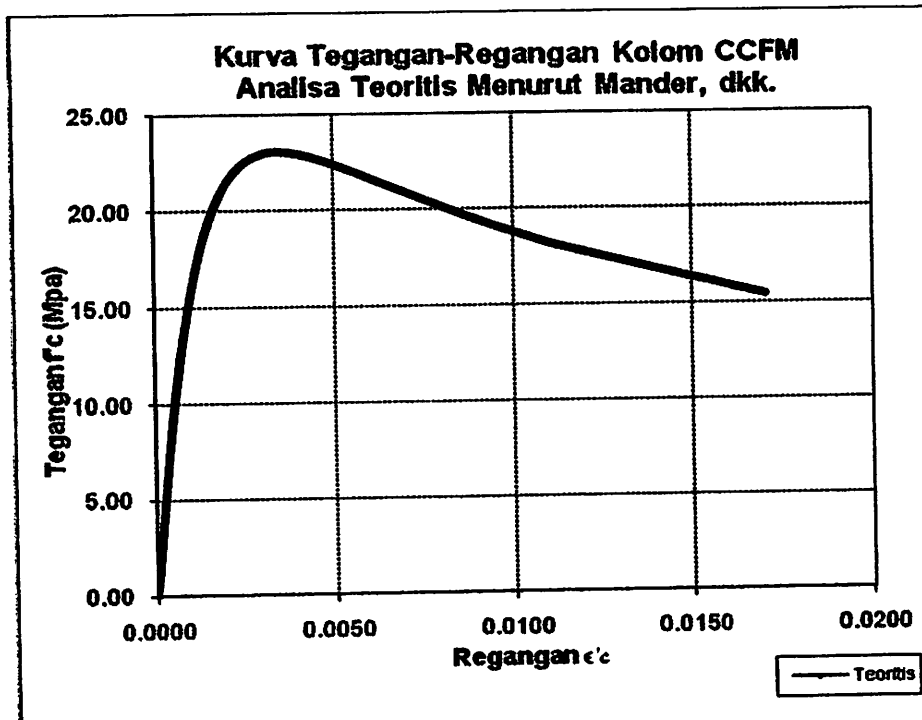
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.16)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.17)$$

$$f'_{cc} = K * f'_c$$

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *fine mesh* (CCFM) yang terlihat pada Gambar 3.3. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.3 yaitu angka-angka pada kolom 2 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (tegangan).



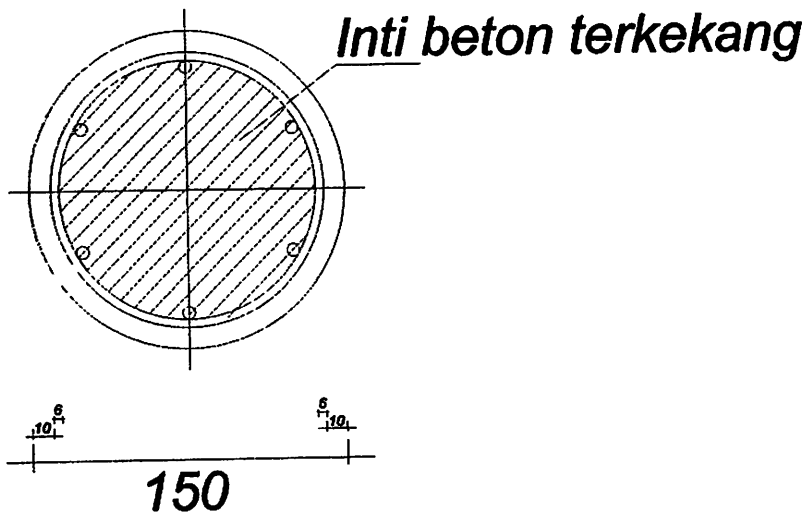
Gambar 3.3. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom CCFM

3.6.2. Kolom Beton Terkekang Spiral (CCS)

Kolom CCS adalah kolom beton yang terkekang tulangan spiral BJTP $\varnothing 8 - 60$, yang mana tulangan spiral yang terpasang pada kolom CCS sudah memenuhi syarat pengekangan untuk kolom yang memikul beban gempa sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4 dan ACI 318-2005 section 21.4.4.1.

Diameter kolom yang terkekang adalah :

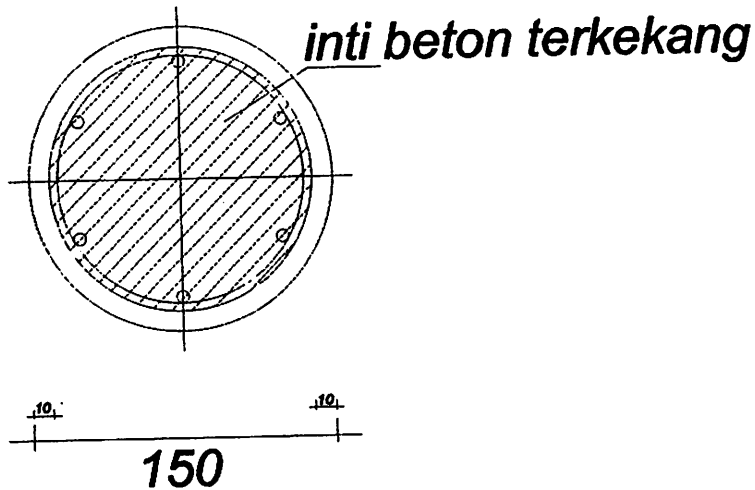
$$\begin{aligned}
 D_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - \varnothing \text{tulangan spiral} \\
 &= 150 - (2 \times 10) - 5,8 \\
 &= 124,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar penampang kolom Dc.

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$\begin{aligned}
 D'_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) \\
 &= 150 - (2 \times 10) \\
 &= 130 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar penampang kolom Dc'

Luas total tulangan longitudinal adalah :

$$\begin{aligned}
 A_s &= m_1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\
 &= 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2 \\
 &= 158,58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Di mana :

m_l adalah jumlah tulangan longitudinal

Tulangan spiral kolom bulat yang dipakai adalah $\varnothing 6 - 60$.

Rasio tulangan spiral yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Spiral}} &= \frac{(\pi \cdot D_c) \cdot A_{sv}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c^2\right) s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 124,2) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2\right)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) 60} \\ &= 0,0129\end{aligned}$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,0129$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \quad (2.11)$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \quad (2.12)$$

$$K_e = 0,95$$

$$\begin{aligned}f'_{lx} = f'_{ly} &= 0,95 \times 0,0129 \times 200,96 \\ &= 2,47 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,47}{20,09} = 0,122$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f'_c} \right) \quad (2.13)$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,0129 \times \left(\frac{200,96}{20,09} \right) = 1,26$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c} \quad \Longrightarrow \quad f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1,146 \times 20,09 = 25,40 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (2.18)$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{25,42}{20,09} - 1 \right) \right] = 0,00465$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,0129 \times 200,96 \times \frac{0,15}{23,026} = 0,0254$$

Beban maksimum kolom CCS adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_s) + (A_s \times n)) \\ &= 23,026 \times ((17662,5 - 158,58) + (158,58 \times 9,49)) \\ &= 483223 \text{ N} = 48,3223 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 3.3. Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Spiral BJTP (CCS) menurut Mander, dkk.

No	ε_c	X	f _c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00077	0.16501	12.916
3	0.00153	0.33001	19.715
4	0.00230	0.49502	23.031
5	0.00307	0.66002	24.585
6	0.00383	0.82503	25.234
7	0.00465	0.99004	25.404
8	0.00537	1.15504	25.315
9	0.00613	1.32005	25.084
10	0.00690	1.48505	24.777
11	0.00767	1.65006	24.431
12	0.00826	1.77864	24.149
13	0.00886	1.90722	23.863
14	0.00946	2.03580	23.577
15	0.01005	2.16439	23.295
16	0.01065	2.29297	23.018
17	0.01125	2.42155	22.748
18	0.01185	2.55013	22.485
19	0.01244	2.67871	22.229
20	0.01304	2.80730	21.981
21	0.02543	5.47423	18.260

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.3.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik (no urut 1 s/d 11)

$$\varepsilon_c = \frac{0,002}{10}$$

Regangan beton turun (no urut 11 s/d 21)

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,002 \cdot f'_c}{f'_c - 1000}$$

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0,002 [1 + 5(f'_{cc} / f'_c - 1)]$$

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

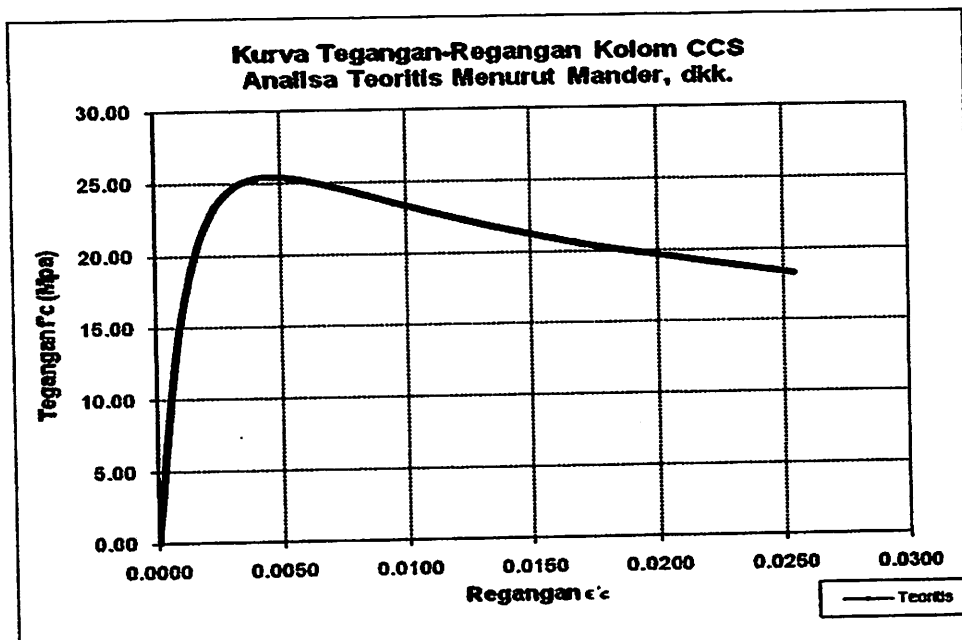
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{scc}} \quad (2.16)$$

$$E_{scc} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.17)$$

$$f'_c = K * f'_c$$

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *tulangan spiral* (CCS) yang terlihat pada Gambar 3.4. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.4 yaitu angka-angka pada kolom 2 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (tegangan).



Gambar 3.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom CCS.

3.6.3. Kolom Beton Terkekang Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)

Kolom CCFMS adalah kolom beton yang terkekang tulangan spiral BJTP $\emptyset 6-100$, yang mana tulangan spiral yang terpasang pada kolom CCFMS belum memenuhi syarat pengekanan untuk kolom yang memikul beban gempa sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4 sehingga perlu dibungkus lagi menggunakan *fine mesh* pada bagian luar tulangan spiral agar total ρ_s -nya memenuhi syarat pengekanan yang setara dengan ρ_s pada kolom CCS.

Rasio tulangan transversal (ρ_s) kolom CCFMS sulit dibuat sama persis dengan ρ_s kolom CCS, karena setiap layer *fine mesh* mempunyai nilai ρ_s . Penentuan jumlah layer *fine mesh* sebanyak 2 layer pada kolom CCFMS adalah yang paling dekat dengan ρ_s kolom CCS, karena bila jumlah layer *fine mesh* dibuat menjadi 3 layer maka ρ_s kolom CCFMS akan jauh lebih tinggi dari ρ_s kolom CCS.

$$\begin{aligned}
 A_{sfm} &= m_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \\
 &= 19 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,9^2 \\
 &= 53,89 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= m_1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\
 &= 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,8^2 \\
 &= 286,554 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan spiral yang dibungkus *fine mesh* ekuivalen dengan rasio tulangan spiral, dengan rincian perhitungan :

- *Tulangan spiral yang terpasang pada kolom bulat adalah $\phi 6 - 100$.*

$$\begin{aligned}
 D_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 2x\phi \text{ fine mesh} - \phi \text{ tulangan spiral} \\
 &= 150 - (2 \times 10) - (2 \times 1,9) - 5,8 \\
 &= 120,4 \text{ mm} \\
 D_c' &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 2x\phi \text{ fine mesh} \\
 &= 150 - (2 \times 10) - (4 \times 1,9) \\
 &= 126,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan spiral yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned}
 \rho_{s \text{ terpasang}} &= \frac{(\pi \cdot D_c) \cdot A_{sv}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c'^2\right) s} \\
 &= \frac{(\pi \cdot 120,4) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2\right)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 126,2^2\right) 100} \\
 &= 0,007993
 \end{aligned}$$

- *Layer 1 (lapisan dalam) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{cfm} &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - (2x\phi \text{ fine mesh}) - \phi \text{ fine mesh} \\
 &= 150 - (2 \times 10) - (2 \times 1,9) - 1,9 = 124,3 \text{ mm} \\
 D'_{cfm} &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - (2x\phi \text{ fine mesh}) \\
 &= 150 - (2 \times 10) - (2 \times 1,9) = 126,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio *fine mesh* ($\rho_{s \text{ fm}}$) untuk layer dalam adalah :

$$\begin{aligned}
 \rho_{s \text{ fm}} &= \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) \cdot A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'_{cfm}{}^2\right) s} \\
 &= \frac{(\pi \cdot 124,3) (2,83)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 126,2^2\right) 50}
 \end{aligned}$$

$$= 0,001773$$

- *Layer 2 (lapisan luar) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = D - (2 \times \text{selimut beton}) - \varnothing \text{ fine mesh}$$

$$150 - 10 - 10 - 1,9 = 128,1 \text{ mm}$$

$$D'_{cfm} = D - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$150 - 10 - 10 = 130 \text{ mm}$$

Rasio *fine mesh* (ρ_{sfm}) untuk layer dalam adalah :

$$\rho_{sfm} = \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'_{cfm}{}^2\right) s}$$

$$= \frac{(\pi \cdot 128,1) (2,83)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) 50}$$

$$= 0,00172$$

$$\text{Rasio total} = \rho_x = \rho_y = 0,007993 + 0,001773 + 0,00172$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,01148$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \quad (2.11)$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \quad (2.12)$$

$$K_e = 0,95$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,95 \times 0,01148 \times 200,96$$

$$= 2,192 \text{ MPa}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,192}{20} = 0,1096$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f'_c} \right) \quad (2.13)$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,01148 \times \left(\frac{200,96}{20,09} \right) = 1,235$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c} \implies f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1,235 \times 20,09 = 24,82 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (2.18)$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{24,82}{20,09} - 1 \right) \right] = 0,00435$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,0118 \times 200,96 \times \frac{0,15}{24,82} = 0,0235$$

Beban maksimum kolom CCFMS adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_s - A_{sfm}) + (A_s \times n) + (A_{s, fm} \times n)) \\ &= 24,82 \times ((17662,5 - 286,554 - 53,89) + (286,554 \times 9,49) + \\ &\quad (53,89 \times 9,49)) \\ &= 511159,8 \text{ N} = 51,11598 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 3.4. Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Spiral BJTP yang dibungkus *Fine Mesh* (CCFMS) menurut Mander, dkk.

No	ε_c	X	f _c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00075	0.17151	12.734
3	0.00150	0.34302	19.459
4	0.00225	0.51454	22.701
5	0.00300	0.68605	24.179
6	0.00376	0.85756	24.757
7	0.00435	1.02907	24.82
8	0.00526	1.20058	24.722
9	0.00601	1.37209	24.445
10	0.00676	1.54361	24.125
11	0.00751	1.71512	23.812
12	0.00811	1.85153	23.406
13	0.00870	1.98794	23.094

14	0.00930	2.12435	22.784
15	0.00990	2.26076	22.480
16	0.01050	2.39717	22.183
17	0.01109	2.53358	21.895
18	0.01169	2.66999	21.616
19	0.01229	2.80640	21.345
20	0.01289	2.94281	21.084
21	0.0235	5.40909	17.615

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.4.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik

$$\varepsilon_c = \frac{0,002}{10}$$

Regangan beton turun

$$\varepsilon_{su} = \frac{3 + 0,002 \cdot f'_c}{f'_c - 1000}$$

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \tag{2.15}$$

$$\varepsilon_{cc} = 0,002 [1 + 5(f'_{cc} / f'_c - 1)]$$

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

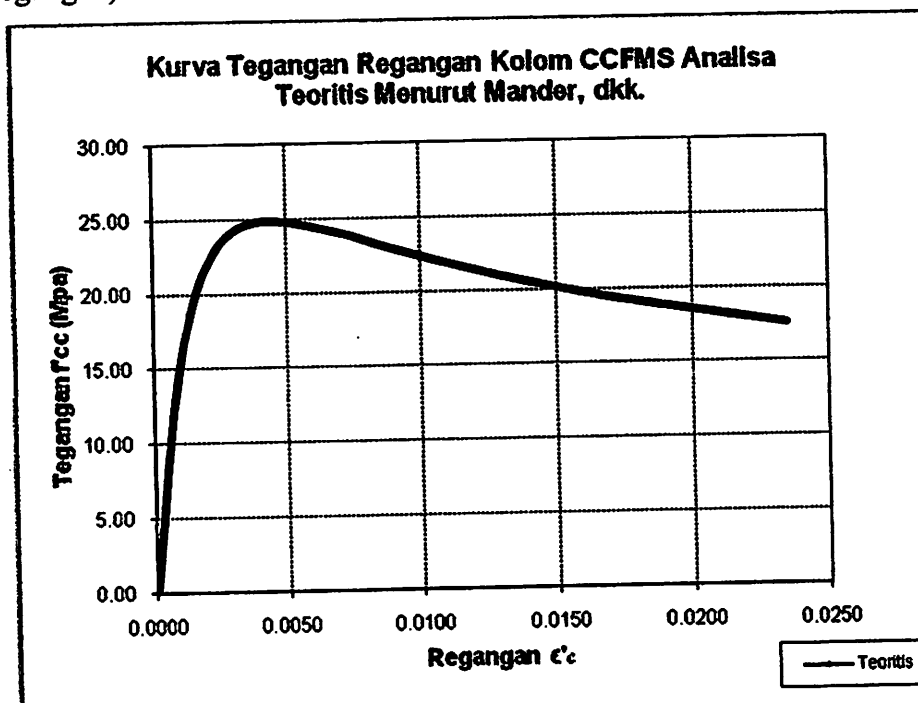
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \tag{2.14}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{scc}} \tag{2.16}$$

$$E_{scc} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \tag{2.17}$$

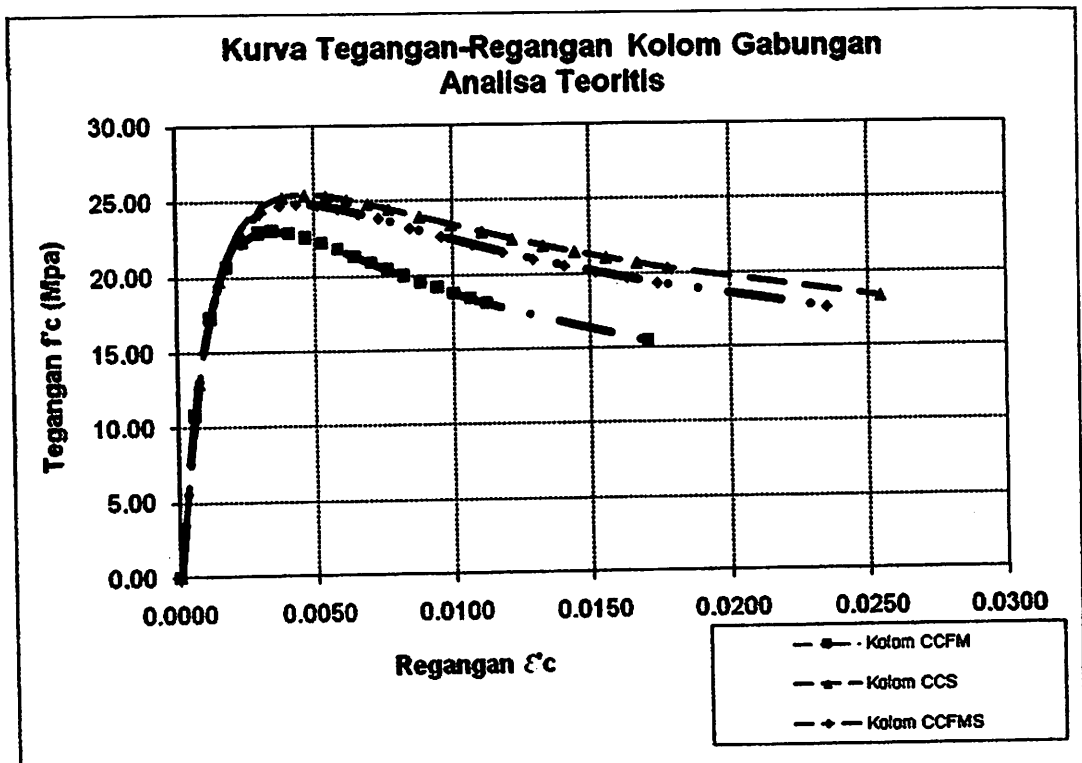
$$f'_{cc} = K * f'_c$$

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *tulangan spiral* yang dibungkus dengan *fine mesh (CCFMS)* yang terlihat pada Gambar 3.5. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.5 yaitu angka-angka pada kolom 2 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (tegangan).



Gambar 3.5. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom CCFMS

Gambar 3.6 adalah gambar kurva tegangan-regangan hasil analisa teoritis kolom CCFM (Gambar 3.3), CCS (Gambar 3.4), dan CCFMS (Gambar 3.5) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Kolom beton terkekang setelah mencapai tegangan puncak masih mengalami displacement yang besar hingga mencapai regangan ultimit kemudian baru mengalami keruntuhan.



Gambar 3.6. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton Analisa Teoritis Gabungan

Mengacu pada Tabel 3.6. terlihat bahwa hasil analisa teoritis kolom CCFM mempunyai efektifitas pengekangan yang cukup baik sedangkan CCS dan CCFMS mempunyai nilai peningkatan kuat tekan (f'_{cc}), regangan puncak beton terkekang (ϵ'_{cc}) dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) mempunyai nilai yang relatif hampir sama.

Tabel 3.5. Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Teoritis

No.	Tipe Kolom	ρ_s	Teoritis			
			f'_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	P_{maks} (ton)
1	CCFM	0,00354	23,026	0,00346	0,017	41,72
2	CCS	0,0129	25,40	0,00465	0,0254	48,32
3	CCFMS	0,0118	24,82	0,00435	0,0235	51,11

3.7. Laporan yang telah dikerjakan

Pada tahap ini dilakukan pengolahan dan analisa data. Analisa terhadap data hasil eksperimen meliputi pengkajian terhadap peningkatan kuat tekan beton, regangan tekan beton pada saat tegangan maksimum (ϵ'_{cc}) dan regangan tekan beton ultimit (ϵ'_{cu}), dengan membandingkan f_c - ϵ_c diagram ke-empat sampel, khususnya f'_{cc} , K , ϵ'_{cc} , ϵ'_{cu} terutama dari sampel ke III dan IV.

Penyajian data-data yang telah dilakukan dari hasil penelitian ini antara lain adalah :

1. Pengaruh rasio volumetric, spasi, diameter, *fine mesh* terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
2. Pengaruh rasio volumetric, spasi, diameter, *tulangan spiral* terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
3. Pengaruh rasio volumetric, spasi, diameter, *tulangan spiral* yang diberi lapisan *fine mesh* terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
4. Pengaruh rasio volumetric, spasi, diameter dan *fine mesh* terhadap regangan tekan ultimit (ϵ'_{cu}) penampang beton.
5. Pengaruh rasio volumetric, spasi, diameter dan *tulangan spiral BJTP* terhadap regangan tekan ultimit (ϵ'_{cu}) penampang beton.
6. Pengaruh rasio volumetric, spasi, diameter dan *tulangan spiral* yang dibungkus *fine mesh* terhadap regangan tekan ultimit (ϵ'_{cu}) penampang beton.
7. Faktor penambahan kekuatan beton terkekang terhadap efektifitas *fine mesh*.
8. Faktor penambahan kekuatan beton terkekang terhadap efektifitas *tulangan spiral BJTP*.
9. Faktor penambahan kekuatan beton terkekang terhadap efektifitas *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh*.
10. Pengaruh efektifitas pengekangan dengan *fine mesh* terhadap regangan pada tegangan respon puncak kolom.

11. Pengaruh efektifitas pengekangan dengan *tulangan spiral BJTP* terhadap regangan pada tegangan respon puncak kolom.
12. Pengaruh efektifitas pengekangan dengan *tulangan spiral BJTP* yang diberi lapisan *fine mesh* terhadap regangan pada tegangan respon puncak kolom.
13. Pengaruh rasio volumetric, kapasitas pengekangan dan spasi *fine mesh* terhadap rasio penambahan kekuatan kolom.
14. Pengaruh rasio volumetric, kapasitas pengekangan dan spasi *tulangan spiral BJTP* terhadap rasio penambahan kekuatan kolom.
15. Pengaruh rasio volumetric, kapasitas pengekangan dan spasi *tulangan spiral BJTP* yang diberi lapisan *fine mesh* terhadap rasio penambahan kekuatan kolom.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Laboratorium

4.1.1. Perancangan Campuran Beton

Kuat tekan beton mutu normal direncanakan sebesar $f'_c = 20$ MPa dengan pengadukan menggunakan molen. Mix desain diperhitungkan menggunakan MCP 211-ACI-2006 dengan menggunakan material pasir dan kerikil dari Lumajang Jawa Timur serta Semen Gresik. Hasil perancangan campuran beton untuk 1 m^3 dengan komposisi material seperti terlihat pada Tabel 4.1. Hasil perancangan campuran beton selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2 tabel L2.1,

Tabel 4.1. Proporsi Campuran Beton Mutu 20 MPa

No.	Material	Volume	Satuan
1	Air	184	kg/m^3
2	Semen	306,66	kg/m^3
3	Agregat Kasar	953,6	kg/m^3
4	Agregat Halus	830,74	kg/m^3

4.1.1. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard ASTM C39-93a (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinder Concrete Specimen*). Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Untuk mendapatkan kuat tekan beton (f'_c) yang akan dipakai dalam menganalisa data eksperimen, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150×300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder berumur 28 hari, dengan jumlah silinder sebanyak 20 buah. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh sebesar $f'_c = 20.09$ MPa. Perhitungan kuat tekan silinder selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3 tabel L3.1.

4.1.3. Pengujian Tarik Baja Tulangan dan Fine Mesh

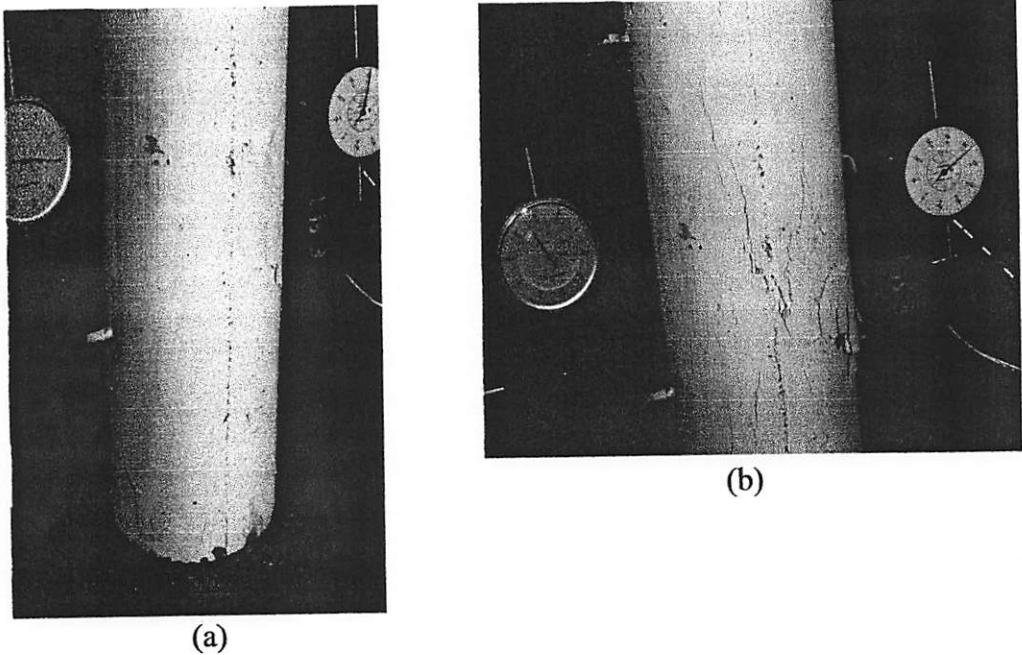
Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dan *fine mesh* menggunakan SNI 07-2052-2002. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Sebagaimana lazimnya, pengujian spesimen baja hanya dilakukan dengan tarikan saja, sedang pengujian tekan tidak dilakukan. Tulangan longitudinal dan spiral yang digunakan adalah Baja Tulangan Polos (BJTP) diameter 6 mm dan 8 mm dengan panjang awal BJTP adalah 200 mm serta pengujian *fine mesh* diameter 2 mm dengan panjang awal fine mesh adalah 200 mm. Masing-masing diameter diambil spesimen secara acak. Diameter aktual benda uji BJTP adalah diameter 5,8 mm dan diameter 7,8 dengan kuat leleh rata-rata hasil pengujian adalah $f_y = 200,98$ MPa. Sedangkan diameter aktual *fine mesh* adalah 2 mm dengan tegangan leleh rata-rata hasil pengujian adalah $f_{yfm} = 404,4$ MPa. Selengkapnya untuk hasil pengujian dan perhitungan pengujian tarik baja tulangan dan *fine mesh* dapat dilihat pada Lampiran 2 tabel L2.3.

4.2. Hasil Pengujian Tekan Kolom

4.2.1. Kolom Beton terkekang Fine Mesh (CCFM)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom CCFM-01 diawali dengan retak arah membelah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 30$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak tapi kolom tetap ditekan hingga beban turun menjadi $P = 31$ ton yang ditandai dengan lepasnya selimut beton, kemudian bagian inti beton mulai pecah karena efek pengekangan berkurang. Beban tekan tetap diberikan hingga beban turun mencapai $P = 22$ ton dengan besar displacement adalah 5,79 mm, setelah itu kolom hancur dengan yang ditandai dengan lelehnya fine mesh hingga bagian inti beton hancur.

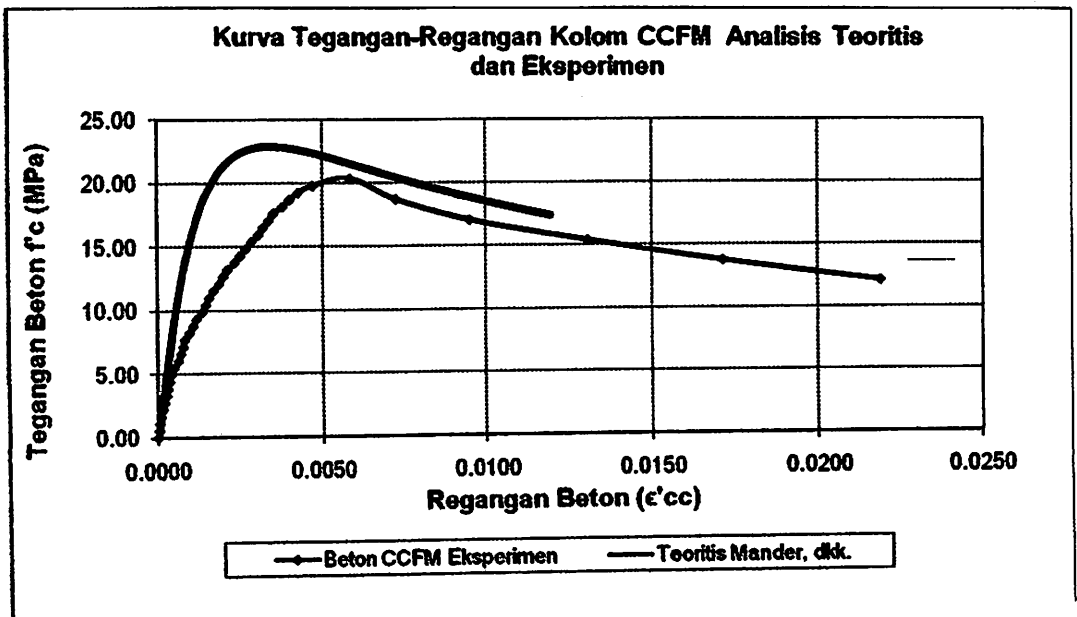


Gambar 4.1. Pengujian Kolom CCFM (a) Pada saat awal retak (b) Pada saat beban mencapai puncak

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar displacement yang diukur menggunakan alat LVDT sebanyak 2 buah dan dilakukan pembacaan nilai displacement menggunakan alat data logger. Nilai displacement yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah LVDT yang dibagi dengan tinggi LVDT mula-mula yaitu $L = 260$ mm untuk memperoleh nilai regangan. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 3.3.

Kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFM* hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Lampiran 3 Tabel L3.2 yaitu angka-angka pada kolom 9 dan kolom 10, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFM* hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.3. Kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFM* hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.2.



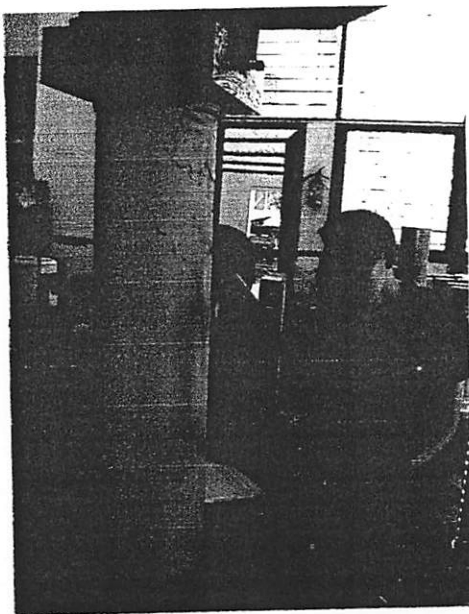
Gambar 4.2. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Fine Mesh (CCFM)

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Gambar 4.2, terlihat ada perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} pada kurva tegangan-regangan beton kolom CCFM eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} dapat diuraikan sebagai berikut : kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton terkekang f'_{cc} maksimum sebesar 20,354 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 23,0264 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 13,12 %. Nilai regangan beton terkekang ϵ'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,00587 sedangkan ϵ'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,00346 atau mengalami peningkatan sebesar 69,6 %. Nilai regangan beton terkekang ultimit ϵ'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,021 sedangkan ϵ'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0170 atau mengalami peningkatan sebesar 23,5 %. Dapat disimpulkan bahwa pengekangan kolom dengan *fine mesh* (analisa eksperimen) mempunyai daktilitas yang lebih baik dibanding pengekangan kolom dengan *tulangan sengkang BJTP* (analisa teoritis) karena terjadi displacement yang besar sebelum beton kolom pecah.. Tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 3 Tabel L3.2

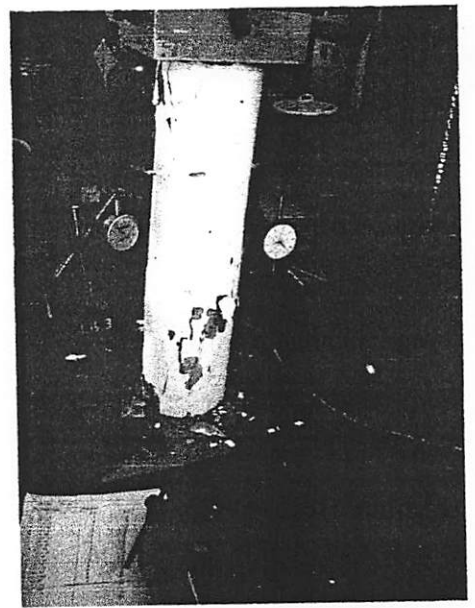
4.2.2. Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral (CCS)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom CCS diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 38$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.3, gambar ini diambil pada saat beban P telah mencapai beban puncak $P = 44$ ton yang ditandai dengan lepasnya selimut beton, kemudian bagian inti beton mulai pecah karena efek pengekgangan berkurang. Beban tekan tetap diberikan hingga beban turun mencapai $P = 36$ ton lalu terjadi lompatan beban turun hingga mencapai $P = 28$ ton sehingga pengujian kolom CCS dihentikan.



(a)



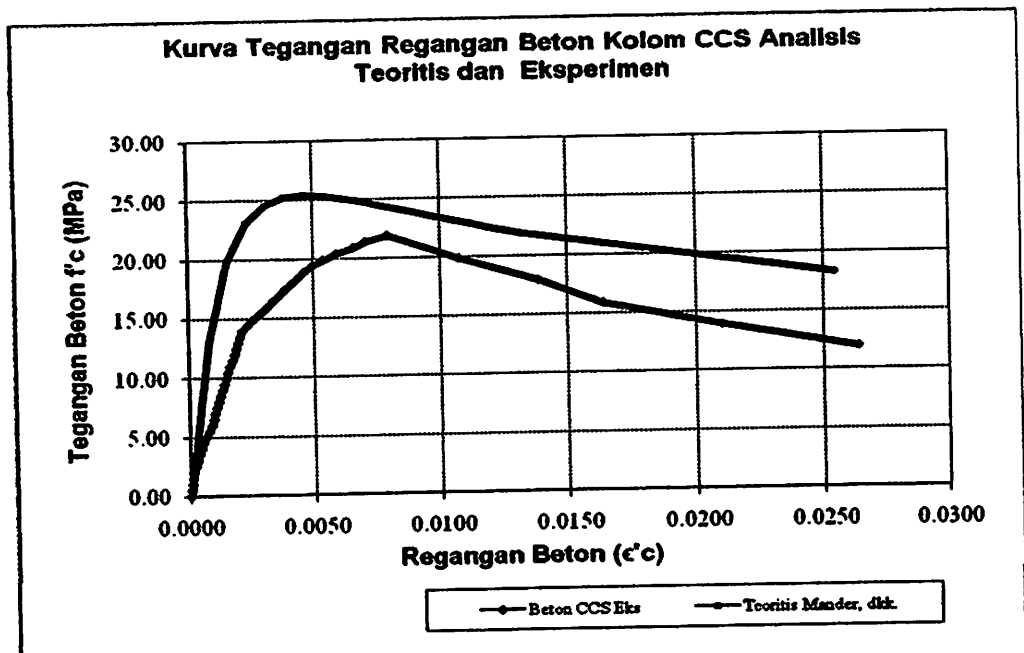
(b)

Gambar 4.3. Pengujian Kolom CCS (a) Pada saat mulai retak (b) Pada saat beban puncak

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar displacement yang diukur menggunakan alat LVDT sebanyak 2 buah dan dilakukan pembacaan nilai displacement menggunakan alat data logger. Nilai displacement yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah LVDT yang dibagi dengan tinggi LVDT mula-mula yaitu $L = 260$ mm untuk memperoleh nilai regangan.

Kurva tegangan-regangan beton kolom CCS hasil analisa eksperimen digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Lampiran 3 Tabel L3.3 yaitu angka-angka pada kolom 9 dan kolom 10, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom CCS hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.4. Kurva tegangan-regangan beton kolom CCS hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Tulangan Sengkang (CCS)

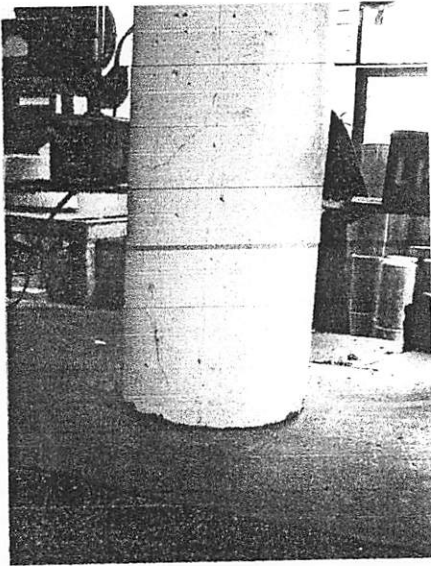
Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Gambar 4.4, terlihat ada perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} pada kurva tegangan-regangan beton

kolom CCS eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_{cc} , ε'_{cc} dan ε'_{cu} dapat diuraikan sebagai berikut : kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton terkekang f'_{cc} maksimum sebesar 21,883 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 25,40 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 16,3%. Nilai regangan beton terkekang ε'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,00788 sedangkan ε'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,00465 atau mengalami peningkatan sebesar 69,4 %. Nilai regangan beton terkekang ultimit ε'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,0263 sedangkan ε'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0254 atau mengalami peningkatan sebesar 3,57 %. Dapat dikatakan bahwa kurva tegangan-regangan hasil eksperimen mempunyai nilai regangan yang lebih besar sebelum terjadi keruntuhan kolom, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen mempunyai daktilitas yang lebih baik.. Tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 3 Tabel L3.3.

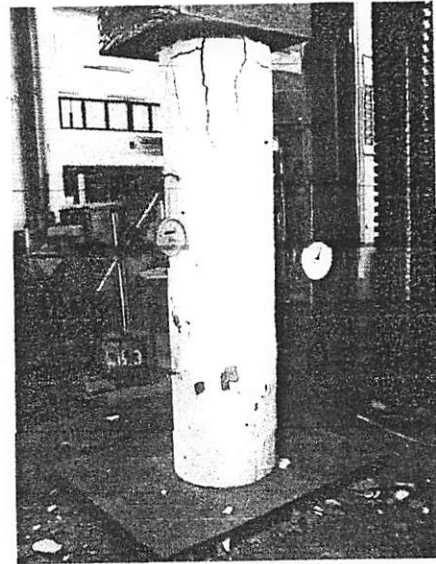
4.2.3. Kolom Beton Terkekang Tulangan Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom CCFMS diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 43$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.5, gambar ini diambil pada saat beban P telah mencapai beban puncak $P = 48$ ton yang ditandai dengan lepasnya selimut beton, kemudian bagian inti beton mulai pecah karena efek pengekangan berkurang. Beban tekan tetap diberikan hingga beban turun mencapai $P = 36$ ton lalu terjadi lompatan beban turun hingga mencapai $P = 28$ ton sehingga pengujian kolom CCFMS dihentikan.



(a)



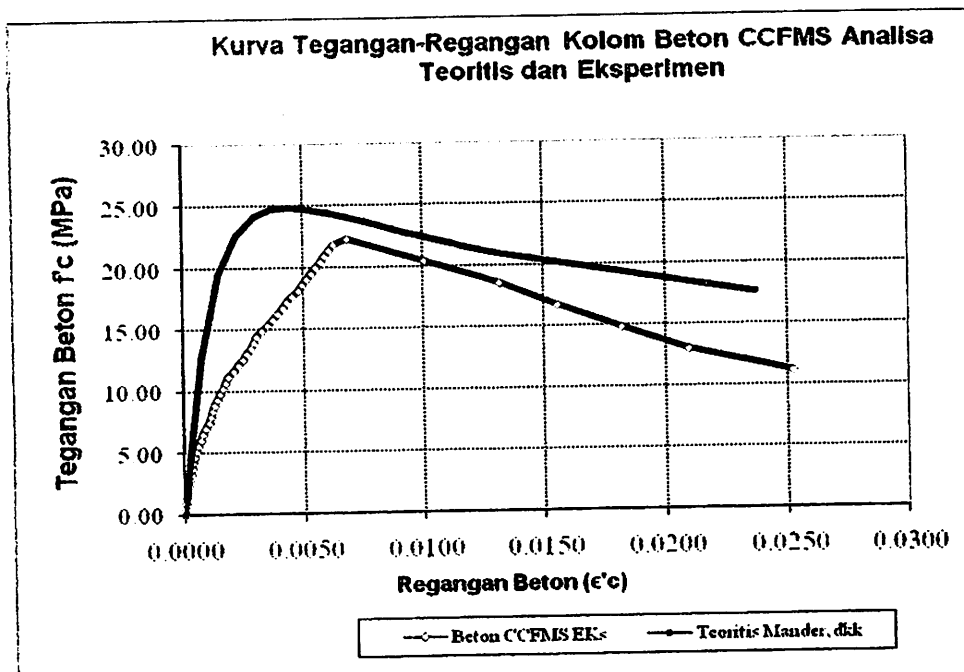
(b)

Gambar 4. 5. Pengujian kolom CCFMS (a) Pada saat mulai retak (b) Pada saat beban puncak

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar displacement yang diukur menggunakan alat LVDT sebanyak 2 buah dan dilakukan pembacaan nilai displacement menggunakan alat data logger. Nilai displacement yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah LVDT yang dibagi dengan tinggi LVDT mula-mula yaitu $L = 260$ mm untuk memperoleh nilai regangan.

Kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFMS* hasil analisa eksperimen digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Lampiran 3 Tabel L3.4. yaitu diambil dari angka-angka pada kolom 14 dan kolom 20, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFMS* hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. Di ambil dari gambar 3.5. Kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFMS* hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.6.

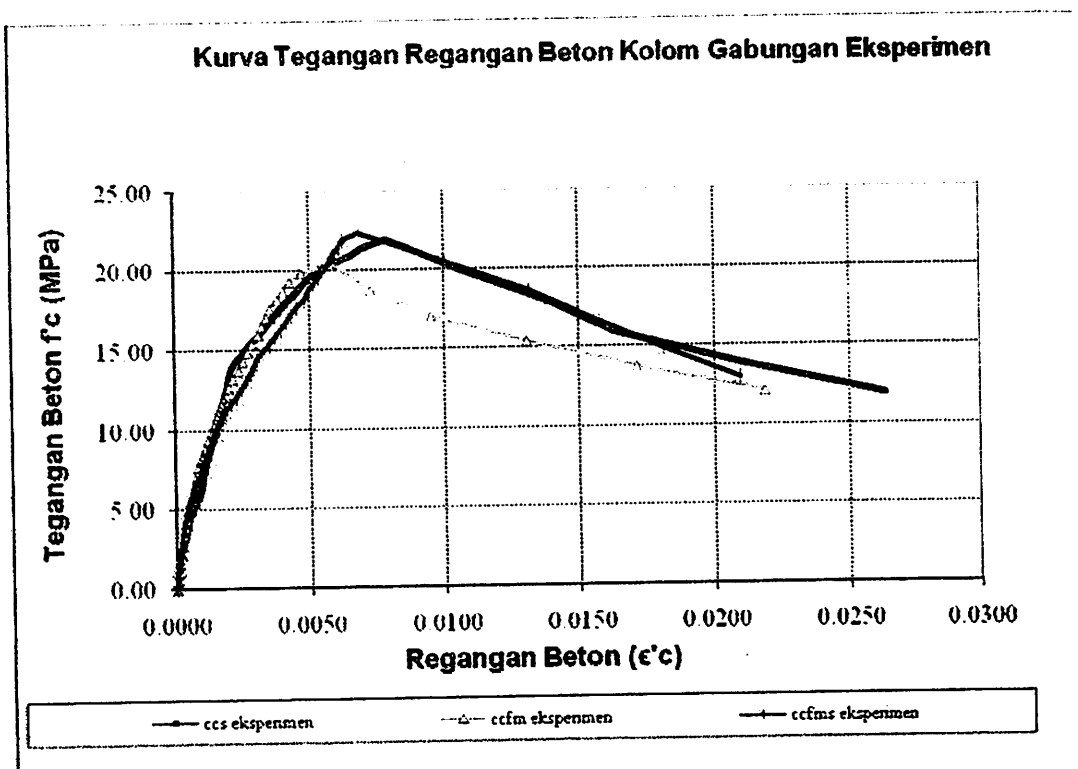


Gambar 4.6. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral yang diberi lapisan fine mesh (CCFMS)

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Gambar 4.6, terlihat ada perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} pada kurva tegangan-regangan beton kolom CCFMS eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} dapat diuraikan sebagai berikut : kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton terkekang f'_{cc} maksimum sebesar 22,304 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 24,82 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 11,20 %. Nilai regangan beton terkekang ϵ'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,00685 sedangkan ϵ'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,00435 atau mengalami peningkatan sebesar 57,4 %. Nilai regangan beton terkekang ultimit ϵ'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,0251 sedangkan ϵ'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0235 atau mengalami peningkatan sebesar 6,8 %. Dapat dikatakan bahwa kurva tegangan-regangan hasil eksperimen mempunyai nilai regangan yang lebih besar sebelum terjadi keruntuhan kolom, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen mempunyai daktilitas yang lebih baik. Tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 3 Tabel L3.4.

4.2.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton Gabungan 3 Kolom

Terlihat pada Gambar 4.7. kurva tegangan-regangan hasil eksperimen kolom yang terkekang tulangan spiral (CCS) dan kolom yang terkekang tulangan spiral BJTP yang dibungkus (CCFMS) terlihat terjadi peningkatan tegangan beton yang lebih besar, sedangkan regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) dan regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) relatif sama dengan regangan beton kolom CCFM.



Gambar 4.7. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Hasil Gabungan Eksperimen

Tabel 4.2. Hasil tegangan-regangan analisa eksperimen

No	Tipe Kolom	ρ_s	Eksperimen			
			f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	P_{max} (ton)
1	CCS	0.0129	21.883	0.00788	0.0263	44
2	CCFM	0.00354	20.354	0.00587	0.021	37
3	CCFMS	0.0118	22.304	0.00685	0.0251	48

Dari hasil analisa eksperimen pada Tabel 4.2 di atas, terlihat bahwa :

1. Kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh* (CCFMS) mempunyai rasio tulangan transversal (ρ_s), memiliki efektifitas pengekangan yang hampir sama dengan kolom beton yang terkekang tulangan sengkang BJTP (CCS), yang mana kuat tekan (f'_{cc}) kolom (CCFMS) berbeda sebesar 42,1 dari kolom CCS, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) kolom CCFMS berbeda 15,03 % dari kolom CCS, sedangkan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) kolom CCFMS berbeda 4,7 % dari kolom CCS.

4.3. Bukti Hipotesa Hasil Analisa

Tabel 4.3. Validasi hasil analisa teoritis dan eksperimen

No	Tipe Kolom	Teoritis			eksperimen		
		f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}
1	CCS	25.40	0.0046	0.0254	21.883	0.00788	0.0263
2	CCFM	23.026	0.00346	0.0170	20.354	0.00587	0.021
3	CCFMS	24.82	0.00435	0.0235	22.304	0.00685	0.0251

Berdasarkan hasil analisa teoritis dan analisa eksperimen pada Tabel 4.3 di atas, terlihat bahwa :

1. Kolom CCFM hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) berbeda sebesar 13,12 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 69,6 % dan regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 23,5 %.

2. Kolom CCS hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) berbeda sebesar 16,3 % , regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 69,4% dan regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 3,57 %.
3. Kolom CCFMS hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) berbeda sebesar 11,20 % , regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 57,4 % dan regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 6,8 %.
4. Dari uraian di atas kolom CCFM, CCS dan CCFMS, seiring dengan peningkatan ρ_s -nya menunjukkan peningkatan daktilitas secara proporsional.
5. Dari hasil eksperimen terlihat kuat tekan kolom beton terkekang (f'_{cc}) mengalami sedikit penurunan tapi penurunan kuat tekan beton tersebut tidak terlalu mempengaruhi kekuatan kolom karena kekuatan kolom diawali oleh tulangan bukan oleh beton. Regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) sedikit mengalami kenaikan, dan nilai regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) peningkatan yang cukup besar bila dibandingkan dengan analisis teoritis, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen mempunyai daktilitas yang baik dan fine mesh cukup aman digunakan sebagai pengekang kolom beton.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian yang terbatas ini memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Fine mesh* Ø 2-50 cukup efektif untuk meningkatkan daktilitas beton bila digunakan sebagai tulangan pengekang pada kolom beton.
2. Kolom beton dengan pengekangan *tulangan spiral* yang diberi lapisan *fine mesh (CCFMS)* mempunyai efektifitas pengekangan yang hampir sama bila dibandingkan dengan kolom beton yang dikekang *tulangan spiral (CCS)* walau ρ_s nya sedikit berbeda.
3. Kolom beton dengan pengekangan *tulangan spiral* yang diberi lapisan *fine mesh (CCFMS)*.
 - kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) adalah 22,304 sedangkan kolom beton yang dikekang *tulangan spiral (CCS)* kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) adalah 21,883 dengan perbedaan 1,9 %
 - regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) adalah 0,00685 sedangkan kolom beton yang dikekang *tulangan spiral (CCS)* regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) adalah 0,00788 dengan perbedaan 15 %
 - regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) adalah 0,0251 sedangkan kolom beton yang dikekang *tulangan spiral (CCS)* regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) adalah 0,0263 dengan perbedaan 4,7 %.
4. Model kurva tegangan-regangan beton hasil analisa eksperimental dan analisa teoritis usulan Mander, dkk. relatif berbentuk hampir sama, bahkan semua sample menunjukkan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) hasil eksperimental pengekangan *fine mesh* memiliki nilai regangan yang lebih besar dari analisa teoritis, sehingga rumus hubungan tegangan-

regangan beton bertulang (f'_{cc} & ϵ'_{cc}) yang diusulkan oleh Mander, dkk. aman digunakan pada kolom beton yang terkekang *fine mesh*.

5.2. Saran

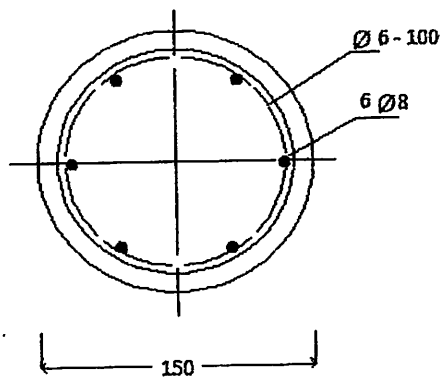
- Penambahan jumlah benda uji kolom dan dimensi benda uji perlu dipertimbangkan untuk memperkuat *validitas* hasil penelitian ini.
- Perlu satu set peralatan *UTM* agar pengujian kolom tidak dilakukan di luar kampus, biar lebih efisien dan efektif pada saat pengujian.

LAMPIRAN 1

- 1. Analisa Retrofitting Kolom dan Jumlah Layer Fine Mesh**
- 2. Tabel dan Grafik Analisa Teoritis Hubungan Tegangan-Regangan Kolom CCP, CCFM, CCS, CCFMS**

LAMPIRAN L1.1

➤ PERHITUNGAN RETROFITTING KOLOM DAN JUMLAH LAYER FINE MESH



A. Data Kolom

- Kuda tekan beton $f'_c = 20$ MPa
- Tegangan leleh *fine mesh* $f_{yh} = 404$ MPa
- Tegangan leleh baja tulangan polos BJTP $f_y = 200,96$ MPa
- Rasio tulangan longitudinal dipakai $\rho_{min} = 1\%$
- Selimut beton dari tepi luar tulangan spiral BJTP = 10 mm
- Diameter penampang kolom = 150 mm
- Diameter tulangan spiral $\varnothing = 6$ mm
- Diameter tulangan longitudinal $\varnothing = 8$ mm

Luas Penampang Kolom (A_g) :

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 150^2 \\ &= 17662,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

B. Tulangan Longitudinal :

Luas tulangan longitudinal :

$$\begin{aligned} A_{S_{perlu}} &= \rho \times A_g \\ &= 0,01 \times 17678,57 \\ &= 176,7857 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai tulangan longitudinal 6 Ø 8, $A_{S_{ada}} = 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 286,817 \text{ mm}^2$

$$\rho_{ada} = \frac{A_{S_{ada}}}{A_g} = \frac{286,817}{17678,57} \times 100\% = 1,622\% > \rho_{min} = 1\% \text{ (OK)}$$

C. Tulangan Spiral

$$\begin{aligned} D_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 2 \text{ Ø tulangan FM} - \text{Ø tulangan spiral} \\ &= 150 - (2 \times 10) - (2 \times 1,9) - 5,8 \\ &= 120,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{c'} &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 2 \text{ Ø tulangan FM} \\ &= 150 - (2 \times 10) - (2 \times 1,9) \\ &= 126,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{c'}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 126,2^2 \\ &= 12513,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Persyaratan rasio tulangan transversal untuk pengeangan adalah :

$$\begin{aligned} \rho_s &= 0,45 \frac{\left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot f'_c}{f_{yh}} \\ &= 0,45 \frac{\left(\frac{17678,57}{12513,6} - 1 \right) \cdot 20}{404} \\ &= 0,00919 \end{aligned}$$

Tulangan spiral yang terpasang pada kolom bulat adalah $\text{Ø}8 - 100$.

Rasio tulangan spiral yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{S\text{terpasang}} &= \frac{(\pi \cdot D_c) \cdot A_{sv}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'^2\right) s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 116,6) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2\right)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 122,4^2\right) 100} \\ &= 0,007993 < \rho_s = 0,00919\end{aligned}$$

Karena $\rho_s > \rho_{s\text{ada}}$, maka kolom harus menggunakan lapisan *fine mesh*.

Selisih rasio ρ_s untuk pengekanan terhadap ρ_s terpasang adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{s\text{ selisih}} &= \rho_s - \rho_{s\text{ terpasang}} \\ &= 0,00919 - 0,007993 \\ &= 0,001202\end{aligned}$$

Maka diperlukan tambahan lapisan *fine mesh* untuk pengekanan kolom.

D. Fine Mesh ($\text{Ø} 2 \text{ mm}$ grid 50 mm)

1). Menggunakan *Fine Mesh* $\text{Ø} 2 \text{ mm}$ grid 50 mm , dengan $s = 50 \text{ mm}$

Luas penampang *fine mesh* adalah :

$$\begin{aligned}A_{fm} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \text{Ø}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2^2 \\ &= 2,836 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Layer 1 (lapisan dalam) :

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 150 - 10 - 10 - (2 \times 1,9) - 1,9 = 124,3 \text{ mm}$$

$$D'_{cfm} = 150 - 10 - 10 - (2 \times 1,9) = 126,2 \text{ mm}$$

Rasio *fine mesh* ($\rho_{s\text{fm}}$) untuk layer dalam adalah :

$$\rho_{s\text{fm}} = \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'^2_{cfm}\right) s}$$

$$= \frac{(\pi \cdot 124,3) (2,836)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 126,2^2\right) 50}$$

$$= 0,001773$$

Layer 2 (lapisan luar) :

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 150 - 10 - 10 - 1,9 = 128,1 \text{ mm}$$

$$D'_{cfm} = 150 - 10 - 10 = 130 \text{ mm}$$

Rasio fine mesh (ρ_{sfm}) untuk layer dalam adalah :

$$\rho_{sfm} = \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'_{cfm}{}^2\right) s}$$

$$= \frac{(\pi \cdot 128,1) (2,836)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) 50}$$

$$= 0,00172$$

Maka jumlah layer *fine mesh* kolom bulat adalah :

$$\text{Jumlah layer Fine Mesh} = \frac{\rho_{sfm}}{\rho_{s \text{ selisih}}}$$

$$= \frac{0,00341}{0,001202}$$

$$= 2,2 \sim 2 \text{ layer}$$

Maka dibutuhkan 2 layer *fine mesh* Ø 2 grid 50 mm, untuk pengekangan pada kolom bulat.

Tulangan Spiral

$$D_c = D - (2 \times \text{selimut beton}) - \text{Ø tulangan spiral}$$

$$= 150 - (2 \times 10) - 5,8$$

$$= 124,2 \text{ mm}$$

$$D_{c'} = D - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$= 150 - (2 \times 10)$$

$$= 130 \text{ mm}$$

$$A_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2$$

$$= 13266.5 \text{ mm}^2$$

Tulangan spiral untuk gempa kuat pada kolom bulat adalah $\emptyset 6 - 60$.

Rasio tulangan spiral yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Spiral}} &= \frac{(\pi \cdot D_c) \cdot A_{sv}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c^2\right) \cdot s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 124,2) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,8^2\right)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) 60} \\ &= 0,0129 \dots\dots\dots \rho_s = 0,00919 \end{aligned}$$

LAMPIRAN L1.2

Tabel dan Grafik Analisa Teoritis Hubungan Tegangan-Regangan Kolom CCFM, CCS, CCFMS

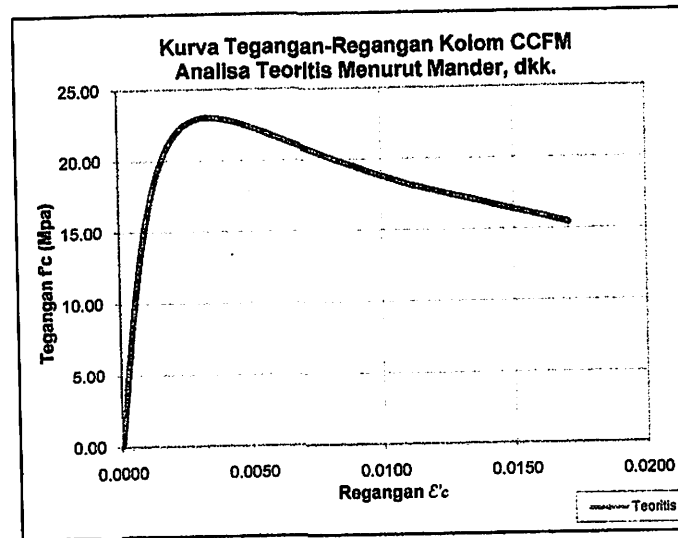
1) Analisa Teoritis Kolom Beton dikekang Fine Mesh (CCFM) menurut Mander, dkk

$\epsilon_{co} = 0.002$
 $\epsilon_{cc} = 0.0034614$
 $E_{sec} = 6652.1417 \text{ MPa}$
 $r = 1.4615012$
 $E_c = 21066.279 \text{ MPa}$
 $K = 1.1461$
 $p_{stm} = 0.0035451$
 $f_{cc} = 23.026 \text{ MPa}$
 $f_{yh} = 404 \text{ MPa}$
 $\epsilon_{sm} = 0.15$
 $\epsilon_{cu} = 0.017062$

No	ϵ_c	X	f_c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00060	0.17256	10.790
3	0.00119	0.34512	17.264
4	0.00179	0.51767	20.653
5	0.00239	0.69023	22.266
6	0.00299	0.86279	22.908
7	0.00346	0.99958	23.026
8	0.00406	1.17214	22.896
9	0.00465	1.34470	22.591
10	0.00525	1.51725	22.194
11	0.00585	1.68981	21.753
12	0.00645	1.86237	21.296
13	0.00704	2.03493	20.840
14	0.00764	2.20749	20.393
15	0.00824	2.38004	19.960
16	0.00884	2.55260	19.544
17	0.00943	2.72516	19.146
18	0.01003	2.89772	18.767
19	0.01063	3.07027	18.406
20	0.01122	3.24283	18.060
21	0.01706	4.92857	15.427

Keterangan Kolom :

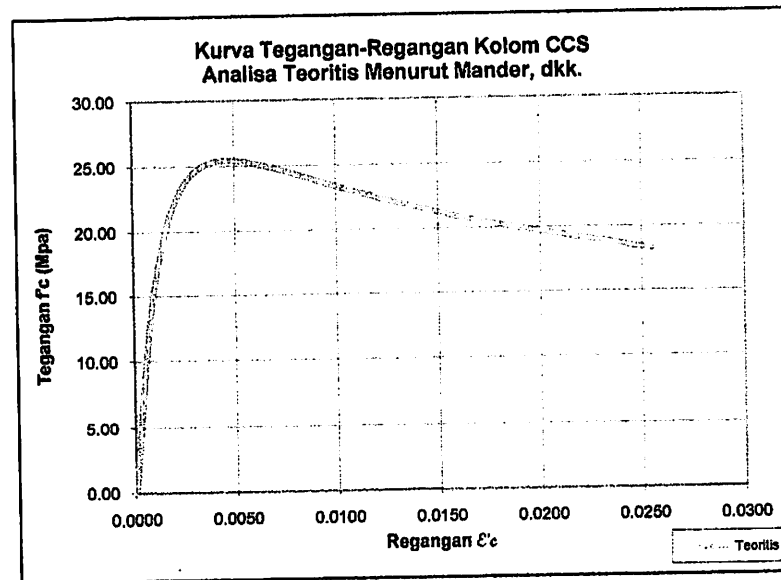
Kolom 1 = Nomor urut
 Kolom 2 = Regangan Beton
 Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton
 Kolom 4 = Kuat tekan beton



2) Analisa Teoritis Kolom Beton dikekang Tulangan Spiral (CCS) menurut Mander, dkk.

ϵ_{co} = 0.002
 ϵ_{cc} = 0.0046453
 E_{sec} = 5468.8487 MPa
 Γ = 1.350625
 μ = 21000.419 MPa
 K = 1.2645
 P_{sh} = 0.0129
 f_{cc} = 25.404 MPa
 f_{yh} = 200.98 MPa
 ϵ_{sm} = 0.15
 ϵ_{cu} = 0.0254294

No	ϵ_c	X	f_c (Mpa)
1	0	0	0
2	0.00077	0.16501	12.916
3	0.00153	0.33001	19.715
4	0.00230	0.49502	23.031
5	0.00307	0.66002	24.585
6	0.00383	0.82503	25.234
7	0.00464	0.99886	25.404
8	0.00541	1.16387	25.305
9	0.00617	1.32887	25.069
10	0.00694	1.49388	24.759
11	0.00771	1.65888	24.412
12	0.00883	1.90022	23.878
13	0.00995	2.14156	23.345
14	0.01107	2.38290	22.828
15	0.01219	2.62423	22.336
16	0.01331	2.86557	21.871
17	0.01443	3.10691	21.433
18	0.01555	3.34824	21.020
19	0.01667	3.58958	20.632
20	0.01780	3.83092	20.267
21	0.02543	5.47423	18.260



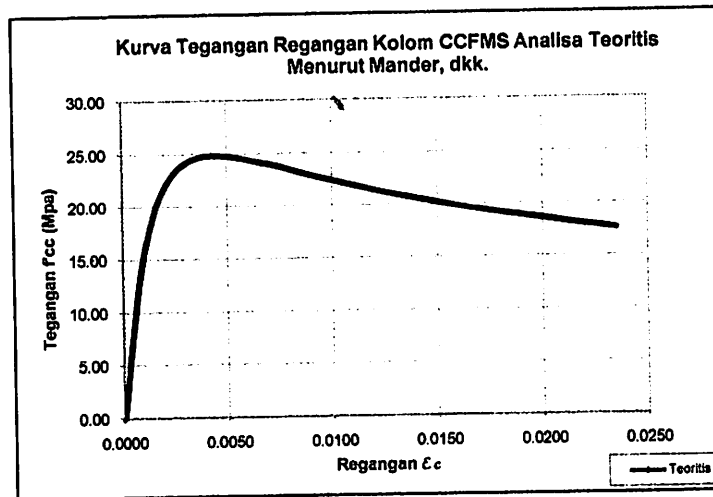
Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut
 Kolom 2 = Regangan Beton
 Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton
 Kolom 4 = Kuat tekan beton
 Baris 1-11 adalah kurva naik
 Baris 12-21 adalah kurva turun

3) Analisa Teoritis Kolom Beton dikekang Tulangan Spiral yang diberi Iplan Fine Mesh (CCFMS) menurut Mander, dkk.

ϵ_{co} = 0.002
 ϵ_{cc} = 0.0043544
 E_{sec} = 5699.9749 MPa
 γ = 1.3709399
 E_c = 21086.279 MPa
 K = 1.2338
 ρ_{aktual} = 0.0114
 $f'_{c c}$ = 24.820 MPa
 f_{yh} = 200.98 MPa
 ϵ_{sm} = 0.15
 ϵ_{cu} = 0.0235

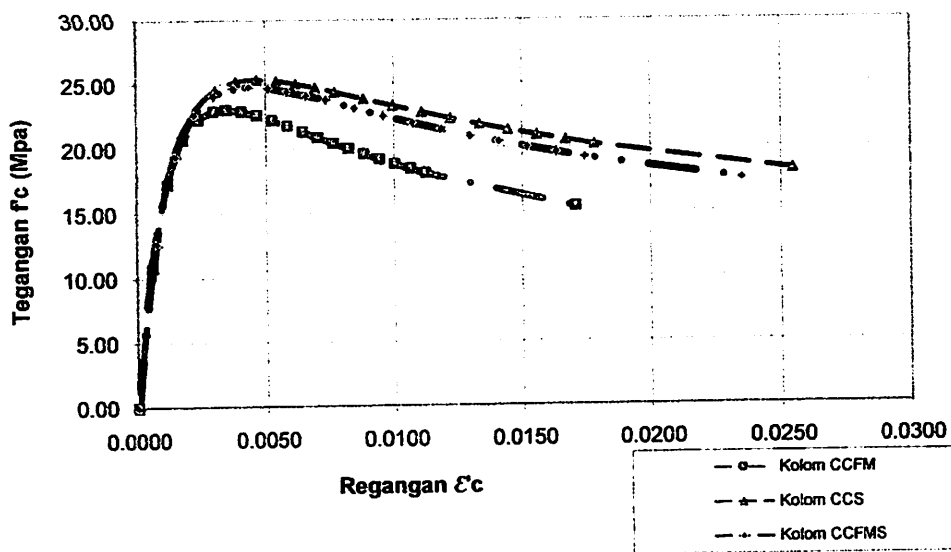
No	ϵ_c	X	f_c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00075	0.17247	12.736
3	0.00150	0.34494	19.453
4	0.00225	0.51741	22.683
5	0.00300	0.68988	24.149
6	0.00376	0.86235	24.716
7	0.00435	0.98889	24.820
8	0.00510	1.17146	24.709
9	0.00585	1.34393	24.446
10	0.00660	1.51640	24.125
11	0.00735	1.68886	23.812
12	0.00848	1.94832	23.135
13	0.00960	2.20378	22.551
14	0.01072	2.46124	21.990
15	0.01184	2.71870	21.460
16	0.01296	2.97616	20.962
17	0.01408	3.23362	20.496
18	0.01520	3.49108	20.060
19	0.01632	3.74853	19.651
20	0.01744	4.00599	19.269
21	0.02350	5.39883	17.681



Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut
 Kolom 2 = Regangan Beton
 Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton
 Kolom 4 = Kuat tekan beton
 Baris 1-11 adalah kurva naik
 Baris 12-21 adalah kurva turun

Kurva Tegangan-Regangan Kolom Gabungan Analisa Teoritis



LAMPIRAN 2

- 1. Perancangan campuran beton**
- 2. Pengolahan data hasil uji tarik baja tulangan polos (BJTP) diameter $\varnothing = 8$ mm dan $\varnothing = 6$ mm**
- 3. Pengolahan data hasil uji tarik fine mesh diameter $\varnothing = 2$ grid 50 x 50 mm**

LAMPIRAN L2.1
PERANCANGAN CAMPURAN BETON

No	Uraian	Tabel, Perhitungan, Peraturan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	20 N/mm ² pada umur 28 hari
2	Standar Deviasi	Dari laboratorium beton	Bagian Cacat 10% 4 N/mm ²
3	Nilai tambah (margin)		$k = 1,34 \times 4 = 5.36 \text{ N/mm}^2$
4	Kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.1)	$f_{cr} = f_c + 1,34 \times s$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = 20 + 1,34 \times 4 = 25.36 \text{ N/mm}^2$
			$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$
			$f_{cr} = 20 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 25.82 \text{ N/mm}^2$
5	Kekuatan tekan rata-rata yang dipakai	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	25.82 N/mm ²
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Grasik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19mm)
8	Jenis Agregat halus	Ditetapkan	Pasir lumajang
9	Faktor Air semen	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.4(a)	0,60
10	Nilai slump	MCP 211.1-91 Tabel A1.5.3.1	80 mm
11	Ukuran agregat maksimum	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	19 mm
12	Kadar air bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	184 kg/m ³
13	Kadar udara bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	2% per-m ³
14	Jumlah semen	(12) / (9) MCP pasal 6.3.5 step 5	$184/0,60 = 306.66 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton ITN	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton ITN	2730 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	2600 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	1490 kg/m ³
19	Jumlah presentasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.6	Didapat 0,64 atau 64%
20	Berat Jenis Beton	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.7.1	2275 kg/m ³
21	Jumlah Agregat Kasar	(18) x (19)	$0,64 \times 1490 = 953.6 \text{ kg}$
Sehingga didapat :			
22	Air	(12)	184 kg
23	Semen	(14)	306.66 kg
24	Agregat Kasar	(21)	953.6 kg
25	Total	(22) + (23) + (24)	1444.26 kg
26	Agregat Halus	(20) - (25)	$2275 - 1444.26 = 830.74 \text{ kg}$

Volume padat mutlak dengan jumlah Air, Semen dan Agregat Kasar :			
27	Volume Air	$(12) / 1000$	$184/1000 = 0,184 \text{ m}^3$
28	Volume Semen	$(23) / (15)$	$306.66/3150 = 0,097 \text{ m}^3$
29	Volume Agregat Kasar	$(21) / (17)$	$953.6/2600 = 0,36 \text{ m}^3$
30	Volume Udara	(13)	$2\% \times 1 = 0,020 \text{ m}^3$
31	Total Volume padat	$(27) + (28) + (29) + (30)$	$0,661 \text{ m}^3$
32	Volume padat dari pasir	$1 - (31)$	$1 - 0,661 = 0,339 \text{ m}^3$
33	Berat Agregat halus gradient	$(32) \times (16)$	$0,339 \times 2730 = 925.47 \text{ kg}$

Maka didapat Campuran Beton :

	Agregat	Berdasarkan Massa beton	Berdasarkan Gradient
34	Air	184 kg/m^3	184 kg/m^3
35	Semen	306.66 kg/m^3	306.66 kg/m^3
36	Agregat Kasar	953.6 kg/m^3	953.6 kg/m^3
	Agregat Halus	830.74 kg/m^3	830.74 kg/m^3

Referensi

- 1 SNI 03-2847-2002 dan S-2002
- 2 ACI - MCP 211.1-91 - 2006

TABLE A1.5.33 — APPROXIMATE MIXING WATER AND AIR CONTENT REQUIREMENTS FOR DIFFERENT SLUMPS AND NOMINAL MAXIMUM SIZES OF AGGREGATES (SI)

Slump, mm	Water, Kg/m ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate							
	9.5*	12.5*	19*	25*	37.5*	50†*	75††	150††
Non-air-entrained concrete								
25 to 50	207	199	180	179	166	164	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	146	124
150 to 176	249	228	216	202	190	178	160	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.6	2	1.6	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
25 to 50	181	176	168	160	160	142	122	107
75 to 100	202	193	184	176	165	167	133	119
150 to 176	216	206	197	184	174	166	164	—
Recommended average total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.6	3.0	2.6	2.0	1.5***††	1.0***††
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***††	3.0***††
Extreme exposure†††	7.5	7.0	6.0	6.0	6.5	5.0	4.5***††	4.0***††

*The quantities of mixing water given for air-entrained concrete are based on typical total air content requirements as shown for "moderate exposure" in the Table above. These quantities of mixing water are for use in computing cement contents for trial batches at 20 to 25 C. They are maximum for reasonably well-shaped angular aggregates graded within limits of accepted specifications. Rounded coarse aggregate will generally require 16 kg less water for non-air-entrained and 16 kg less for air-entrained concretes. The use of water-reducing chemical admixtures, ASTM C 494, may also reduce mixing water by 5 percent or more. The volume of the liquid admixtures is included as part of the total volume of the mixing water.

†The slump values for concrete containing aggregate larger than 40 mm are based on slump tests made after removal of particles larger than 40 mm by wet-screening.

††These quantities of mixing water are for use in computing cement factors for trial batches when 75 mm or 150 mm normal maximum size aggregate is used. They are average for reasonably well-shaped coarse aggregates, well-graded from coarse to fine.

‡Additional recommendations for air content and necessary tolerances on air content for control in the field are given in a number of ACI documents, including ACI 201, 345, 318, 301, and 302. ASTM C 94 for ready-mixed concrete also gives air content limits. The requirements in other documents may not always agree exactly so in proportioning concrete consideration must be given to selecting an air content that will meet the needs of the job and also meet the applicable specifications.

***For concrete containing large aggregates which will be wet-screened over the 40 mm sieve prior to testing for air content, the percentage of air expected in the 40 mm minus material should be as tabulated in the 40 mm column. However, initial proportioning calculations should include the air content as a percent of the whole.

†††When using large aggregate in low cement factor concrete, air entrainment need not be detrimental to strength. In most cases mixing water requirement is reduced sufficiently to improve the water-cement ratio and to thus compensate for the strength reducing effect of entrained air concrete. Generally, therefore, for these large nominal maximum sizes of aggregate, air contents recommended for extreme exposure should be considered even though there may be little or no exposure to moisture and freezing.

††††These values are based on the criteria that 9 percent air is needed in the mortar phase of the concrete. If the mortar volume will be substantially different from that determined in this recommended practice, it may be desirable to calculate the needed air content by taking 9 percent of the actual mortar volume.

incorrect air content in a trial batch of air-entrained concrete on slump, reduce or increase the mixing water content of A1.5.3.9.1 by 3 kg/m³ of concrete for each 1 percent by which the air content is to be increased or decreased from that of the trial batch.

A1.5.3.9.3 The re-estimated unit mass of the fresh concrete for adjustment of trial batch proportions is equal to the unit mass in kg/m³ measured on the trial batch, reduced or increased by the percentage increase or decrease in air content of the adjusted batch from the first trial batch.

TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

*Values are estimated average strengths for concrete containing not more than 2 percent air for non-air-entrained concrete and 6 percent total air content for air-entrained concrete. For a constant water-cement ratio, the strength of concrete is reduced as the air content is increased.

Strength is based on 152 x 305 mm cylinders moist-cured for 28 days in accordance with the sections on "Initial Curing" and "Curing of Cylinders for Checking the Adequacy of Laboratory Mixture Proportions for Strength or as the Basis for Acceptance or for Quality Control" of ASTM Method C 31 for Making and Curing Concrete Specimens in the Field. These are cylinders cured moist at 23 ± 1.7 C prior to testing.

The relationship in this Table assumes a nominal maximum aggregate size of about 9 to 25 mm. For a given source of aggregate, strength produced at a given water-cement ratio will increase as nominal maximum size of aggregate decreases; see Sections 3.4 and 5.3.2.

TABLE A1.5.3.4(b) — MAXIMUM PERMISSIBLE WATER-CEMENT RATIOS FOR CONCRETE IN SEVERE EXPOSURES (SI)*

Type of structure	Structure wet continuously or frequently and exposed to freezing and thawing†	Structure exposed to sea water or sulfates
Thin sections (railings, curbs, sills, ledges, ornamental work) and sections with less than 5 mm cover over steel	0.45	0.40†
All other structures	0.50	0.45†

*Based on ACI 201.2R.

†Concrete should also be air-entrained.

††If sulfate resisting cement (Type II or Type V of ASTM C 150) is used, permissible water-cement ratio may be increased by 0.05.

APPENDIX 1 – METRIC (SI) SYSTEM ADAPTATION

A1.1 Procedures outlined in this standard practice have been presented using inch-pound units of measurement. The principles are equally applicable in SI system with proper adaptation of units. This Appendix provides all of the information necessary to apply the proportioning procedure using SI measurements. Table A1.1 gives relevant conversion factors. A numerical example is presented in Appendix 2.

TABLE A1.1-CONVERSION FACTORS, in.-lb TO SI UNITS*

Quantity	in.-lb unit	SI† unit	Conversion factor (Ratio: in.-lb/SI)
Length	inch (in.)	millimeter (mm)	25.40
Volume	cubic foot (ft³)	cubic meter (m³)	0.02832
	cubic yard (yd³)	cubic meter (m³)	0.7646
Mass	pound (lb)	kilogram (kg)	0.4536
Stress	pounds per square inch (psi)	megapascal (MPa)	6.895 x 10 ⁻¹
Density	pounds per cubic foot (lb/ft³)	kilograms per cubic meter (kg/m³)	16.02
	pounds per cubic yard (lb/yd³)	kilograms per cubic meter (kg/m³)	0.5933
Temperature	degrees Fahrenheit (F)	degrees Celsius (C)	‡

*Gives names (and abbreviations) of measurement units in the inch-pound system as used in the body of this report and in the SI (metric) system, along with multipliers for converting the former to the latter. From ASTM E 380.
 †Système International d'Unités
 ‡C = (F - 32)/1.8

A1.2 For convenience of reference, numbering of subsequent paragraphs in this Appendix corresponds to the numbering of the report except that the designation "A1" is fixed. All tables have been converted and reproduced. Descriptive portions are included only where use of the SI system requires a change in procedure or formula. To the extent practicable, conversions to metric units have been made in such a way that values are realistic in terms of usual practice and significance of numbers. For example, aggregate and sieve sizes in the metric tables are ones commonly used in Europe. Thus, there is not always a precise mathematical correspondence between inch-pound and SI values in corresponding tables.

A1.5.3 Steps in calculating proportions – Except as discussed below, the methods for arriving at quantities of ingredients for a unit volume of concrete are essentially the same when SI units are employed as when inch-pound units are employed. The main difference is that the unit volume of concrete becomes the cubic meter and numerical values must be taken from the proper "A1" table instead of the one referred to in the text.

A1.5.3.1 Step 1. Choice of slump -- See Table A1.5.3.1.

TABLE A1.5.3.1 – RECOMMENDED SLUMPS FOR VARIOUS TYPES OF CONSTRUCTION (SI)

Types of construction	Slump, mm	
	Maximum*	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	75	25
Plain footings, caissons, and substructure walls	75	25
Beams and reinforced walls	100	25
Building columns	100	25
Pavements and slabs	75	25
Mass concrete	75	25

*May be increased 25 mm for methods of consolidation other than vibration

A1.5.3.2 Step 2. Choice of nominal maximum size of aggregate.

A1.5.3.3 Step 3. Estimation of mixing water and air content – See Table A1.5.3.3.

A1.5.3.4 Step 4. Selection of water-cement ratio – See Table A1.5.3.4.

A1.5.3.5 Step 5. Calculation of cement content.

A1.5.3.6 Step 6. Estimation of coarse aggregate content -- The dry mass of coarse aggregate required for a cubic meter of concrete is equal to the value from Table A1.5.3.6 multiplied by the dry-rodded unit mass of the aggregate in kilograms per cubic meter.

A1.5.3.7 Step 7. Estimation of fine aggregate content – In the SI, the formula for calculation of fresh concrete mass per cubic meter is:

$$U_M = 10G_c(100 - A) + C_M(1 - G_s/G_c) - W_M(G_s - 1)$$

where

- U_M = unit mass of fresh concrete, kg/m³
- G_s = weighted average specific gravity of combined fine and coarse aggregate, bulk, SSD
- G_c = specific gravity of cement (generally 3.15)
- A = air content, percent
- W_M = mixing water requirement, kg/m³
- C_M = cement requirement, kg/m³

A1.5.3.9 Step 9. Trial batch adjustments – The following "rules of thumb" may be used to arrive at closer approximations of unit batch quantities based on results for a trial batch:

A1.5.3.9.1 The estimated mixing water to produce the same slump as the trial batch will be equal to the net amount of mixing water used divided by the yield of the trial batch in m³. If slump of the trial batch was not correct, increase or decrease the re-estimated water content by 2 kg/m³ of concrete for each increase or decrease of 10 mm in slump desired.

A1.5.3.9.2 To adjust for the effect of

TABLE A1.5.3.6 — VOLUME OF COARSE AGGREGATE PER UNIT OF VOLUME OF CONCRETE (SI)

Nominal maximum size of aggregate, mm	Volume of dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli† of fine aggregate			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

*Volumes are based on aggregates in dry-rodded condition as described in ASTM C 29.

These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete such as required for concrete pavement construction they may be increased about 10 percent. For more workable concrete, such as may sometimes be required when placement is to be by pumping, they may be reduced up to 10 percent.

†See ASTM Method 136 for calculation of fineness modulus.

TABLE A1.5.3.7.1 — FIRST ESTIMATE OF MASS OF FRESH CONCRETE (SI)

Nominal maximum size of aggregate, mm	First estimate of concrete unit mass, kg/m ³ *	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

*Values calculated by Eq. (A1.5.3.7) for concrete of medium richness (330 kg of cement per m³) and medium slump with aggregate specific gravity of 2.7. Water requirements based on values for 75 to 100 mm slump in Table A1.5.3.3. If desired, the estimate of unit mass may be refined as follows if necessary information is available: for each 5 kg difference in mixing water from the Table A1.5.3.3 values for 75 to 100 mm slump, correct the mass per m³ 8 kg in the opposite direction; for each 20 kg difference in cement content from 330 kg, correct the mass per m³ 3 kg in the same direction; for each 0.1 by which aggregate specific gravity deviates from 2.7, correct the concrete mass 60 kg in the same direction. For air-entrained concrete the air content for severe exposure from Table A.1.5.3.3 was used. The mass can be increased 1 percent for each percent reduction in air content from that amount.

APPENDIX 2 — EXAMPLE PROBLEM IN METRIC (SI) SYSTEM

A2.1 Example 1 — Example 1 presented in Section 6.2 will be solved here using metric units of measure. Required average strength will be 24 MPa with slump of 75 to 100 mm. The coarse aggregate has a nominal maximum size of 7.5 mm and dry-rodded mass of 1600 kg/m³. As stated in Section 6.1, other properties of the ingredients are: cement — Type I with specific gravity of 3.15; coarse aggregate — bulk specific gravity 2.68 and absorption 0.5 percent; fine aggregate — bulk specific gravity 2.64, absorption 0.7 percent, and fineness modulus 2.8.

A2.2 All steps of Section 5.3 should be followed in sequence to avoid confusion, even though they sometimes merely restate information already given.

A2.2.1 Step 1 — The slump is required to be 75 to 100 mm.

A2.2.2 Step 2 — The aggregate to be used has a nominal maximum size of 37.5 mm.

A2.2.3 Step 3 — The concrete will be non-air-entrained since the structure is not exposed to severe weathering. From Table A1.5.3.3, the estimated mixing water for a slump of 75 to 100 mm in non-air-entrained concrete made with 37.5 mm aggregate is found to be 181 kg/m³.

A2.2.4 Step 4 — The water-cement ratio for non-air-entrained concrete with a strength of 24 MPa is found from Table A1.5.3.4(a) to be 0.62.

A2.2.5 Step 5 — From the information developed in Steps 3 and 4, the required cement content is found to be 181/0.62 = 292 kg/m³.

A2.2.6 Step 6 — The quantity of coarse aggregate is estimated from Table A 1.5.3.6. For a fine aggregate having a fineness modulus of 2.8 and a 37.5 mm nominal maximum size of coarse aggregate, the table indicates that 0.71 m³ of coarse aggregate, on a dry-rodded basis, may be used in each cubic meter of concrete. The required dry mass is, therefore, 0.71 x 1600 = 1136 kg.

A2.2.7 Step 7 — With the quantities of water, cement and coarse aggregate established, the remaining material comprising the cubic meter of concrete must consist of fine aggregate and whatever air will be entrapped. The required fine aggregate may be determined on the basis of either mass or absolute volume as shown below:

A2.2.7.1 Mass basis — From Table A1.5.3.7.1, the mass of a cubic meter of non-air-entrained concrete made with aggregate having a nominal maximum size of 37.5 mm is estimated to be 2410 kg. (For a first trial batch, exact adjustments of this value for usual differences in slump, cement factor, and aggregate specific gravity are not critical.) Masses already known are:

Water (net mixing)	181 kg
Cement	292 kg
Coarse aggregate	<u>1136 kg</u>
Total	1609 kg

The mass of fine aggregate, therefore, is estimated to be

$$2410 - 1609 = 801 \text{ kg}$$

A2.2.7.2 Absolute volume basis — With the quantities of cement, water, and coarse aggregate established, and the approximate entrapped air content (as opposed to purposely entrained air) of 1 percent determined from Table A1.5.3.3, the sand content can be calculated as follows:

Volume of water	= $\frac{181}{1000}$	0.181 m ³
Solid volume of cement	= $\frac{292}{3.15 \times 1000}$	0.093 m ³

ute volume. The equivalent $w/(c+p)$ ratio by volume have to be recomputed for this condition since F_w has changed from that originally assumed in this example

$$\frac{W}{c+p} = \frac{3.15 \left(\frac{w}{c} \right)}{3.15(1 - F_w) + G_p(F_w)}$$

$$= \frac{3.15(0.75) + 2.40(0.25)}{(3.15)(0.60)}$$

$$= \frac{1.89}{2.36 + 0.60} = \frac{1.89}{2.96} = 0.64$$

l cementitious material would be $270 \div 0.64 = 422$ lb. This weight 20 percent ($F_w = 0.20$) would be fly ash; $422(0.20) = 84$ lb of fly ash and $422 - 84 = 338$ lb of cement.

6.3.5 Step 5. Calculation of cement content -- The amount of cement per unit volume of concrete is fixed by determinations made in Steps 3 and 4 above. The required cement is equal to the estimated mixing-water content (Step 3) divided by the water-cement ratio (Step 4). However, the specification includes a separate minimum amount of cement in addition to requirements for strength and workability, the mixture must be based on whichever criterion is the larger amount of cement.

The use of pozzolanic or chemical admixtures will affect properties of both the fresh and hardened concrete. See ACI

6.3.6 Step 6. Estimation of coarse aggregate content -- Aggregates of essentially the same nominal maximum size and grading will produce concrete of satisfactory workability in a given volume of coarse aggregate, on an oven-dry-rodded basis, is used per unit volume of concrete. Appropriate values for this aggregate volume are given in Table 6.3.6. It can be seen that, for equal workability, the volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete is dependent only on its nominal maximum size and the fine-

ness modulus of the fine aggregate. Differences in the amount of mortar required for workability with different aggregates, due to differences in particle shape and grading, are compensated for automatically by differences in oven-dry-rodded void content.

The volume of aggregate in ft^3 , on an oven-dry-rodded basis, for a yd^3 of concrete is equal to the value from Table 6.3.6 multiplied by 27. This volume is converted to dry weight of coarse aggregate required in a yd^3 of concrete by multiplying it by the oven-dry-rodded weight per ft^3 of the coarse aggregate.

6.3.6.1 For more workable concrete, which is sometimes required when placement is by pump or when concrete must be worked around congested reinforcing steel, it may be desirable to reduce the estimated coarse aggregate content determined using Table 6.3.6 by up to 10 percent. However, caution must be exercised to assure that the resulting slump, water-cement or water-cementitious materials ratio, and strength properties of the concrete are consistent with the recommendations in Sections 6.3.1 and 6.3.4 and meet applicable project specification requirements.

6.3.7 Step 7. Estimation of fine aggregate content -- At completion of Step 6, all ingredients of the concrete have been estimated except the fine aggregate. Its quantity is determined by difference. Either of two procedures may be employed: the weight method (Section 6.3.7.1) or the absolute volume method (Section 6.3.7.2).

6.3.7.1 If the weight of the concrete per unit volume is assumed or can be estimated from experience, the required weight of fine aggregate is simply the difference between the weight of fresh concrete and the total weight of the other ingredients. Often the unit weight of concrete is known with reasonable accuracy from previous experience with the materials. In the absence of such information, Table 6.3.7.1 can be used to make a first estimate. Even if the estimate of concrete weight per yd^3 is rough, mixture proportions will be sufficiently accurate to permit easy adjustment on the basis of trial batches as will be shown in the examples.

Table 6.3.6 -- Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.

†These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.

†See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Table 6.3.7.1 -- First estimate of weight of fresh concrete

Nominal maximum size of aggregate, in.	First estimate of concrete weight, lb/ yd^3 *	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
3/8	3840	3710
1/2	3890	3760
3/4	3960	3840
1	4010	3850
1 1/2	4070	3910
2	4120	3950
3	4200	4040
6	4260	4110

*Values calculated by Eq. (6-1) for concrete of medium richness (550 lb of cement per yd^3) and medium slump with aggregate specific gravity of 2.7. Water requirements based on values for 3 to 4 in. slump in Table 6.3.3. If desired, the estimated weight may be refined as follows if necessary information is available: for each 10 lb difference in mixing water from the Table 6.3.3 values for 3 to 4 in. slump, correct the weight per yd^3 15 lb in the opposite direction; for each 100 lb difference in cement content from 550 lb, correct the weight per yd^3 15 lb in the same direction; for each 0.1 by which aggregate specific gravity deviates from 2.7, correct the concrete weight 100 lb in the same direction. For air-entrained concrete the air content for severe exposure from Table 6.3.3 was used. The weight can be increased 1 percent for each percent reduction in air content from that amount.



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Pekerjaan :

Permintaan :

BERAT ISI AGREGAT KASAR BATU PECAH

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	21760	21660	21750
B.	Berat tempat	(gr)	7910	7910	7910
C.	Berat benda uji	(gr)	13850	13750	13840
D.	Isi tempat	(cm ³)	10000	10000	10000
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1.39	1.38	1.38
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.38		

PADAT			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	22710	22800	22770
B.	Berat tempat	(gr)	7910	7910	7910
C.	Berat benda uji	(gr)	14800	14890	14860
D.	Isi tempat	(cm ³)	10000	10000	10000
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1.48	1.49	1.49
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.49		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Pekerjaan :
0
0

Permintaan :

BERAT ISI HALUS (PASIR)

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji (gr)		8260	8310	8270
B.	Berat tempat (gr)		3570	3570	3570
C.	Berat benda uji (gr)		4690	4740	4700
D.	Isi tempat (cm ³)		3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji (gr/cm ³)		1.56	1.58	1.57
F.	Berat isi benda uji rata-rata (gr/cm ³)		1.57		

PADAT			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji (gr)		8790	8820	8840
B.	Berat tempat (gr)		3570	3570	3570
C.	Berat benda uji (gr)		5220	5250	5270
D.	Isi tempat (cm ³)		3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji (gr/cm ³)		1.74	1.75	1.76
F.	Berat isi benda uji rata-rata (gr/cm ³)		1.75		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Pekerjaan :
0
0

Permintaan :

BERAT ISI SEMEN

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji (gr)		6960	6970	6970
B.	Berat tempat (gr)		3570	3570	3570
C.	Berat benda uji (gr)		3390	3400	3400
D.	Isi tempat (cm ³)		3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji (gr/cm ³)		1.13	1.13	1.13
F.	Berat isi benda uji rata-rata (gr/cm ³)		1.13		

PADAT			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji (gr)		7390	7340	7360
B.	Berat tempat (gr)		3570	3570	3570
C.	Berat benda uji (gr)		3820	3770	3790
D.	Isi tempat (cm ³)		3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji (gr/cm ³)		1.27	1.26	1.26
F.	Berat isi benda uji rata-rata (gr/cm ³)		1.26		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Pekerjaan :

0

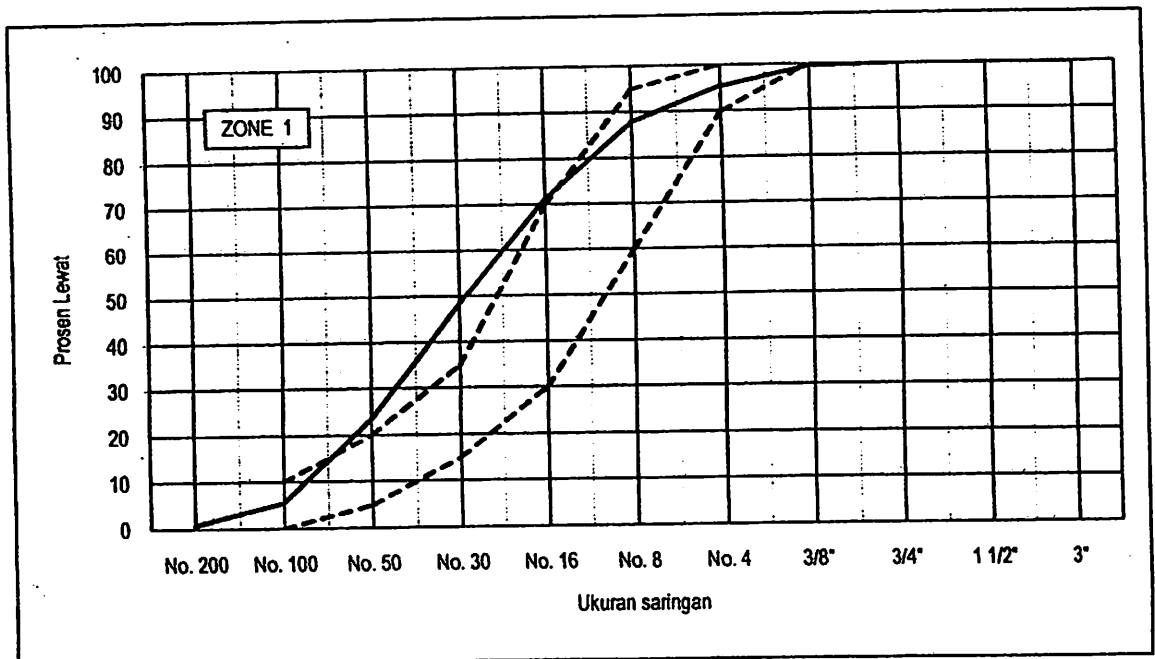
0

Permintaan : PT. BINATEL PRIMA

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Berat contoh kering : 2000 gr

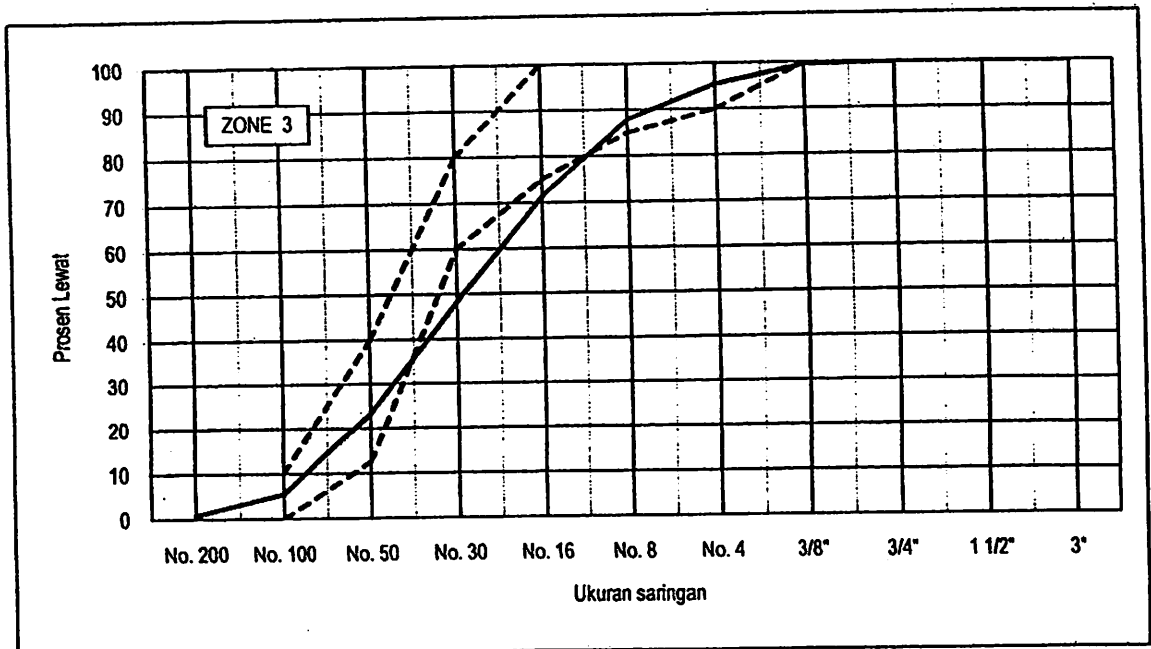
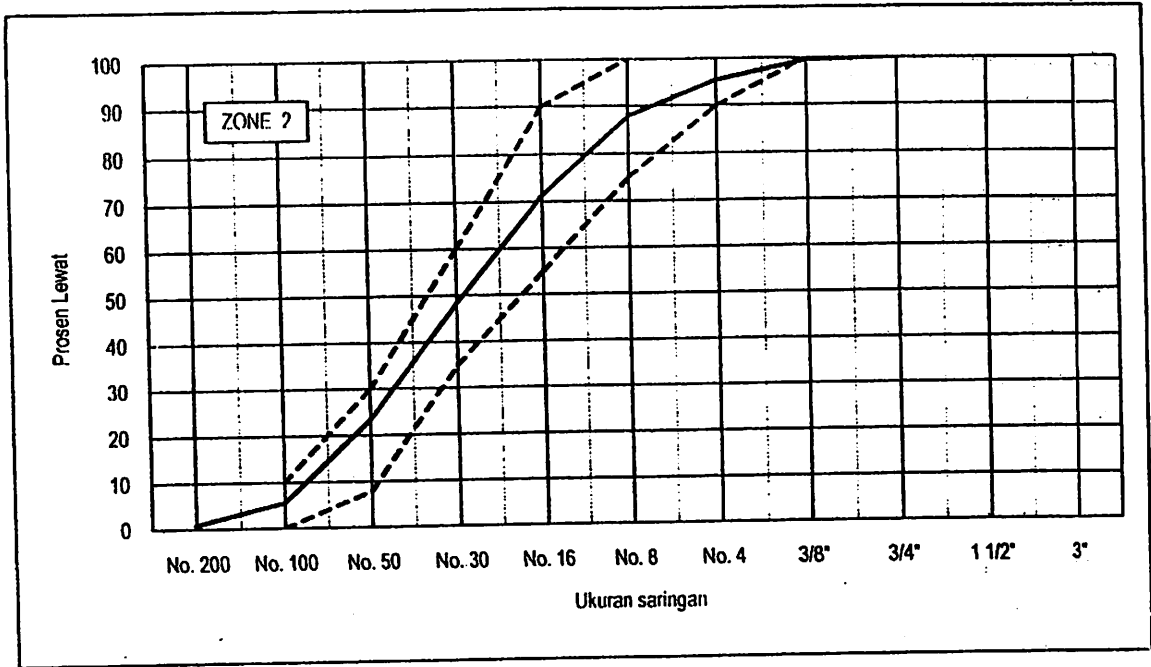
Ukuran saringan	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
76.2 mm (3")	0.00	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00
19.1 mm (3/4")	0.00	0.00	0.00	100.00
9.6 mm (3/8")	9.10	0.46	0.46	99.55
4.75 mm (No. 4)	83.50	4.18	4.63	95.37
2.36 mm (No. 8)	150.20	7.51	12.14	87.86
1.18 mm (No. 16)	330.70	16.54	28.68	71.33
0.6 mm (No. 30)	459.30	22.97	51.64	48.36
0.3 mm (No. 50)	498.70	24.94	76.58	23.43
0.15 mm (No. 100)	356.90	17.85	94.42	5.58
0.075 mm (No. 200)	96.00	4.80	99.22	0.78
pan	12.20	0.61	99.83	0.17





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

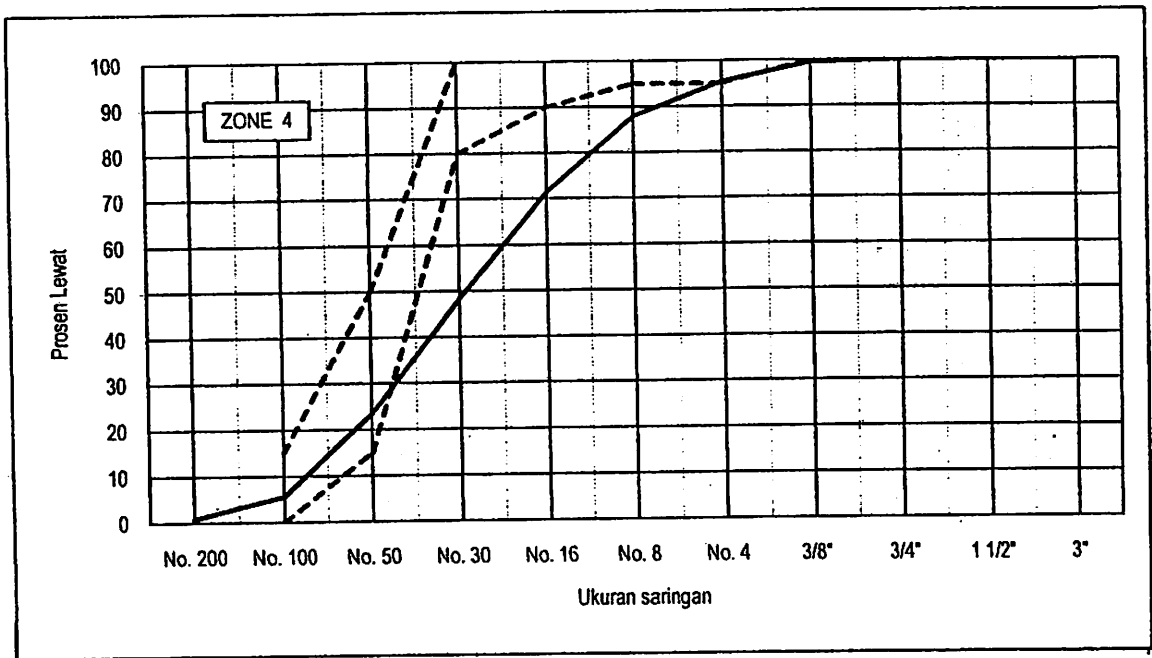
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

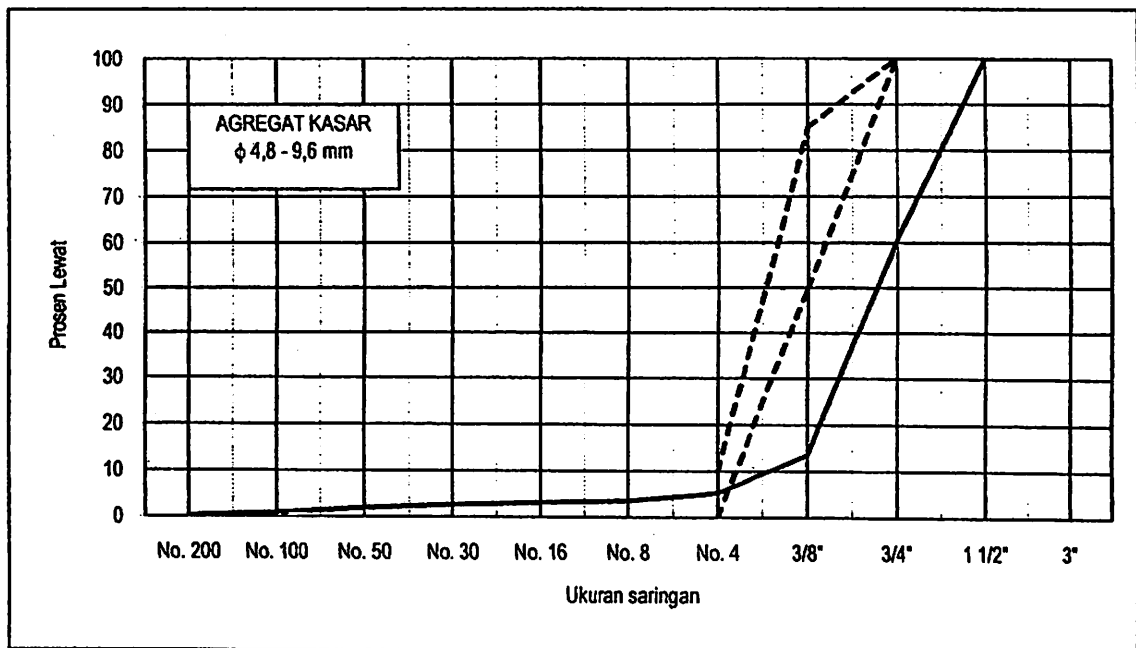
Pekerjaan :

Permintaan :

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Berat contoh kering : 20154.3 gr

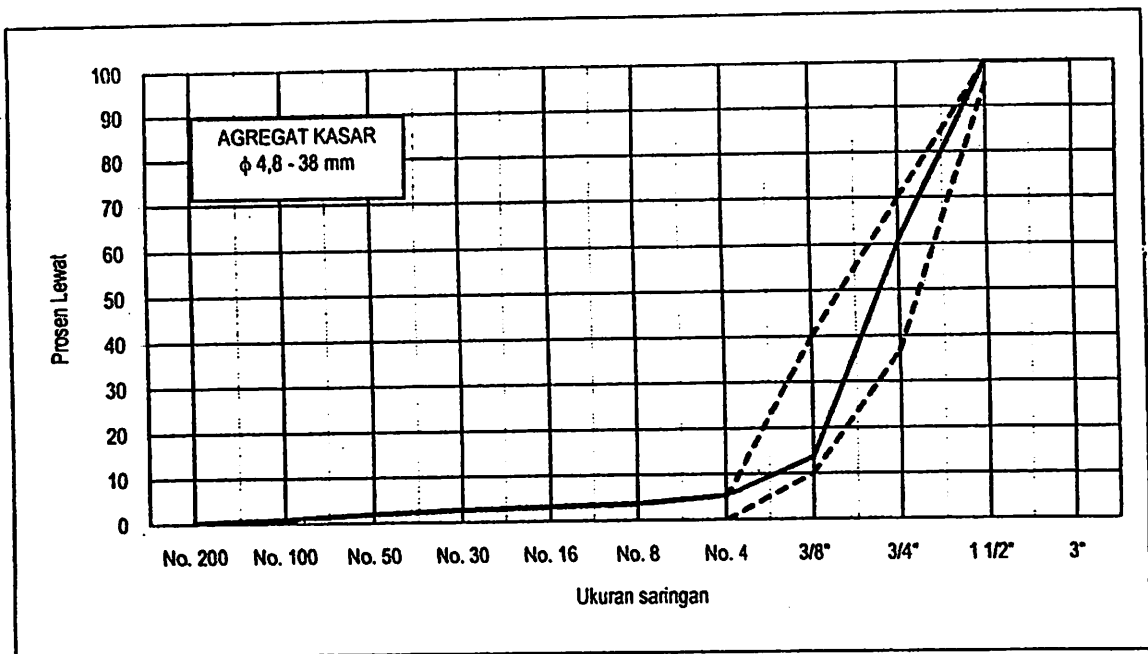
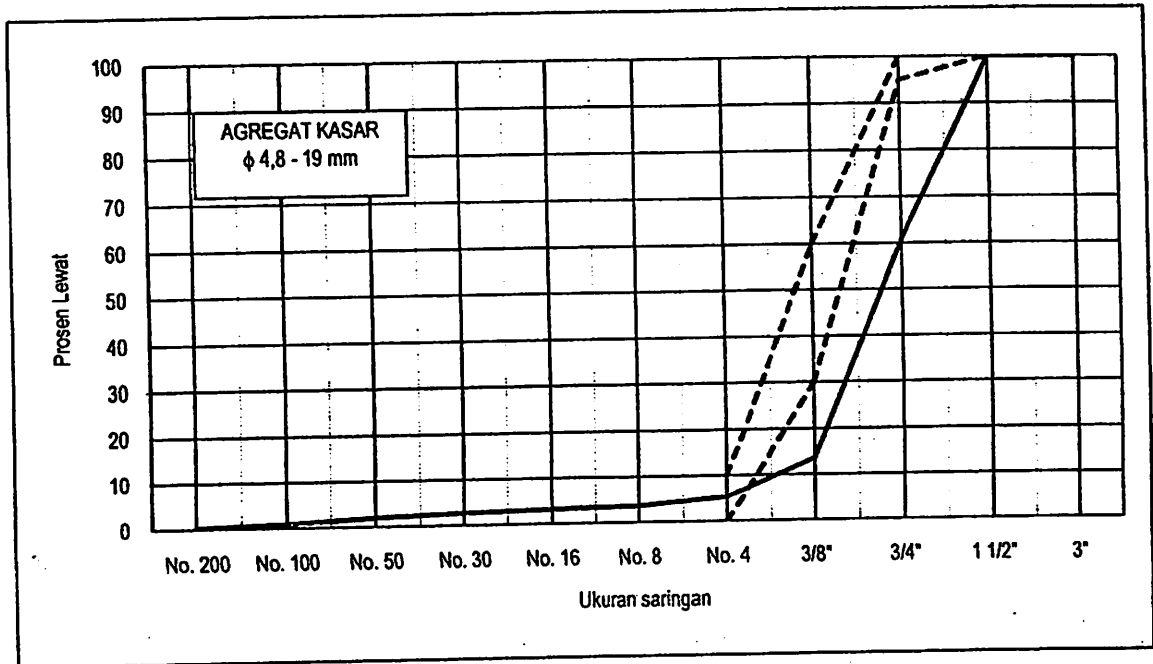
Ukuran saringan	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
76.2 mm (3")	0.00	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00
19.1 mm (3/4")	7899.00	39.19	39.19	60.81
9.6 mm (3/8")	9520.00	47.24	86.43	13.57
4.75 mm (No. 4)	1668.90	8.28	94.71	5.29
2.36 mm (No. 8)	337.40	1.67	96.38	3.62
1.18 mm (No. 16)	93.60	0.46	96.85	3.15
0.6 mm (No. 30)	100.70	0.50	97.35	2.65
0.3 mm (No. 50)	140.70	0.70	98.05	1.95
0.15 mm (No. 100)	215.30	1.07	99.11	0.89
0.075 mm (No. 200)	127.90	0.63	99.75	0.25
pan	50.80	0.25	100.00	0.00





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Pekerjaan :
0
0
Permintaan :

KADAR LUMPUR dan KADAR ZAT ORGANIK AGREGAT HALUS

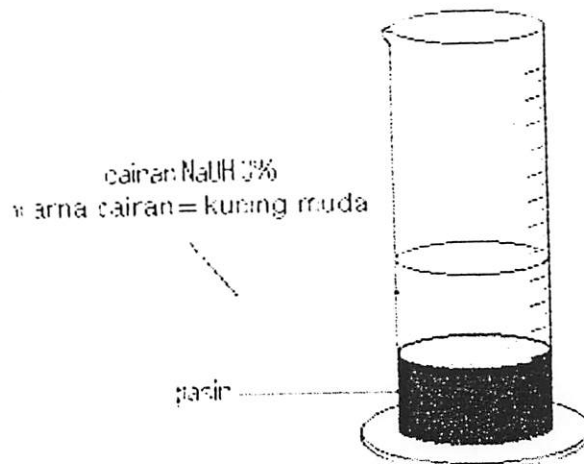
Dari hasil pengujian kadar lumpur yang telah kami laksanakan, didapatkan hasil sebagai berikut :

V1 (tinggi pasir) = 420 ml
V2 (tinggi lumpur) = 7.5 ml

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \% \\ &= 2.667\% \end{aligned}$$

Dengan hasil tersebut di atas, maka pasir yang diperiksa layak digunakan untuk campuran beton, dikarenakan kadar lumpurnya < 5% (merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton).

Untuk pengujian zat organik agregat halus didapatkan warna **kuning sangat muda**, yang berarti bahwa bahan yang diperiksa mempunyai sedikit kandungan zat organik, dan dapat menurunkan kekuatan beton < 5%.



Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pasir yang diperiksa memenuhi syarat untuk dipergunakan sebagai agregat halus untuk campuran beton.



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Pekerjaan :
0
0

Permintaan :

KADAR AIR AGREGAT

AGREGAT KASAR		ASLI		SSD	
	Nomor test				
A.	Berat tempat (gr)	2510	2518	164.8	166.8
B.	Berat tempat + contoh (gr)	23210	23216	544.5	544.3
C.	Berat tempat + contoh kering ov (gr)	22750	22725	536	536
D.	Kadar air = $\frac{B-C}{C-A} \times 100\%$ (%)	2.27	2.43	2.29	2.25
F.	Kadar air rata-rata (%)	2.35		2.27	

AGREGAT HALUS		ASLI		SSD	
	Nomor test				
A.	Berat tempat (gr)	2550	2551	216.3	216.1
B.	Berat tempat + contoh (gr)	10980	10978	716.3	716.2
C.	Berat tempat + contoh kering ov (gr)	9910	9911	714.80	666.60
D.	Kadar air = $\frac{B-C}{C-A} \times 100\%$ (%)	14.54	14.50	0.30	11.01
F.	Kadar air rata-rata (%)	14.52		5.66	

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAHANGLU KM. 2 IASIK MAJU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

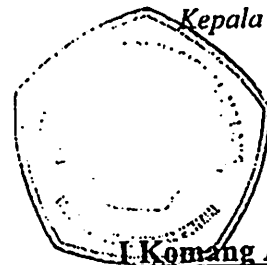
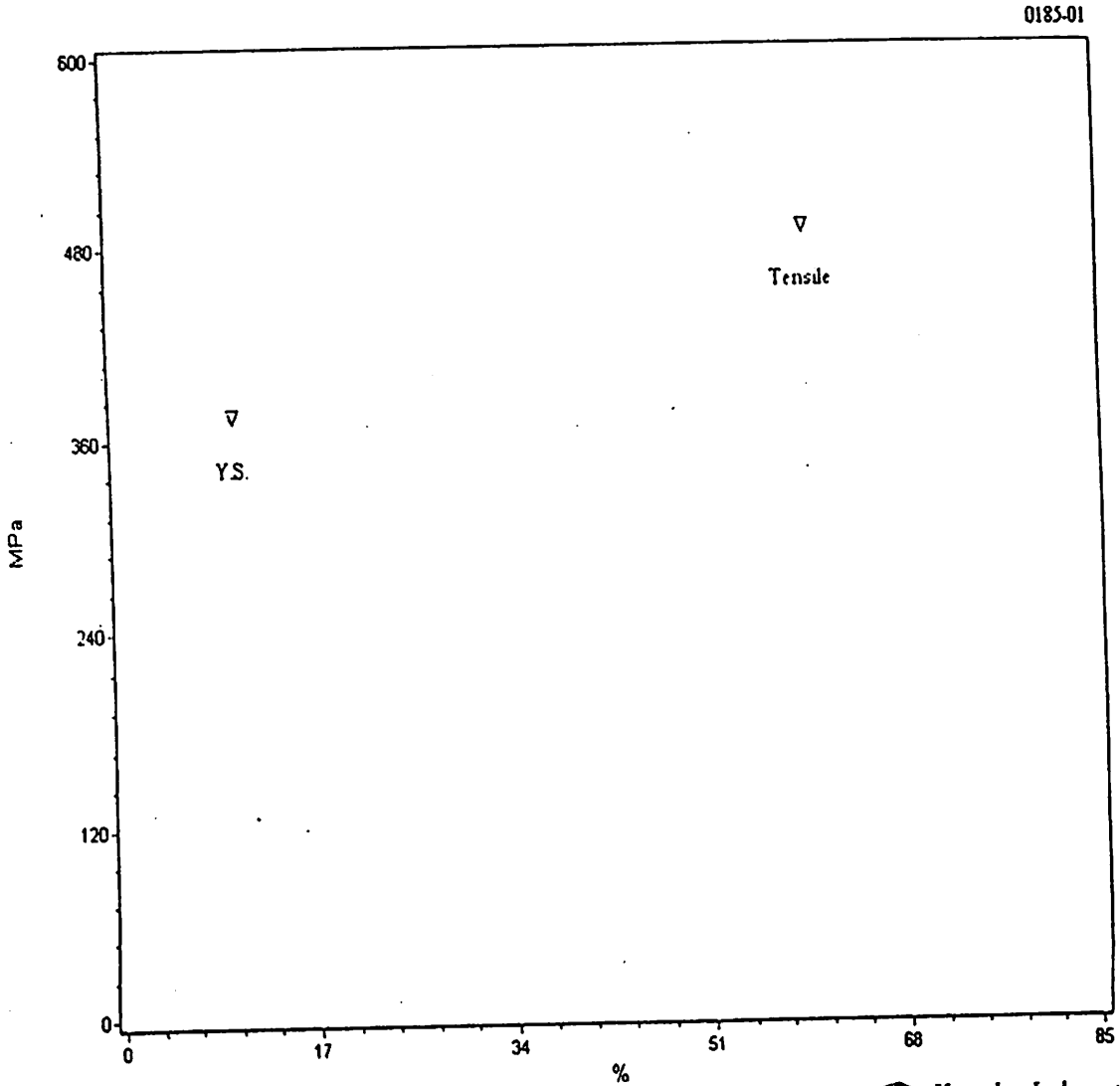
No.: 0185

Test Description : tensile

Standard : ASTM 638

Test Date: 08/09/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BJTP 6 mm	18.10	8859.20	375.31	489.58	68.80



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KARANGLU KM. 2 TIASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

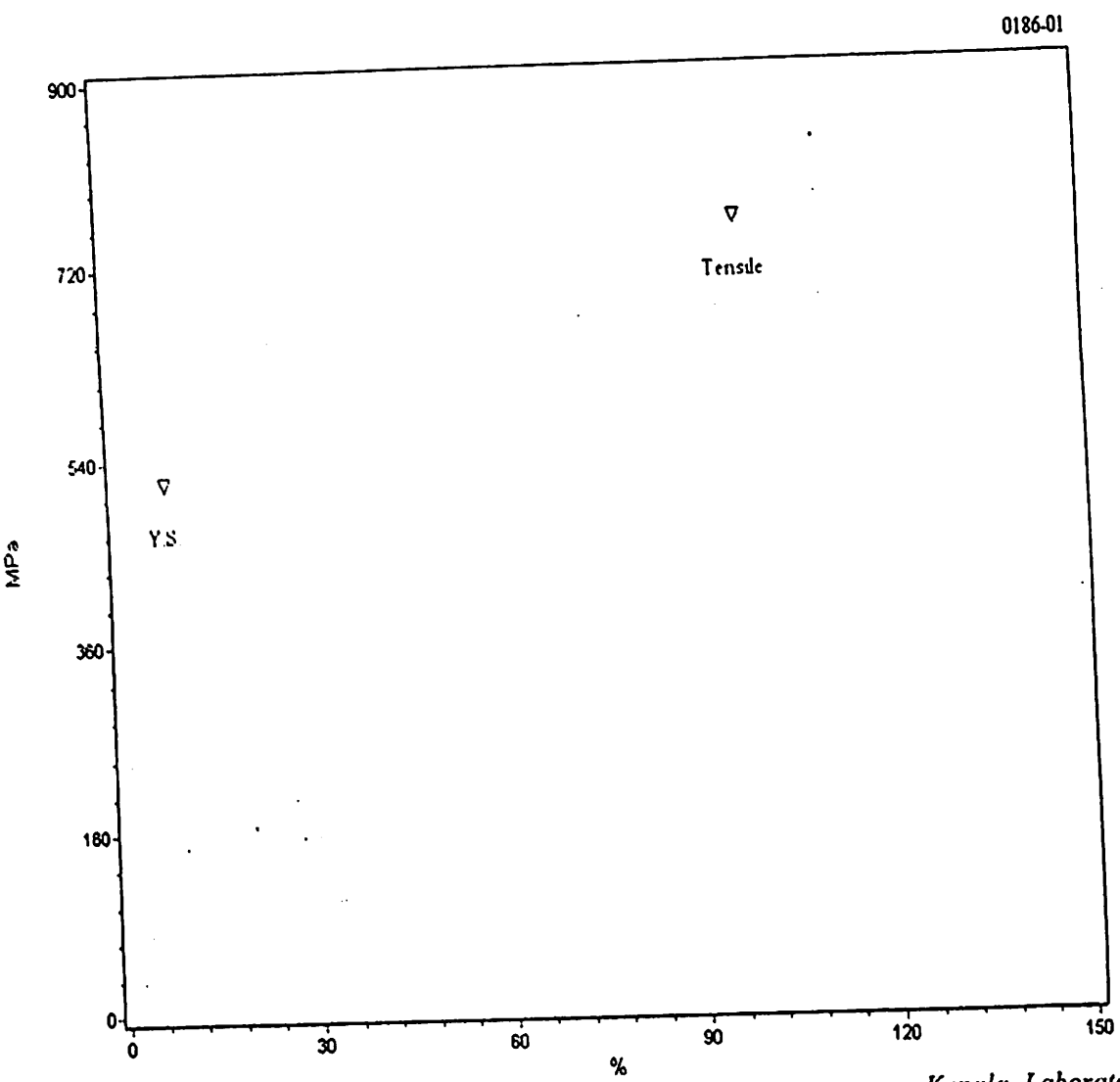
0186

Test Description : tensile

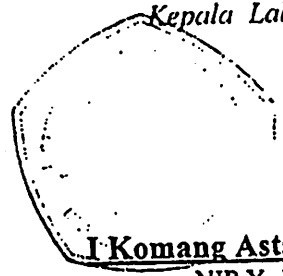
Standard : ASTM 638

Test Date: 08/09/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BJTP 8 mm	26.42	19996.90	518.92	756.86	123.02



Kepala Laboratorium :



I Komang Astana Widi, ST.MT.
 NIP Y. 1030400405

TEST REPORT

0183

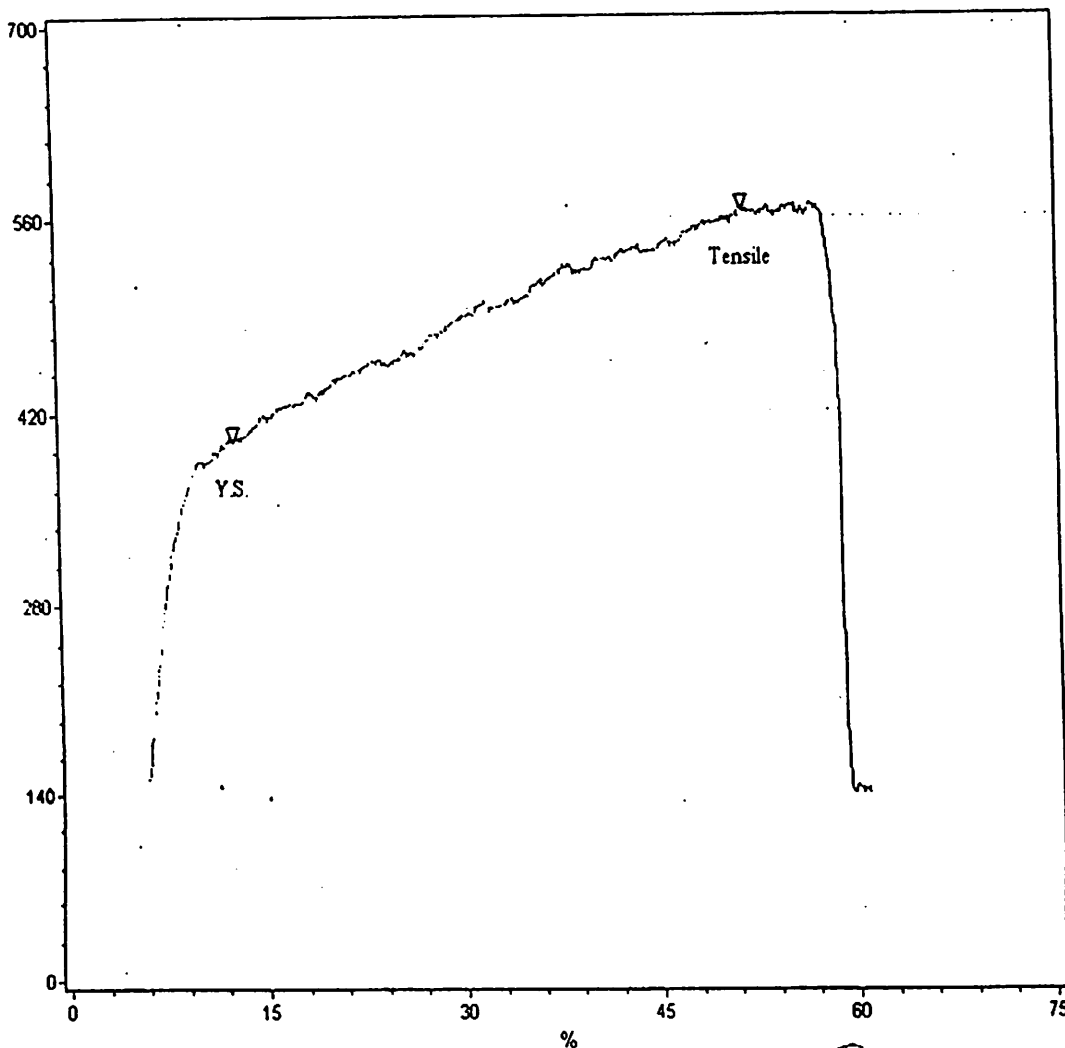
Test Description : tensile

Standard :ASTM 638

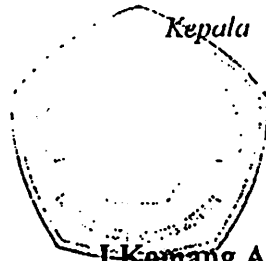
Test Date: 08/09/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Fine Mesh 2-50	2.84	1617.00	404.40	570.31	60.80

0183-01



Kepala Laboratorium :



I Komang Astana Widi, ST.MT

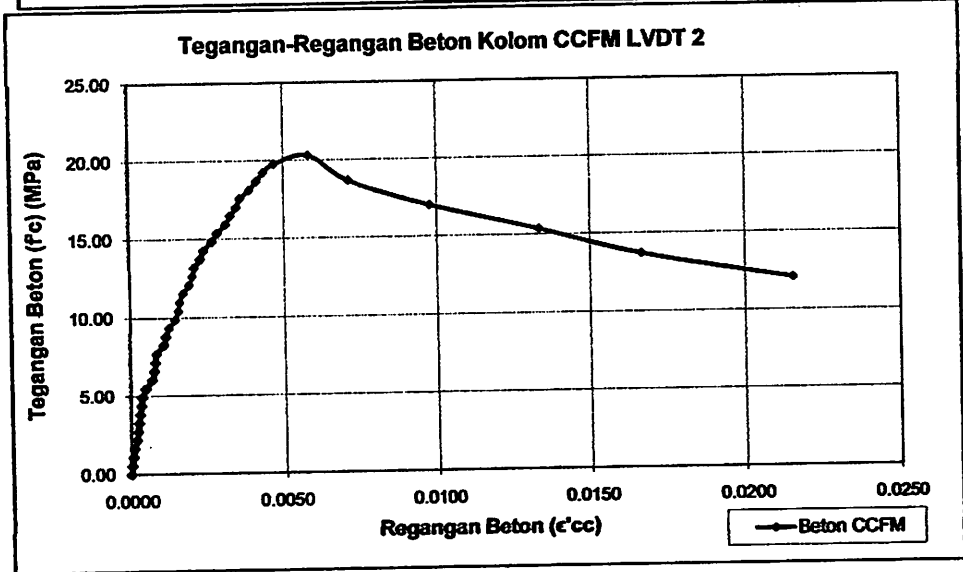
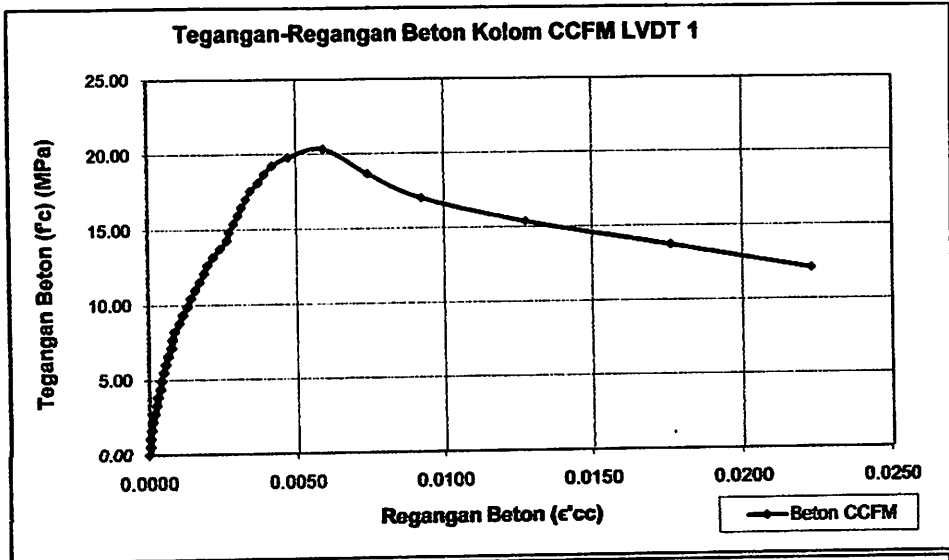
NIP Y. 1030400405

LAMPIRAN 3

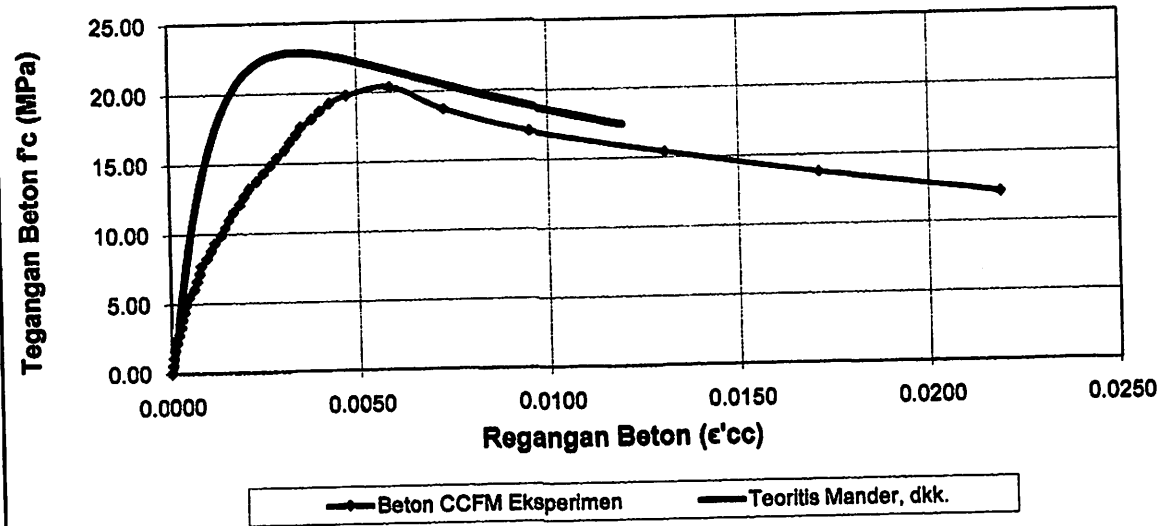
- 1. Analisa eksperimental silinder beton**
- 2. Analisa eksperimental kolom beton terkekang fine mesh (CCFM)**
- 3. Analisa eksperimental kolom beton terkekang tulangan spiral (CCS)**
- 4. Analisa eksperimental kolom beton terkekang tulangan spiral yang dibungkus fine mesh (CCFMS)**

LAMPIRAN 3
ANALISA EKPERIMENTAL SLINDER BETON

No	BERAT	DIAMETER	LUAS	BEBAN	f_c
	KG	mm	mm ²	KN	(Mpa)
1	12.68	150	18274.14	380	20.79441
2	12.83	150	18274.14	340	18.60553
3	12.38	150	18274.14	330	18.05831
4	12.35	150	18274.14	320	17.51108
5	12.82	150	18274.14	330	18.05831
6	12.52	150	18274.14	340	18.60553
7	12.52	150	18274.14	340	18.60553
8	12.42	150	18274.14	350	19.15275
9	12.71	150	18274.14	380	20.79441
10	12.57	150	18274.14	360	19.69997
11	12.75	150	18274.14	380	20.79441
12	12.7	150	18274.14	360	19.69997
13	12.86	150	18274.14	340	18.60553
14	13.09	150	18274.14	400	21.88885
15	12.88	150	18274.14	380	20.79441
16	13.27	150	18274.14	400	21.88885
17	12.83	150	18274.14	380	20.79441
18	13.07	150	18274.14	440	24.07774
19	12.97	150	18274.14	430	23.53052
20	12.81	150	18274.14	360	19.69997
f_c (Mpa)					20.08302



Kurva Tegangan-Regangan Kolom CCFM Analisis Teoritis dan Eksperimen



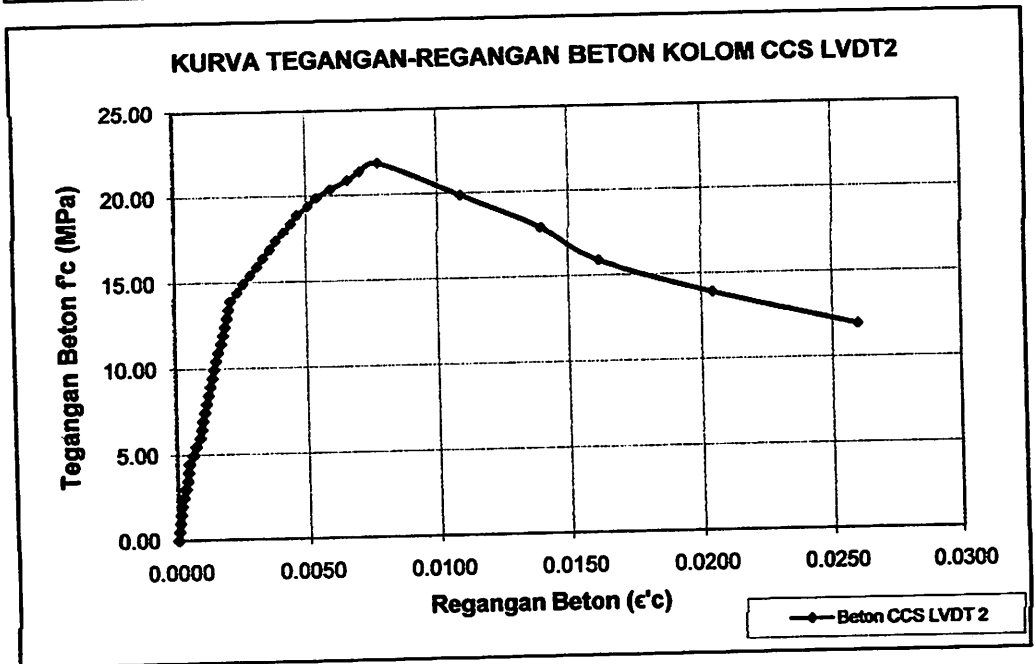
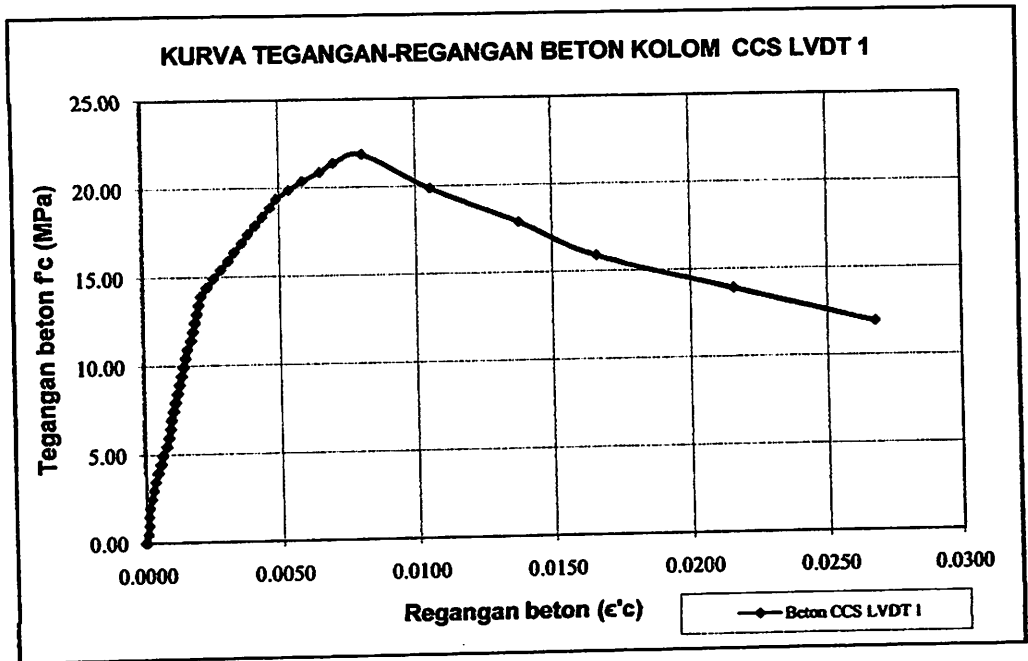
TABEL L3.3
ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKEKANG TULANGAN SPIRAL (CCS)

E_s = 200000 Mpa
E_c = 21068.28 Mpa
n = 9.49

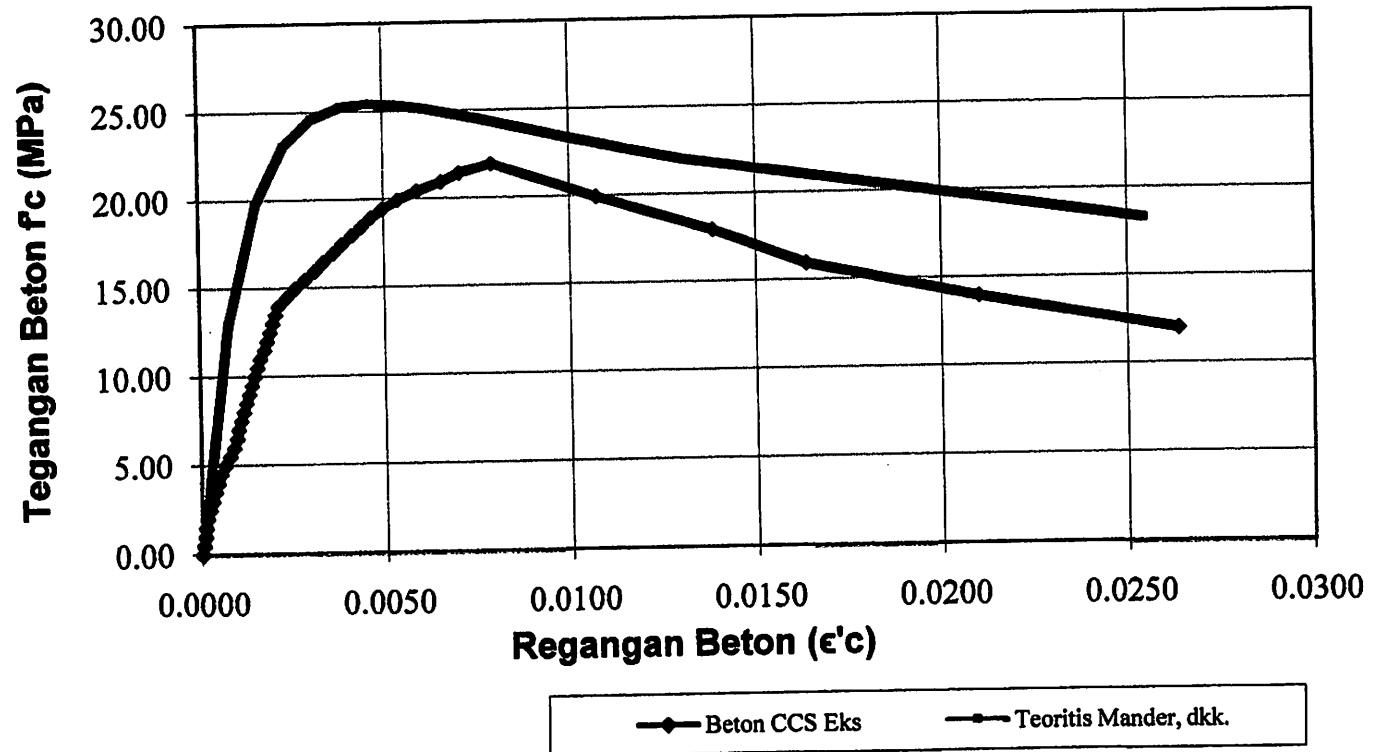
P (ton)	LVDT1 (mm)	LVDT2 (mm)	Strain Gauge	L (mm)	A _y -A _x (mm ²)	A _{y-n} (mm ²)	A _{total} (mm ²)	A _{spiral} (mm ²)	F ₀ (Mpa)	f ₀ Spiral (Mpa)	ε ₁	ε ₂	ε ₂ rata-rata	ε ₁ 1 SG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0	0.000000
1	0.01	0.01	0.09319008	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	0.497	4.052	0.00004	0.00004	3.88E-05	0.000020
2	0.02	0.02	0.04854935	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	0.995	3.648	0.00008	0.00008	7.59E-05	0.000018
3	0.02	0.03	0.04713556	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	1.492	3.591	0.00008	0.00012	9.62E-05	0.000018
4	0.03	0.04	0.06210944	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	1.989	4.731	0.00012	0.00016	0.000136	0.000024
5	0.06	0.06	0.06611878	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	2.487	4.276	0.00019	0.00029	0.000212	0.000021
6	0.07	0.08	0.06386724	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	2.984	4.685	0.00027	0.00031	0.000288	0.000024
7	0.09	0.1	0.08287756	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	3.481	6.314	0.00035	0.00038	0.000385	0.000032
8	0.12	0.11	0.08919272	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	3.979	6.795	0.00048	0.00042	0.000442	0.000034
9	0.16	0.12	0.1441406	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	4.476	10.581	0.00066	0.00048	0.000519	0.000035
10	0.17	0.16	0.10559888	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	4.973	6.045	0.00065	0.00062	0.000635	0.000040
11	0.21	0.19	0.1016276	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	5.471	7.742	0.00081	0.00073	0.000769	0.000039
12	0.23	0.23	0.11230468	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	5.968	6.585	0.00088	0.00088	0.000885	0.000043
13	0.28	0.28	0.10488756	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	6.465	7.978	0.00096	0.00096	0.000962	0.000040
14	0.28	0.28	0.09550772	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	6.963	7.276	0.00100	0.00100	0.00100	0.000036
15	0.28	0.28	0.09973948	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	7.460	7.695	0.00108	0.00108	0.001077	0.000038
16	0.3	0.3	0.10286432	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	7.958	7.838	0.00116	0.00116	0.001154	0.000039
17	0.32	0.32	0.11373684	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	8.456	8.684	0.00123	0.00123	0.001231	0.000045
18	0.34	0.34	0.1174478	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	8.952	8.847	0.00131	0.00131	0.001309	0.000043
19	0.38	0.38	0.11194892	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	9.450	8.621	0.00139	0.00139	0.001395	0.000043
20	0.38	0.38	0.11497388	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	9.947	8.769	0.00148	0.00148	0.001482	0.000044
21	0.4	0.4	0.08912756	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	10.444	8.790	0.00154	0.00154	0.001535	0.000034
22	0.42	0.42	0.08932284	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	10.942	8.908	0.00162	0.00162	0.001616	0.000034
23	0.45	0.45	0.07875768	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	11.439	8.947	0.00173	0.00173	0.001731	0.000029
24	0.47	0.47	0.0903944	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	11.936	8.894	0.00181	0.00181	0.001808	0.000034
25	0.49	0.49	0.08951812	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	12.434	8.819	0.00189	0.00189	0.001885	0.000034
26	0.51	0.51	0.12656248	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	12.931	9.842	0.00196	0.00196	0.001962	0.000048
27	0.53	0.53	0.13990892	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	13.428	10.668	0.00204	0.00204	0.002038	0.000053
28	0.56	0.56	0.11828436	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	13.925	9.012	0.00212	0.00212	0.002116	0.000045
29	0.61	0.61	0.14493696	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	14.422	11.046	0.00235	0.00235	0.002348	0.000068
30	0.67	0.67	0.18476288	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	14.920	11.789	0.00268	0.00268	0.002677	0.000069
31	0.74	0.74	0.18062438	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	15.418	11.681	0.00286	0.00286	0.002848	0.000068
32	0.81	0.81	0.18062438	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	15.915	13.783	0.00312	0.00312	0.003118	0.000069
33	0.87	0.87	0.1888209	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	16.412	14.323	0.00335	0.00335	0.003348	0.000072
34	0.84	0.94	0.21184696	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	16.910	16.139	0.00362	0.00362	0.003618	0.000081
35	1	1	0.23710936	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	17.407	16.063	0.00385	0.00385	0.003849	0.000090
36	1.07	1.07	0.27200516	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	17.904	20.721	0.00412	0.00412	0.004119	0.000104
37	1.14	1.14	0.30697652	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	18.402	22.928	0.00438	0.00438	0.004385	0.000115
38	1.21	1.2	0.3397788	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	18.899	28.684	0.00485	0.00482	0.004835	0.000129
39	1.27	1.31	0.37408956	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	19.397	28.498	0.00489	0.00504	0.004962	0.000142
40	1.39	1.4	0.37408956	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	19.894	28.498	0.00536	0.00538	0.005365	0.000142
41	1.52	1.54	0.43769654	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	20.391	33.344	0.00585	0.00592	0.005885	0.000157
42	1.69	1.71	0.53431	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	20.888	40.704	0.00650	0.00650	0.006539	0.000204
43	1.82000000	1.83000000	0.67282772	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	21.385	61.288	0.00700	0.00704	0.007019	0.000258
44	2.08000000	2.01000000	0.96782639	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	21.883	73.729	0.00804	0.00773	0.007885	0.000369
45	2.74000000	2.83000000	1.32827362	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	19.894	101.188	0.01054	0.01058	0.010712	0.000508
46	3.68000000	3.62000000	1.63388929	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	17.908	124.470	0.01377	0.01392	0.013846	0.000822
47	4.31000000	4.18000000	1.868457454	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	15.915	141.426	0.01859	0.01812	0.018346	0.001077
48	5.81000000	6.31000000	2.304898495	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	13.928	178.587	0.02158	0.02042	0.021	0.001878
49	6.96000000	6.75000000	2.852673628	260	17384.78	2721.902	20108.66	47.78382	11.936	217.317	0.02677	0.02593	0.026366	0.001037

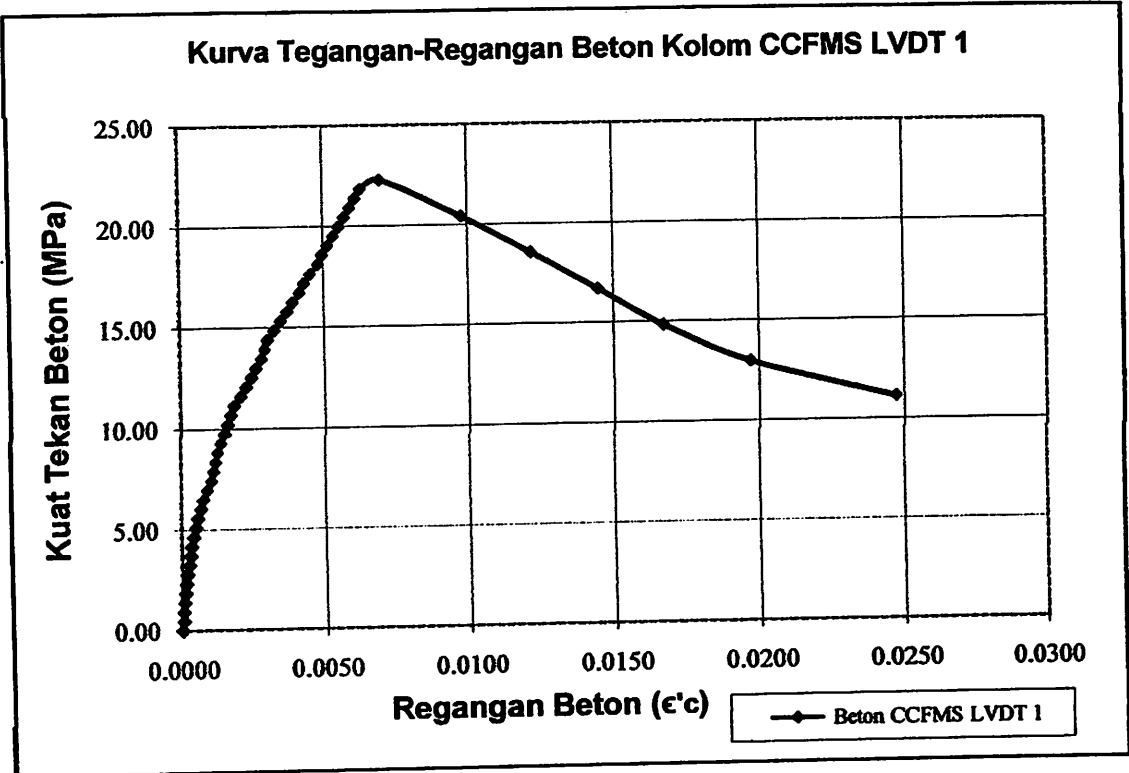
Keterangan Kolom :

- 1 = Beban Aktual
 - 2 = Displacement pada LVDT 1
 - 3 = Displacement pada LVDT 2
 - 4 = Pembesian regangan pada strain gauge
 - 5 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan beton
 - 6 = Luas penampang kolom
 - 7 = Luas Penampang Tulangan Spiral BJTP
 - 8 = Kuat Tekan Beton
 - 9 = Kuat Lelah Tulangan Spiral BJTP
 - 10 = Regangan beton pada LVDT 1
 - 11 = Regangan beton pada LVDT 2
 - 12 = Regangan beton rata-rata
 - 13 = Regangan Baja Tulangan Spiral BJTP
- Beris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak
Beris Yang Berwarna Kijau adalah Pada Saat Beban Puncak
Beris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

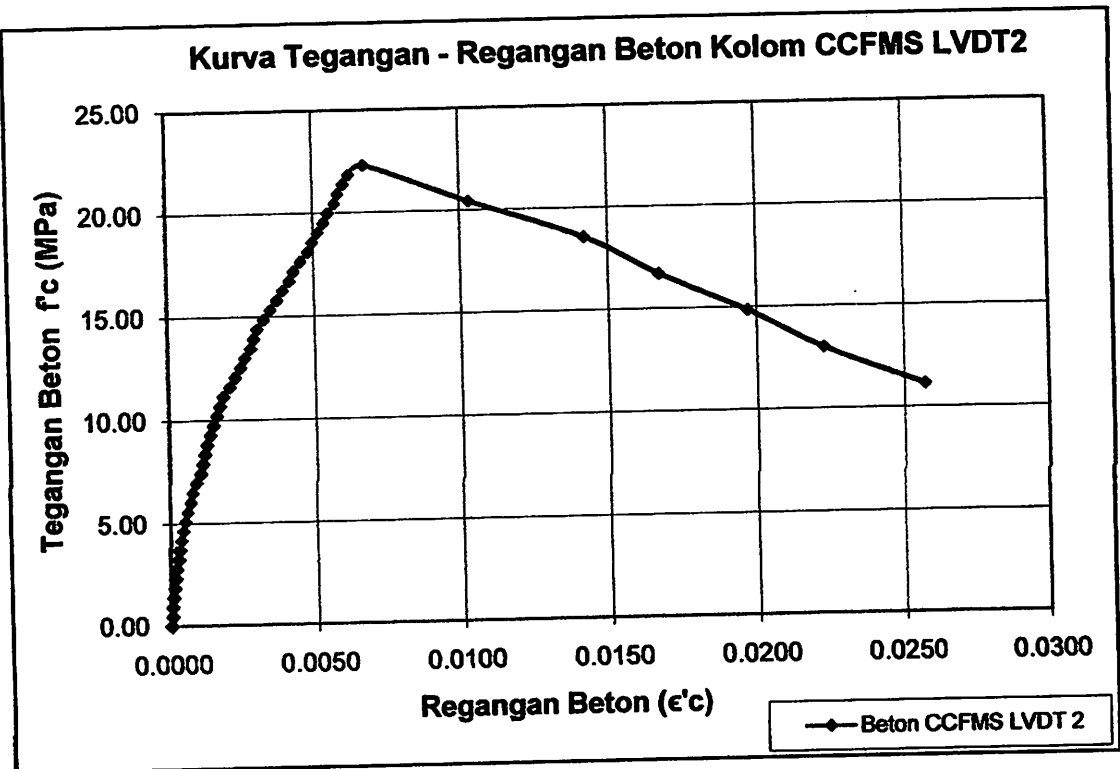


Kurva Tegangan Regangan Beton Kolom CCS Analisis Teoritis dan Eksperimen

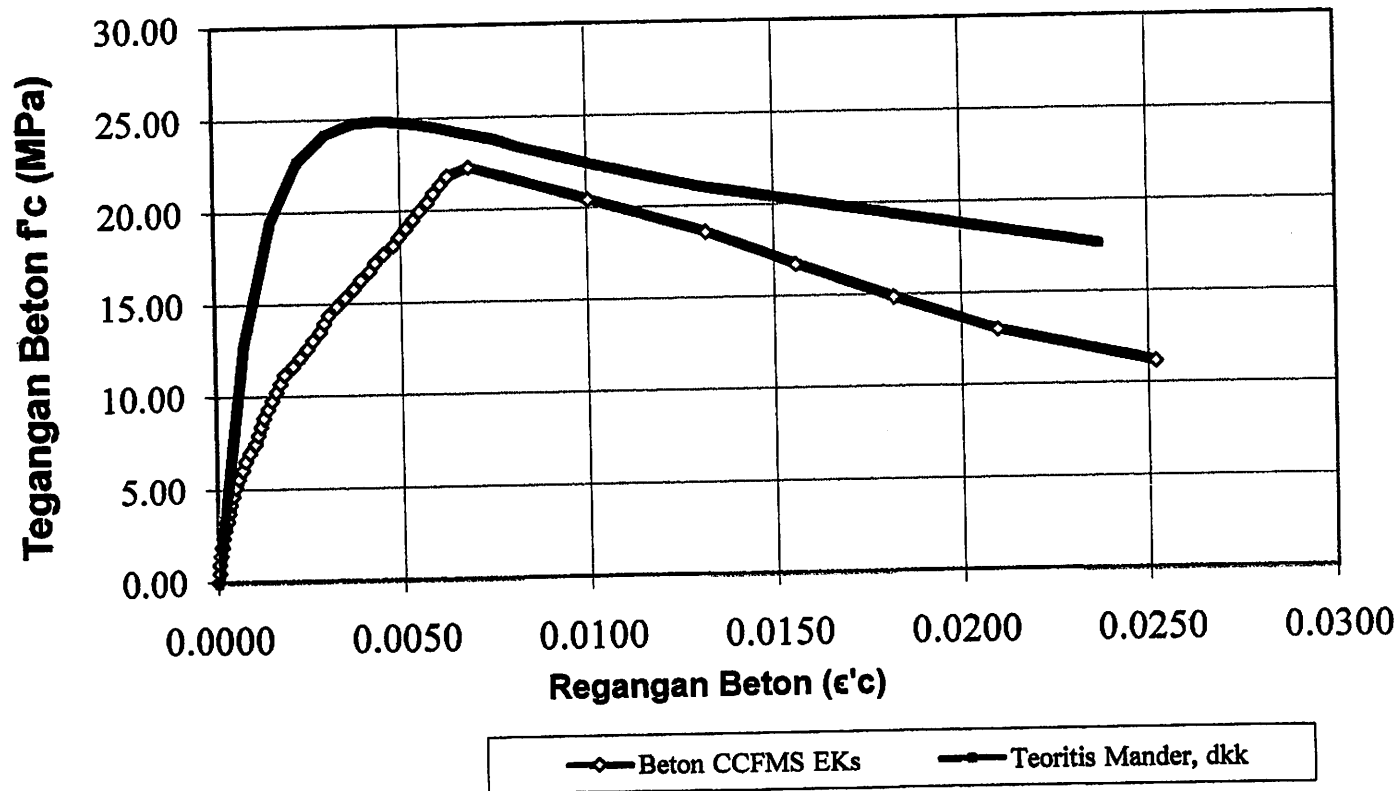




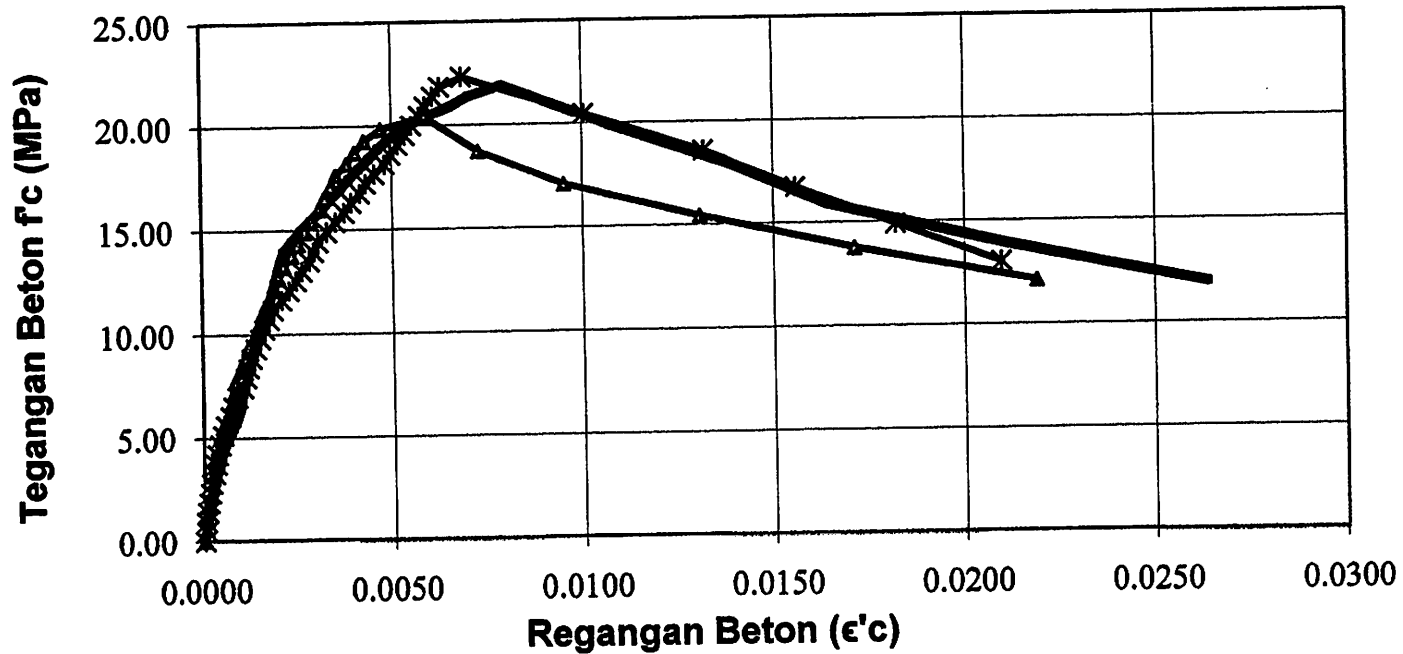
ϵ'_{cc}



Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton CCFMS Analisa Teoritis dan Eksperimen



Kurva Tegangan Regangan Beton Kolom Gabungan Eksperimen



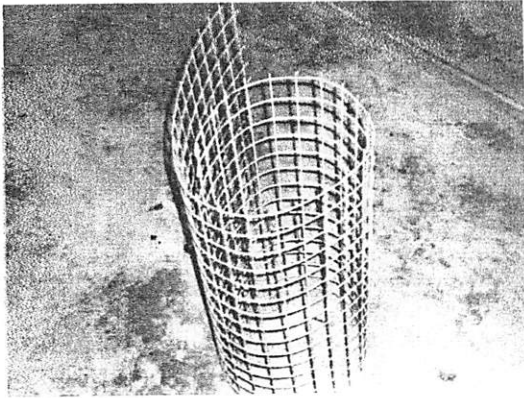
—●— ccs eksperimen

—▲— ccfm eksperimen

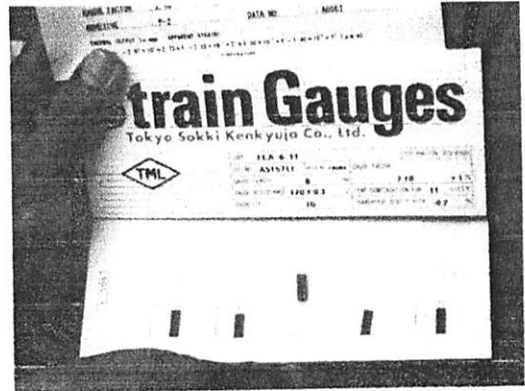
—*— ccfms eksperimen

LAMPIRAN 4

- 1. Dokumentasi pelaksanaan pembuatan dan pengujian benda uji kolom**



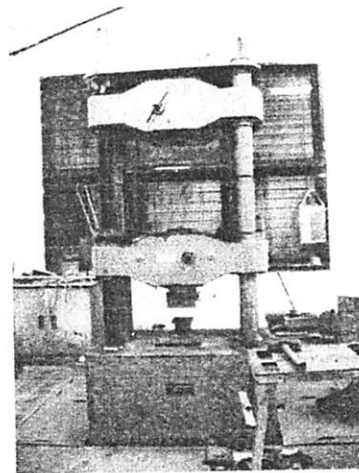
Fine mesh



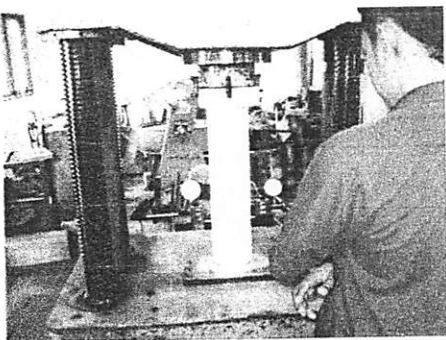
Strain Gauges



Tulangan Benda Uji



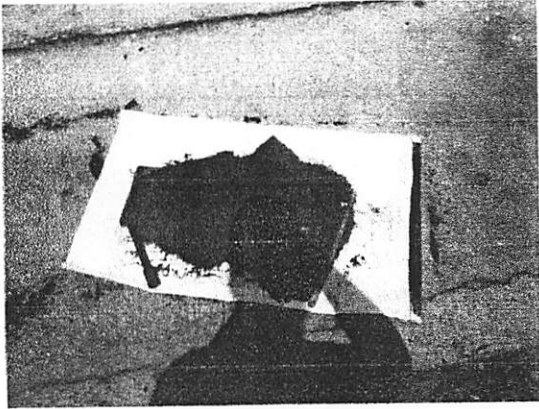
Universal Testing Machine (UTM)



Gambar Pengetesan Kolom Bulat



Mencari Kadar Lumpur



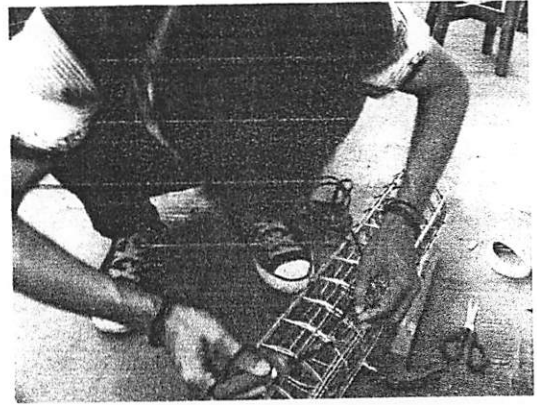
Pengujian Kadar Air



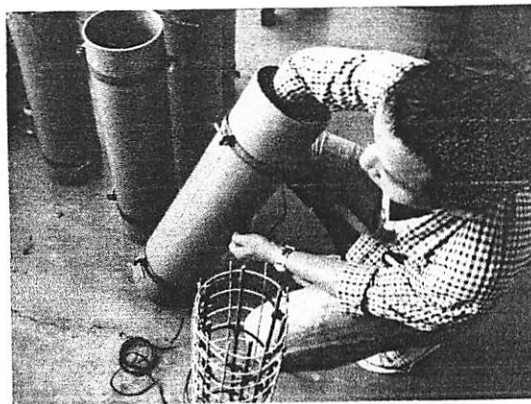
Pemeriksaan Berat Jenis



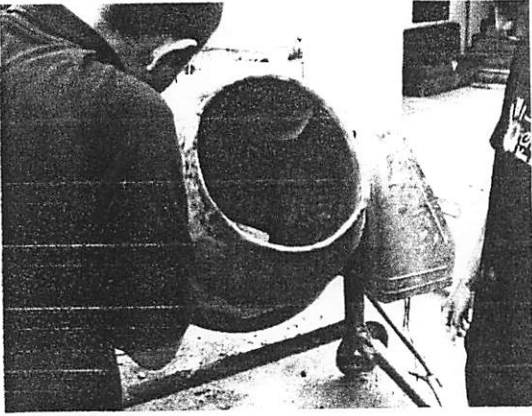
Mencari No Saringan



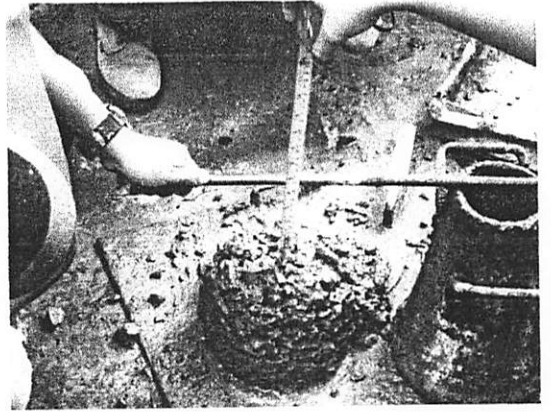
Pemasangan Strain Gauges Pada Fine mesh



Begesting Bulat



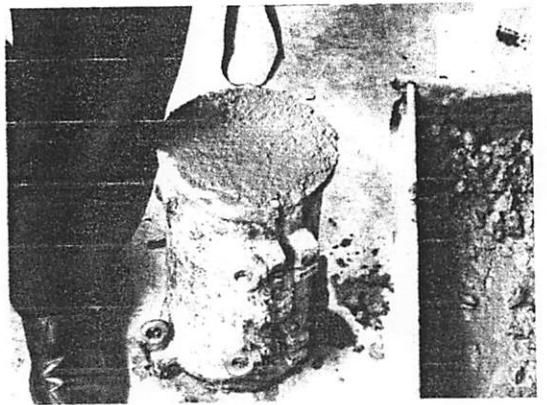
Pencampuran Bahan



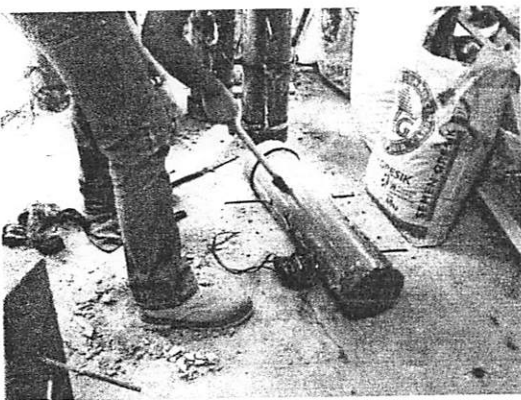
Uji Slum



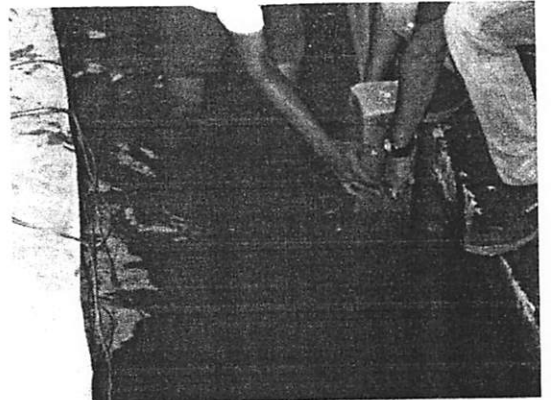
Campuran beton di masukan ke begesting



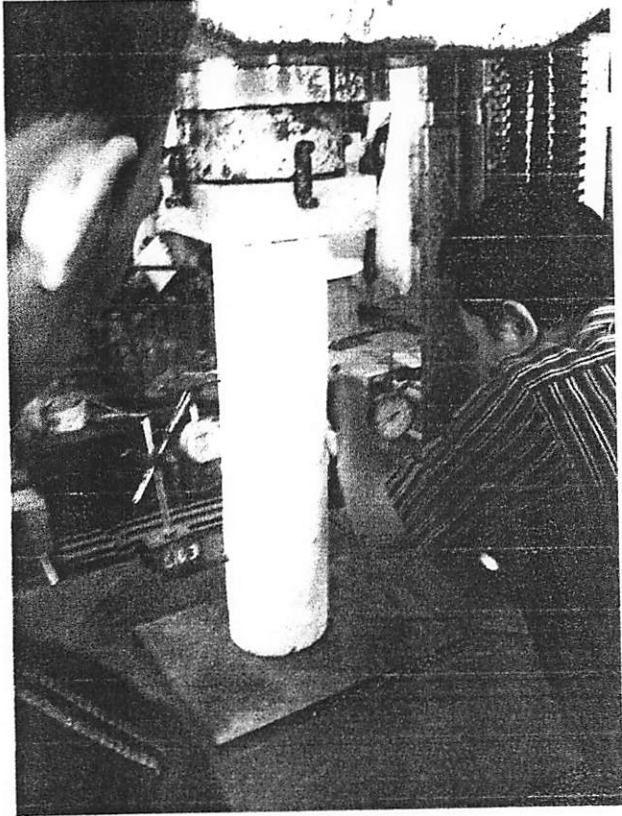
Silinder Beton



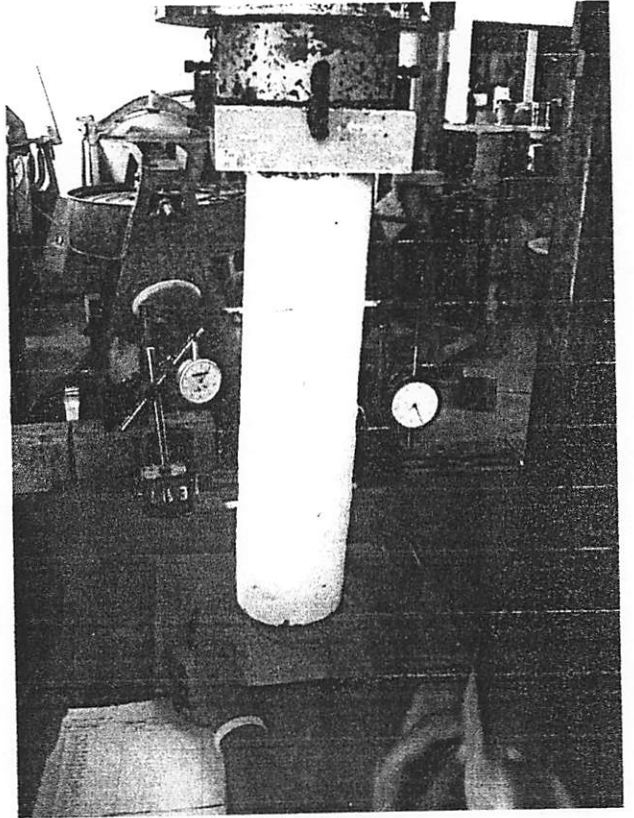
Melepas Begesting



Memasukan Benda Uji Ke Bak Air



Pemasangan Dail



Pengujian Kolom Beton



Team Penelitian



LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI
TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Penelitian Efektifitas Fine Mest \varnothing -50 Sebagai Confinement dan Retrofitting
Kolom Bulat Beton Bertulang
Terhadap Kekuatan (f'_{cc}) Dan Regangan (ϵ'_{cc})

Nama : Yudha Arnanta
Nim : 06.21.054
Dosen Pembimbing : Ir. Agus Sentosa, MT



No	Hari / Tanggal	Keterangan	Tanda tangan
1	15-7-'11	- Urut mix design dija- kai material yg akan digunakan. - Pelajari metode yg di- gunakan.	
2	18-7-'11	- Berda uji sblh dpt dibuat. Lanjutkan	
3	27-7-'11	- Ed format pembahasan o.k.	
4	2-8-'11	- Betulkan perle rd bab 3.6.2.	
5	11-8-'11	- Pelajari tabel yg dipakai Lanjut kesimpulan.	



LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI
TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Penelitian Efektifitas Fine Mest \varnothing 2-50 Sebagai Confinement dan Retrofitting
Kolom Bulat Beton Bertulang
Terhadap Kekuatan (f'cc) Dan Regangan (E'cc)

Nama : Yudha Arnanta
Nim : 06.21.054
Dosen Pembimbing : Ir. Agus Sentosa, MT

No	Hari / Tanggal	Keterangan	Tanda tangan
6	19 - 11 - '11	Sempurnakan kesimpulan.	
7	20 - 11 - '11	Ada hima seminar hasil	




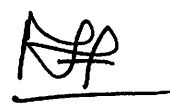


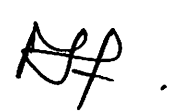
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Yudha Arnanta
Nim : 06.21.054
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Ir. Togi H. Nainggolan, MS

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	2/7-11	Lanjutan dg pekerjaan lab	
	11. 7-11.	Lanjutan pemb. Mix Design	
	14. 7-11	buat vol. Camp. benda uji (silinder) + vol. kolom - (Acc Renc Camp.)	
	17/8-11	Lanjutan buat Analisa pekerjaan benda uji	
	19. 8-11.	Acc semua hasil	

FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG Penelitian Beton

Nama : YUDHA ARNANTA
NIM : 06.21.057
Hari / tanggal : Senin, 20 Feb. 2012

Revisi materi Skripsi meliputi :

Studi Pustaka

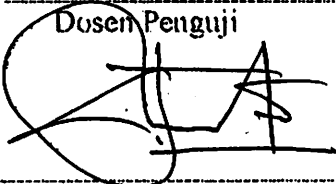
- ⊕ teori daktilitas, 'Strong Columns Weak Beams' terkait dg tulangan perkuatan.
- ⊕ teori ϵ vs σ untuk tulangan ✓

Revisi Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian Skripsian. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikutkan Yudisium.

Revisi Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

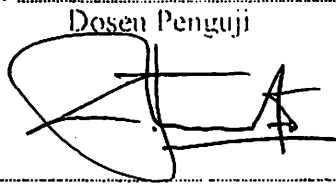
Malang, 01 - 03 - 2012

Dosen Penguji



Malang, 20 - 02 - 2012

Dosen Penguji





FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG penelitian

Nama : Yudha Amanta

NIM : 06.21.054

Hari / tanggal : senin 1 20-02-2012

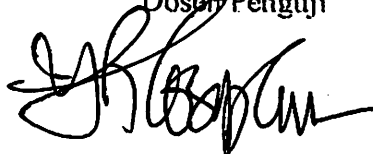
Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- Perbaiki isi laporan bab IV dan lampiran
- Kesimpulan dan Saran Perbaiki lagi (saran untuk Lembaga atau Jurusan/lab)
- presentasi perbedaan (%) CCS, CCFMS, CCFM di cek lagi lg tumur & yg jelas & benar.

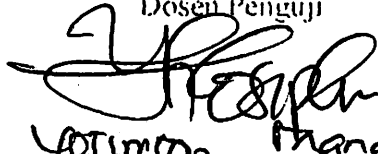
Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian Skripsi. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Revisi Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 02/03 2012
 Dosen Penguji


 ()

Malang, 20-02 - 2012
 Dosen Penguji


 (Yorison Manabe)