

SKRIPSI

**PENELITIAN EFEKTIFITAS *FINE MESH* Ø3-50 SEBAGAI
CONFINEMENT DAN *RETROFITTING* KOLOM BULAT BETON
BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN
(ϵ'_{cc})**



MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

Disusun Oleh :
Marthen G. Hale Kehik
(06.21.030)

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

SKRIPSI

RESEARCH REPORT ON THE EFFECTS OF
CONCRETE AND REINFORCEMENT ON
BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE
(1970)

RESEARCH REPORT
ON THE EFFECTS OF
CONCRETE AND REINFORCEMENT

Author: [Name]
Department of [Department]
(1970)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
SURABAYA
1970

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**EFEKTIFITAS FINE MESH Ø3-50 SEBAGAI CONFINEMENT DAN
RETROFITTING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP
KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (E'_{cc})**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S-1)

Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :

Marthen G. Hale Kehik

06. 21. 030

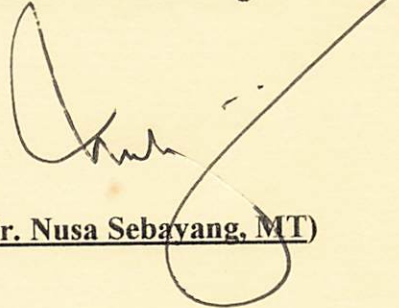
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



(Yosimson P. Manaha, ST., MT)

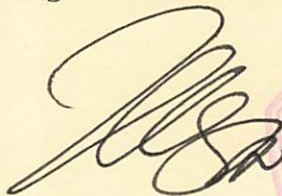
Dosen Pembimbing II



(Ir. Nusa Sebayang, MT)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



(Ir. H. Hirijanto, MT.)



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

2012

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIFITAS FINE MESH Ø3-50 SEBAGAI CONFINEMENT DAN
RETROFITTING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP
KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc})

SKRIPSI

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1)
Pada hari : Senin
Tanggal : 20 Februari 2012
Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

Marthen G. Hale Kehik

06. 21. 030

Disahkan Oleh:

Ketua



(Ir. H. Hiriyanto, MT.)

Sekretaris


(Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT.)

Anggota Penguji :

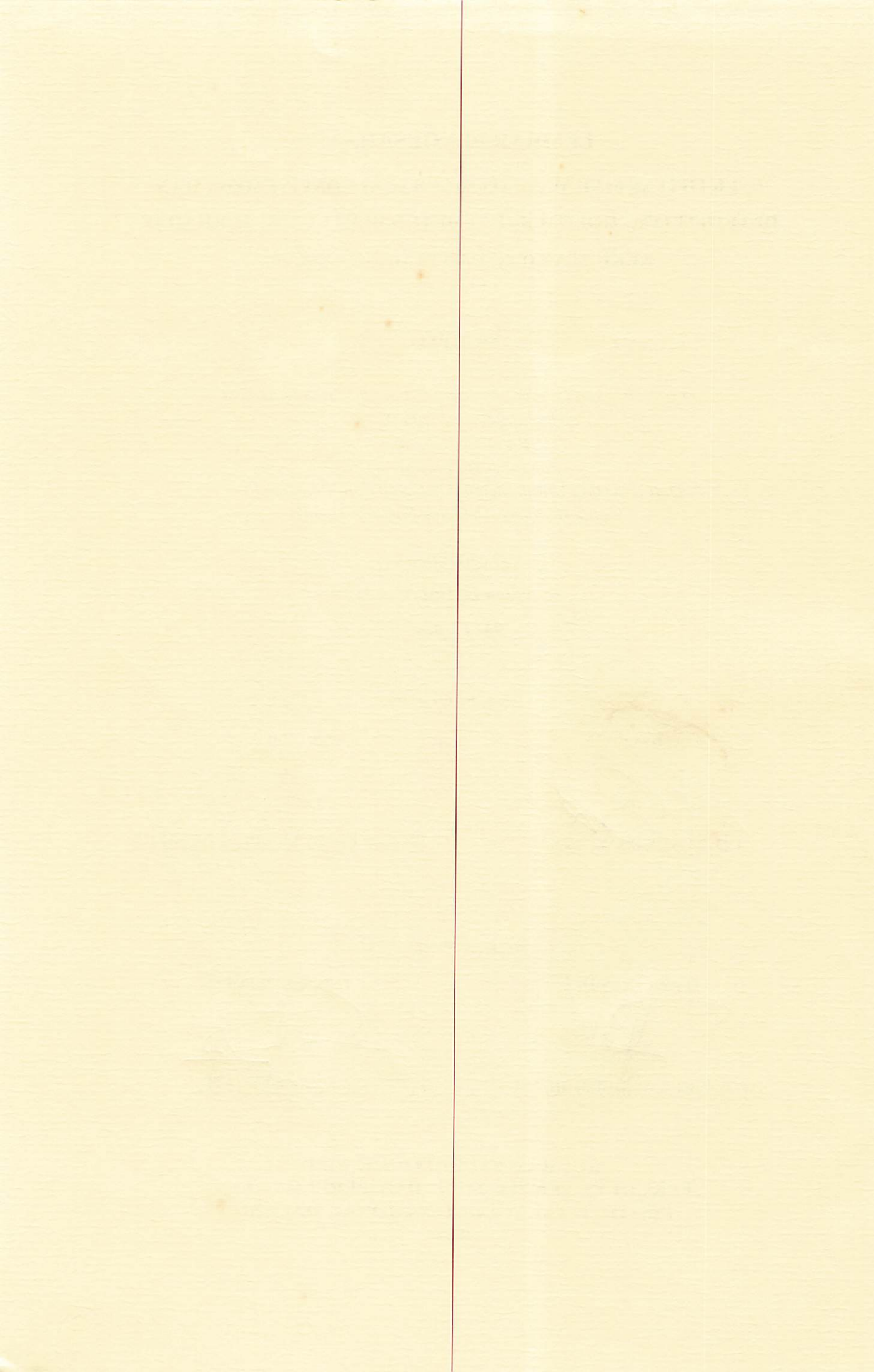
Dosen Penguji I


(Ir. Bambang Wedyantadi, MT.)

Dosen Penguji II


(Ir. Eding Iskak, MT.)

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



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Marthen G. Hale Kehik**

Nim : **06. 21. 030**

Program studi : **Teknik Sipil S - 1**

Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan bahwa dengan sesungguhnya Tugas Akhir yang berjudul :

“Efektifitas Fine Mesh Ø3-50 Sebagai Cconfinement dan Retrofitting Kolom Bulat Beton Bertulang Terhadap Kekuatan (f'_{cc}) dan Regangan (ϵ'_{cc})”

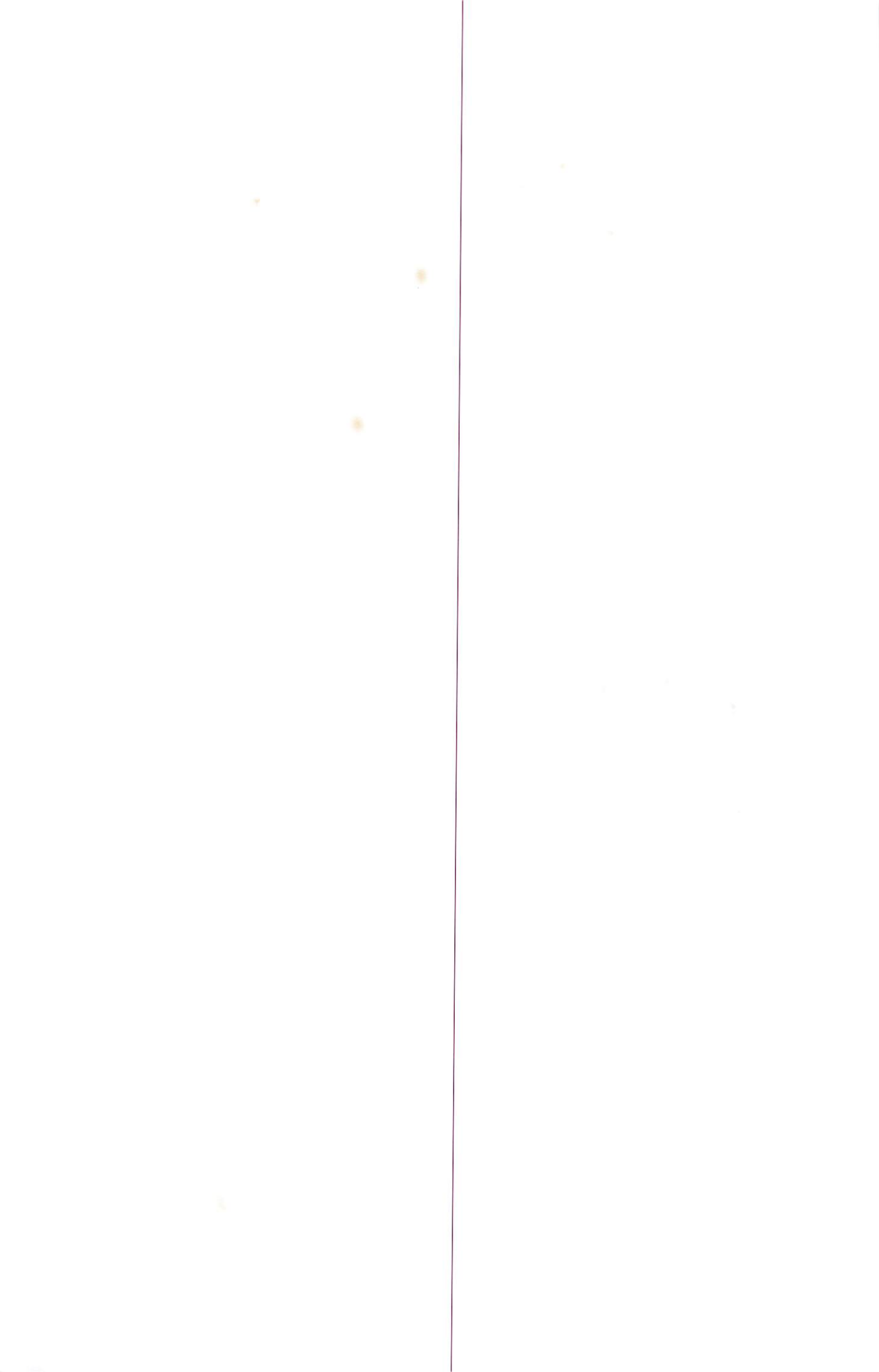
Adalah tugas akhir saya sendiri, seluruhnya bukan duplikat serta tidak mengatup atau menyadur karya orang lain kecuali disebut dari sumber aslinya.

Malang, Maret 2012

Yang Membuat Pernyataan



(Marthen G. Hale Kehik)



KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul *“Efektifitas Fine Mesh Ø3 – 50 Sebagai Confinement dan Retrofitting Kolom Bulat Beton Bertulang Terhadap Kekuatan (f'_{cc}) dan Regangan (ϵ'_{cc})”* yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S-1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Agus A. Santosa, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
2. Bapak Ir. Hirijanto, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1.
3. Bapak Ir. Togi H. Nainggolan, MS. selaku Koordinator bidang penelitian.
4. Bapak Ir. Bambang Wedyantadji, MT. selaku Kepala Laboratorium Beton.
5. Bapak Yosimson P. Manaha, ST, MT., selaku pembimbing 1 .
6. Bapak Ir. Nusa Sebayang, MT., selaku pembimbing 2.
7. Bapak Yohanes Hale Kehik & Ibu Rosalia Lehoc, Kedua Orang tua saya yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materi, serta doa hingga terselesainya laporan ini. Tanpa kalian laporan

ini takan pernah bisa selesai. Cinta kalian tak pernah berujung buat saya.

8. K'Nita, K'Ai, Bella, dan Roy, terima kasih buat dukungannya buat saya.
9. Teman-teman sipil-06 semua yang telah membantu baik buat ide dan bantuan moril. Terima kasih untuk semuanya itu.

Penyusun menyadari bahwa pada Skripsi ini, mungkin masih banyak kekurangan ataupun kesalahannya. Oleh karena itu, penyusun selalu mengharapkan saran, petunjuk, kritikan dan bimbingan yang bersifat membangun, demi kemajuan kami selanjutnya.

Malang, Maret 2012

Penyusun

ini akan menjadi salah satu faktor yang berpengaruh

1958

2. KINERJA KAWAN BELAKANG DAN PERAN KAWAN BELAKANG

1958

3. Peranan kawan-kawan yang telah meninggal dunia dan

peranan kawan-kawan yang masih hidup

Peranan kawan-kawan yang telah meninggal dunia dalam

kegiatan sosial masyarakat. Oleh karena itu, peranan kawan

yang telah meninggal dunia dalam kehidupan yang masih berlangsung

adalah sebagai berikut:

Melalui tulisan ini

Peranan

ABSTRAK

Marthen G. Hale Kehik, 2012 “**EFEKTIFITAS FINE MESH SEBAGAI CONFINEMENT DAN RETROFITING KOLOM BULAT BETON BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (ϵ'_{cc})**” Dosen Pembimbing I : Yosimson P. Manaha., MT, Dosen Pembimbing II : Ir. Nusa Sebayang., MT.

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 pengekangan, 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 pengekang. Namun pada penelitian ini akan dikaji apakah fungsi tulangan transversal sebagai tulangan pengekang 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 pengekang 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 pengekangan yang setara dengan kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* (CCS) dengan perbedaan kuat tekan (f'_{cc}) berbeda 2,3 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda 11,67 % dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda 44,55 %. 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, pengekangan, regangan beton*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Persetujuan	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian Skripsi	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Notasi	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Terkekang ...	8
2.2 Pengekangan pada Beton	11
2.2.1 Pengekangan Beton Dengan Tulangan Transversal	12
2.2.2 Pengekangan Beton Dengan Fine Mesh	13
2.3 Persyaratan Tulangan Transversal	15
2.3.1 Untuk Penampang Bulat.....	15
2.3.2 Kolom Pendek dengan Beban Konsentrik.....	16
2.4 Kurva Tegangan-Regangan Beton	16
2.5 Diagram Tegangan-Regangan Baja Tulangan.....	18
BAB III METODA PENELITIAN	
3.1 Studi Pustaka	21
3.2 Analisis Preliminary Penelitian	21
3.3 Parameter Penelitian.....	21
3.4 Model Analisa.....	22

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

1944

3.5	Pengujian Laboratorium	23
3.5.1	Spesifikasi Material	23
3.5.2	Benda Uji	24
3.5.3	Peralatan Pengujian Silinder dan Kolom	28
3.5.4	Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	29
3.6	Prediksi Analitis.....	30
3.6.1	Kolom Beton Terkekang Fine Mesh (CCFM)	31
3.6.2	Kolom Beton Terkekang Tulangan Spiral (CCS)	37
3.6.3	Kolom Beton Terkekang Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)	42
3.7	Laporan yang telah dikerjakan.....	48

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian Laboratorium	51
4.1.1	Perancangan Campuran Beton	51
4.1.2	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	51
4.1.3	Pengujian Tarik Baja Tulangan dan Fine Mesh	52
4.2	Hasil Pengujian Tekan Kolom	52
4.2.1	Kolom Beton terkekang Fine Mesh (CCFM)	52
4.2.2	Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral (CCS)	55
4.2.3	Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral yang dibungkus Fine Mesh (CCFMS)	57
4.2.4	Kurva hubungan tegangan regangan gabungan kolom	60
4.3	Bukti Hipotesa Hasil Analisa	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran	66

DAFTAR PUSTAKA	67
-----------------------------	----

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

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 (mm^2)
- A_c = Luas penampang beton kolom bulat yang terkekang tulangan spiral (mm^2)
- A_{cfm} = Luas penampang beton kolom bulat yang terkekang *fine mesh* (mm^2)
- A_{sh} = Luas tulangan spiral BJTP (mm^2)
- 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'_{tx} = Tegangan kekang efektif arah x penampang (MPa)
- f'_{ty} = 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 (mm²)
- A_{sfm} = Luas penampang *fine mesh* (mm²)
- K = Rasio kuat tekan beton terkekang

1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.	1
2. The second part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of chairman and vice-chairman.	2
3. The third part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of secretary and treasurer.	3
4. The fourth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	4
5. The fifth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	5
6. The sixth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	6
7. The seventh part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	7
8. The eighth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	8
9. The ninth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	9
10. The tenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	10
11. The eleventh part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	11
12. The twelfth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	12
13. The thirteenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	13
14. The fourteenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	14
15. The fifteenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	15
16. The sixteenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	16
17. The seventeenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	17
18. The eighteenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	18
19. The nineteenth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	19
20. The twentieth part is a list of the names of the members of the committee who have been elected to the office of member-at-large.	20

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Perincian Benda Uji	24
Tabe 3.2	Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Fine mesh (CCFM) menurut Mander, dkk	35
Tabe 3.3	Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Sengkang BJTP (CCS) menurut Mander, dkk	40
Tabe 3.4	Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Sengkang BJTP yang Dibungkus Fine Mesh (CCFMS) menurut Mander, dkk	45
Tabel 3.5	Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Teoritis	48
Tabel 4.1	Proporsi Campuran Beton Mutu 20 MPa	51
Tabel 4.2	Hasil Tegangan-Regangan Analisa Eksperimen	61
Tabel 4.3	Validasi Hasil Analisa Teoritis dan Eksperimen	61

1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...
16	...	...	...
17	...	...	...
18	...	...	...
19	...	...	...
20	...	...	...
21	...	...	...
22	...	...	...
23	...	...	...
24	...	...	...
25	...	...	...
26	...	...	...
27	...	...	...
28	...	...	...
29	...	...	...
30	...	...	...
31	...	...	...
32	...	...	...
33	...	...	...
34	...	...	...
35	...	...	...
36	...	...	...
37	...	...	...
38	...	...	...
39	...	...	...
40	...	...	...
41	...	...	...
42	...	...	...
43	...	...	...
44	...	...	...
45	...	...	...
46	...	...	...
47	...	...	...
48	...	...	...
49	...	...	...
50	...	...	...

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aksi busur pada beton terkekang (a) Pengekangan dengan sengkang persegi (b) Pengekangan dengan tulangan spiral.....	12
Gambar 2.2	Kolom dengan tulangan longitudinal (a) Terkekang dengan sengkang (b) Terkekang dengan tulangan spiral ..	13
Gambar 2.3	Pengekangan kolom bulat dengan <i>fine mesh</i> (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang	14
Gambar 2.4	Pengekangan dengan tulangan spiral yang dibungkus <i>fine mesh</i> (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang	15
Gambar 2.5	Kurva hubungan tegangan-regangan untuk pembebanan monotonik beton tidak terkekang dan beton terkekang ...	17
Gambar 2.7	Kurva hubungan tegangan-regangan baja tulangan	18
Gambar 3.1a	Benda uji kolom bulat yang terkekang <i>fine mesh</i>	26
Gambar 3.1b	Benda uji kolom bulat yang terkekang tulangan spiral BJTP	27
Gambar 3.1c	Benda uji kolom bulat yang terkekang tulangan spiral BJTP ditambah <i>fine mesh</i>	27
Gambar 3.2	Ilustrasi set-up pengujian kolom	28
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 Sat Beban puncak.....	53
Gambar 4.2	Kurva tegangan-regangan kolom beton terkekang <i>fine mesh</i> (CCFM)	54

1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...
16	...	...	...
17	...	...	...
18	...	...	...
19	...	...	...
20	...	...	...
21	...	...	...
22	...	...	...
23	...	...	...
24	...	...	...
25	...	...	...
26	...	...	...
27	...	...	...
28	...	...	...
29	...	...	...
30	...	...	...
31	...	...	...
32	...	...	...
33	...	...	...
34	...	...	...
35	...	...	...
36	...	...	...
37	...	...	...
38	...	...	...
39	...	...	...
40	...	...	...
41	...	...	...
42	...	...	...
43	...	...	...
44	...	...	...
45	...	...	...
46	...	...	...
47	...	...	...
48	...	...	...
49	...	...	...
50	...	...	...
51	...	...	...
52	...	...	...
53	...	...	...
54	...	...	...
55	...	...	...
56	...	...	...
57	...	...	...
58	...	...	...
59	...	...	...
60	...	...	...
61	...	...	...
62	...	...	...
63	...	...	...
64	...	...	...
65	...	...	...
66	...	...	...
67	...	...	...
68	...	...	...
69	...	...	...
70	...	...	...
71	...	...	...
72	...	...	...
73	...	...	...
74	...	...	...
75	...	...	...
76	...	...	...
77	...	...	...
78	...	...	...
79	...	...	...
80	...	...	...
81	...	...	...
82	...	...	...
83	...	...	...
84	...	...	...
85	...	...	...
86	...	...	...
87	...	...	...
88	...	...	...
89	...	...	...
90	...	...	...
91	...	...	...
92	...	...	...
93	...	...	...
94	...	...	...
95	...	...	...
96	...	...	...
97	...	...	...
98	...	...	...
99	...	...	...
100	...	...	...

Gambar 4.3	Pengujian kolom terkekang tulangan spiral (CCS) (a) Pada Saat Mulai Retak (b) Pada Saat beban puncak ...	55
Gambar 4.4	Kurva tegangan-regangan kolom beton terkekang tulangan spiral (CCS)	56
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	58
Gambar 4.6	Kurva tegangan-regangan kolom beton terkekang tulangan spiral yang diberi lapisan <i>fine mesh</i> (CCFMS)...	59
Gambar 4.14	Kurva gabungan tegangan-regangan kolom beton eksperimen.....	60

1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...
16	...	...	...
17	...	...	...
18	...	...	...
19	...	...	...
20	...	...	...
21	...	...	...
22	...	...	...
23	...	...	...
24	...	...	...
25	...	...	...
26	...	...	...
27	...	...	...
28	...	...	...
29	...	...	...
30	...	...	...
31	...	...	...
32	...	...	...
33	...	...	...
34	...	...	...
35	...	...	...
36	...	...	...
37	...	...	...
38	...	...	...
39	...	...	...
40	...	...	...
41	...	...	...
42	...	...	...
43	...	...	...
44	...	...	...
45	...	...	...
46	...	...	...
47	...	...	...
48	...	...	...
49	...	...	...
50	...	...	...

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi permukaan bumi. Gempa biasa disebabkan pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Kata gempa bumi juga digunakan untuk menunjukkan daerah asal terjadinya kejadian gempa bumi tersebut. Bumi kita walaupun padat selalu bergerak, dan gempa bumi terjadi apabila tekanan yang terjadi karena pergerakan itu sudah terlalu besar untuk dapat ditahan.

Gempa bumi terjadi setiap hari di bumi, namun kebanyakan kecil dan tidak menyebabkan kerusakan apa-apa. Gempa bumi kecil juga dapat mengiringi gempa bumi besar, dan dapat terjadi sesudah, sebelum, atau selepas gempa bumi besar tersebut. Gempa bumi diukur menggunakan alat yang dinamakan pengukur *Richter*. Gempa bumi dalam skala dari 1 hingga 9 berdasarkan ukurannya (skala *Richter*). Gempa bumi juga dapat diukur dengan menggunakan ukuran skala *Mercalli*.

Oleh sebab itu gempa bumi merupakan ancaman bagi umat manusia, gempa bumi bukan merupakan isu lokal, nasional, regional tapi merupakan isu dan *phenomena* global. Merupakan hal yang *impossible* untuk mencegah gempa bumi, tetapi bagaimana meringankan kehancuran, kehilangan nyawa, kehilangan harta benda dan penderitaan akibat gempa bumi. Oleh karena itu para ahli terus melakukan penelitian di bidang struktur tahan gempa, agar dapat menemukan

STATE OF TEXAS

1

1142

1142

1142

1142

1142

1142

1142

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.

Keruntuhan bangunan gedung yang terjadi akibat gempa bumi selama ini banyak 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*". 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. 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*) sebagai pengekang merupakan salah satu solusi yang lebih ekonomis untuk dipakai sebagai bahan *retrofit* kolom yang kurang daktail, 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 akan diteliti adalah “*Bagaimana efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat Ø3-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})*” dengan rincian permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana efektifitas *fine mesh* Ø3-50, sebagai pengekang (*confinement*) kolom bulat beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral BJTP*?
2. Bagaimana efektifitas tulangan *spiral BJTP* yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral BJTP*?
3. Bagaimana model kurva hubungan tegangan-regangan kolom bulat beton yang terkekang *fine mesh* Ø3-50 dibanding tulangan *spiral BJTP*?

4. Bagaimana perbandingan model kurva hubungan tegangan-regangan tulangan spiral BJTP yang di *-retrovit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinment*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah “*Untuk Mengetahui efektifitas fine mesh Ø3-50 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* sebagai pengekang (*confinement*) kolom bulat beton dibanding *tulangan spiral* BJTP.
2. Mengetahui efektifitas tulangan *spiral BJTP* yang di-*retrovit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral BJTP*.
3. Mengetahui model kurva hubungan tegangan-regangan kolom bulat beton yang terkekang *fine mesh Ø3-50* dibanding tulangan *spiral* BJTP.
4. Mengetahui model kurva hubungan tulangan spiral BJTP yang di *-retrovit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinment*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP.

1.4. Batasan Masalah

Untuk membatasi penelitian dan memberikan langkah-langkah sistematis, maka lingkup permasalahan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Efektifitas dari *fine mesh* Ø3-50 digunakan pada kolom bulat beton bertulang ukuran sebagai pengekang kolom beton dibanding kolom beton yang terkekang tulangan *spiral* BJTP.
2. Efektifitas dari tulangan *spiral* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* Ø3-50 sebagai pengekang kolom beton dibanding kolom beton yang terkekang tulangan *spiral* BJTP.
3. Model kurva hubungan tegangan-regangan kolom bulat beton yang terkekang *fine mesh* Ø3-50 dibanding tulangan *spiral* BJTP.
4. Model kurva hubungan tegangan-regangan tulangan *spiral* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* Ø3-50 sebagai pengekang kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *spiral* BJTP.

1.5. 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* Ø3-50.

2. Memberikan perumusan analisis yang cocok terhadap model kurva hubungan tegangan-regangan untuk kolom beton yang dikekang dengan *fine mesh* Ø3-50 dibanding tulangan sengkang BJPT.
3. Memberikan perumusan analisis yang cocok terhadap model kurva hubungan tegangan-regangan untuk kolom beton yang dikekang BJPT yang di -retrofit lapisan *fine mesh* sebagai pengekang kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan spiral BJPT
4. Mendapatkan kurva diagram hubungan tegangan-regangan yang lebih sesuai bila dimanfaatkan untuk memprediksi kekuatan kolom beton yang dikekang dengan *fine mesh* dibanding tulangan spiral BJPT
5. Memberikan informasi kepada para praktisi atau perencana tentang pengekangan kolom beton bertulang menggunakan *fine mesh* pada bangunan gedung yang akan dibangun.

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 $f'_{cc} = f'_c + 4,1f_l$ (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 bulat. Selanjutnya, Saatcioglu dan Razvi (1992) mengajukan konsep kekuatan dan deformasi (*strength and deformability*) yang dihasilkan oleh tekanan lateral tulangan pengekang. Model ini didasarkan bukti bahwa tekanan lateral ekuivalen yang berasal dari tulangan kekang berbeda-beda besarnya, tergantung konfigurasi tulangan pengekangnya. Model ini diterapkan pada kolom penampang bulat dan bulat dengan pembebanan konsentrik maupun eksentrik.

Selain penelitian diatas telah dilakukan penelitian oleh Yosinson P. M. pada tahun (2007) “Efektivitas 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.

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.

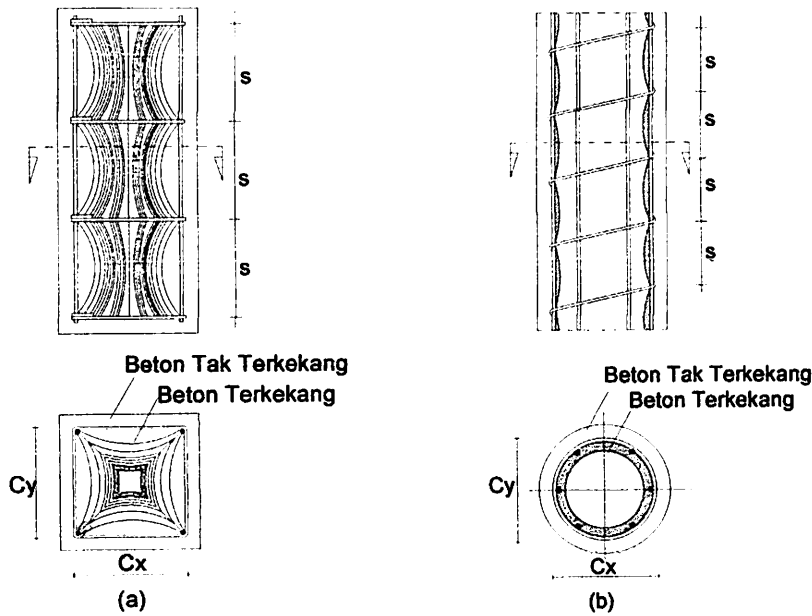
2.2. Pengekanan Pada Beton

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

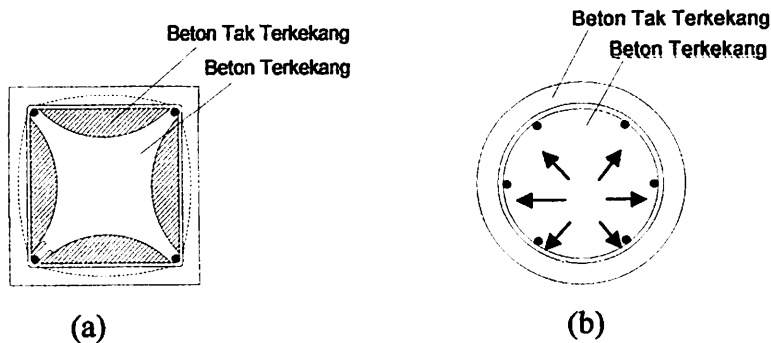
Kemampuan deformasi dari beton akan meningkat dengan adanya pengekangan, dan dapat mencapai regangan yang lebih tinggi pada puncak pembebanan. Besarnya regangan pada saat dicapainya tegangan puncak sangat tergantung pada efektifitas pengekangan yang dipasang. Pada penampang bulat daerah efektif terkekang tidak sebaik pada penampang bulat. Daerah efektif terkekang penampang bulat 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 spiral bulat (b) Pengekangan dengan tulangan spiral

2.2.1. Pengekang Beton Dengan Tulangan Transversal Konvensional

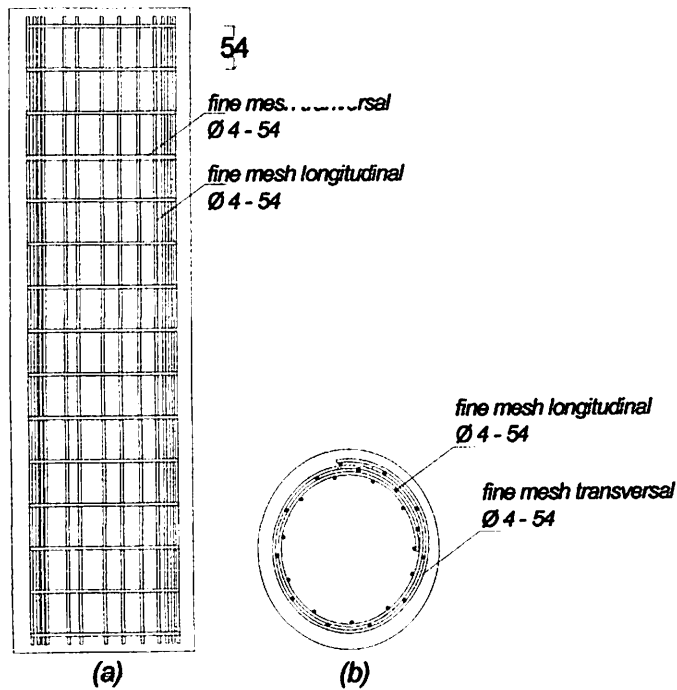
Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan spiral yang berbentuk bulat dan tulangan spiral yang berbentuk bulat. Tulangan spiral atau spiral berfungsi untuk memikul gaya geser, mengekang beton agar mengurangi resiko pecahnya beton dan membuat lebih kaku sambungan tulangan memanjang. Spiral bulat hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut-sudut spiral 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 spiral (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 spiral (b) Terkekang dengan tulangan spiral

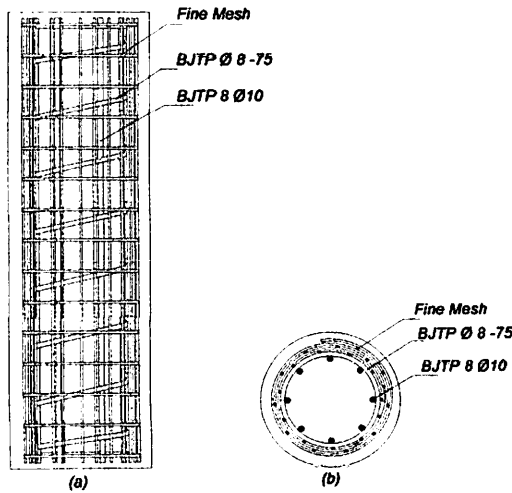
2.2.2. Pengekang Beton Dengan Fine Mesh

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 seperti terlihat dalam Gambar 2.3a dan 2.3b. Tekanan kekang nominal (f_l) dari tulangan pengekang spiral bulat 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 2.4



Gambar 2.4. 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 pasang dengan cara melilitkan *fine mesh* pada tulangan konvensional yang sudah ada, seperti terlihat pada Gambar 2.5a dan 2.5b kolom bulat beton bertulang yang dililitkan *fine mesh* dan pada Gambar 2.6a dan 2.6b kolom bulat beton bertulang yang dililitkan *fine mesh*.



Gambar 2.6. 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 spiral tertutup bulat berupa spiral tunggal (*single ties*) atau spiral tumpuk (*overlapping hoops*) dengan atau tanpa tulangan pengikat silang (*cross ties*) yang disyaratkan tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada dua 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 :

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

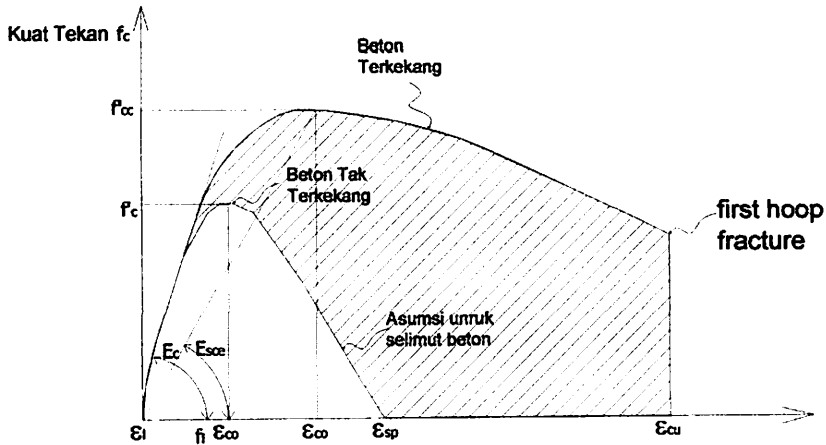
Kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) \cdot f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st} \cdot f_y$. yang digunakan dalam perhitungan disini adalah f'_c , dengan demikian kapasitas beban centris maks adalah P_o yang dapat dinyatakan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

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

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

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 pengekangan, seperti terlihat dalam Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Kurva hubungan tegangan-regangan untuk pembebanan monotonik beton tak dikekang dan beton terkekang

Untuk penampang beton terkekang :

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \dots\dots\dots$$

(2.8)

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

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

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

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

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

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

Regangan tekan puncak beton terkekang

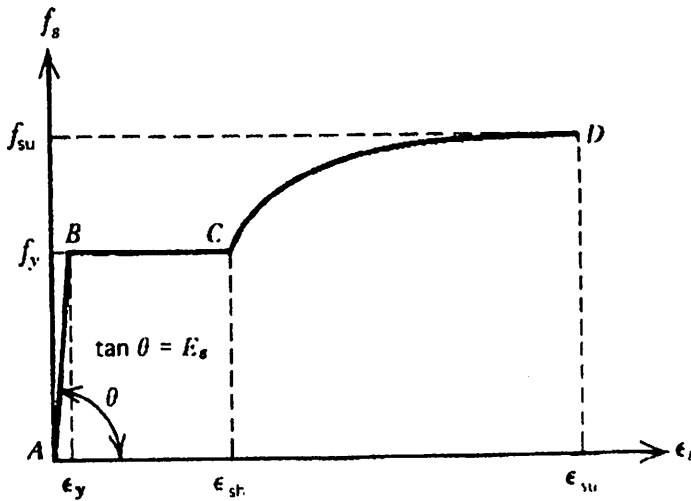
$$\epsilon'_{cc} = 0,002 [1 + 5(f'_{cc} / f_c - 1)] \dots\dots\dots (2.15)$$

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 2.9 di bawah ini :



Gambar 2.9 Kurva hubungan tegangan-regangan baja tulangan

Pada kurva tersebut dapat dilihat karakteristik-karakteristik sebagai berikut :

Daerah AB (Daerah Elastis) : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

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

Daerah BC (Daerah Plastis) : $\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$

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

Daerah CD (Daerah Pengerasan Regangan) : $\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$

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

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

di mana :

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

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* $f_{ym} = 382$ MPa
- f. Baja tulangan polos $\varnothing = 6$ mm dan $\varnothing = 8$ mm
- g. Diameter *fine mesh* adalah $\varnothing = 3$ 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 terkekang (f'_{cc}) kolom CCFM.
- e. Analisa data eksperimen peningkatan kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) kolom CCS.
- f. Analisa data eksperimen peningkatan kuat tekan beton terkekang (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 $\varnothing = 2,8$ 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* $f_{yfm} = 382$ Mpa, sedangkan kuat putus diperoleh $f_{ufm} = 486,22$ 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 polos (CCP) sebanyak 2 buah, kolom beton yang terkekang *fine mesh* sebanyak 2 buah, kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* sebanyak 2 buah, dan kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh* sebanyak 2 buah.

Tabel 3.1. Perincian benda uji yang telah diteliti

Kode Benda Uji	Penampang Kolom	Jenis Tulangan		Jumlah Benda Uji
		Konvensional	Fine mesh (FM)	
CCFM-1	D=150 mm	-	Ø3-50	1 Buah
CCFM-1	D=150 mm	-	Ø3-50	1 Buah
CCFM-1	D=150 mm	-	Ø3-50	1 Buah
CCSG	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	-	1 Buah
CCSG	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	-	1 Buah
CCSG	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø= 5,8mm	-	1 Buah

CCFMS	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	FM Ø3-50mm	1 Buah
CCFMS	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	FM Ø 3-50mm	1 Buah
CCFMS	D=150 mm	Longitudinal Ø=7,8mm dan Transversal Ø=5,8mm	FM Ø 3-50 mm	1 Buah

Keterangan :

CCFM = *Circular Column Fine Mesh*

CCS = *Circular Column Spiral*

CCFMS = *Circular Column Fine Mesh and Spiral*

D = Diameter kolom

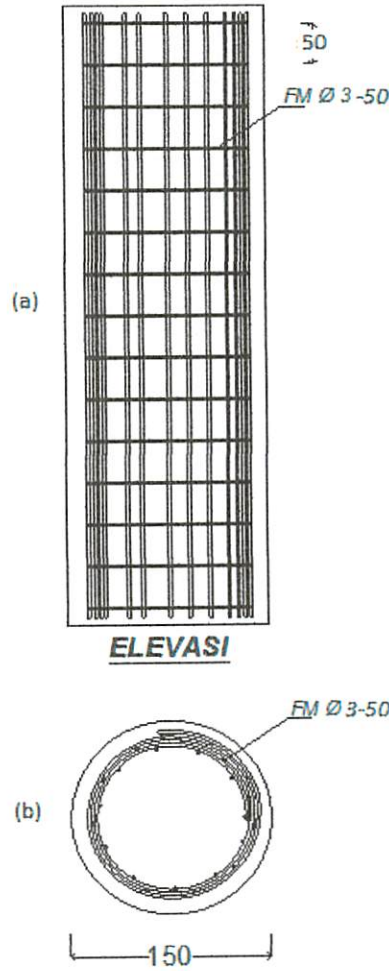
FM = *Fine Mesh*

s = *Jarak Tulangan Spiral BJTP*

1 = Nomor benda uji pertama untuk masing-masing kolom

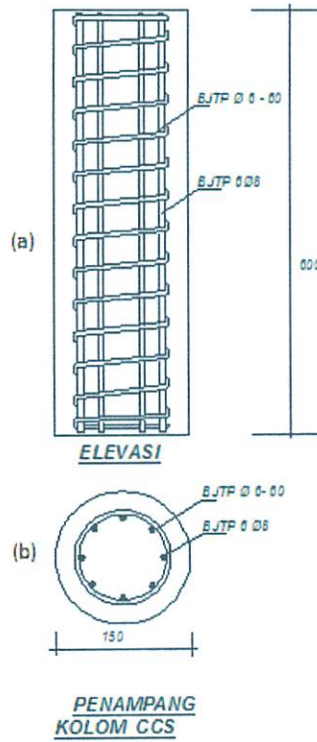
2 = Nomor benda uji kedua untuk masing-masing kolom

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

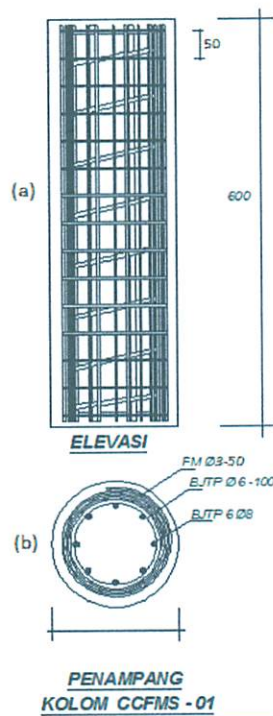


Gambar 3.1a. Benda Uji Kolom Bulat yang terkekang *fine mesh*
(a) gambar tampak samping, (b) gambar tampak atas

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG



Gambar 3.1b. Benda Uji Kolom Bulat yang terkekang *tulangan spiral BJTP*. (a) gambar tampak samping dan (b) gambar tampak atas

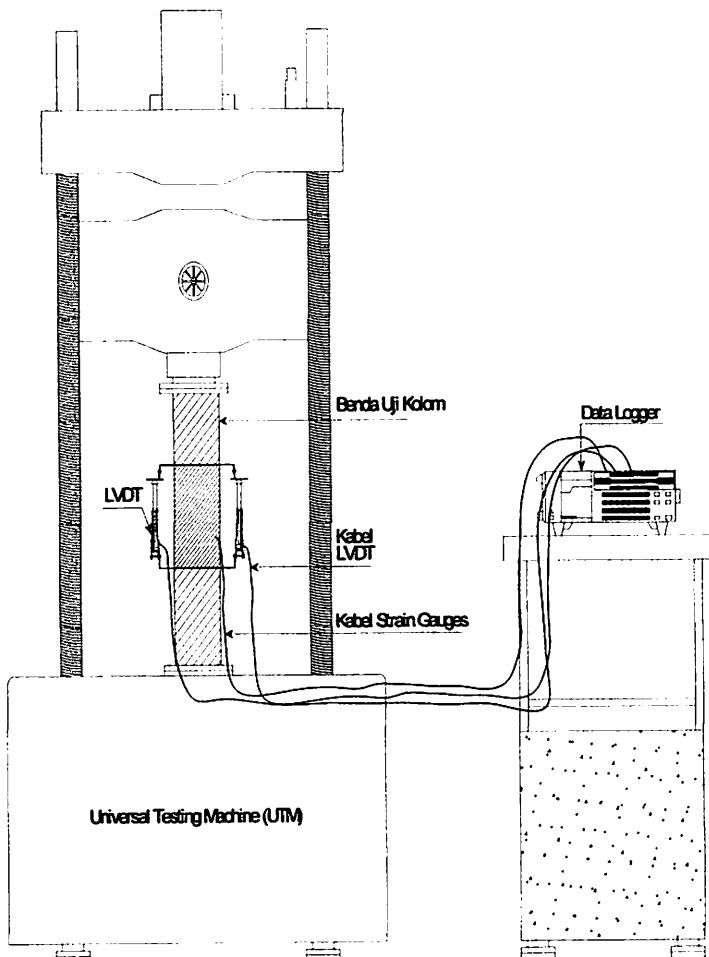


Gambar 3.1c. Benda Uji Kolom Bulat yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh*. (a) gambar tampak samping dan (b) gambar tampak atas

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. Pengujian dilakukan dengan sistem *load control* dan *displacement control*.
17. 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.
18. Pengambilan data regangan *tulangan spiral BJTP* dan *fine mesh* arah transversal pada saat pembebanan diperoleh melalui strain gauge yang terpasang menggunakan alat *data logger*.
19. Selama pembebanan dilakukan pengamatan, pemotretan dan pencatatan data.
20. 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 :

$$\begin{aligned}A_{sfm} &= m_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= 19 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2,8^2 \\ &= 117,04 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Modulus elastisitas Beton Adalah :

$$\begin{aligned}E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{20,09} \\ &= 21066,28 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{21066,28} \\ &= 9,49\end{aligned}$$

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

1). Menggunakan *Fine Mesh* $\phi 3 \text{ mm}$ grid 50 mm , dengan $s = 50 \text{ mm}$

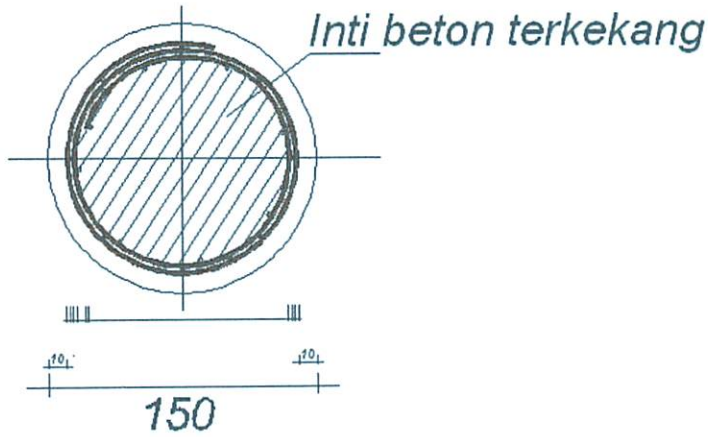
Luas penampang *fine mesh* adalah :

$$\begin{aligned}A_{fm} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2^2 \\ &= 3,14 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

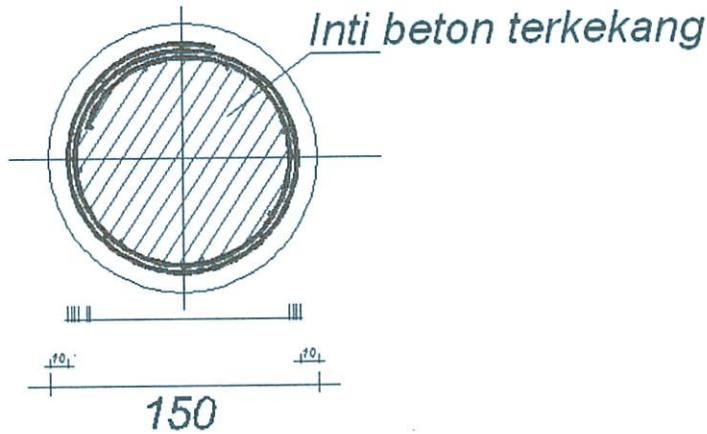
- *Layer 1 (lapisan dalam)* :

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 150 - 10 - 10 - (2 \times 2,8) - (2 \times 2,8) - 2,8 = 116 \text{ mm}$$



$$D'_{cfm} = 150 - 10 - 10 - (2 \times 2,8) - (2 \times 2,8) = 118,8 \text{ mm}$$



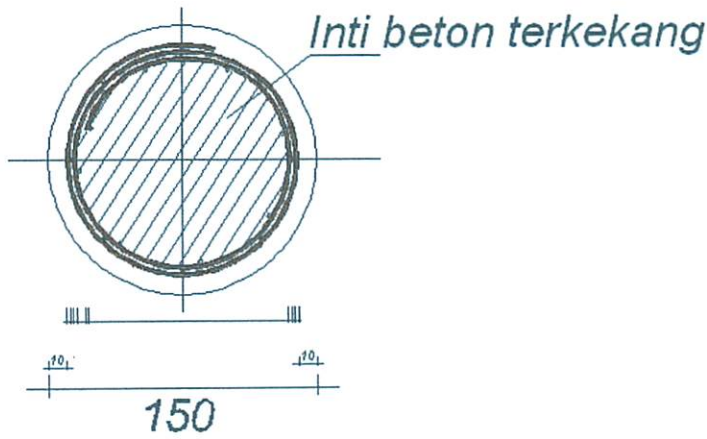
Rasio *fine mesh* (ρ_{sfm}) untuk layer dalam adalah :

$$\begin{aligned} \rho_{sfm1} &= \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) \cdot A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cfm}^2\right) \cdot s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 116) (6,16)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 118,8^2\right) 50} \\ &= 0,00405 \end{aligned}$$

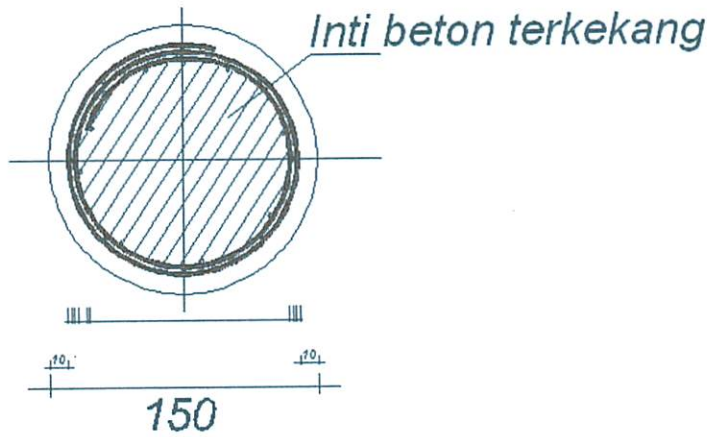
- *Layer 2 (lapisan luar) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 150 - 10 - 10 - 2,8 = 127,2 \text{ mm}$$



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



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

$$\begin{aligned} \rho_{sfm2} &= \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) \cdot A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cfm}'^2\right) \cdot s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 127,2) \cdot (6,16)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) \cdot 50} \\ &= 0,003709 \end{aligned}$$

$$\text{Rasio total} = \rho_x = \rho_y = \rho_{sfm1} + \rho_{sfm2} = 0,00405 + 0,003709$$

$$\rho_{sfm} = \rho_x = \rho_y = 0,00776$$

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

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

$$K_e = 0,95$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,95 \times 0,00776 \times 382$$

$$= 2,816 \text{ MPa}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,816}{20} = 0,1408$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_{sfm} \left(\frac{f_{yh}}{f_c} \right) \quad (2.13)$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,00776 \times \left(\frac{382}{20} \right) = 1,3038$$

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

$$f'_{cc} = 1,3038 \times 20 = 26,0765 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{26,0765}{20} - 1 \right) \right] = 0,005038$$

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

$$\rightarrow \rho_s = 0,00776$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,00776 \times 382 \times \frac{0,15}{26,0765} = 0,02787$$

Beban maksimum kolom CCFM adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_{sfm}) + (A_{sfm} \times n)) \\ &= 26,0765 \times ((17662,5 - 117,04) + (117,04 \times 9,5152)) \\ &= 486563,83 \text{ N} = 48,6564 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 3.3. 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	0,13640	11,820
3	0,00119	0,27280	18,662
4	0,00179	0,40920	22,394
5	0,00239	0,54559	24,401
6	0,00299	0,68199	25,445
7	0,00358	0,81839	25,940
8	0,00418	0,95479	26,120
9	0,00478	1,09119	26,088
10	0,00538	1,22759	25,947
11	0,00597	1,36398	25,610
12	0,00814	1,85896	24,732
13	0,01031	2,35394	23,684
14	0,01248	2,84891	22,724
15	0,01464	3,34389	21,871
16	0,01681	3,83886	21,116

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.3.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton

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

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

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

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} = \frac{0,0043791}{0,00060} = 0,13640 \quad (2.15)$$

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

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

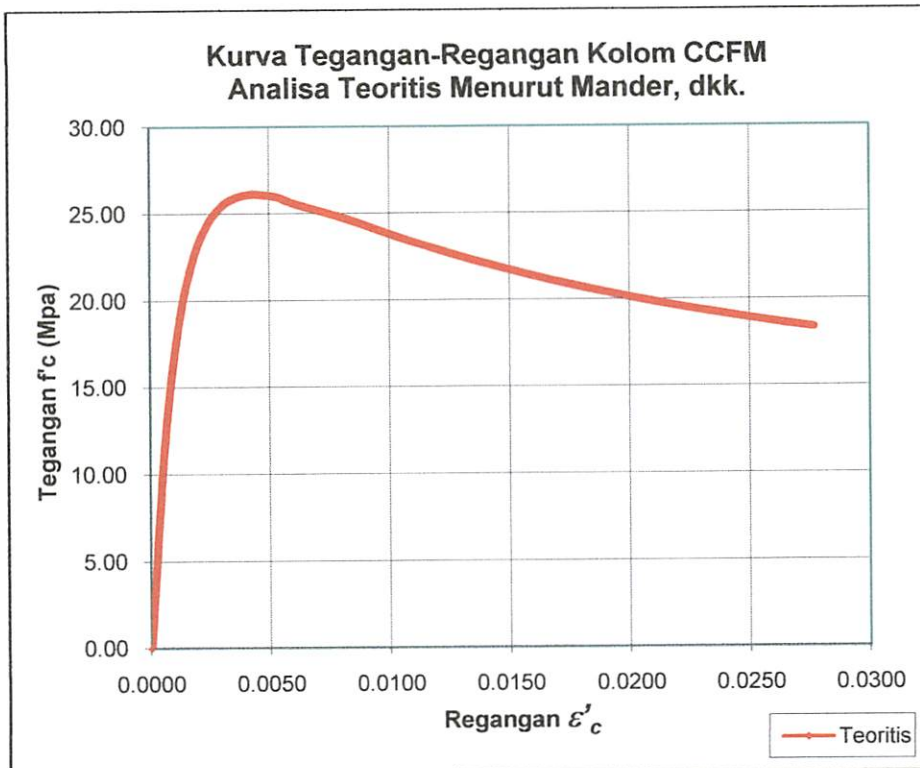
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} = \frac{26.120 \times 0.13640 \times 1.3303458}{1.3303458 - 1 + 0.13640^{1.3303458}} = 11.820 \quad (2.14)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = \frac{24020.573}{24020.573 - 5964.6863} = 1.3303458 \quad (2.16)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} = \frac{26.120}{0.0043791} = 5964.6863 \quad (2.17)$$

$$f'_{cc} = K * f'_c = 1.3001 \times 20,09 = 26.120$$

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *fine mesh* (CCFM) yang terlihat pada Gambar 3.4. 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).



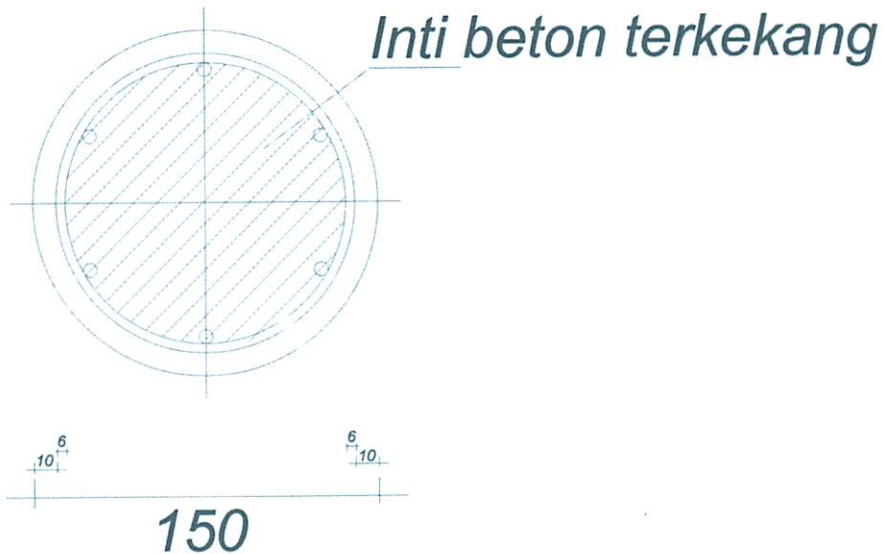
Gambar 3.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom CCF

3.6.2. Kolom Beton Terkekang Spiral (CCS)

Kolom CCS adalah kolom beton yang terkekang tulangan spiral BJTP Ø10 – 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 :

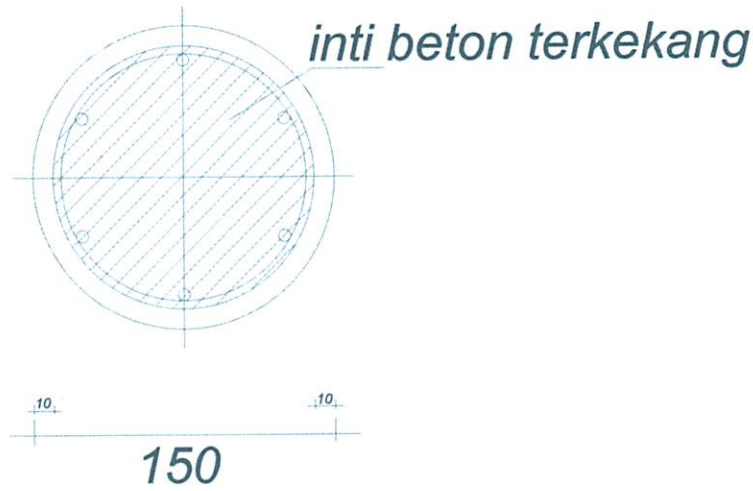
$$\begin{aligned} D_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - \varnothing \text{ tulangan spiral} \\ &= 150 - (2 \times 10) - 5,8 \\ &= 124,2 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar penampang kolom D_c .

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 :

$$\begin{aligned}
 A_s &= m_l \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \varnothing^2 \\
 &= 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2 \\
 &= 158,589 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Di mana :

m_l adalah jumlah tulangan longitudinal

Tulangan spiral kolom bulat yang dipakai adalah $\varnothing 5,8 - 100$.

Rasio tulangan spiral yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{terpasang}} &= \frac{(\pi \cdot D_c) \cdot A_{sv}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c^2\right) \cdot s} \\
 &= \frac{(\pi \cdot 124,2) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2\right)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) \cdot 100} \\
 &= 0,01404
 \end{aligned}$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,01404$$

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

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

$$K_e = 0,95$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,95 \times 0,01404 \times 200,96$$

$$= 2,6803 \text{ MPa}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,6803}{20} = 0,1340$$

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

$$K = 1 + 2,05 \times 0,01404 \times \left(\frac{200,96}{20} \right) = 1,2892$$

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

$$f'_{cc} = 1,2892 \times 20 = 25,78 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{25,78}{20} - 1 \right) \right] = 0,00489$$

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

$$\rightarrow \rho_s = 0,01404$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,01404 \times 200,96 \times \frac{0,15}{25,78} = 0,0269$$

Beban maksimum kolom CCS adalah :

$$P_{maks} = f'_{cc} \times ((A_g - A_s) + (A_s \times n))$$

$$= 25,78 \times ((17662,5 - 158,589) + (158,589 \times 9,5152))$$

$$= 490226,09 \text{ N} = 49,0226 \text{ ton}$$

Tabel 3.4. 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	0.15777	13.822
3	0.00153	0.31553	20.434
4	0.00230	0.47330	23.531
5	0.00307	0.63107	24.980
6	0.00383	0.78884	25.614
7	0.00460	0.94660	25.821
8	0.00537	1.10437	25.797
9	0.00613	1.26214	25.644
10	0.00690	1.41990	25.419
11	0.00767	1.57767	25.156
12	0.00983	2.02381	24.341
13	0.01200	2.46995	23.543
14	0.01417	2.91609	22.810
15	0.01634	3.36223	22.149
16	0.01850	3.80837	21.554
17	0.02067	4.25452	21.017
18	0.02284	4.70066	20.531
19	0.02501	5.14680	20.088
20	0.02717	5.59294	19.683

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.4.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

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

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

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

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

➤ 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

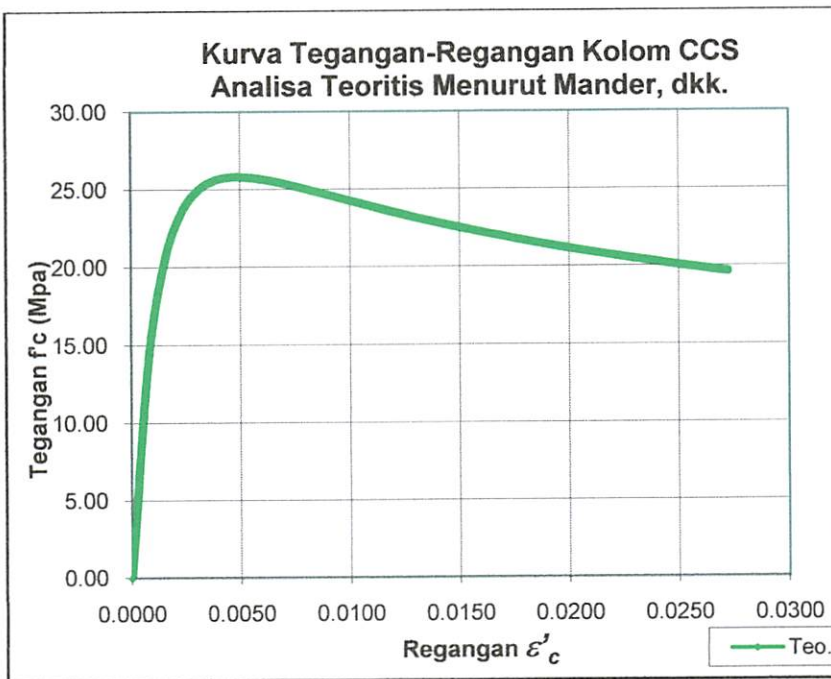
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

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

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

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

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *tulangan spiral* (CCS) yang terlihat pada Gambar 3.5. 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 3.5. 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 Ø8 – 75, yang mana tulangan spiral yang terpasang pada kolom CCFMS belum memenuhi syarat pengekangan 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 pengekangan 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.

$$\begin{aligned}A_{sfm} &= m_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= 19 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2,8^2 \\ &= 117,04 \text{ mm}^2 \\ A_s &= m_1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= 6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,8^2 \\ &= 286,56 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

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

- *Tulangan spiral yang terpasang pada kolom bulat adalah Ø6-100.*
$$\begin{aligned}D_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 8 \times \phi_{\text{fine mesh}} - \phi_{\text{tulangan spiral}} \\ &= 150 - (2 \times 10) - (8 \times 2,8) - 5,8 \\ &= 118,6 \text{ mm} \\ D_c' &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 8 \times \phi_{\text{fine mesh}} \\ &= 150 - (2 \times 10) - (8 \times 2,8) \\ &= 124,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Rasio tulangan spiral yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{s\text{terpasang}} &= \frac{(\pi \cdot D_c) \cdot A_{sv}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c'^2\right) \cdot s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 118,6) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,8^2\right)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 124,4^2\right) 100} \\ &= 0,014654\end{aligned}$$

- *Layer 1 (lapisan dalam) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 150 - 10 - 10 - 5,8 - 5,8 - 2,8 = 115,6 \text{ mm}$$

$$D'_{cfm} = 150 - 10 - 10 - 5,8 - 5,8 = 118,4 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}\rho_{sfm} &= \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) \cdot A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'_{cfm}{}^2\right) \cdot s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 115,6) (3,14)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 118,4^2\right) 52,8} \\ &= 0,003852\end{aligned}$$

- *Layer 2 (lapisan luar) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 150 - 10 - 10 - 2,8 = 127,2 \text{ mm}$$

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

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

$$\begin{aligned}\rho_{sfm} &= \frac{(\pi \cdot D_{cfm}) \cdot A_{fm}}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D'_{cfm}{}^2\right) \cdot s} \\ &= \frac{(\pi \cdot 127,2) (3,14)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 130^2\right) 52,8} \\ &= 0,003512\end{aligned}$$

$$\text{Rasio total} = \rho_x = \rho_y = 0,01465 + 0,003852 + 0,003512$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,022018$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \tag{2.11}$$

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

$$K_e = 0,95$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,95 \times 0,022018 \times 200,96 \\ = 4,20354 MPa$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{4,20354}{20} = 0,2102$$

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

$$K = 1 + 2,05 \times 0,022018 \times \left(\frac{200,96}{20} \right) = 1,45354$$

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

$$f'_{cc} = 1,45354 \times 20 = 29,0708 MPa$$

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

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{29,0708}{20} - 1 \right) \right] = 0,006535$$

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

$$\rightarrow \rho_s = 0,022018$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,022018 \times 200,96 \times \frac{0,15}{29,0708} = 0,004$$

Beban maksimum kolom CCFMS adalah :

$$P_{maks} = f'_{cc} \times ((A_g - A_s - A_{sfm}) + (A_s \times n) + (A_{sfm} \times n)) \\ = 29,0708 \times ((17662,5 - (286,6 + 117,04) + (286,6 \times 9,5) + (117,04 \times \\ 9,5)) \\ = 613370,5 \text{ N} = 61,33705 \text{ ton}$$

Tabel 3.5. 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	0,11534	14,234
3	0,00150	0,23067	21,337
4	0,00225	0,34601	25,003
5	0,00300	0,46135	26,988
6	0,00376	0,57669	28,089
7	0,00451	0,69202	28,692
8	0,00526	0,80736	29,003
9	0,00601	0,92270	29,133
10	0,00676	1,03803	29,149
11	0,00751	1,15337	29,153
12	0,00968	1,48626	28,716
13	0,01185	1,81915	28,217
14	0,01401	2,15203	27,699
15	0,01618	2,48492	27,198

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.5.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik

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

Regangan beton turun

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

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \tag{2.15}$$

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

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

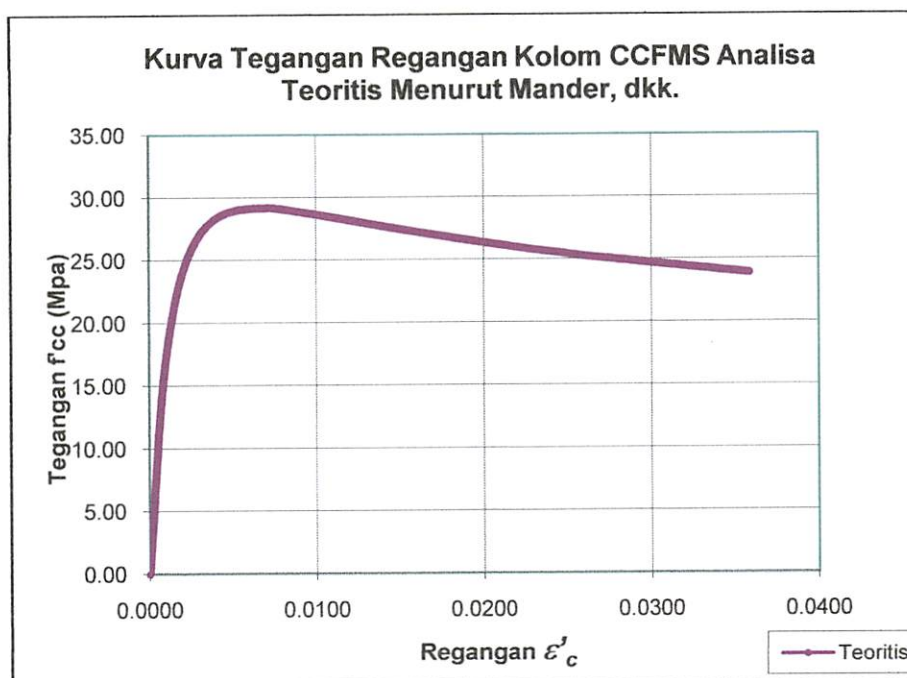
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

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

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

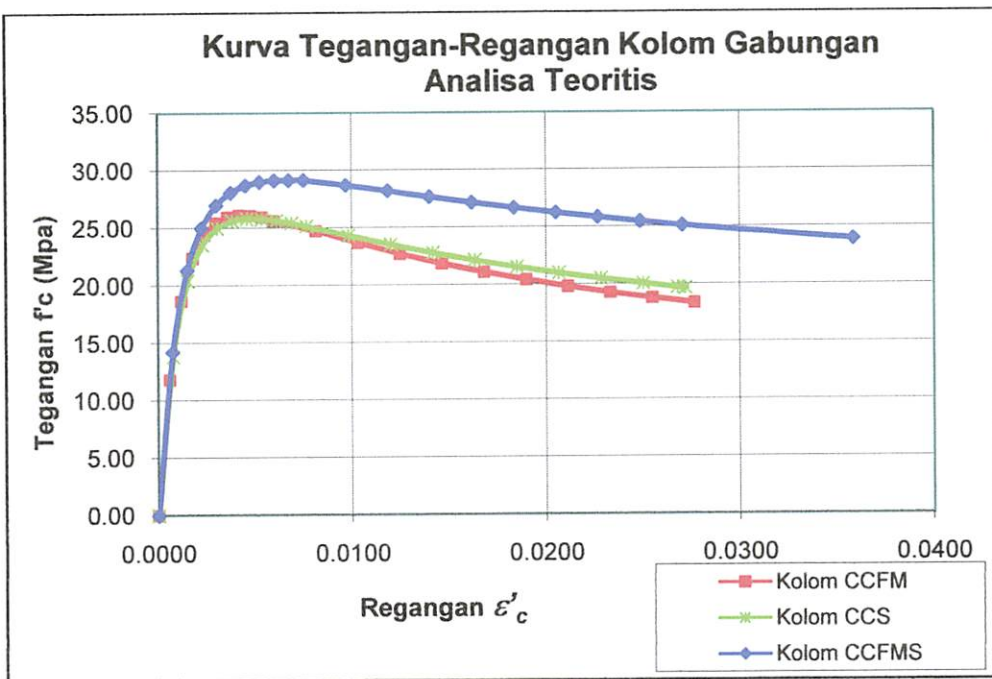
$$f'_{cc} = K * f'_c$$

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *tulangan spiral* yang dibungkus dengan *fine mesh (CCFMS)* yang terlihat pada Gambar 3.6. 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 3.6. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom CCFMS

Gambar 3.7 adalah gambar kurva tegangan-regangan hasil analisa teoritis kolom CCP (Gambar 3.3), CCFM (Gambar 3.4), CCS (Gambar 3.5), dan CCFMS (Gambar 3.6) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, kolom beton polos (CCP) yang tak terkekang (unconfined) mempunyai tegangan dan regangan puncak yang lebih kecil daripada kolom beton yang terkekang (confined). Kolom beton polos setelah mencapai tegangan puncak langsung mengalami keruntuhan, sedangkan kolom beton terkekang setelah mencapai tegangan puncak masih mengalami displacement yang besar hingga mencapai regangan ultimit kemudian baru mengalami keruntuhan.



Gambar 3.7. 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 bila dibanding dengan kolom CCP, 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 3.6. Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Teoritis

No.	Tipe Kolom	ρ_s	Teoritis			
			f'_{cc}	ε'_{cc}	ε'_{cu}	P_{maks} (ton)
1	CCS	0,01404	25,784	0,00489	0,02698	49
2	CCFM	0,00776	26,076	0,00504	0,02787	48
3	CCFMS	0,02202	29,0708	0,00654	0,06369	61

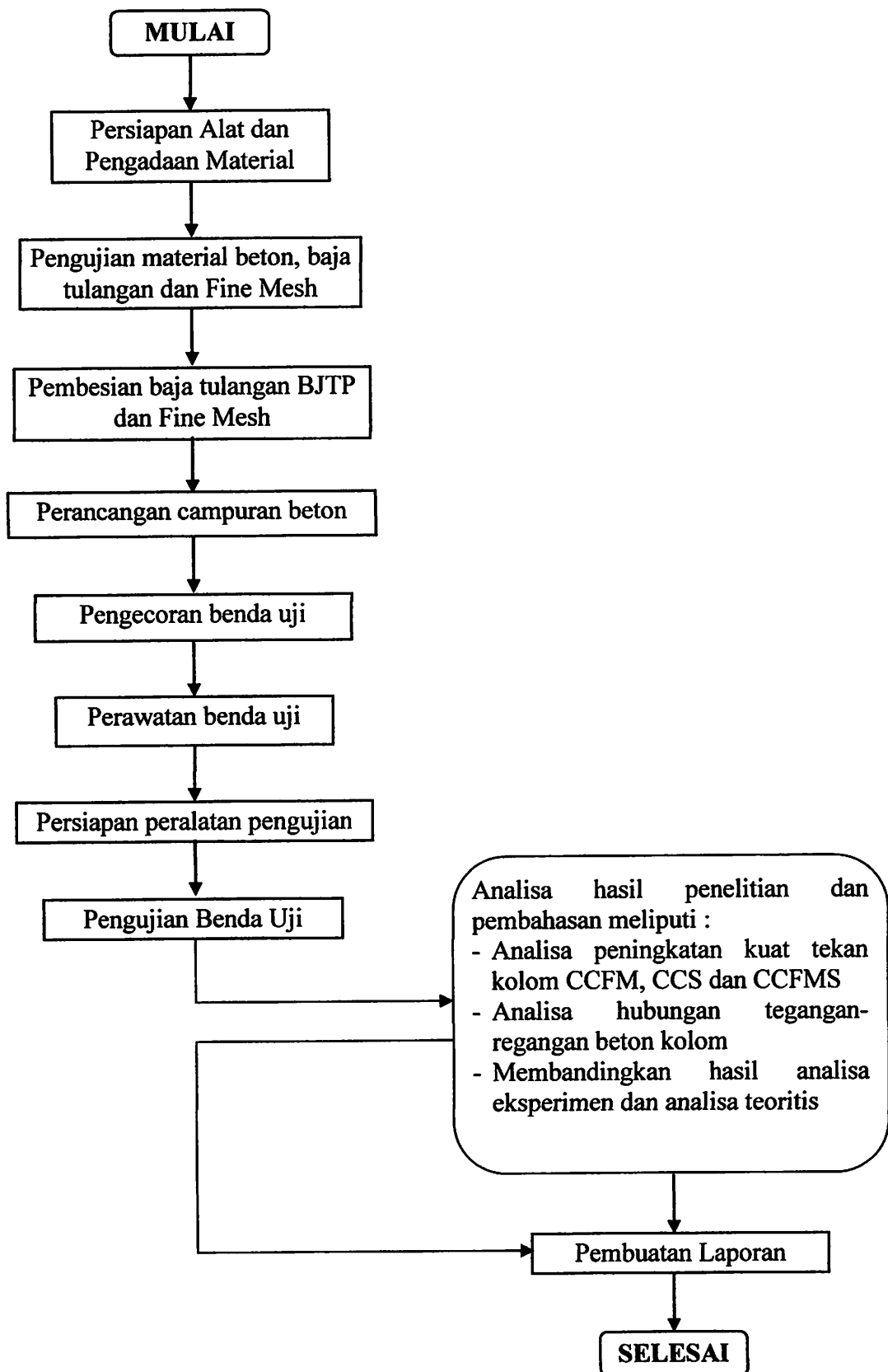
3.7. Laporan yang telah dikerjakan

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.



Gambar 3.8. Bagan alir pelaksanaan penelitian

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 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 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

4.1.2. 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 24 buah. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh sebesar $f'_c = 20,09$ MPa. Perhitungan kuat tekan silinder selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran L3.1.



4.1.3. Pengujian Tarik Baja Tulangan dan Fine Mesh

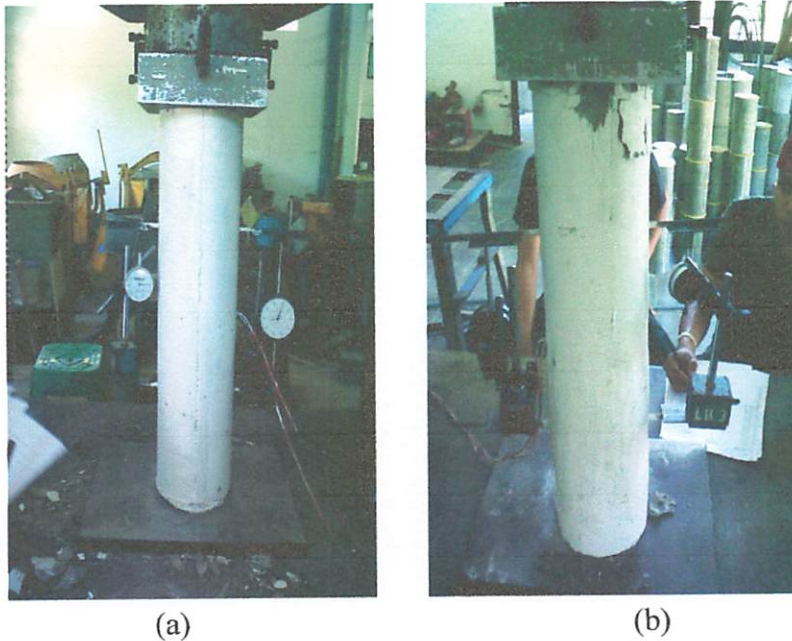
Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dan *fine mesh* menggunakan SIN 07-2052-2002. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Sebagaimana lazimnya, pengujian spesimen baja hanya dilakukan dengan tarikan saja, sedang pengujian tekan tidak dilakukan. Tulangan longitudinal dan spiral yang digunakan adalah Baja Tulangan Polos (BJTP) diameter 6 mm dan 8 mm dengan panjang awal BJTP adalah 600 mm serta pengujian *fine mesh* diameter 2 mm dengan panjang awal fine mesh adalah 600 mm. Masing-masing diameter diambil spesimen secara acak. Diameter aktual benda uji BJTP adalah diameter 5,80 mm dan diameter 7,80 dengan kuat leleh rata-rata hasil pengujian adalah $f_y = 200,96$ MPa. Sedangkan diameter aktual *fine mesh* adalah 2 mm dengan tegangan leleh rata-rata hasil pengujian adalah $f_{yfm} = 382$ MPa. Hasil pengujian tarik tulangan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Selengkapnya untuk hasil pengujian dan perhitungan pengujian tarik baja tulangan dan *fine mesh* dapat dilihat pada Lampiran L2.6.

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 $P = 39$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.3a, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak tapi kolom tetap ditekan hingga beban turun menjadi $P = 42$ 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 $P = 20$ ton dengan besar displacement adalah 9,22 mm, setelah itu kolom hancur dengan yang ditandai dengan lelehnya fine mesh hingga bagian inti beton hancur.

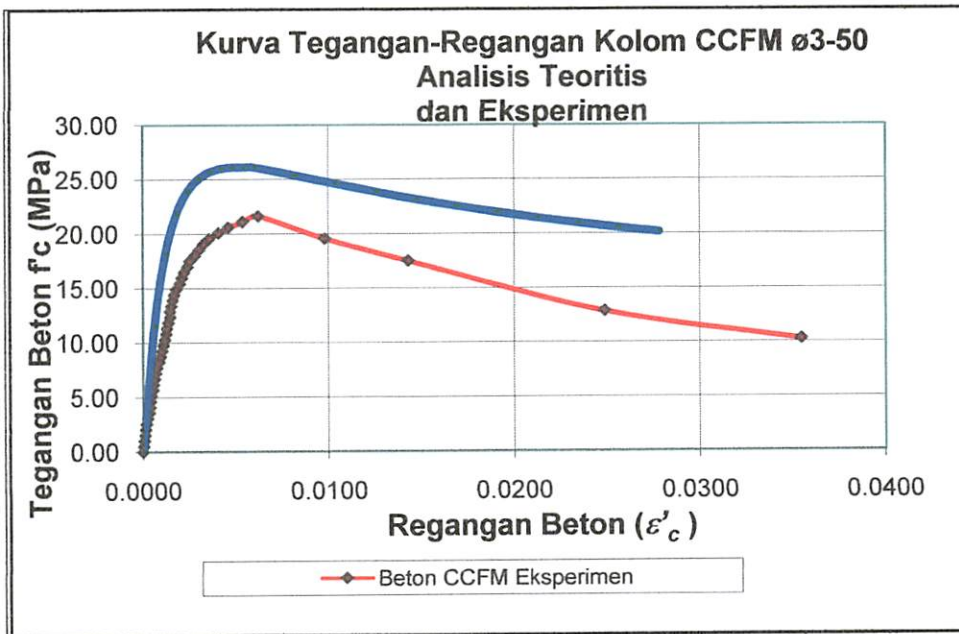


Gambar 4.2. Pengujian Kolom terkekang Fine Mesh (CCFM)
 (a) Kolom CCFM-01 (b) Kolom CCFM -02

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 L3.3 yaitu angka-angka pada kolom 9 dan kolom 17 diambil dari Gambar L3.3.3, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFM* hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.5. Kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFM* hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.3.



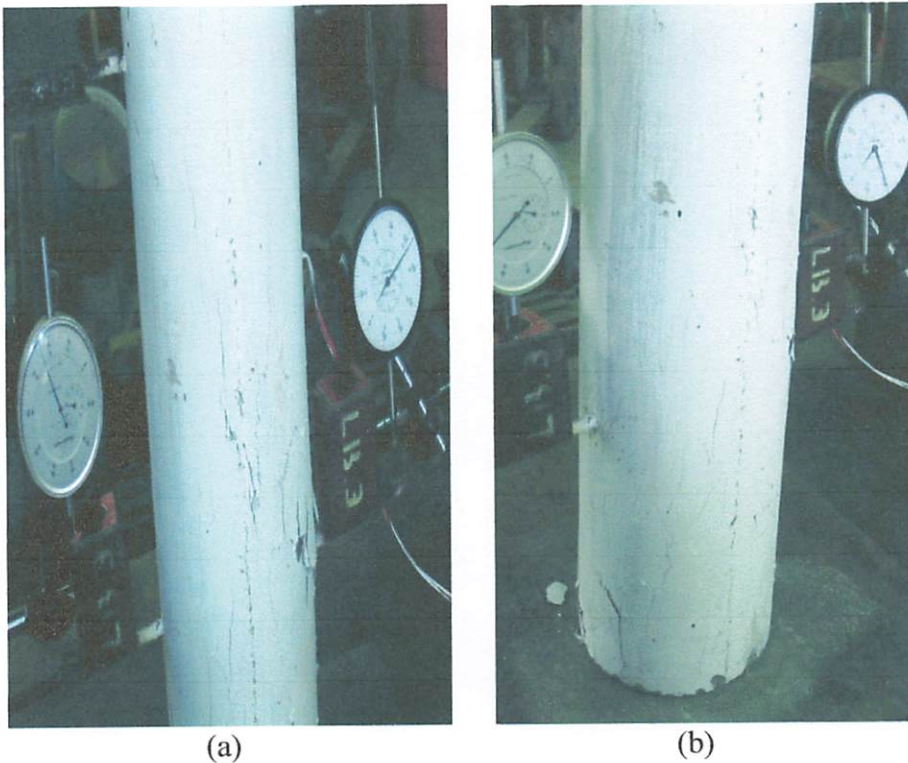
Gambar 4.3. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Fine Mesh (CCFM)

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 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 21,635 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 26,076 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 17,03 %. Nilai regangan beton ϵ'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,00642 sedangkan ϵ'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,00504 atau mengalami peningkatan sebesar 21,5 %. Nilai regangan beton ultimit ϵ'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,03188 sedangkan ϵ'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0279 atau mengalami peningkatan sebesar 12,54 %. Dapat disimpulkan bahwa pengekangan kolom dengan *fine mesh* (analisa eksperimen) mempunyai daktilitas yang lebih baik dibanding pengekangan kolom dengan *tulangan spiral BJTP* (analisa teoritis) karena terjadi displacement yang besar sebelum beton kolom pecah. Tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 3 Tabel L3.3.

4.2.2. Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral (CCS)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom CCS-01 diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 42$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.6a, 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 pengekatan berkurang. Beban tekan tetap diberikan hingga beban turun mencapai $P = 45$ ton lalu terjadi lompatan beban turun hingga mencapai $P = 20$ ton sehingga pengujian kolom CCS-01 dihentikan.

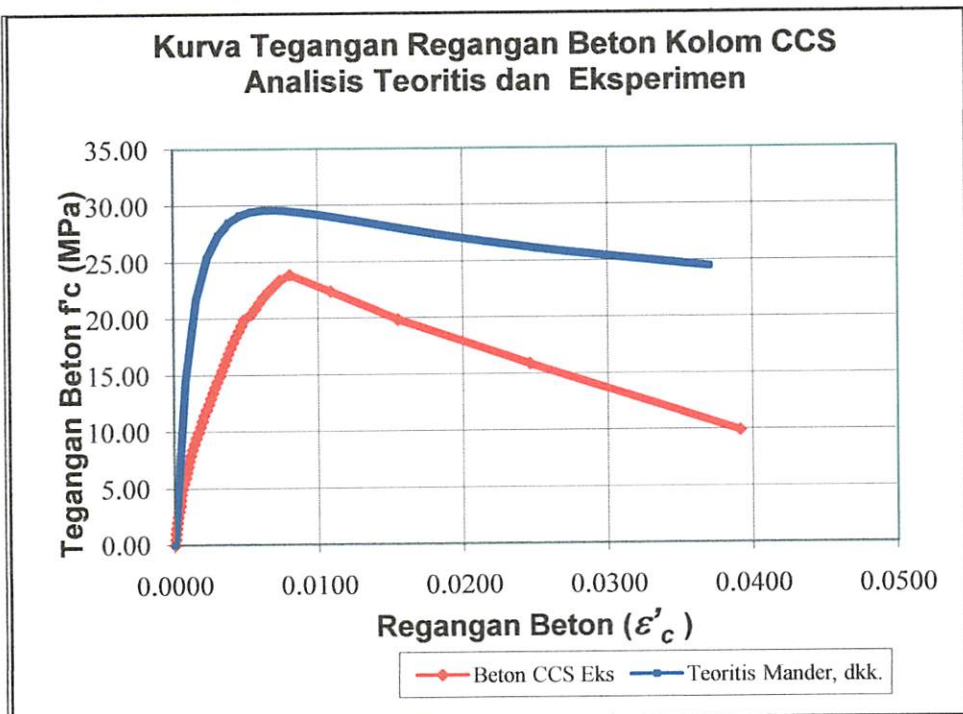


Gambar 4.6. Pengujian Kolom terkekang Tulangan Spiral (CCS)
(a) Kolom CCS-01 (b) Kolom CCS-02

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 L3.4 yaitu angka-angka pada kolom 9 dan kolom 10 diambil dari Gambar 3.4.3, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom CCS hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.6. Kurva tegangan-regangan beton kolom CCS hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral (CCS)

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Gambar 4.7, 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 23,873 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 29,64 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 24,15 %. Nilai regangan beton ε'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,00804 sedangkan ε'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,0068 atau mengalami peningkatan sebesar 15,17 %. Nilai regangan beton ultimit ε'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,0391 sedangkan ε'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0373 atau mengalami peningkatan sebesar 4,6 %. 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.

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

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom CCFMS-01 diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 43,5$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.9a, gambar ini diambil pada saat beban P telah mencapai beban puncak $P = 51$ 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 $P = 48$ ton lalu terjadi lompatan beban turun hingga mencapai $P = 15$ ton sehingga pengujian kolom CCFMS-01 dihentikan.





(a)



(b)

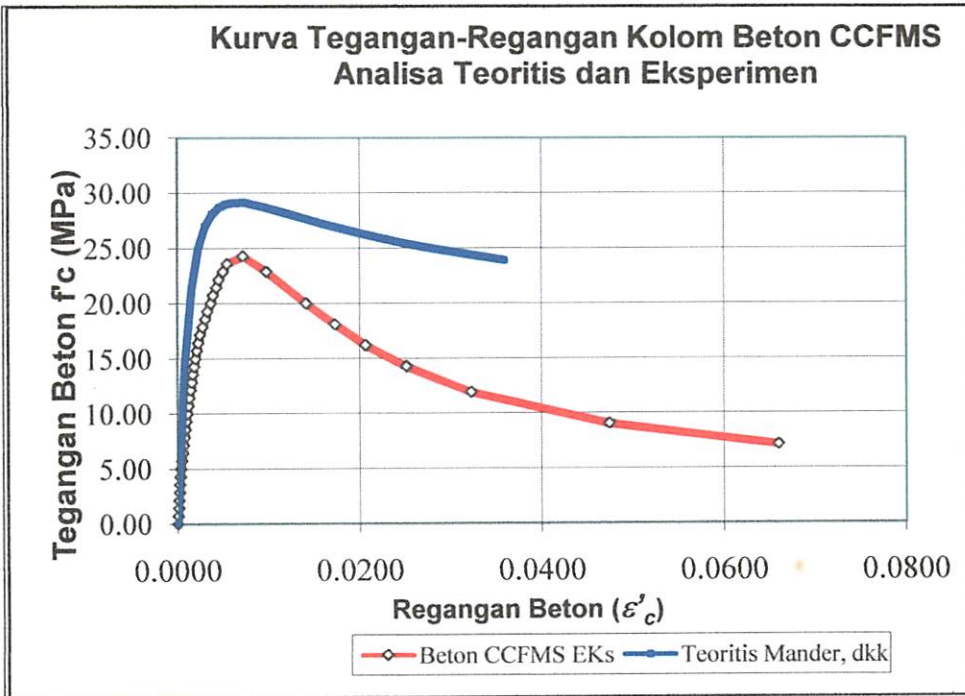
Gambar 4. 9. Pengujian kolom terkekang tulangan spiral yang dibungkus fine mesh (CCFMS) (a) Kolom CCFMS-01 (b) Kolom CCFMS-02

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 L3.5 yaitu angka-angka pada kolom 14 dan kolom 20 diambil dari Gambar L3.5.3, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFMS* hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.7. Kurva tegangan-regangan beton kolom *CCFMS* hasil analisa

eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.10.



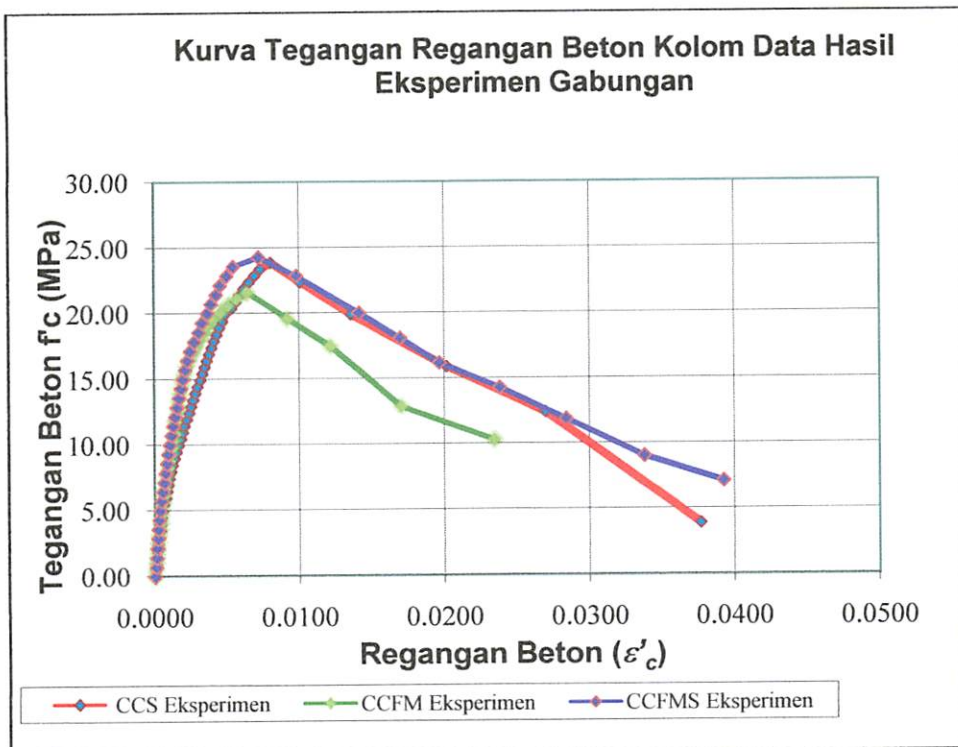
Gambar 4.10. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Tulangan Spiral yang diberi lapisan fine mesh (CCFMS)

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Gambar 4.10, 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 24,288 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 29,071 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 19,7 %. Nilai regangan beton ϵ'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,0072 sedangkan ϵ'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,00654 atau mengalami peningkatan sebesar 9,17 %. Nilai regangan beton ultimit ϵ'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,066 sedangkan ϵ'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0637 atau mengalami peningkatan sebesar 3,48 %. 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 L3.5.

4.2.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton Gabungan 3 Kolom

Pada kolom beton yang terkekang fine mesh (CCFM) dapat di lihat besar nilai kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) sebesar 21,635, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) 0,00642 dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) 0,03188. Pada kurva tegangan-regangan beton pada kolom yang terkekang tulangan spiral (CCS) dan kolom yang terkekang tulangan spiral BJTP yang dibungkus (CCFMS) terlihat terjadi peningkatan kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) yang lebih besar, begitu pula pada regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}), sedangkan regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) relatif sama dengan regangan beton kolom CCFM.



Gambar 4.11. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton Data Hasil Eksperimen Gabungan

Tabel 4.2. Hasil tegangan-regangan analisa eksperimen

No	Tipe Kolom	Eksperimen			
		f'_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	Pmax (ton)
1	CCS	23,873	0,00804	0,03658	48
2	CCFM	21,635	0,00642	0,03188	42
3	CCFMS	24,288	0,0072	0,066	51

Dari hasil analisa eksperimen pada Tabel 4.3 di atas, terlihat bahwa :

Kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* yang dibungkus *fine mesh* (CCFMS) mempunyai rasio tulangan transversal (ρ_v), memiliki efektifitas pengekanan yang hampir sama dengan kolom beton yang terkekang *tulangan spiral BJTP* (CCS), yang mana kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) kolom (CCFMS) berbeda 2,3 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) kolom CCFMS berbeda 11,67 % dari kolom CCS, sedangkan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) kolom CCFMS berbeda 44,55 % dari kolom CCS.

$$\text{Dimana : } \left(2,3\% = \frac{24,288 - 23,873}{24,873} \times 100\% \right)$$

$$\left(11,67\% = \frac{0,00804 - 0,0072}{0,00804} \times 100\% \right)$$

$$\left(44,55\% = \frac{0,03658 - 0,066}{0,03658} \times 100\% \right)$$

4.3. Validasi Hasil Analisa

Tabel 4.3. Validasi hasil analisa teoritis dan eksperimen

No.	Tipe Kolom	Analisa Teoritis			Analisa Eksperimen		
		f'_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	f'_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}
1	CCS	25,784	0,00489	0,0269	23,873	0,00804	0,0366
2	CCFM	26,076	0,00504	0,0279	21,635	0,00642	0,0319
3	CCFMS	29,071	0,00654	0,0637	24,288	0,0072	0,066

Berdasarkan hasil analisa teoritis dan analisa eksperimen pada Tabel 4.4 di atas, terlihat bahwa :

1. Kolom CCFM hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) berbeda sebesar 17,03 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 21,5 % dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 12,54 %.
2. Kolom CCS hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) berbeda sebesar 7,99 % , regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 39,18 % dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 26,5 %.
3. Kolom CCFMS hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) berbeda sebesar 19,7 % , regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 9,17% dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 3,48 %.
4. Dari uraian di atas kolom CCFM, SSC dan CCFMS, seiring dengan peningkatan ϵ'_{cu} -nya menunjukkan peningkatan daktilitas secara proporsional.
5. Dari hasil eksperimen terlihat kuat tekan kolom beton terkekang (f'_{cc}) mengalami penurunan tapi penurunan kuat tekan beton tersebut tidak terlalu mempengaruhi kekuatan kolom karena kekuatan kolom diawali oleh tulangan bukan oleh beton. Sedangkan pada nilai Regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) dan nilai regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) mengalami peningkatan 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.

Dimana :

$$\text{🚧} \left(17,03\% = \frac{26,076 - 21,635}{26,076} \times 100\% \right)$$

$$\text{🚧} \left(21,5\% = \frac{0,00642 - 0,00504}{0,00642} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(12,54\% = \frac{0,0319 - 0,0279}{0,0319} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(7,99\% = \frac{25,784 - 23,873}{25,784} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(39,18\% = \frac{0,00804 - 0,00489}{0,00804} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(26,5\% = \frac{0,0366 - 0,0269}{0,0366} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(19,7\% = \frac{29,071 - 24,288}{29,071} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(9,17\% = \frac{0,0072 - 0,00654}{0,0072} \times 100\% \right)$$

$$\text{✚} \left(3,48\% = \frac{0,066 - 0,0637}{0,066} \times 100\% \right)$$

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian awal yang terbatas ini memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. 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)*, yang mana nilai kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}) CCFMS lebih besar 2,3 % dari CCS, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) CCFMS lebih besar 11,67 % dari nilai CCS dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) CCFMS lebih besar 44,55 % dari nilai CCS
2. Kolom beton dengan pengekangan *tulangan spiral (CCS)* mempunyai efektifitas pengekangan yang hampir sama bila dibandingkan dengan kolom beton yang dikekang *fine mesh (CCFM)* dengan perbedaan rasio tulangan transversal kuat tekan terkekang (f'_{cc}) dari CCFMS berbeda 9,37 % dengan kolom CCS, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) kolom CCFMS lebih besar 20,15 % dari pada kolom CCS dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) kolom CCFMS lebih besar 12,85 % dari pada kolom CCS.
3. Model kurva tegangan-regangan kolom bulat beton yang dikekang *fine mesh* dan yang dikekang *tulangan spiral BJTP* berbentuk relatif sama.
4. Perbandingan model kurva tegangan-regangan *tulangan spiral BJTP* yang di-retrofit lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (confinement) kolom beton dengan kolom beton terkekang *tulangan spiral BJTP* berbentuk relative sama.

5.2. Saran

- Penambahan jumlah benda uji kolom dan dimensi benda uji perlu dipertimbangkan untuk memperkuat *validitas* hasil penelitian ini.
- Perlu penambahan alat *load cell* pada waktu pengujian, agar pada saat pembacaan beban dan displacement dapat dilakukan secara bersamaan.
- Perlu satu set peralatan *UTM* yang komputerisasi, agar pembacaan beban dan displacement dapat dilakukan secara otomatis sehingga hasil penelitian lebih akurat.
- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melilitkan/membungkus *fine mesh* pada tulangan konvensional kolom beton yang akan di buat.

DAFTAR PUSTAKA

- ▣ ACI Commite 318, 2005, **Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-05)**, New York : American Concrete Institute.
- ▣ Ahmad S. H., dan Shah S.P., 1982, **Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement**, ACI Structural Journal, Vol 79, No. 6 hal 484-490.
- ▣ Badan Standardisasi Nasional, 2002, **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002**, Bandung.
- ▣ Li B., Park R., Tanaka K., 1994, **Strength and Ductility of Reinforced Concrete Members and Frames Constructed using HSC**, Dept of Civil engineering, Univ of Canterbury, Cristchurch, New Zealand.
- ▣ Manaha Y. P., 2009, **Efektifitas Pengekangan Fine Mesh Terhadap Peningkatan Daktilitas Kolom Beton Bertulang di Daerah Gempa Kuat**, *DIPA 2009 Nomor : 091/SP2H/PP/DP2M/IV/2009 Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional*.
- ▣ Manaha Y. P., 2009, **Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Fine Mesh**, Jurnal Teknik Sipil "Prokons" Politeknik Negeri Malang, ISSN : 1978-1784
- ▣ Manaha Y. P., 2008, **Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Fine Mesh**, LP2M-ITN Malang
- ▣ Manaha Y. P., 2007, **Efektifitas 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})** Seminar Nasional ITS Surabaya, ISBN 979-545-0270-1.
- ▣ Mander J. B., Priestley M. J. N., Park R., **Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete**, Journal of Structural engineering, ASCE, V. 114. No. 8, August 1988, pp. 1804 - 1826.

- ▣ Mander J. B., Priestley M. J., Park R., **Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete**, Journal of Structural engineering, ASCE, V. 114. No. 8, August 1988, pp. 1827 - 1849.
- ▣ Park R., Paulay T., 1975, **Reinforced Concrete Structure**, New York : John Wiley and Sons.
- ▣ Purwono R., Tavio, Imran I., Raka I. G. P., 2007, **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 dilengkapi Penjelasan (S-2002)**, ITS Surabaya.
- ▣ Roy H.E.H. dan Sozen M. A., 1964, **Ductility of Concrete**, ASCE, ACI, Miami
- ▣ Wang C.K., Salmon C. G., 1979, **Reinforced Concrete Design**, New York : Harper and Row.

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	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.1)	25.82 N/mm ²
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Grasik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19 mm)
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	(11) / (8) MCP pasal 6.3.5 step 5	$184/0,60 = 306.66 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton	2730 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton	2600 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton	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 (17)	$0,64 \times 1490 = 953.6 \text{ kg}$
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)	$2 \% \times 1 = 0,02 \text{ m}^3$
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) x (16)	$0,339 \times 2730 = 925.47 \text{ kg}$

Maka didapat Mix design			
	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	953.66 kg/m ³	953.66 kg/m ³
37	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

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. This Appendix 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 (ft ³)	cubic meter (m ³)	0.02832
	cubic yard (yd ³)	cubic meter (m ³)	0.7646
Mass	pound (lb)	kilogram (kg)	0.4536
Stress	pounds per square inch (psi)	megapascal (MPa)	6.895 x 10 ⁻²
Density	pounds per cubic foot (lb/ft ³)	kilograms per cubic meter (kg/m ³)	16.02
	pounds per cubic yard (lb/yd ³)	kilograms per cubic meter (kg/m ³)	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 body of the report except that the designation "A1" is prefixed. 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 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 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:

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

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 A1.5.33 — 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	190	179	166	154	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 to 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.6	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
25 to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 to 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 to 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Recommended average total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	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	5.5	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 15 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 increase 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 Testing 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 Testing Concrete Specimens in the Field. These are cylinders cured moist at 23 ± 7 C prior to testing.

The relationship in this Table assumes a nominal maximum aggregate size of about 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.

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	0.60	0.48	0.46	0.44
12.5	0.69	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	0.76	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
160	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 37.5 mm and dry-rodded mass of 1600 kg/m³. As stated in , 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 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 , 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 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 . 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	1136 kg
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

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

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

$$= \frac{3.15(0.75) + 2.40(0.25)}{1.89 + 0.60} = \frac{1.89}{2.96} = 0.64$$

total cementitious material would be $270 \div 0.64 = 422$ lb. This weight 20 percent ($F_v = 0.20$) would be fly ash; $2(0.20) = 84$ 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 Section 6.3.4 and 6.3.5 above. The required cement is equal to the estimated mixing-water content divided by the water-cement ratio (see 6.3.4). However, the specification includes a separate minimum limit on cement in addition to requirements for strength and workability, the mixture must be based on whichever criterion leads to the larger amount of cement.

The use of pozzolanic or chemical admixtures will affect properties of both the fresh and hardened concrete. See ACI 308.2.

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 when 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 Section 6.3.4 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, 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**	
	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 UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KATA KAKANGLU KM. 2 TASIK MAJU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

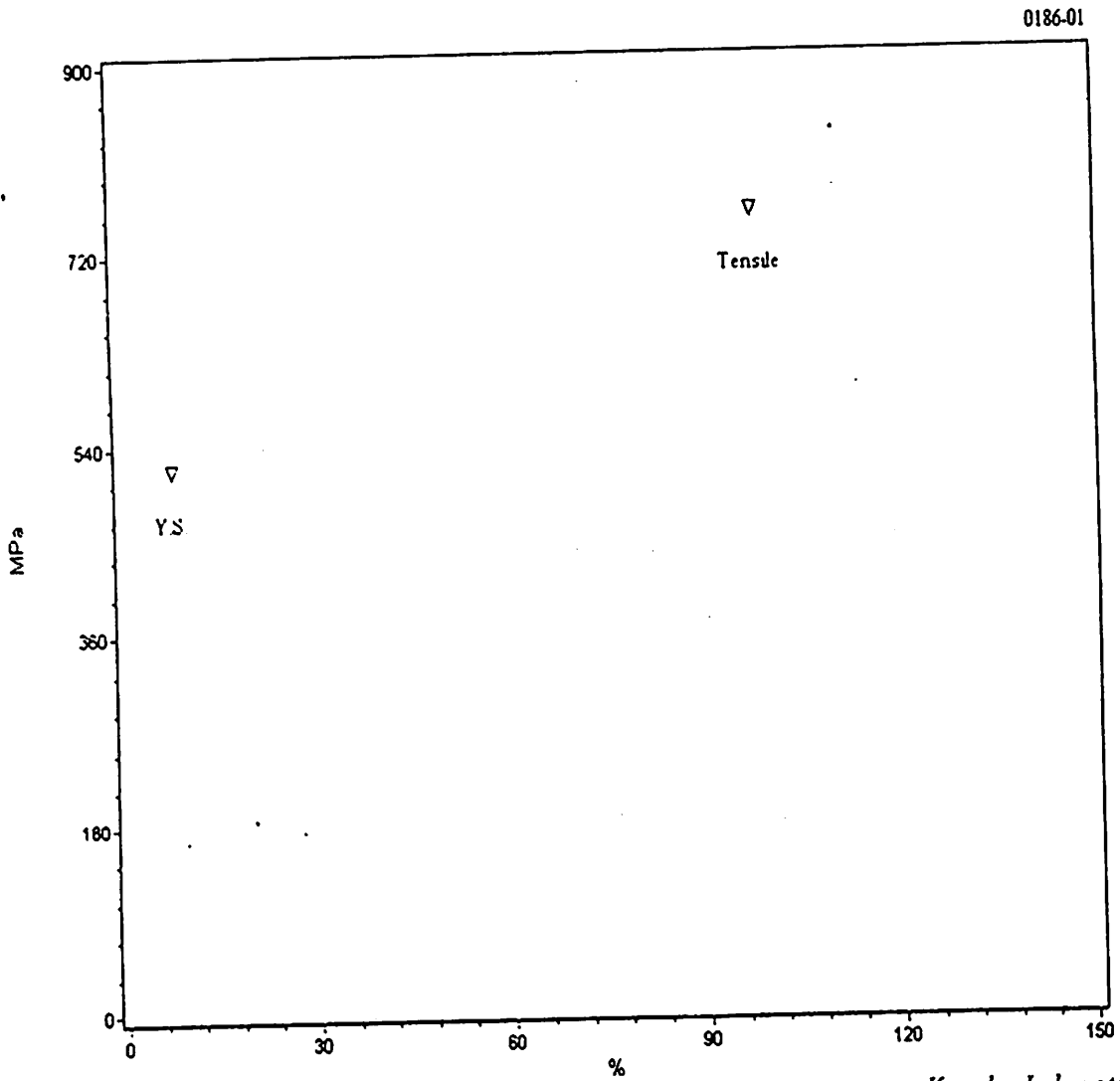
No.: 0186

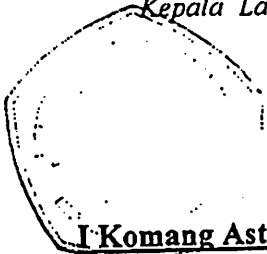
Test Description :tensile

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. 1030400435

LABORATORIUM UJI MATERIAL

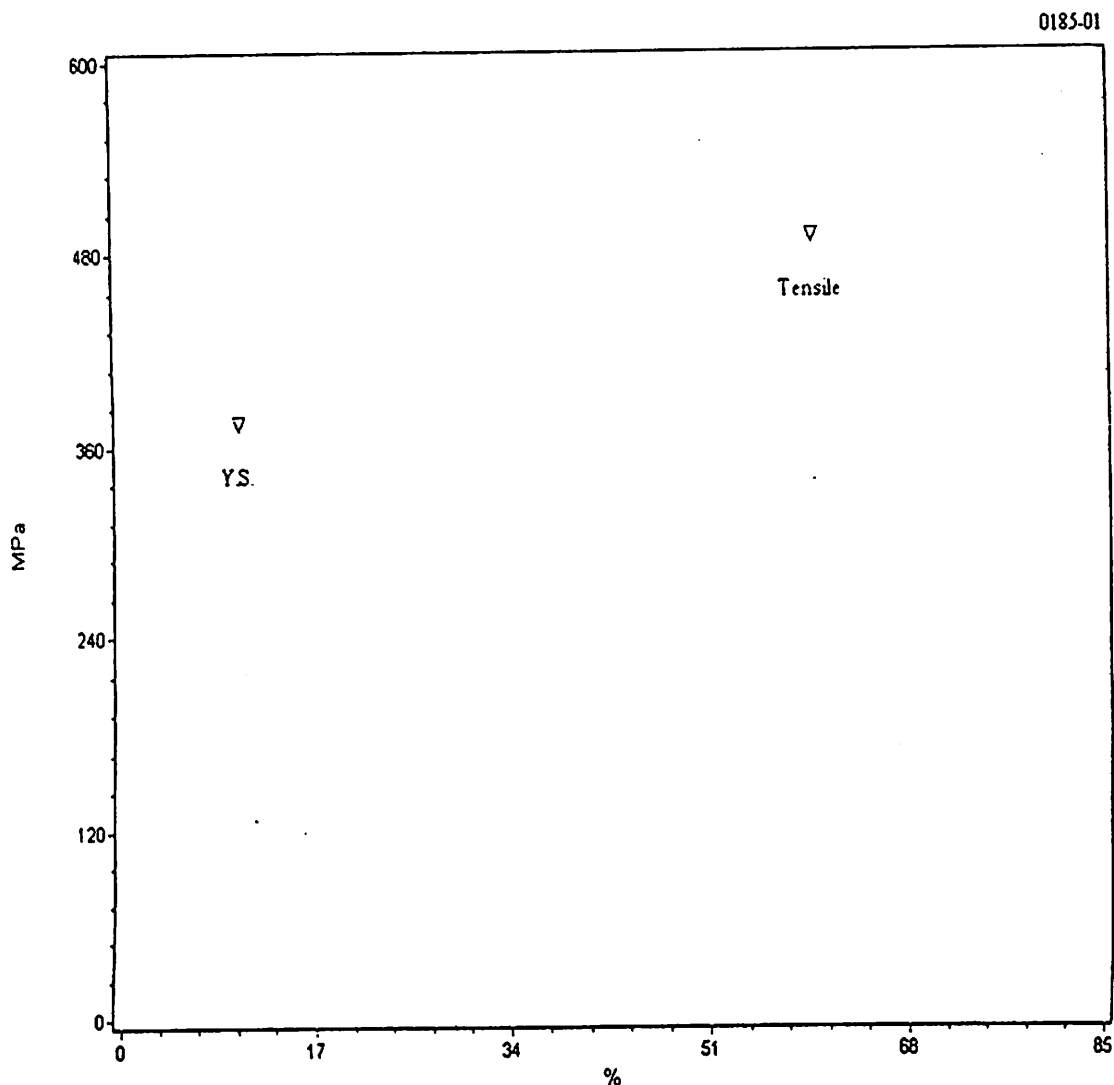
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

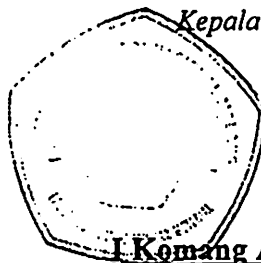
KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TIASIK MAJU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

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

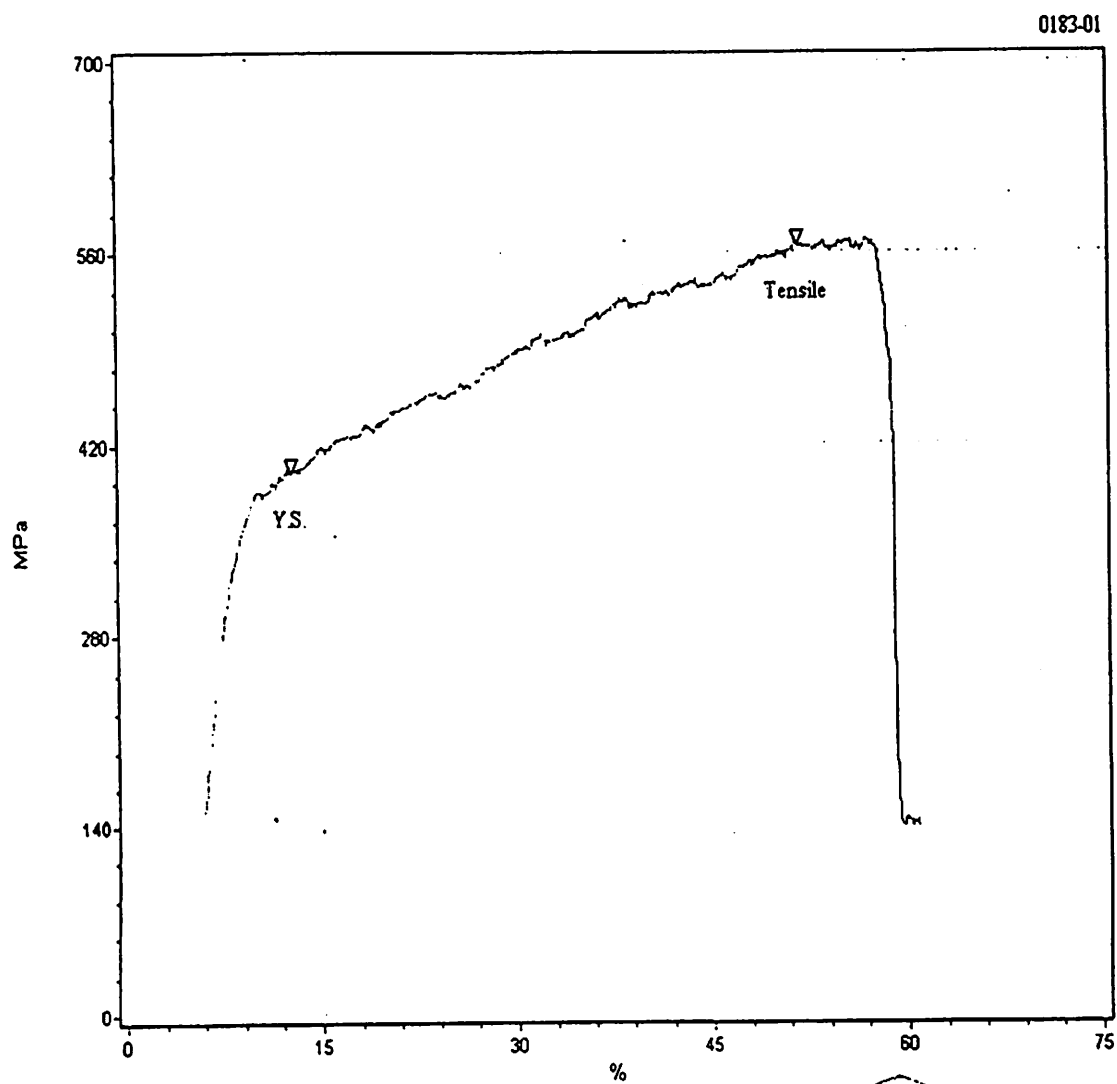
NIP Y. 1030400405

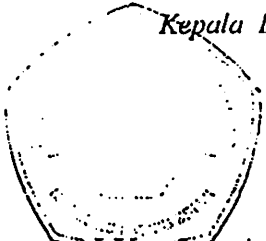
LABORATORIUM UJI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

No: 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



Kepala Laboratorium :

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



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 :

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 UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

TEST REPORT

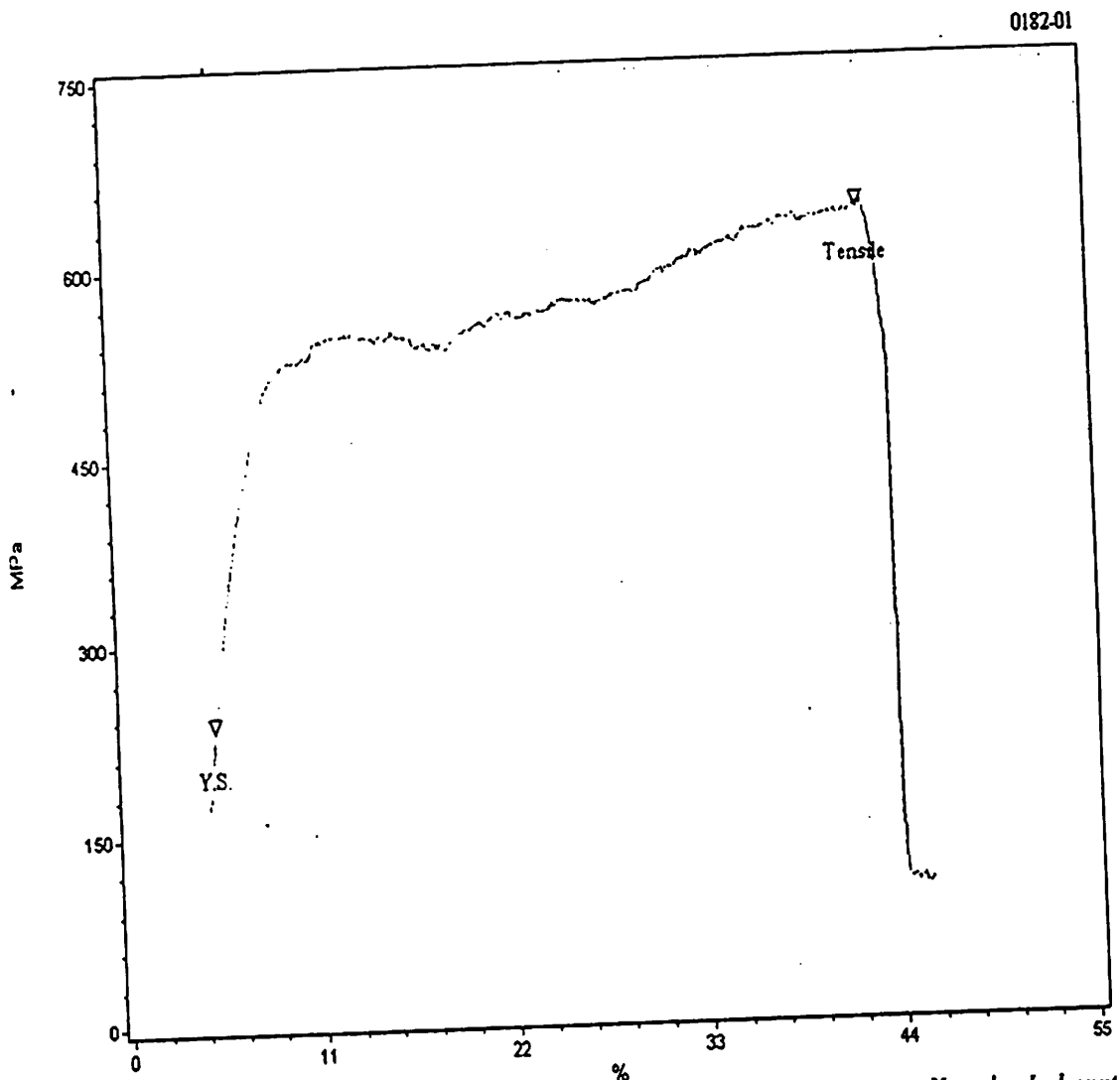
No: 0182

Test Description : tensile

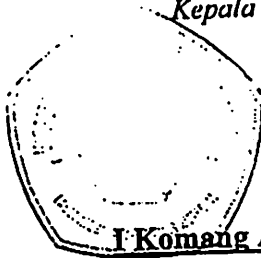
Standard : ASTM 638

Test Date: 08/09/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Fine Mesh 2-25	2.54	1631.70	236.85	641.22	45.69



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. KATA KAKANGLU KM. 2 IASIK MAJU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

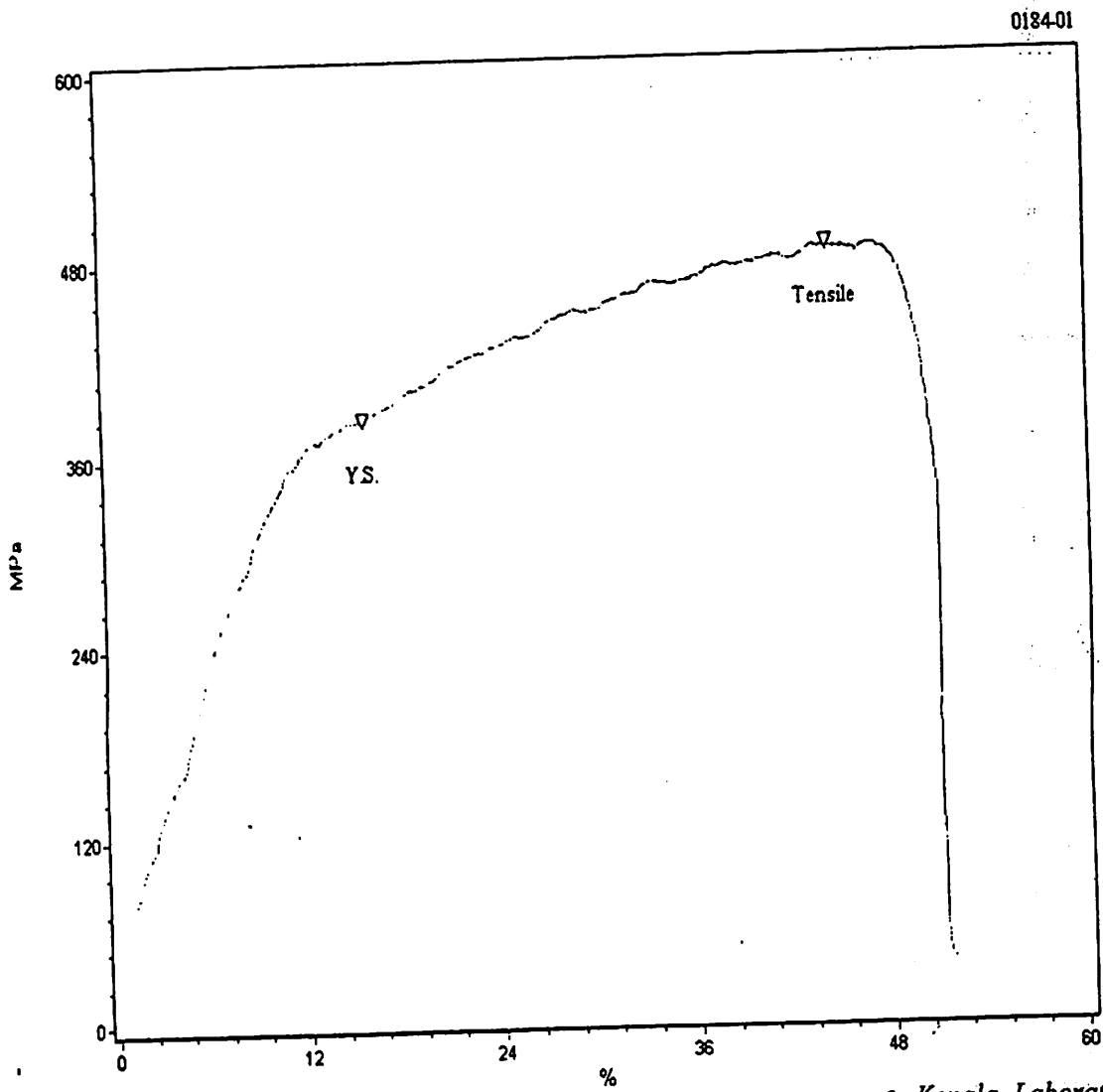
No: 0184

Test Description : tensile

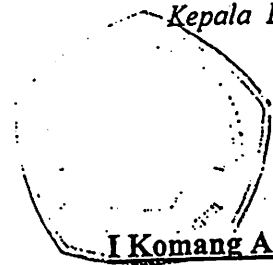
Standard : ASTM 638

Test Date: 08/09/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Fine Mesh 3-50	6.16	2993.90	382.77	486.22	51.82



Kepala Laboratorium :



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



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 :

Pemintaan :

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 :

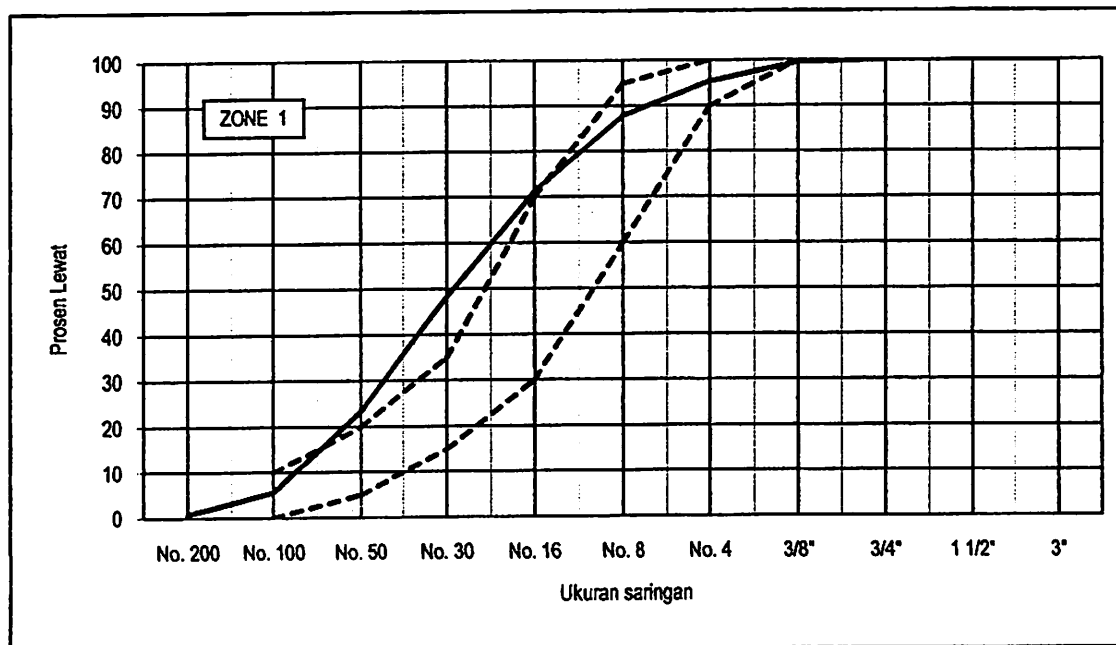
0
0

Permintaan : PT. BINATEL PRIMA

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Berat contoh kering : 2000 gr

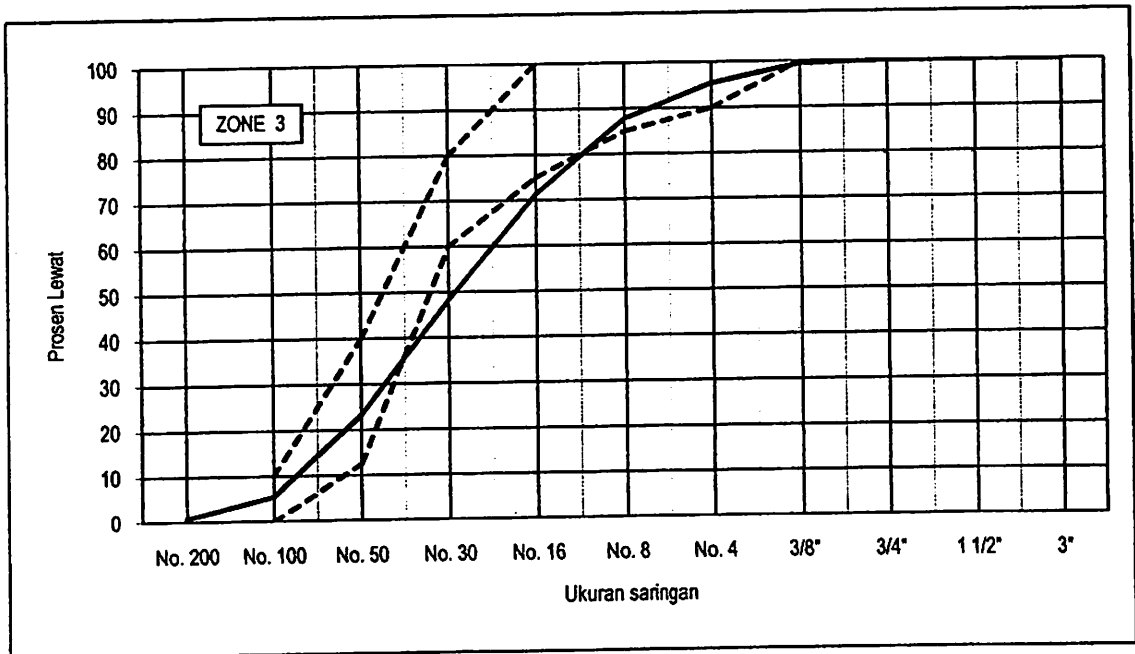
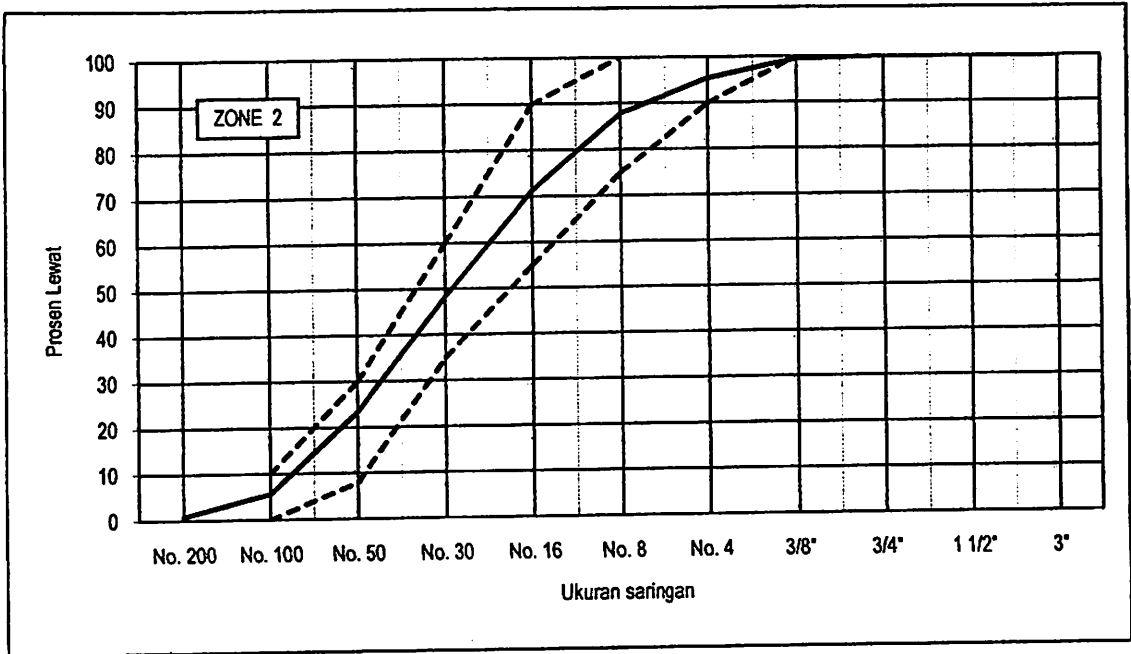
Ukuran saringan	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
76.2 mm (3")	0.00	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00
19.1 mm (3/4")	0.00	0.00	0.00	100.00
9.6 mm (3/8")	9.10	0.46	0.46	99.55
4.75 mm (No. 4)	83.50	4.18	4.63	95.37
2.36 mm (No. 8)	150.20	7.51	12.14	87.86
1.18 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**

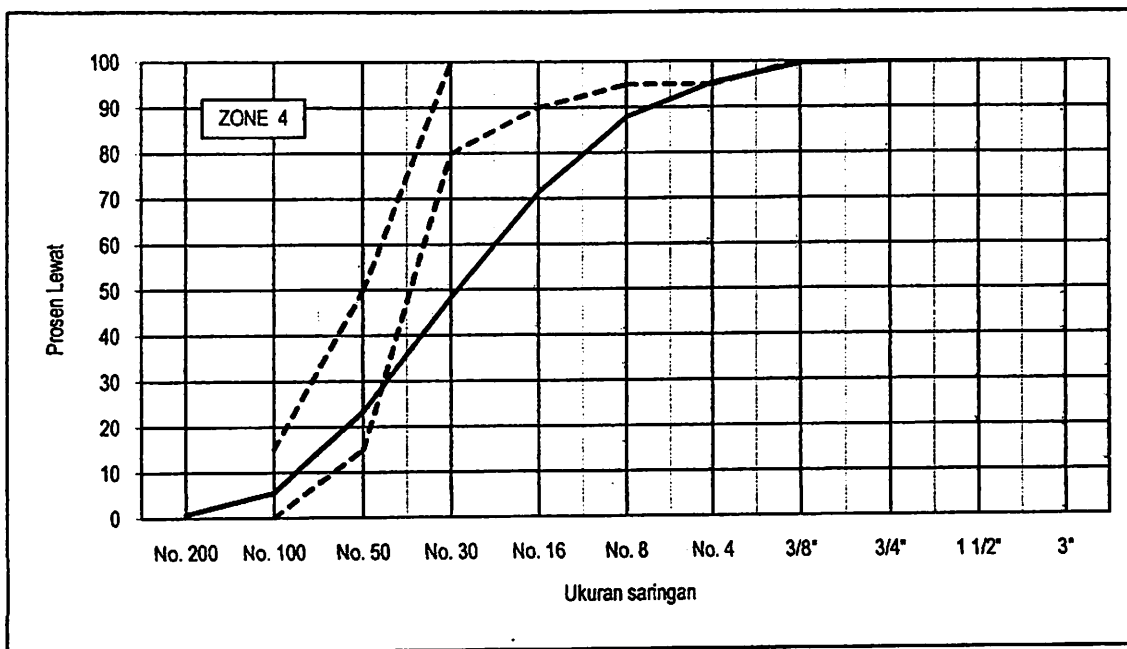
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145





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

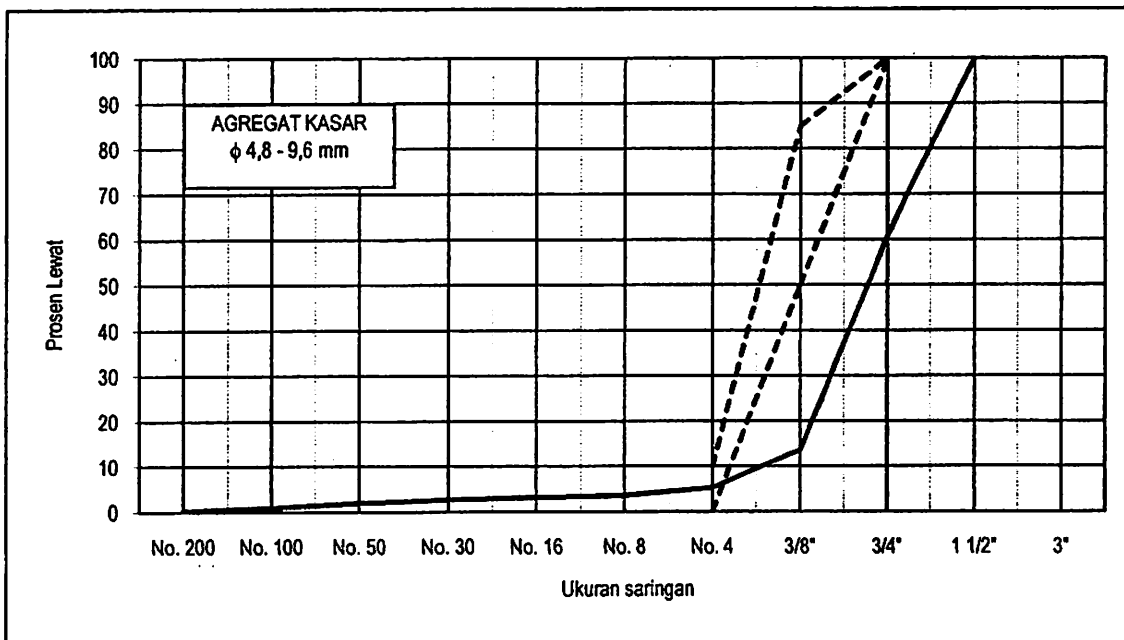
Pekerjaan :

Permintaan :

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Berat contoh kering : 20154.3 gr

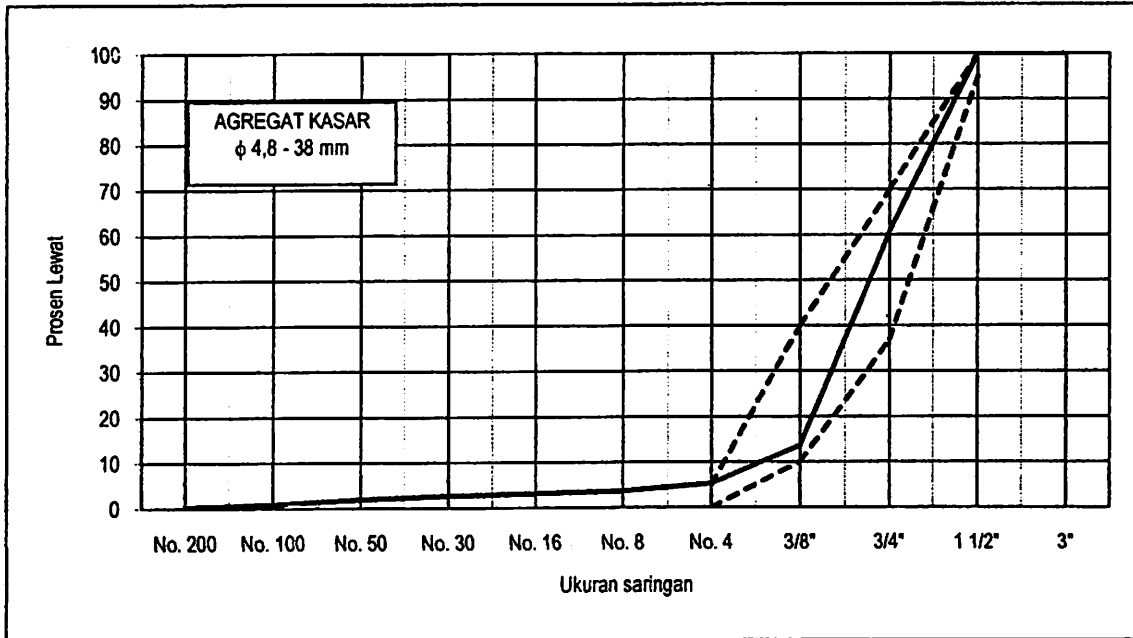
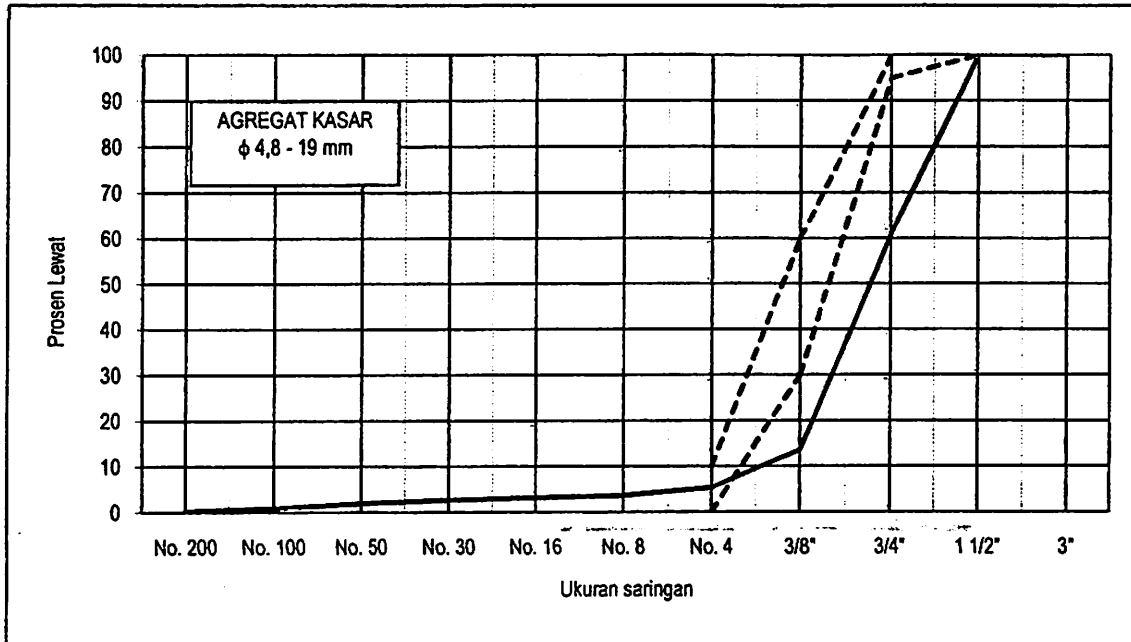
Ukuran saringan	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
76.2 mm (3")	0.00	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00
19.1 mm (3/4")	7899.00	39.19	39.19	60.81
9.6 mm (3/8")	9520.00	47.24	86.43	13.57
4.75 mm (No. 4)	1668.90	8.28	94.71	5.29
2.36 mm (No. 8)	337.40	1.67	96.38	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

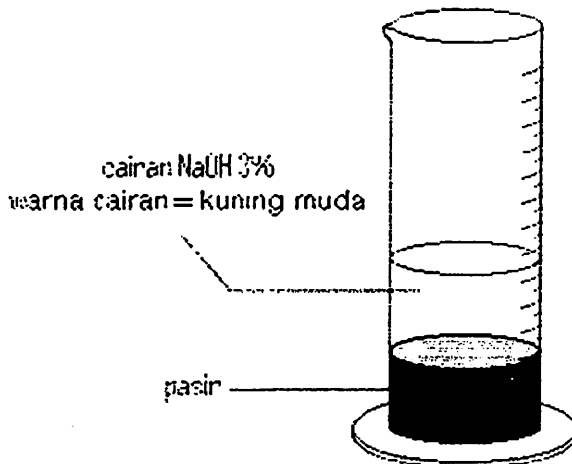
Dari hasil pengujian kadar lumpur yang telah kami laksanakan, didapatkan hasil sebagai berikut :

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	

LAMPIRAN 3.1

ANALISA EKSPERIMENTAL SILINDER 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	18.60533
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	12.73	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

LABORATORIUM UJI MATERIAL

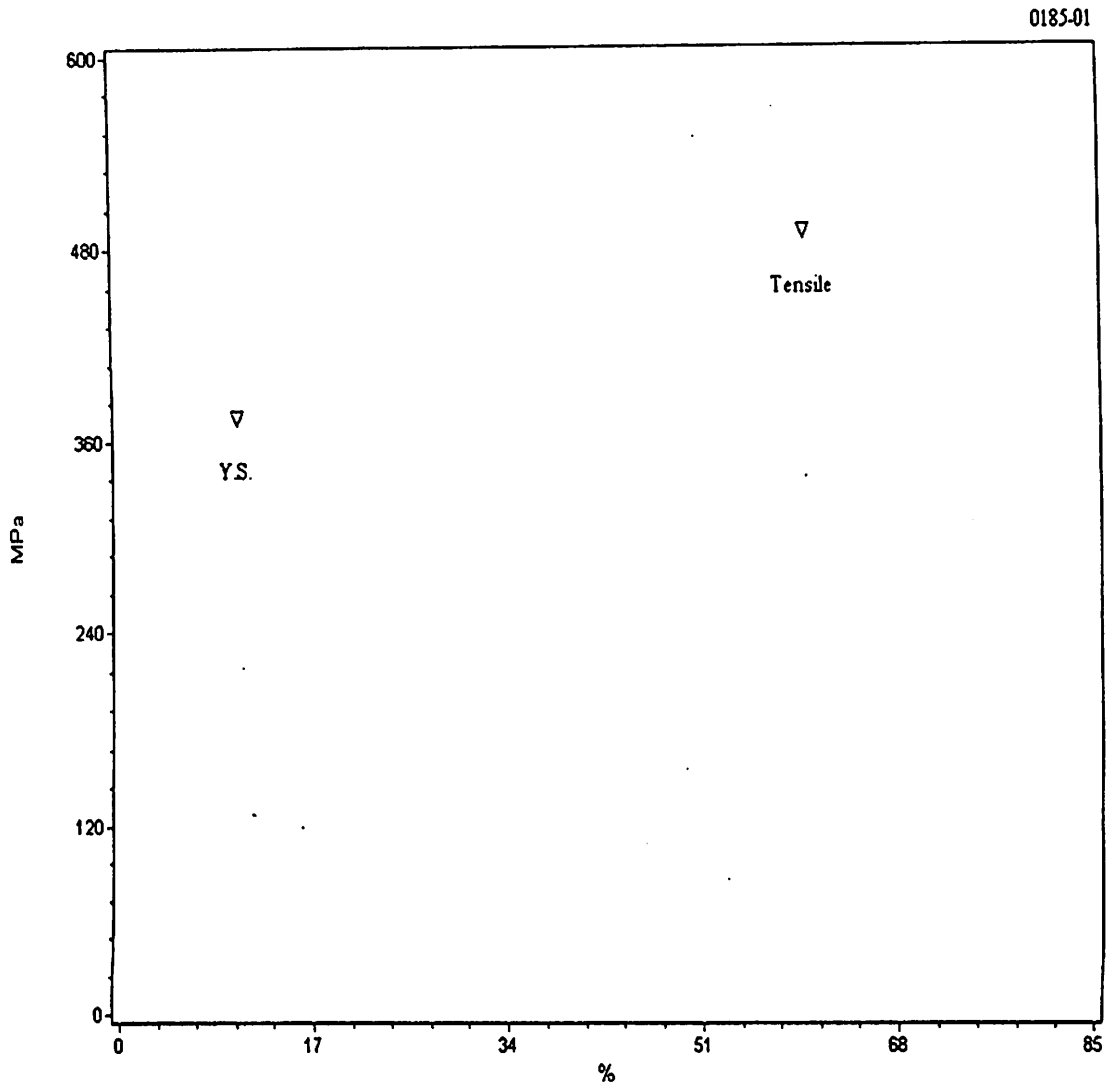
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

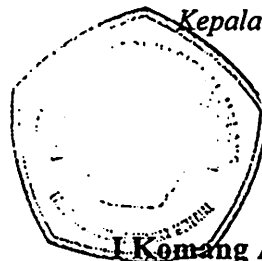
KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

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 TASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

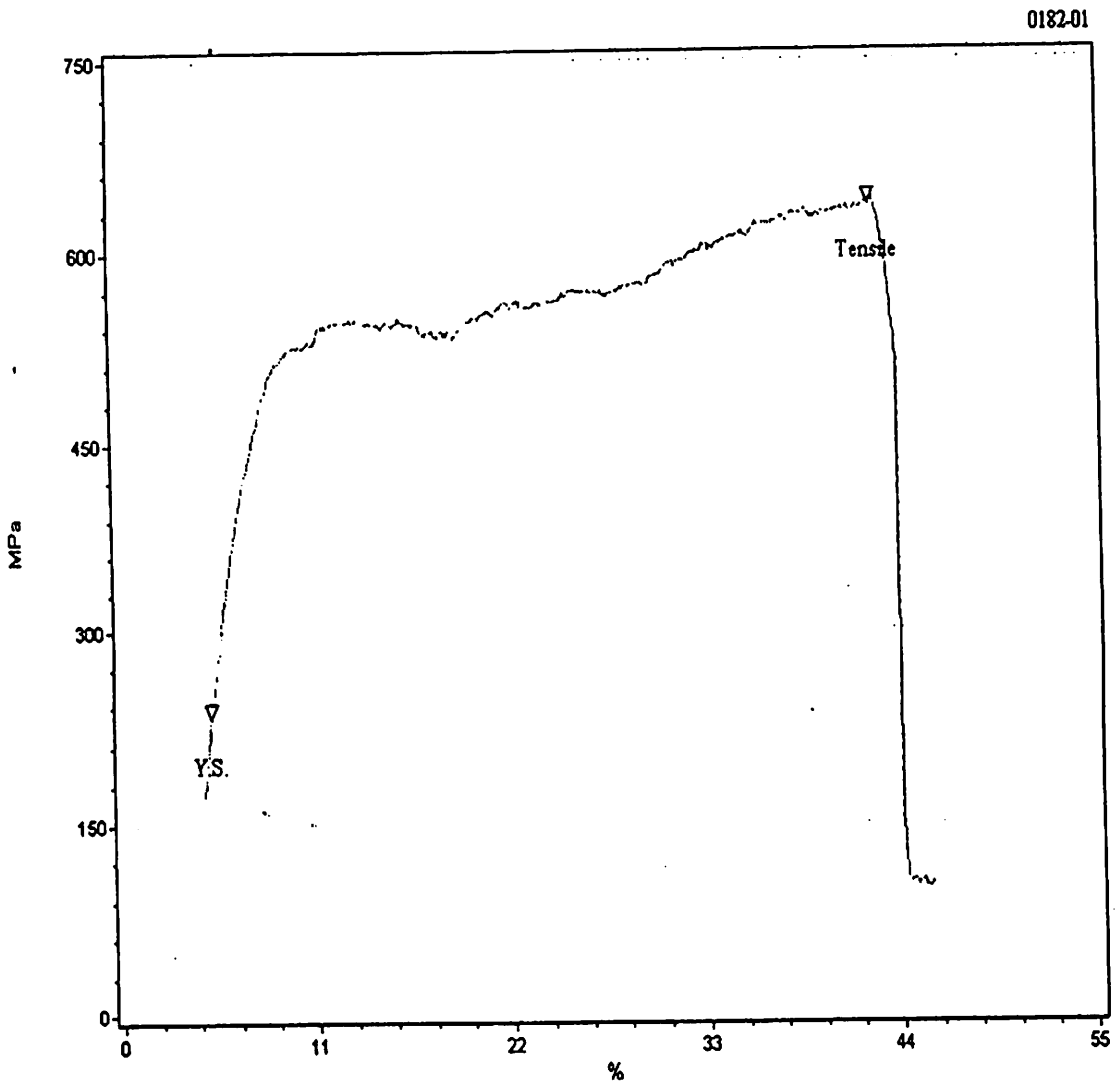
No.: 0182

Test Description : tensile

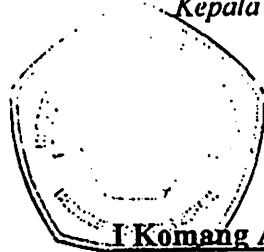
Standard : ASTM 638

Test Date: 08/09/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Fine Mesh 2-25	2.54	1631.70	236.85	641.22	45.69



Kepala Laboratorium :



I Komang Astana Widi, ST.MT

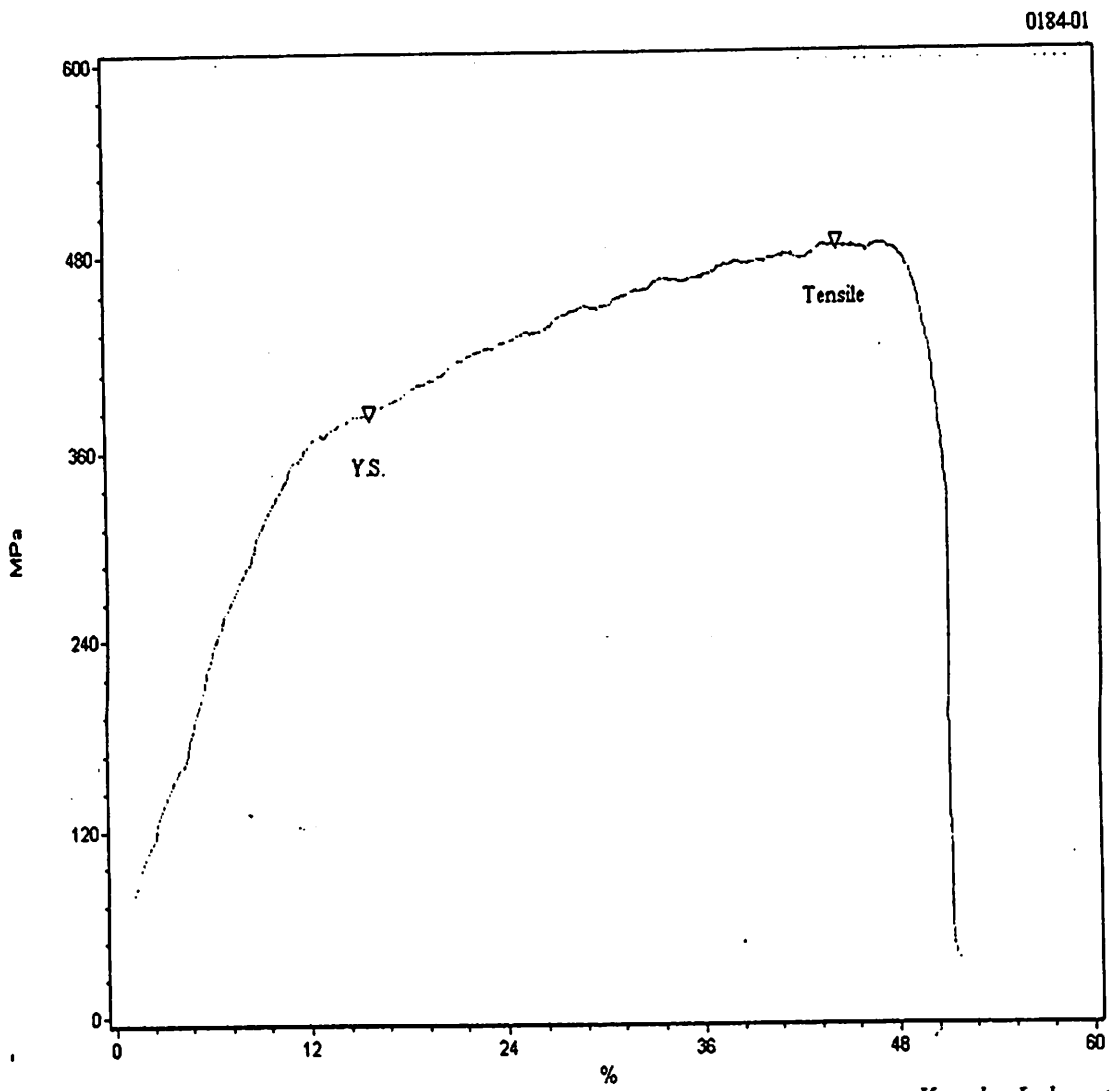
NIP Y. 1030400405

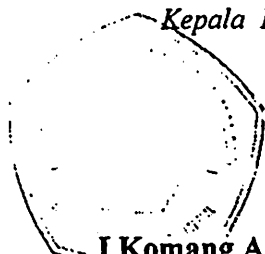
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MAJU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

No: 0184 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 3-50	6.16	2993.90	382.77	486.22	51.82



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 KAKANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

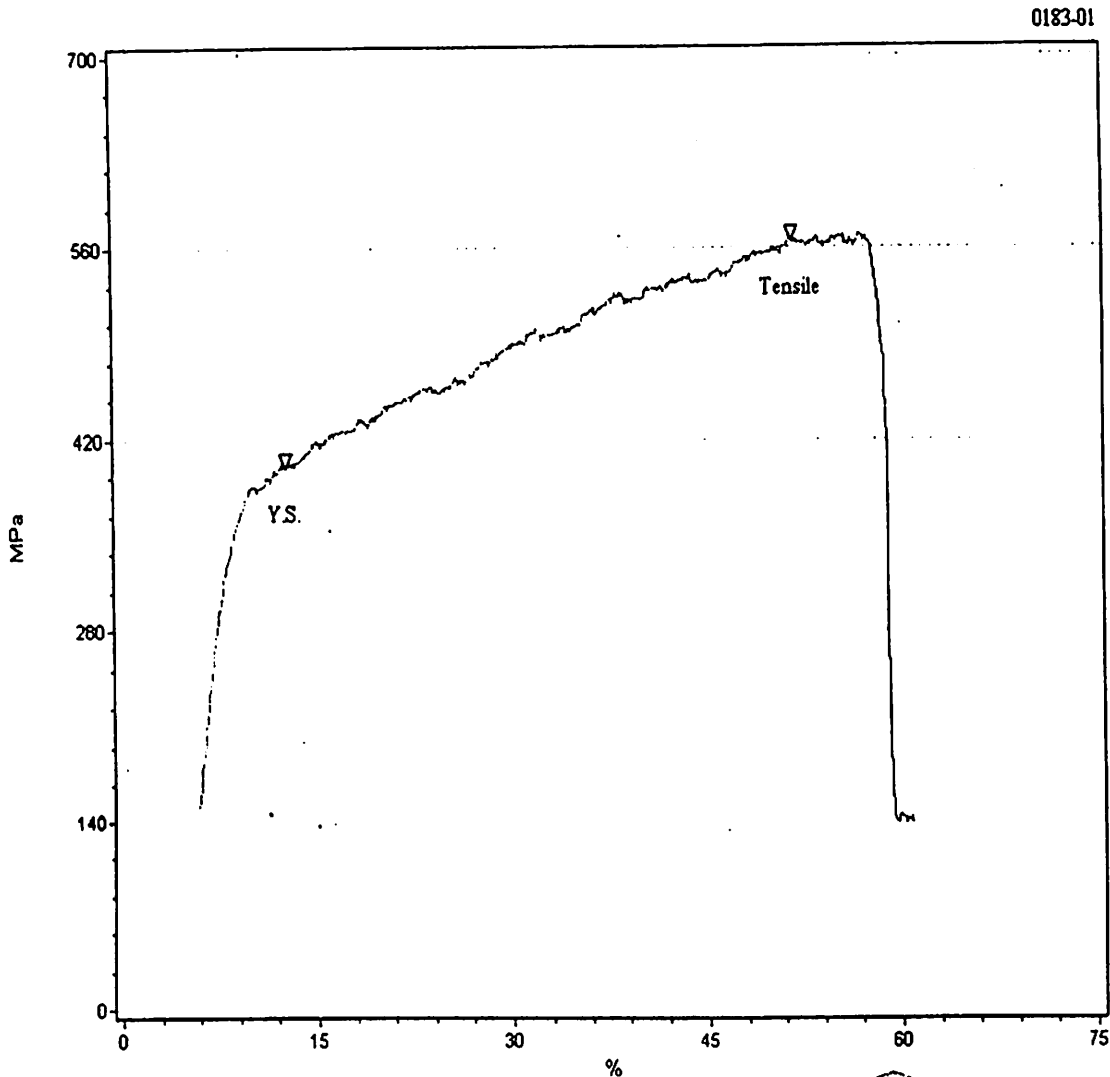
No.: 0183

Test Description : tensile

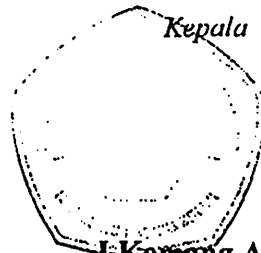
Standard :ASTM 638

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



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 IASIK MALU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

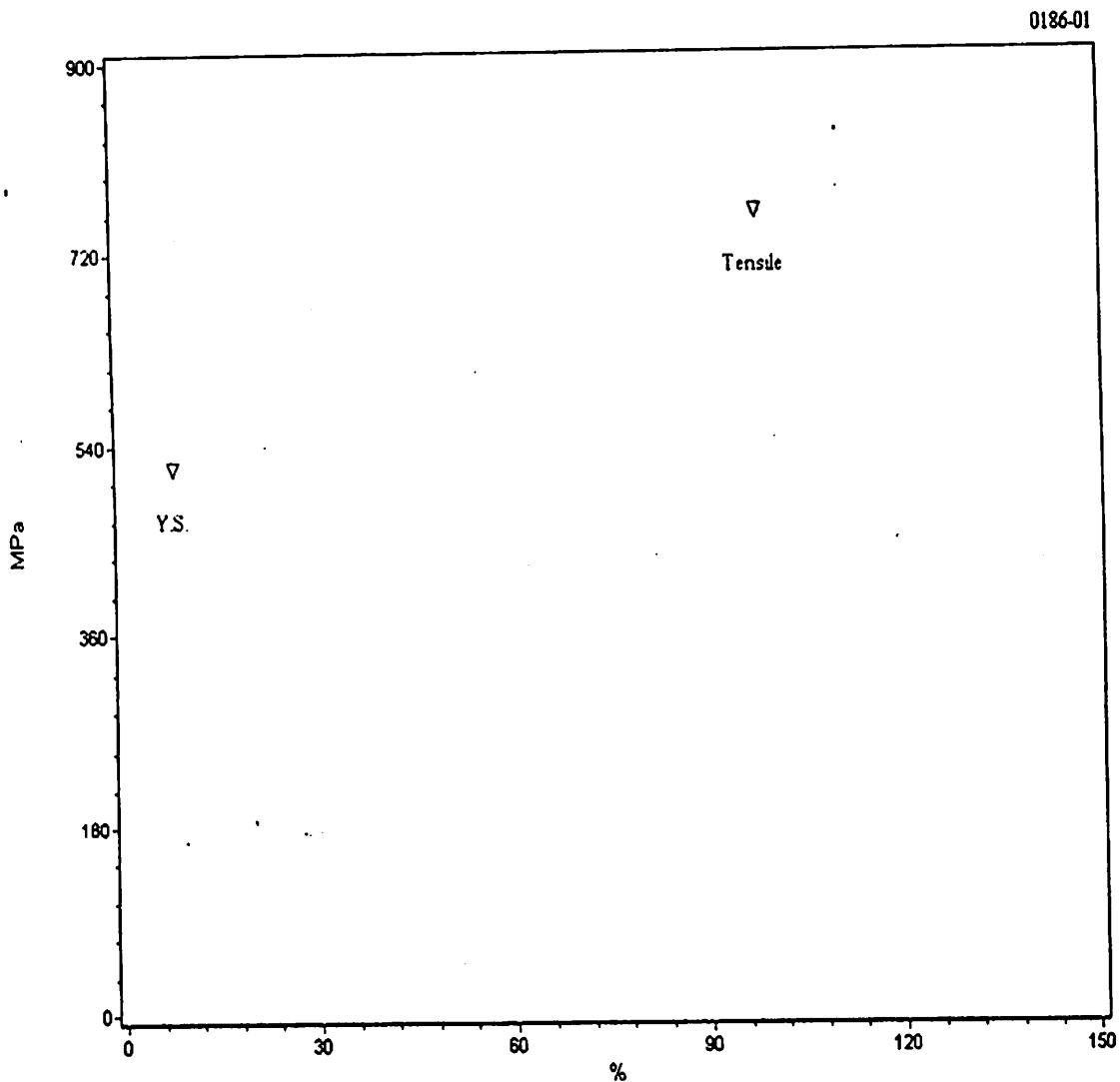
No: 0186

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 :

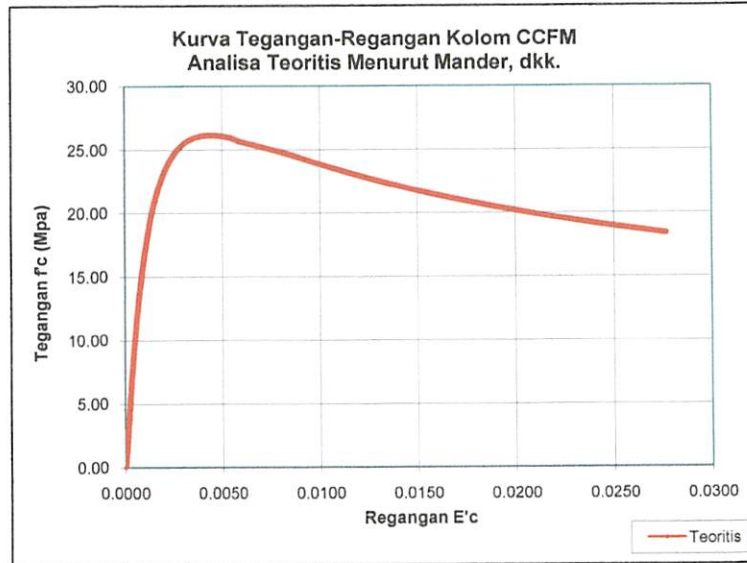


Komang Astana Widi, ST.MT.
NIP Y. 1030400405

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

ϵ_{cc} = 0.002
 ϵ_{cc} = 0.0043791
 E_{sec} = 5964.6863 MPa
 r = 1.3303458
 E_c = 24020.573 MPa
 K = 1.3001
 ρ_{stm} = 0.0077
 f_c = 26.120 MPa
 f_{yh} = 382 MPa
 ϵ_{sm} = 0.15
 ϵ_{cu} = 0.0276484

No	ϵ_c	X	f'_c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00060	0.13640	11.820
3	0.00119	0.27280	18.662
4	0.00179	0.40920	22.394
5	0.00239	0.54559	24.401
6	0.00299	0.68199	25.445
7	0.00358	0.81839	25.940
8	0.00418	0.95479	26.120
9	0.00478	1.09119	26.088
10	0.00538	1.22759	25.947
11	0.00597	1.36398	25.610
12	0.00814	1.85896	24.732
13	0.01031	2.35394	23.684
14	0.01248	2.84891	22.724
15	0.01464	3.34389	21.871
16	0.01681	3.83886	21.116
17	0.01898	4.33384	20.446
18	0.02115	4.82882	19.848
19	0.02331	5.32379	19.310
20	0.02548	5.81877	18.824
21	0.02765	6.31375	18.381



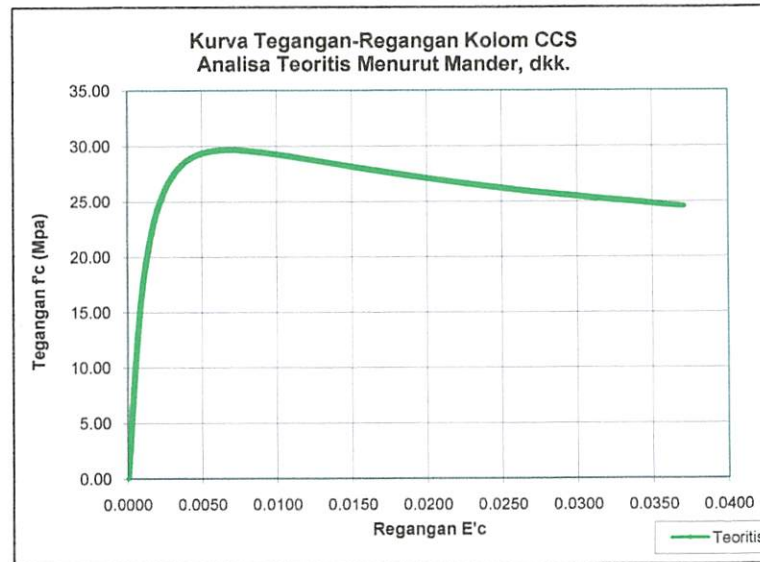
Keterangan Kolom :

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

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

ϵ_{co} = 0.002
 ϵ_{cc} = 0.0067572
 E_{sec} = 4387.4852 MPa
 r = 1.2069207
 E_c = 25591.187 MPa
 K = 1.4757
 ρ_{sh} = 0.0233
 f_c = 29.647 MPa
 f_{yh} = 200.09 MPa
 ϵ_{sm} = 0.15
 ϵ_{cu} = 0.0370229

No	ϵ_c	X	f'_c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00077	0.11343	14.536
3	0.00153	0.22687	21.715
4	0.00230	0.34030	25.411
5	0.00307	0.45374	27.415
6	0.00383	0.56717	28.532
7	0.00460	0.68060	29.150
8	0.00537	0.79404	29.475
9	0.00613	0.90747	29.618
10	0.00690	1.02090	29.646
11	0.00767	1.13434	29.600
12	0.00983	1.45511	29.260
13	0.01200	1.77589	28.794
14	0.01417	2.09666	28.303
15	0.01634	2.41743	27.824
16	0.01850	2.73821	27.371
17	0.02067	3.05898	26.945
18	0.02284	3.37975	26.548
19	0.02501	3.70053	26.178
20	0.02717	4.02130	25.833
21	0.03702	5.47900	24.515



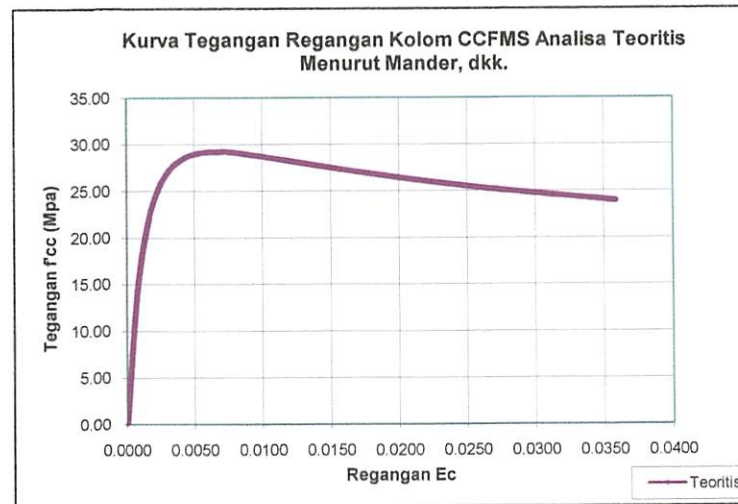
Keterangan Kolom :

- 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

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

ϵ_{co} = 0.002
 ϵ_{cc} = 0.0065113
 E_{sec} = 4477.3065 MPa
 r = 1.2142275
 E_c = 25377.082 MPa
 K = 1.4511
 $\rho_{shtotal}$ = 0.022
 f'_c = 29.153 MPa
 f_{yh} = 200.96 MPa
 ϵ_{sm} = 0.15
 ϵ_{cu} = 0.0358467

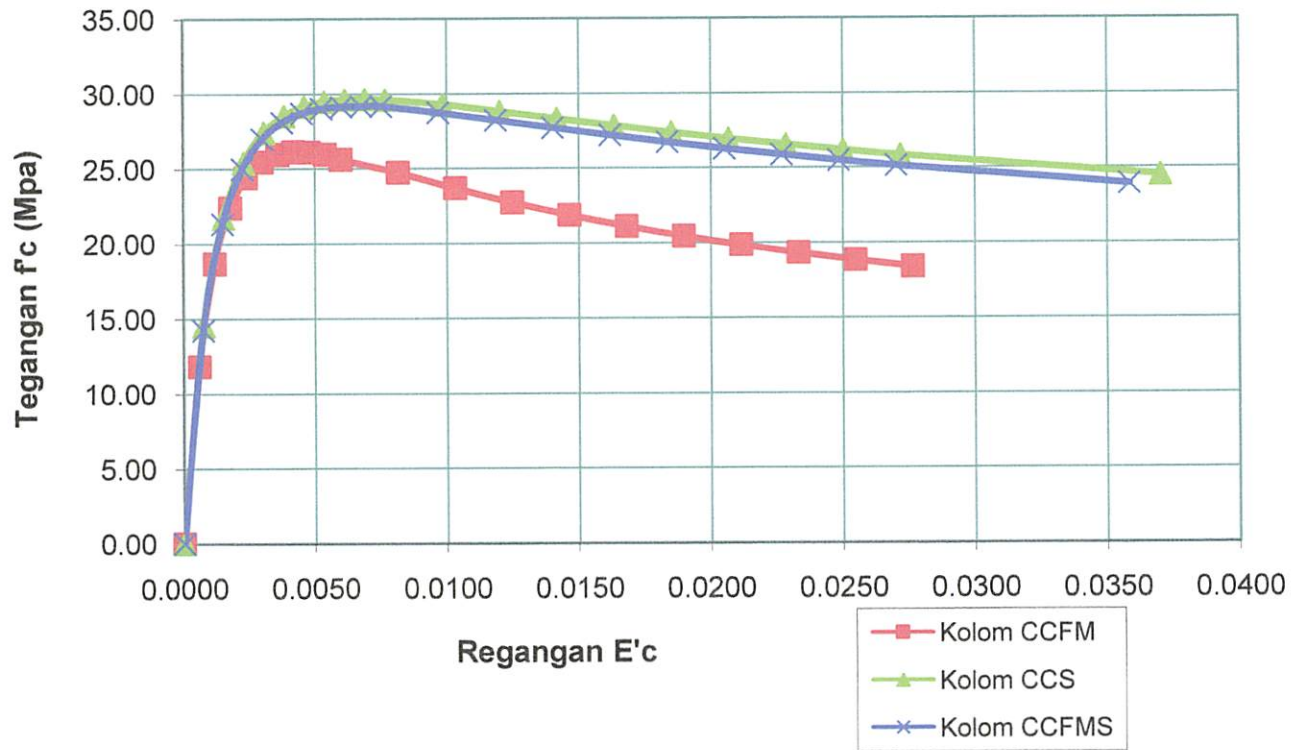
No	ϵ_c	X	f'_c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00075	0.11534	14.234
3	0.00150	0.23067	21.337
4	0.00225	0.34601	25.003
5	0.00300	0.46135	26.988
6	0.00376	0.57669	28.089
7	0.00451	0.69202	28.692
8	0.00526	0.80736	29.003
9	0.00601	0.92270	29.133
10	0.00676	1.03803	29.149
11	0.00751	1.15337	29.153
12	0.00968	1.48626	28.716
13	0.01185	1.81915	28.217
14	0.01401	2.15203	27.699
15	0.01618	2.48492	27.198
16	0.01835	2.81781	26.726
17	0.02052	3.15069	26.285
18	0.02268	3.48358	25.876
19	0.02485	3.81647	25.495
20	0.02702	4.14935	25.141
21	0.03585	5.50526	23.918



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



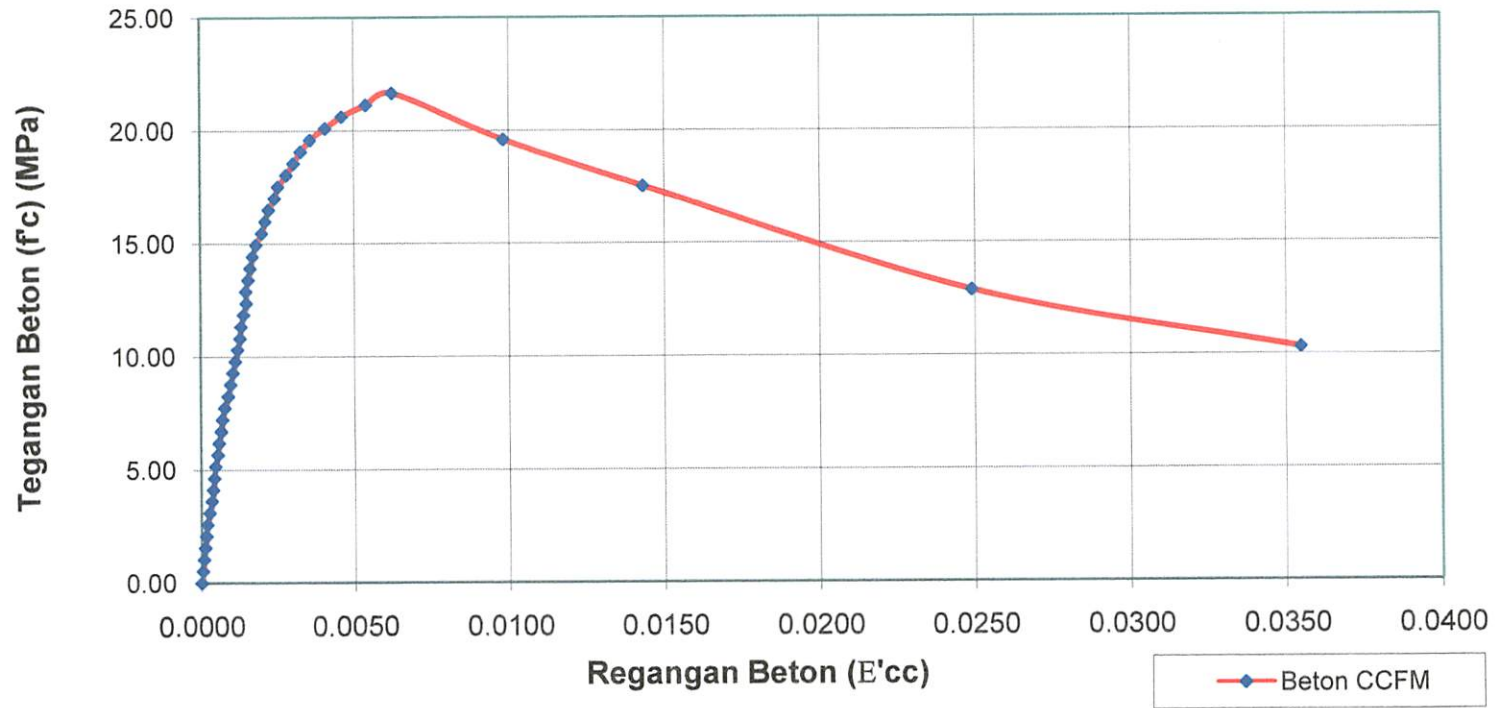
ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKERANG FINE MESH Ø3 - 50 mm (CCFM)

Es = 200000
Ec = 21066.28
n = 6.49

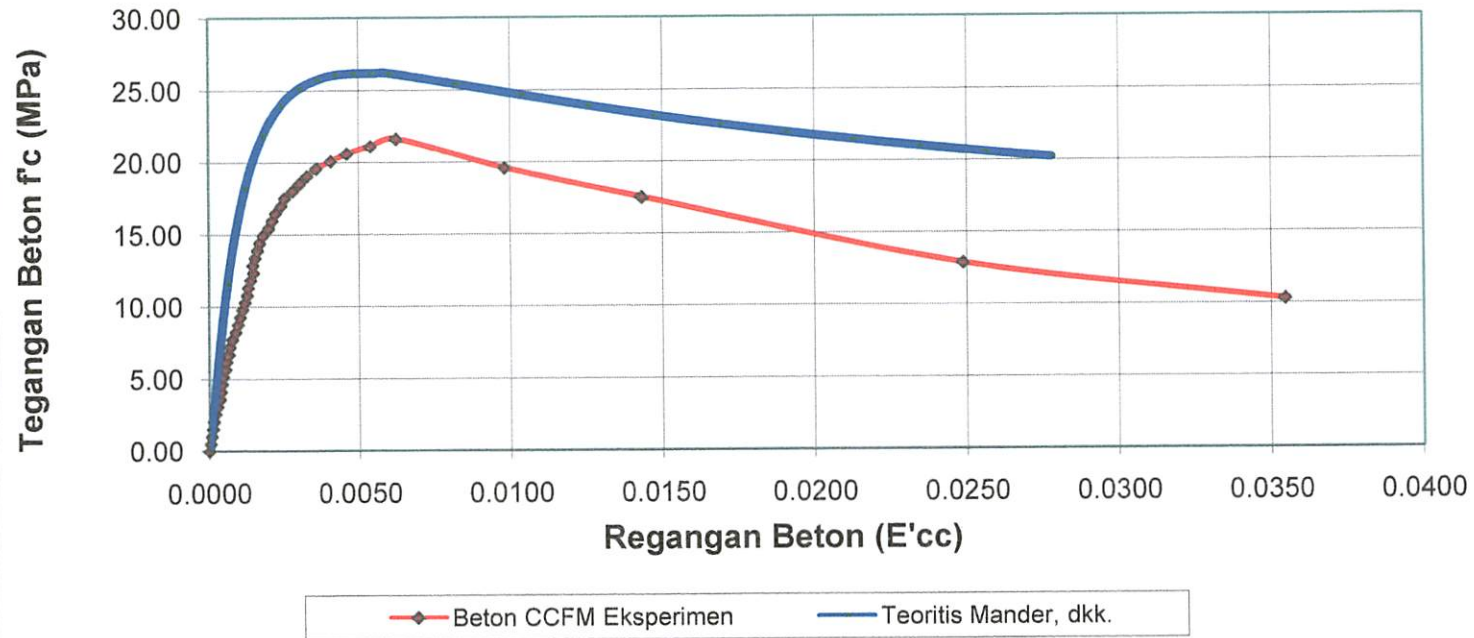
Mpa
Mpa

P (kn)	LVDT (mm)	LVDT2 (mm)	SG FM 4	SG FM 2 5	L (mm)	Ag - A _{lm} (mm ²)	A _{lm} (mm ²)	A _{suai} (mm ²)	A _{FM} (mm ²)	f _c (MPa)	f _s FM1 (MPa)	f _s FM2 (MPa)	f _s FM rata (MPa)	ε _{s1}	ε _{s2}	ε _{s2} Rate2	ε _s FM1	ε _s FM2	ε _s Rate-rata	
																				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0
1	0.01000	0.01000	0.09605	0.13263	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	0.515	7.317	10.104	8.711	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	4.35525E-05
2	0.02000	0.02000	0.11051	0.09215	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	1.030	8.418	7.020	7.719	0.00008	0.00008	0.00008	0.00004	0.00004	0.00004	3.85954E-05
3	0.03000	0.03000	0.09883	0.05330	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	1.545	7.529	4.860	5.794	0.00012	0.00013	0.00013	0.00004	0.00004	0.00002	2.89722E-05
4	0.04000	0.04000	0.03690	0.05379	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	2.061	2.172	6.389	4.578	0.00015	0.00019	0.00017	0.00003	0.00003	0.00003	2.28887E-05
5	0.05000	0.06000	0.04425	0.08527	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	2.576	3.371	6.498	4.934	0.00019	0.00023	0.00021	0.00002	0.00002	0.00002	2.46819E-05
6	0.07000	0.07400	0.05971	0.09283	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	3.091	4.473	7.057	5.765	0.00027	0.00028	0.00028	0.00002	0.00002	0.00002	2.86229E-05
7	0.09000	0.09600	0.12775	0.09638	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	3.606	9.694	7.342	8.518	0.00036	0.00037	0.00036	0.00006	0.00006	0.00004	4.25919E-05
8	0.10000	0.11000	0.15680	0.11777	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	4.121	11.953	8.422	10.482	0.00042	0.00044	0.00043	0.00008	0.00008	0.00004	6.53432E-05
9	0.11000	0.11500	0.16985	0.14575	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	4.636	15.022	11.065	13.069	0.00046	0.00044	0.00048	0.00005	0.00005	0.00005	6.53556E-05
10	0.12000	0.13000	0.13418	0.20988	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	5.151	10.222	15.920	13.071	0.00046	0.00046	0.00048	0.00005	0.00005	0.00010	7.83661E-05
11	0.14000	0.16000	0.13418	0.26217	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	5.666	10.574	19.972	13.273	0.00054	0.00054	0.00062	0.00058	0.00058	0.00058	0.00005
12	0.15000	0.17000	0.21283	0.26207	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	6.182	16.213	51.198	33.706	0.00058	0.00058	0.00065	0.00062	0.00062	0.00062	0.00008
13	0.17000	0.18000	0.29382	0.66302	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	6.697	22.383	52.784	37.589	0.00065	0.00069	0.00067	0.00067	0.00067	0.00067	0.00011
14	0.18000	0.20000	0.30586	0.70181	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	7.212	23.310	53.464	38.387	0.00069	0.00077	0.00077	0.00073	0.00073	0.00073	0.00012
15	0.20000	0.22000	0.40579	0.71589	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	8.242	32.219	54.536	42.725	0.00077	0.00088	0.00085	0.00081	0.00081	0.00081	0.00016
16	0.23000	0.25000	0.42293	0.72214	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	8.242	36.171	63.895	43.616	0.00086	0.00098	0.00092	0.00092	0.00092	0.00092	0.00016
17	0.25000	0.26500	0.47480	0.77233	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	9.272	39.256	63.295	51.275	0.00104	0.00104	0.00102	0.00102	0.00102	0.00102	0.00028
18	0.27000	0.28500	0.51530	0.83086	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	9.272	56.322	65.571	60.946	0.00119	0.00119	0.00123	0.00117	0.00117	0.00117	0.00032
19	0.29000	0.32000	0.73932	0.88074	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	9.787	72.887	82.888	68.088	0.00119	0.00138	0.00129	0.00129	0.00129	0.00129	0.00038
20	0.31000	0.36000	0.83078	0.95677	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	10.303	83.289	89.993	82.893	0.00127	0.00154	0.00140	0.00140	0.00140	0.00140	0.00045
21	0.33000	0.40000	0.99446	1.18132	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	10.818	75.773	89.993	82.893	0.00127	0.00154	0.00140	0.00140	0.00140	0.00140	0.00045
22	0.34000	0.38000	1.10921	1.44235	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	11.333	84.428	109.881	97.154	0.00131	0.00138	0.00135	0.00135	0.00135	0.00135	0.00042
23	0.36000	0.38000	1.30378	1.98802	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	11.848	99.322	119.289	109.310	0.00139	0.00148	0.00142	0.00142	0.00142	0.00142	0.00050
24	0.38000	0.42000	1.46139	1.63308	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	12.363	111.329	125.930	118.630	0.00148	0.00148	0.00155	0.00155	0.00155	0.00155	0.00056
25	0.38000	0.45000	1.55475	1.87773	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	12.878	118.441	139.237	128.839	0.00148	0.00148	0.00173	0.00160	0.00160	0.00160	0.00059
26	0.40000	0.47000	1.92715	2.86536	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	13.393	146.810	182.549	182.549	0.00154	0.00181	0.00167	0.00167	0.00167	0.00167	0.00073
27	0.40000	0.48000	2.08223	2.95742	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	13.908	158.624	225.286	214.018	0.00162	0.00189	0.00188	0.00188	0.00188	0.00188	0.00079
28	0.44000	0.51000	2.89297	3.14714	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	14.424	188.288	239.749	214.018	0.00169	0.00196	0.00196	0.00196	0.00196	0.00196	0.00094
29	0.47000	0.53000	3.61133	3.41302	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	14.939	220.386	280.004	240.195	0.00181	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00204	0.00110
30	0.52000	0.56000	4.33171	3.89944	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	15.454	275.111	296.983	286.047	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00138
31	0.55000	0.59000	4.83171	4.45928	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	15.969	329.969	339.768	334.849	0.00212	0.00227	0.00227	0.00218	0.00218	0.00218	0.00165
32	0.63000	0.73000	5.19984	5.46373	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	16.484	368.079	377.668	372.894	0.00242	0.00254	0.00254	0.00236	0.00236	0.00236	0.00184
33	0.63000	0.81000	6.40974	6.40974	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	17.000	418.000	418.000	418.000	0.00242	0.00281	0.00281	0.00283	0.00283	0.00283	0.00198
34	0.73000	0.89000	6.83848	7.35574	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	18.545	418.000	418.000	418.000	0.00281	0.00342	0.00342	0.00283	0.00283	0.00283	0.00222
35	0.73000	0.98000	7.99838	8.30175	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	19.060	418.000	418.000	418.000	0.00342	0.00342	0.00342	0.00283	0.00283	0.00283	0.00244
36	0.85000	1.07000	9.15829	9.30175	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	19.575	418.000	418.000	418.000	0.00342	0.00342	0.00340	0.00340	0.00340	0.00340	0.00283
37	0.93000	1.18000	10.31820	10.31820	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	20.090	418.000	418.000	418.000	0.00327	0.00412	0.00412	0.00369	0.00369	0.00369	0.00393
38	1.06000	1.31000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	20.990	418.000	418.000	418.000	0.00358	0.00454	0.00454	0.00406	0.00406	0.00406	Putus
39	1.20000	1.43000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	20.990	418.000	418.000	418.000	0.00462	0.00550	0.00550	0.00506	0.00506	0.00506	Putus
40	1.40000	1.57000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	21.120	418.000	418.000	418.000	0.00538	0.00654	0.00654	0.00571	0.00571	0.00571	Putus
41	1.40000	1.57000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	21.120	418.000	418.000	418.000	0.00538	0.00654	0.00654	0.00571	0.00571	0.00571	Putus
42	1.62000	1.72000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	21.635	418.000	418.000	418.000	0.00623	0.00862	0.00862	0.00642	0.00642	0.00642	Putus
43	2.55000	2.23000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	19.575	418.000	418.000	418.000	0.00881	0.00819	0.00819	0.00819	0.00819	0.00819	Putus
34	3.70000	2.89000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	17.514	418.000	418.000	418.000	0.07431	0.01112	0.01112	0.01271	0.01271	0.01271	Putus
25	6.47000	4.89000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	17.466	418.000	418.000	418.000	0.02488	0.01727	0.01727	0.02108	0.02108	0.02108	Putus
20	9.23000	7.35000	Putus	Putus	280	17466	1946.13318	19412.60	12.5663706	10.303	418.000	418.000	418.000	0.03546	0.02831	0.02831	0.03188	0.0		

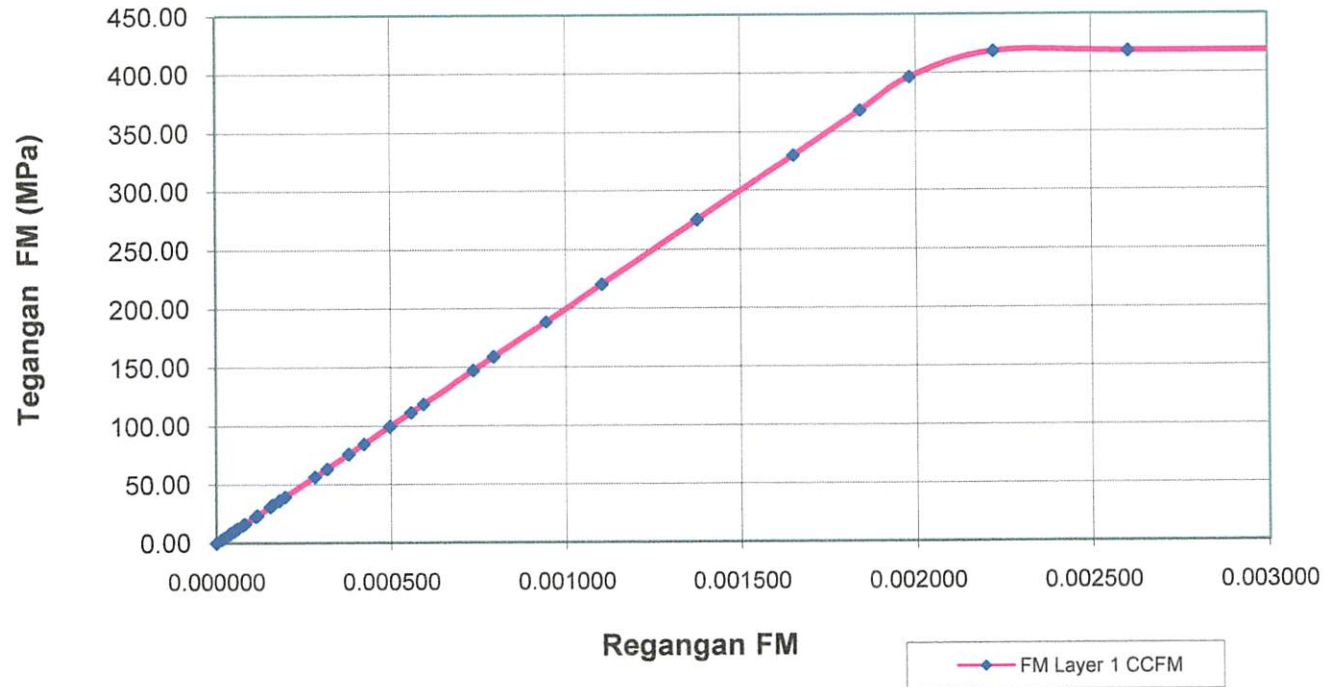
Tegangan-Regangan Beton Kolom CCFM ϕ 3-50 mm (LVDT)



Kurva Tegangan-Regangan Kolom CCFM $\phi 3-50$ Analisis Teoritis dan Eksperimen



Kurva Tegangan-Regangan Fine Mesh (CCFM)



ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKEKANG TULANGAN SPIRAL (CCS)

Es = 200000 Mpa
 Ec = 21066.28 Mpa
 n = 9.49

P (ton)	LVDT1 (mm)	LVDT2 (mm)	Strain Gauge	L (mm)	A _g - A _s (mm ²)	A _{s,n} (mm ²)	A _{total} (mm ²)	A _{spiral} (mm ²)	Fc Mpa	fs Spiral (Mpa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _{c2} rata-rata	ε _{s1} SG
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0	0.000000
1	0.01000	0.01000	0.05319	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	0.497	4.052	0.00004	0.00004	3.85E-05	0.000020
2	0.02000	0.02000	0.04655	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	0.995	3.546	0.00008	0.00008	7.69E-05	0.000018
3	0.03400	0.03000	0.04714	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	1.492	3.591	0.00013	0.00012	0.000123	0.000018
4	0.04700	0.04000	0.06211	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	1.989	4.731	0.00018	0.00015	0.000167	0.000024
5	0.06100	0.05200	0.05612	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	2.487	4.275	0.00023	0.00020	0.000217	0.000021
6	0.08500	0.07000	0.06387	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	2.984	4.865	0.00033	0.00027	0.000298	0.000024
7	0.10700	0.08000	0.08288	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	3.481	6.314	0.00041	0.00031	0.00036	0.000032
8	0.11200	0.09200	0.08919	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	3.979	6.795	0.00043	0.00035	0.000392	0.000034
9	0.12000	0.10100	0.14414	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	4.476	10.981	0.00046	0.00039	0.000425	0.000055
10	0.16000	0.11000	0.10560	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	4.973	8.045	0.00062	0.00042	0.000519	0.000040
11	0.19000	0.12500	0.10163	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	5.471	7.742	0.00073	0.00048	0.000606	0.000039
12	0.25000	0.13800	0.11230	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	5.968	8.555	0.00096	0.00053	0.000746	0.000043
13	0.28000	0.15400	0.10469	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	6.466	7.975	0.00108	0.00059	0.000835	0.000040
14	0.31000	0.17000	0.09551	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	6.963	7.276	0.00119	0.00065	0.000923	0.000036
15	0.34000	0.18500	0.09974	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	7.460	7.598	0.00131	0.00071	0.00101	0.000038
16	0.38000	0.20000	0.10286	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	7.958	7.836	0.00146	0.00077	0.001115	0.000039
17	0.42000	0.22000	0.11374	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	8.455	8.664	0.00162	0.00085	0.001231	0.000043
18	0.47000	0.24200	0.11745	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	8.952	8.947	0.00181	0.00093	0.001369	0.000045
19	0.52000	0.26200	0.11185	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	9.450	8.521	0.00200	0.00101	0.001504	0.000043
20	0.57000	0.28200	0.11497	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	9.947	8.759	0.00219	0.00110	0.001648	0.000044
21	0.61000	0.33000	0.08913	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	10.444	6.790	0.00235	0.00127	0.001808	0.000034
22	0.65000	0.35300	0.08932	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	10.942	6.805	0.00250	0.00136	0.001929	0.000034
23	0.69000	0.37630	0.07676	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	11.439	5.847	0.00265	0.00145	0.002051	0.000029
24	0.74500	0.41000	0.09036	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	11.936	6.884	0.00287	0.00158	0.002221	0.000034
25	0.80000	0.43850	0.08952	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	12.434	6.819	0.00308	0.00169	0.002382	0.000034
26	0.85000	0.46000	0.12656	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	12.931	9.642	0.00327	0.00177	0.002519	0.000048
27	0.89750	0.48500	0.13991	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	13.428	10.658	0.00345	0.00187	0.002659	0.000053
28	0.95000	0.51000	0.11829	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	13.926	9.012	0.00365	0.00196	0.002808	0.000045
29	1.00000	0.53900	0.14499	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	14.423	11.045	0.00385	0.00207	0.00296	0.000055
30	1.05500	0.58500	0.15475	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	14.920	11.789	0.00406	0.00225	0.003154	0.000059
31	1.10000	0.61000	0.15202	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	15.418	11.581	0.00423	0.00235	0.003288	0.000058
32	1.16200	0.63500	0.18092	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	15.915	13.783	0.00447	0.00244	0.003456	0.000069
33	1.21500	0.66500	0.18802	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	16.412	14.323	0.00467	0.00256	0.003615	0.000072
34	1.27000	0.68500	0.21185	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	16.910	16.139	0.00488	0.00263	0.00376	0.000081
35	1.32800	0.71600	0.23711	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	17.407	18.063	0.00511	0.00275	0.003931	0.000090
36	1.38500	0.74900	0.27201	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	17.905	20.721	0.00533	0.00288	0.004104	0.000104
37	1.45500	0.77500	0.30098	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	18.402	22.928	0.00560	0.00298	0.004288	0.000115
38	1.52100	0.81000	0.33978	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	18.899	25.884	0.00585	0.00312	0.004483	0.000129
39	1.58500	0.84900	0.37409	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	19.397	28.498	0.00610	0.00327	0.004681	0.000142
40	1.65000	0.87500	0.37409	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	19.894	28.498	0.00635	0.00337	0.004856	0.000142
41	1.73000	1.05000	0.43770	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	20.391	33.344	0.00665	0.00404	0.005346	0.000167
42	1.81000	1.12500	0.53431	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	20.889	40.704	0.00696	0.00433	0.005644	0.000204
43	1.90000	1.17500	0.67283	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	21.386	51.256	0.00731	0.00452	0.005913	0.000256
44	2.00000	1.22000	0.96783	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	21.883	73.729	0.00769	0.00469	0.006192	0.000369
45	2.15000	1.25500	1.32827	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	22.381	101.188	0.00827	0.00483	0.006548	0.000506
46	2.32000	1.28500	1.63389	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	22.878	124.470	0.00892	0.00494	0.006933	0.000622
47	2.51000	1.30000	1.85646	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	23.375	141.425	0.00965	0.00500	0.007327	0.000707
48	2.85000	1.33000	2.30490	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	23.873	175.587	0.01096	0.00512	0.008038	0.000878
45	3.90000	1.74000	2.85267	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	22.381	217.317	0.01500	0.00669	0.010846	0.001087
40	5.20000	2.85000	3.43290	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	19.894	245.500	0.02000	0.01096	0.015481	0.001308
32	8.50000	4.28000	3.97327	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	15.915	245.500	0.03269	0.01646	0.024577	0.001513
20	13.60000	6.72300	4.62719	260	17384.76	2721.902	20106.66	47.78362	9.947	245.500	0.05231	0.02586	0.039083	0.001762

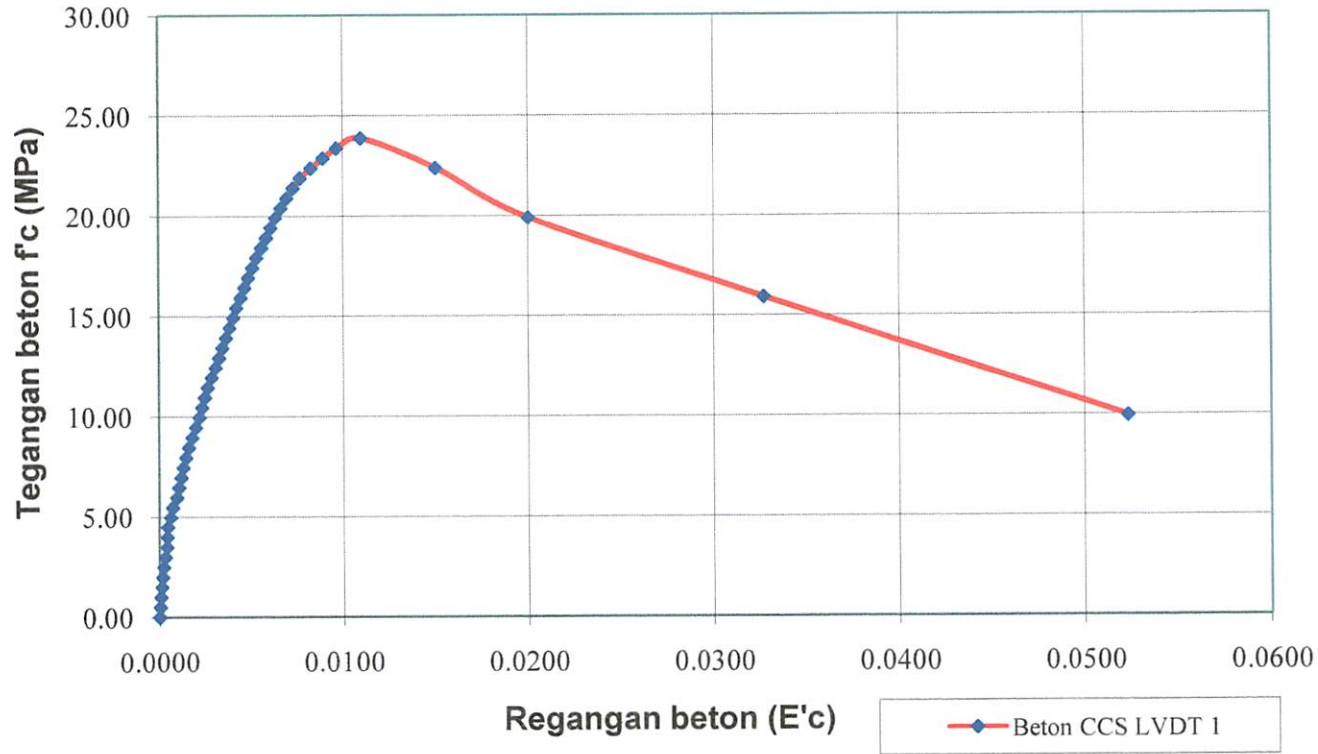
Keterangan Kolom :

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

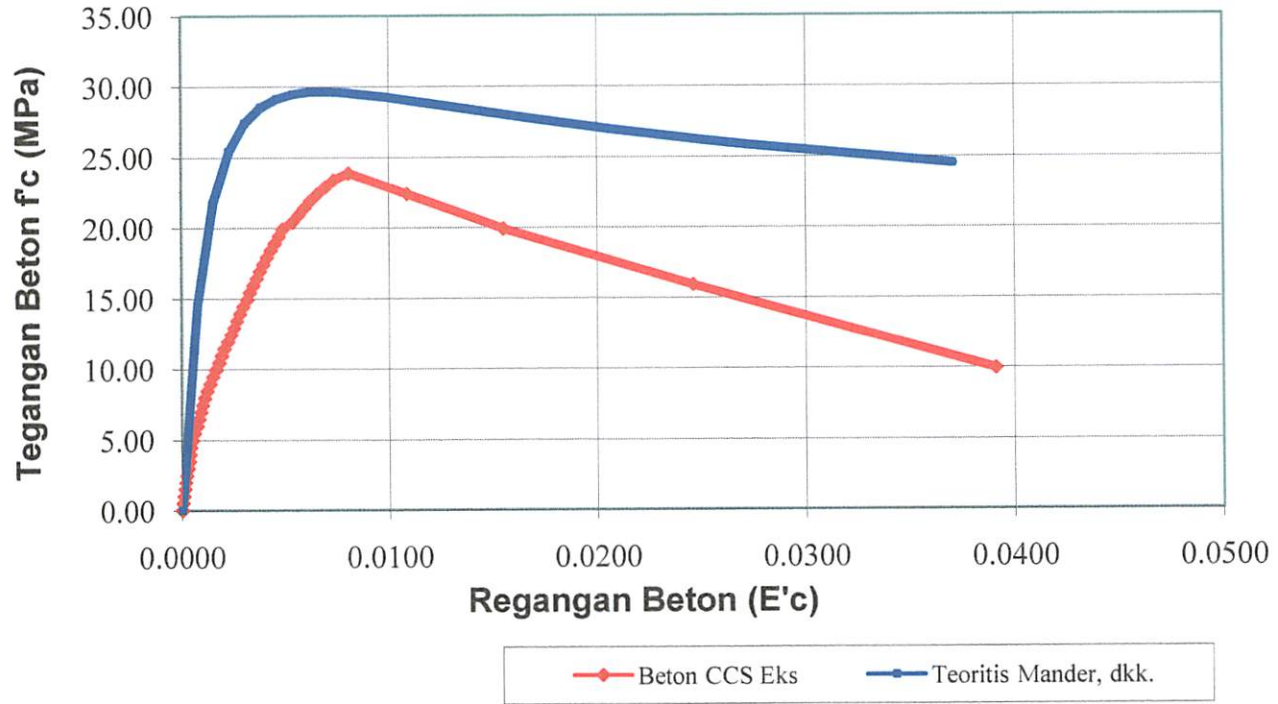
Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

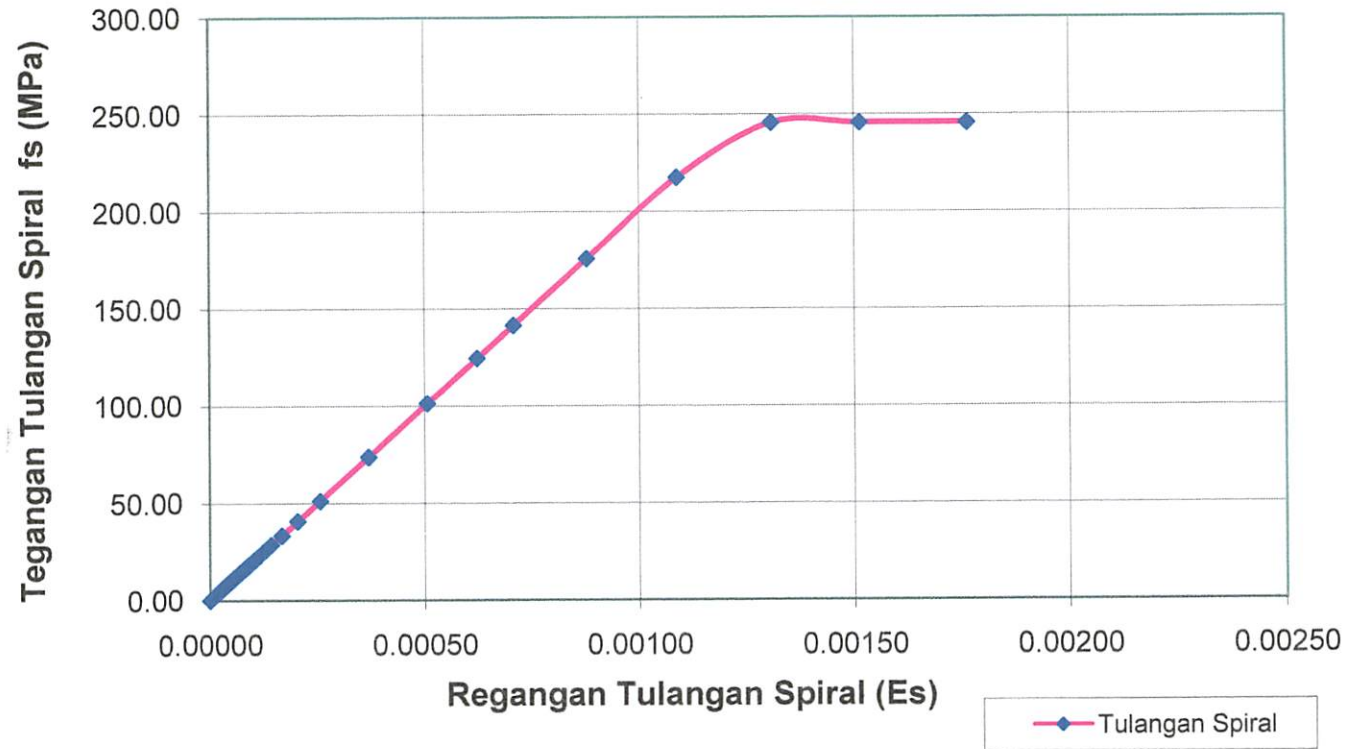
KURVA TEGANGAN-REGANGAN BETON KOLOM CCS LVDT



Kurva Tegangan Regangan Beton Kolom CCS Analisis Teoritis dan Eksperimen



Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Spiral Kolom CCS

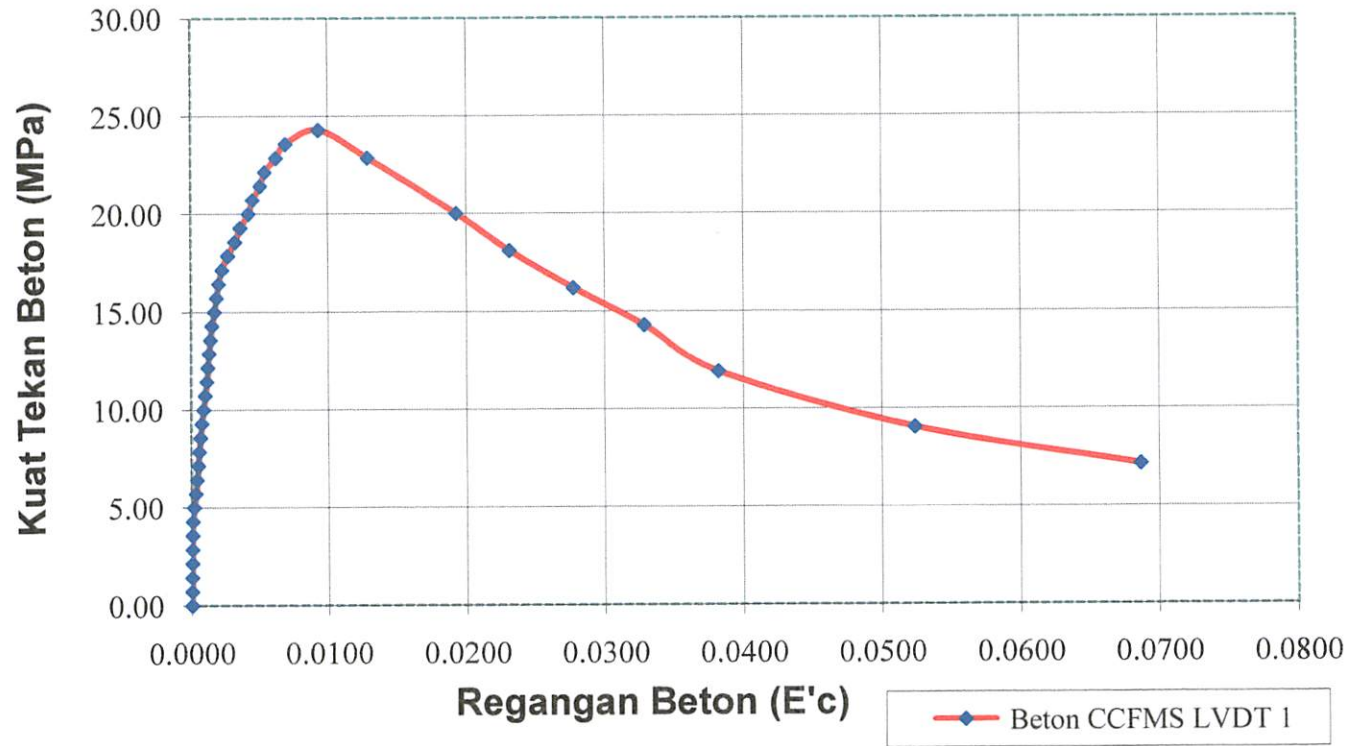


ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKEKANG TULANGAN SPIRAL YANG DIBUNGKUS FINE MESH (CCFMS)

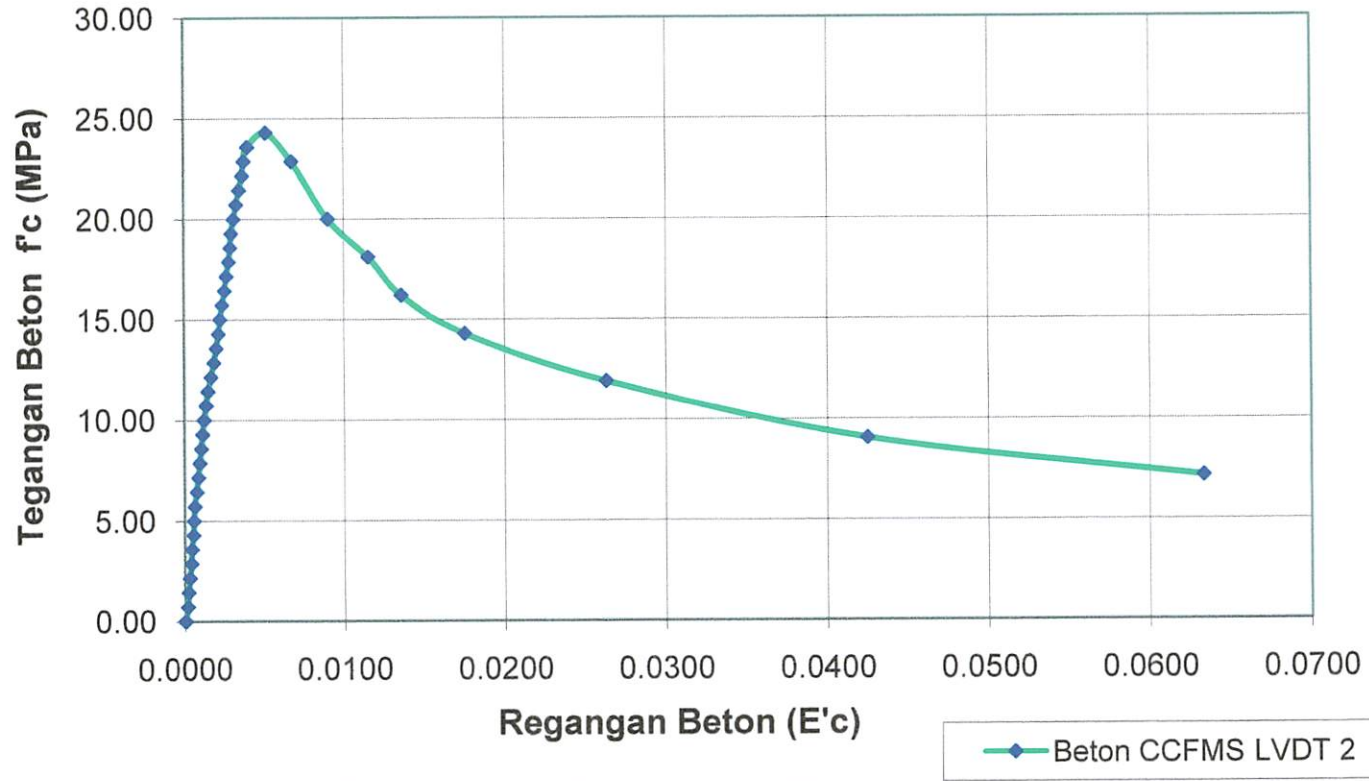
Es = 200000 Mpa
 Ec = 21589.33 Mpa
 n = 9.26

P (ton)	LVDT1 (mm)	LVDT2 (mm)	SG Spiral	SG FM layer 1	SG FM Layer 2	L (mm)	$A_g - A_s - A_{sfm}$	A_s	A_{sfm}	A_{total}	A_{spiral}	A FM	f'c	fs Spiral	fs FM 1	fs FM 2	cc1	cc2	cc	cc1 Spiral	cc1 FM	cc2 FM
	2	3		4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0	0	0	0	0	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0	0.00000	0.00000	0.00000
1.5	0.00256	0.03995	0.0222655	0.02383	0.06133	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	0.714	1.696	1.815	4.672	0.00001	0.00015	8.18E-05	0.00001	0.00001	0.00002
3	0.00380	0.05243	0.0095704	0.02090	0.07773	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	1.429	0.729	1.592	5.922	0.00001	0.00020	0.000108	0.00000	0.00001	0.00003
4.5	0.00769	0.07365	0.0103516	0.04961	0.08789	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	2.143	0.789	3.779	6.696	0.00003	0.00028	0.000156	0.00000	0.00002	0.00003
6	0.00985	0.09862	0.0253906	0.07266	0.08125	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	2.857	1.934	5.535	6.190	0.00004	0.00038	0.000209	0.00001	0.00003	0.00003
7.5	0.01256	0.10874	0.0621094	0.10352	0.05137	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	3.572	4.731	7.886	3.913	0.00005	0.00042	0.000233	0.00002	0.00004	0.00002
9	0.01667	0.13233	0.0766017	0.12605	0.03301	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	4.286	5.836	9.603	2.515	0.00006	0.00051	0.000287	0.00003	0.00005	0.00001
10.5	0.04488	0.14231	0.0958984	0.13809	0.07012	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	5.001	7.306	10.519	5.342	0.00017	0.00055	0.00036	0.00004	0.00005	0.00003
12	0.07565	0.15731	0.0703124	0.15000	0.07012	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	5.715	5.356	11.427	5.342	0.00029	0.00061	0.000448	0.00003	0.00006	0.00003
13.5	0.10002	0.18975	0.0894532	0.17461	0.08301	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	6.429	6.815	13.302	6.324	0.00038	0.00073	0.000557	0.00003	0.00007	0.00003
15	0.12666	0.21594	0.1126953	0.18785	0.05938	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	7.144	8.585	14.311	4.523	0.00048	0.00083	0.000657	0.00004	0.00007	0.00002
16.5	0.14361	0.24095	0.1208982	0.19766	0.09766	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	7.858	9.210	15.057	7.439	0.00055	0.00093	0.00074	0.00005	0.00008	0.00004
18	0.17182	0.26587	0.0820313	0.19355	0.10859	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	8.572	6.249	14.745	8.273	0.00066	0.00102	0.000842	0.00003	0.00007	0.00004
19.5	0.19234	0.28712	0.073242	0.19004	0.12715	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	9.287	5.580	14.477	9.686	0.00074	0.00110	0.000922	0.00003	0.00007	0.00005
21	0.23209	0.31334	0.0716797	0.19434	0.11445	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	10.001	5.461	14.804	8.719	0.00089	0.00121	0.001049	0.00003	0.00007	0.00004
22.5	0.26158	0.34330	0.085547	0.21191	0.11016	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	10.715	6.517	16.144	8.392	0.00101	0.00132	0.001163	0.00003	0.00008	0.00004
24	0.29363	0.37573	0.1154295	0.24453	0.08477	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	11.430	8.793	18.628	6.457	0.00113	0.00145	0.001287	0.00004	0.00009	0.00003
25.5	0.31569	0.42440	0.1326172	0.26426	0.08008	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	12.144	10.103	20.131	6.100	0.00121	0.00163	0.001423	0.00005	0.00010	0.00003
27	0.33980	0.47188	0.1779296	0.29023	0.03555	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	12.859	13.555	22.110	2.708	0.00131	0.00181	0.001561	0.00007	0.00011	0.00001
28.5	0.36416	0.51183	0.1671875	0.31309	0.04121	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	13.573	12.736	23.851	3.139	0.00140	0.00197	0.001685	0.00006	0.00012	0.00002
30	0.39109	0.55178	0.1724608	0.34941	0.04297	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	14.287	13.138	26.618	3.273	0.00150	0.00212	0.001813	0.00007	0.00013	0.00002
31.5	0.44007	0.57799	0.1943358	0.38477	0.03711	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	15.002	14.805	29.311	2.827	0.00169	0.00222	0.001958	0.00007	0.00015	0.00001
33	0.48212	0.61294	0.251953	0.40293	0.02402	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	15.716	19.194	30.695	1.830	0.00185	0.00236	0.002106	0.00010	0.00015	0.00001
34.5	0.52316	0.65539	0.2730468	0.42402	0.02578	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	16.330	20.801	32.302	1.964	0.00201	0.00252	0.002266	0.00010	0.00016	0.00001
36	0.58890	0.68660	0.2810936	0.44551	0.01094	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	17.145	21.414	33.939	0.833	0.00226	0.00264	0.002453	0.00011	0.00017	0.00000
37.5	0.70011	0.72405	0.2919924	0.47617	0.03223	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	17.859	22.244	36.275	2.455	0.00269	0.00278	0.002739	0.00011	0.00018	0.00001
39	0.83449	0.74980	0.3316405	0.50020	0.07539	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	18.573	25.264	38.105	5.743	0.00321	0.00288	0.003047	0.00013	0.00019	0.00003
40.5	0.93474	0.76652	0.3896484	0.51797	0.11758	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	19.288	29.683	39.459	8.957	0.00360	0.00295	0.003272	0.00015	0.00020	0.00004
42	1.08991	0.80644	0.4925781	0.54961	0.22930	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	20.002	37.525	41.869	17.468	0.00419	0.00310	0.003647	0.00019	0.00021	0.00009
43.5	1.17196	0.85138	0.6009765	0.56699	0.30605	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	20.717	45.782	43.193	23.316	0.00451	0.00327	0.003891	0.00023	0.00022	0.00012
45	1.31662	0.89632	0.7255858	0.58887	0.40156	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	21.431	55.275	44.860	30.591	0.00506	0.00345	0.004256	0.00028	0.00022	0.00015
46.5	1.40534	0.94751	0.9888674	0.60596	0.39512	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	22.145	75.332	46.162	30.100	0.00541	0.00364	0.004525	0.00038	0.00023	0.00015
48	1.62464	0.97497	1.3046875	0.65141	0.52598	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	22.860	99.391	49.624	40.069	0.00625	0.00375	0.004999	0.00050	0.00025	0.00020
49.5	1.80357	1.03209	1.629570	0.76927	0.61802	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	23.574	124.141	58.603	46.928	0.00694	0.00397	0.005453	0.00062	0.00029	0.00023
51	2.41656	1.33439	2.059570	0.84689	0.79785	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	24.288	156.898	64.516	60.780	0.00929	0.00513	0.007213	0.00078	0.00032	0.00030
48	3.33847	1.75464	2.797646	1.18282	0.99364	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	22.860	213.125	90.108	75.696	0.01284	0.00675	0.009794	0.00107	0.00045	0.00038
42	4.99824	2.33836	3.259845	1.59076	1.18937	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	20.002	245.500	121.184	90.606	0.01922	0.00899	0.014109	0.00124	0.00061	0.00045
38	6.00000	2.98873	4.109929	2.09836	1.81826	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	18.097	245.500	159.853	138.515	0.02308	0.01150	0.017286	0.00157	0.00080	0.00069
34	7.19984	3.52232	4.872723	3.27665	2.80937	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	16.192	245.500	249.615	214.018	0.02769	0.01355	0.02062	0.00186	0.00125	0.00107
30	8.53223	4.54426	5.633827	4.43556	3.92509	260	17258.90	2654.612	1084.239	20997.75	47.7836	6.158	14.287	245.500	337.90							

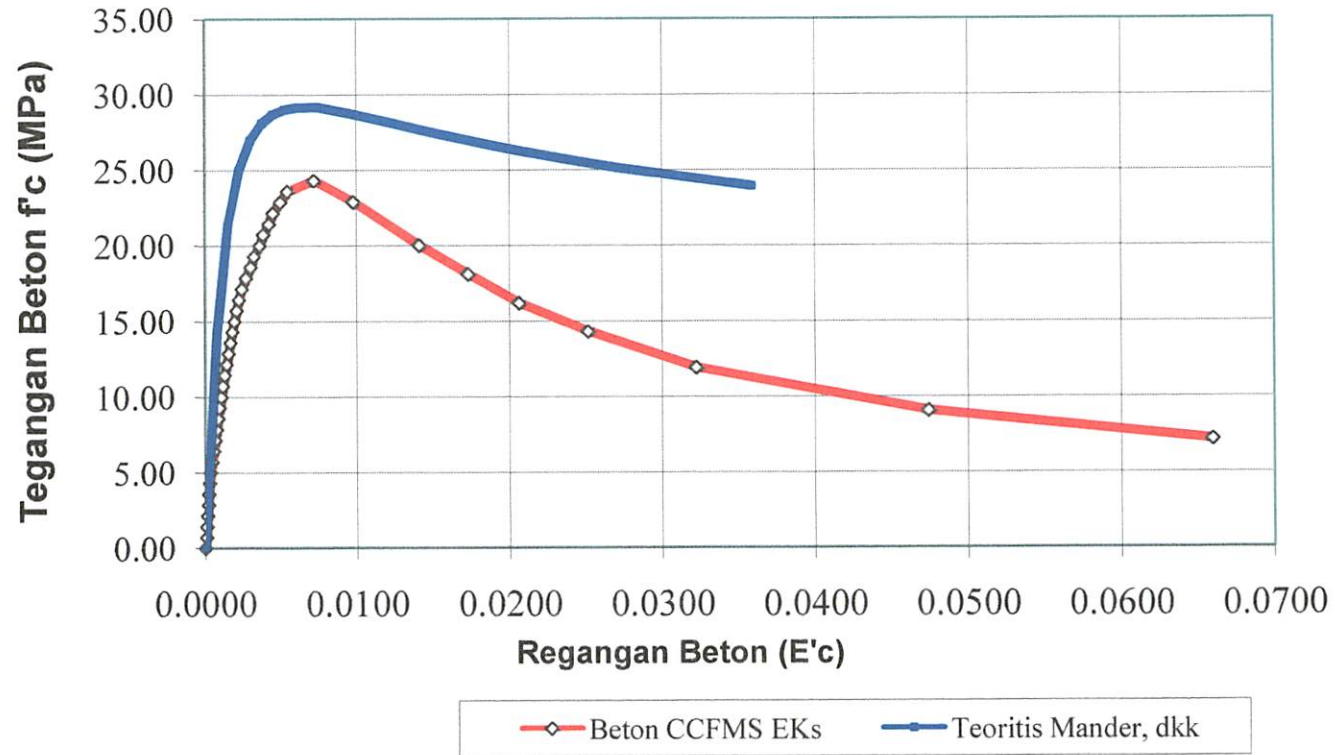
Kurva Tegangan-Regangan Beton Kolom CCFMS LVDT 1



Kurva Tegangan - Regangan Beton Kolom CCFMS LVDT2



Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton CCFMS Analisa Teoritis dan Eksperimen





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN- 1106.08/21/B/TA/I/Gnp 2011
Lampiran : -
Perihal : **Bimbingan Skripsi**

11 Juni 2011

Kepada Yth : **Bpk./ Ibu Yosimson P. Manaha, ST., MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Di -

M A L A N G

Dengan Hormat,

Bersama ini kami beritahukan, bahwa sesuai dengan kesediaan saudara/i. atas permohonan dari Mahasiswa :

Nama : **Marthen G. Hale Kehik**
Nim : **00.21.030**
Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat Membimbing Skripsi dan Mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Penelitian Efektivitas Fine Mesh ϕ 3 – 25 Sebagai Confinement dan Retrofitting Kolom Bulat Beton Bertulang Terhadap Kekuatan (f'_{cc}) dan Regangan (ϵ'_{cc})".

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi.

Waktu penyelesaian Skripsi tersebut selama 6 (Enam) bulan terhitung mulai tanggal :
11 Juni 2011 s/d 10 Desember 2011. Apabila melebihi batas waktu yang telah di tentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

Demikian atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.

Ketua Program Studi Teknik Sipil (S-1)
Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan



Tembusan Kepada Yth :

1. Wakil Dekan I FTSP.
2. Arsip.



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN- 1106.08/21/B/TAI/Gnp 2011
Lampiran : -
Perihal : **Bimbingan Skripsi**

11 Juni 2011

Kepada Yth : **Bpk./ Ibu Ir. Nusa Sebayang, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang
Di -

MALANG

Dengan Hormat,

Bersama ini kami beritahukan, bahwa sesuai dengan kesediaan saudara/i. atas permohonan dari Mahasiswa :

Nama : **Marthen G. Hale Kehik**
Nim : **00.21.030**
Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

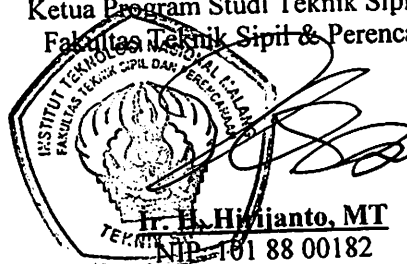
Untuk dapat Membimbing Skripsi dan Mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Penelitian Efektivitas Fine Mesh ϕ 3 – 25 Sebagai Confinement dan Retrofitting Kolom Bulat Beton Bertulang Terhadap Kekuatan (f'_{cc}) dan Regangan (ϵ'_{cc})".

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi.

Waktu penyelesaian Skripsi tersebut selama 6 (Enam) bulan terhitung mulai tanggal :
11 Juni 2011 s/d 10 Desember 2011. Apabila melebihi batas waktu yang telah di tentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

Demikian atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.

Ketua Program Studi Teknik Sipil (S-1)
Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan



Ir. H. Hijianto, MT
NIP. 191 88 00182

Tembusan Kepada Yth :
1. Wakil Dekan I FTSP.
2. Arsip.



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

PENELITIAN "efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat \varnothing 3-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})"

Nama : Marthen G. Hale Kehik
Nim : 06.21.030
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Ir. Nusa Sebayang, MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
1	13-07-2011	- Penjelasan ttg. kesh = efektif - Kebutuhan dibuat - mix resin	
2	16-07-2011	- Pelajari hard mix desain	
3	16-07-2011	- lanjut penggambaran	
4	19-08-2011	- Speksi penelitian \rightarrow standar?? - Mtlal ?? diplot - lanjut analisis bab IV	
5	24-10-2011	- Cek f'_{cc} , gunakan ketentuan SNI - Pengujian hipotesis dgn metode statistik	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

PENELITIAN "efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat \varnothing 3-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})"

Nama : Marthen G. Hale Kehik
Nim : 06.21.030
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Ir. Nusa Sebayang, MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
6	9-11-2011	<ul style="list-style-type: none">- Pengujian statik keke perbedaan perlakuan- Pembahasan hasil bar umam kepd kesimpulan sesuai paragraf salian- Kekuatan leaare tristik	
7	19-11-2011	<ul style="list-style-type: none">- Dicek lagi hasil analisis perbedaan antara perlakuan yg di bundling	
8	21-11-2011	<ul style="list-style-type: none">- Perbaiki kesimpulan	
9	28-11-2011	<ul style="list-style-type: none">- Ace semua hasil	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI

“efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat \varnothing 2-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})”

Nama : Marthen G. Hale Kehik
Nim : 06.21.030
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST., MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	30/6-11	- Bab I diperbaiki Masalah 2 tujian - Bab II diperbaiki - Bab III cek Uebk dan Ug diperbaiki	
	06/07-2011	- Bab I diperbaiki lagi - Bab III diperbaiki dan ditambah?	
	08/07-11	- .abr? pd Bab III Sementara dg topik sdr. - .ketungru konkrit dapat di buat dg data? teori.	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI

"efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat \varnothing 2-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})"

Nama : Marthen G. Hale Kehik
Nim : 06.21.030
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST., MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	12/07-2011	- foto-foto test dicek lagi - Mix design jumlah beton yg bakal dibuat	
	14/07-2011	- sebelum pengisian dapat di setting dulu. Kloro 2 juga	
	18/07-2011	- lakukan pemeriksaan beton & silinder	
	10/8-2011	- Akhiri tes beton & silinder di analisa sesuai rumus pd Bab II	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI

"efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat \varnothing 2-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})"

Nama : Marthen G. Hale Kehik
Nim : 06.21.030
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST., MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	29/9-2011	- kurva ϵ'_{cc} di cek lagi - sub. T _{cg} -Req basu di cek lagi - L _{SDT} yg di pakai di paparkan satrannya	
	04/11-2011	- semua hitungan analisa letak Ebs perimental di perbaiki - pelajar lagi	
	16/11-2011	- labuan validasi hasil Ebs perimental dan teoritis. - pelajar berdiskusi surya & aya.	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI

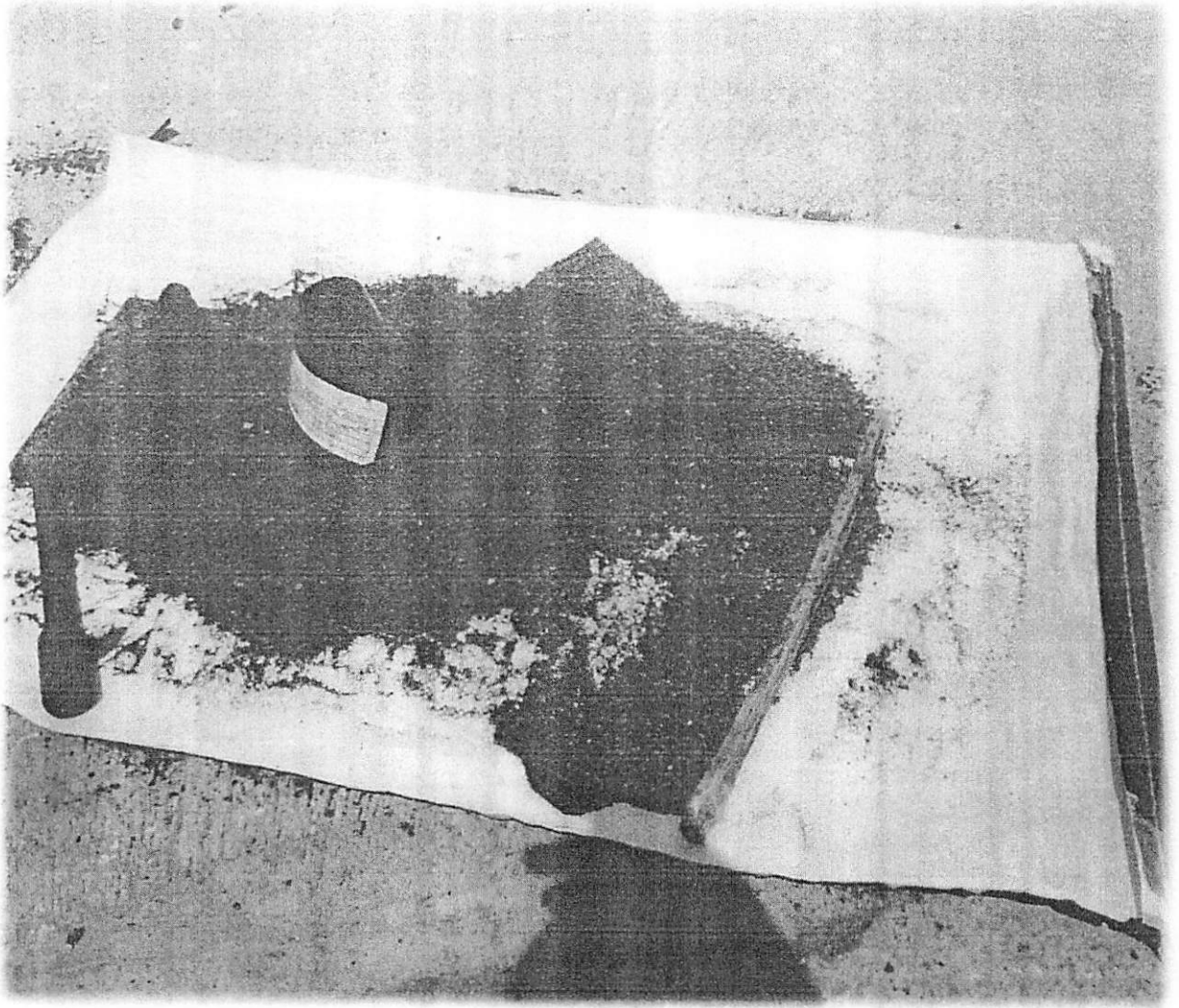
“efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom bulat \varnothing 2-50, beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})”

Nama : Marthen G. Hale Kehik
Nim : 06.21.030
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST., MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	12/12-2011	- cek lagi tabel validasi - perbaiki kesimpulan	
	12/12-2011	- Habiskan lagi kesimpulan - lengkapi data? pada lampiran	
	13/12-2011	- Buat power point U. Seminar Hasil - kesimpulan di Sempurnakan	
	19/12-2011	- kata? pd power point di buat singkat - Dapat Maji Seminar Hasil	



Pemeriksaan Berat Jenis



Pengujian Kadar Air



Pengujian Kadar Lumpur



Ø 2-25 Persegi



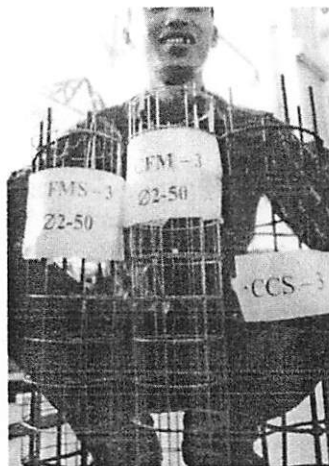
Ø 2-50 Persegi



Ø 3-50 Persegi



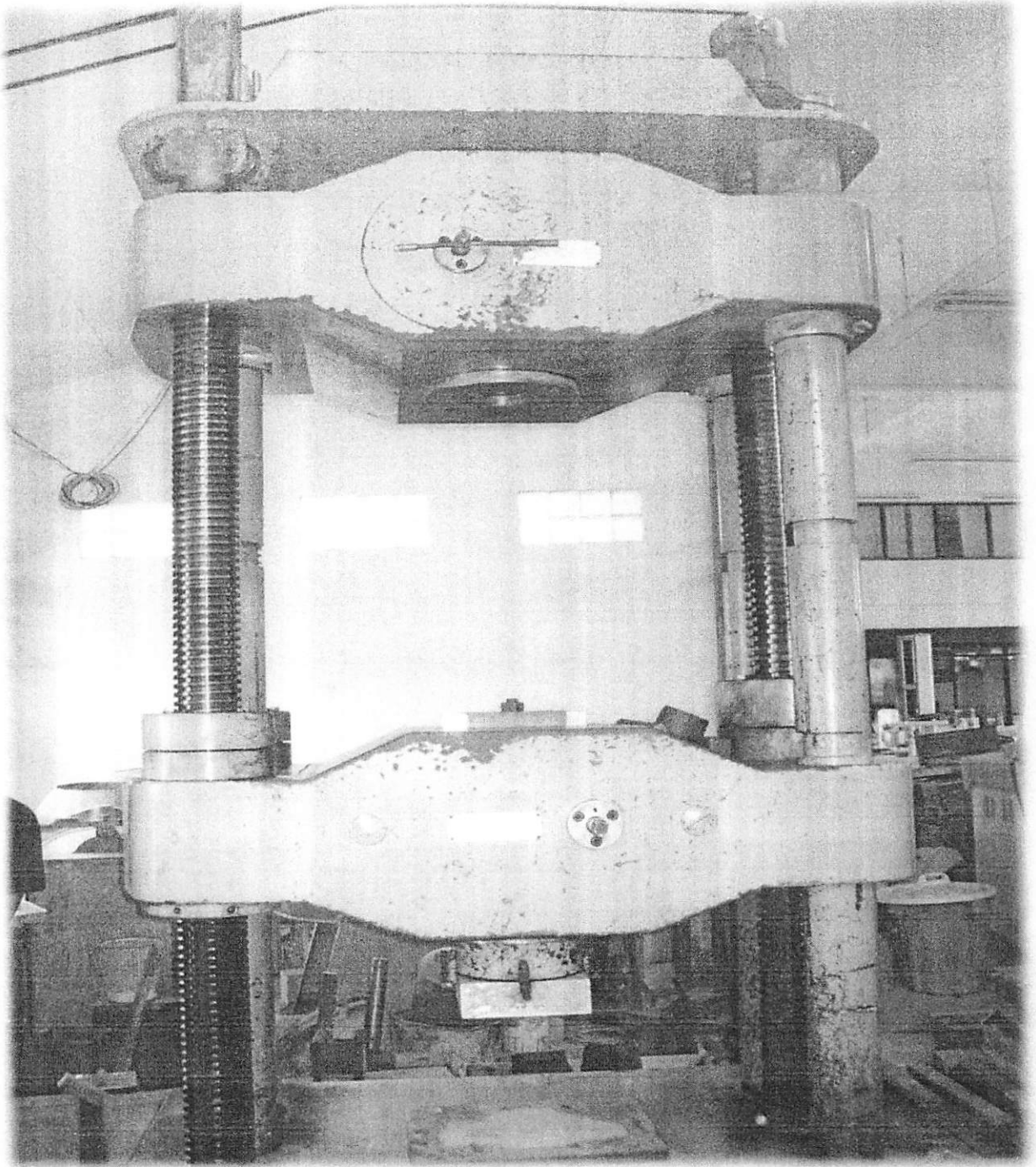
Ø 2-25 Bulat



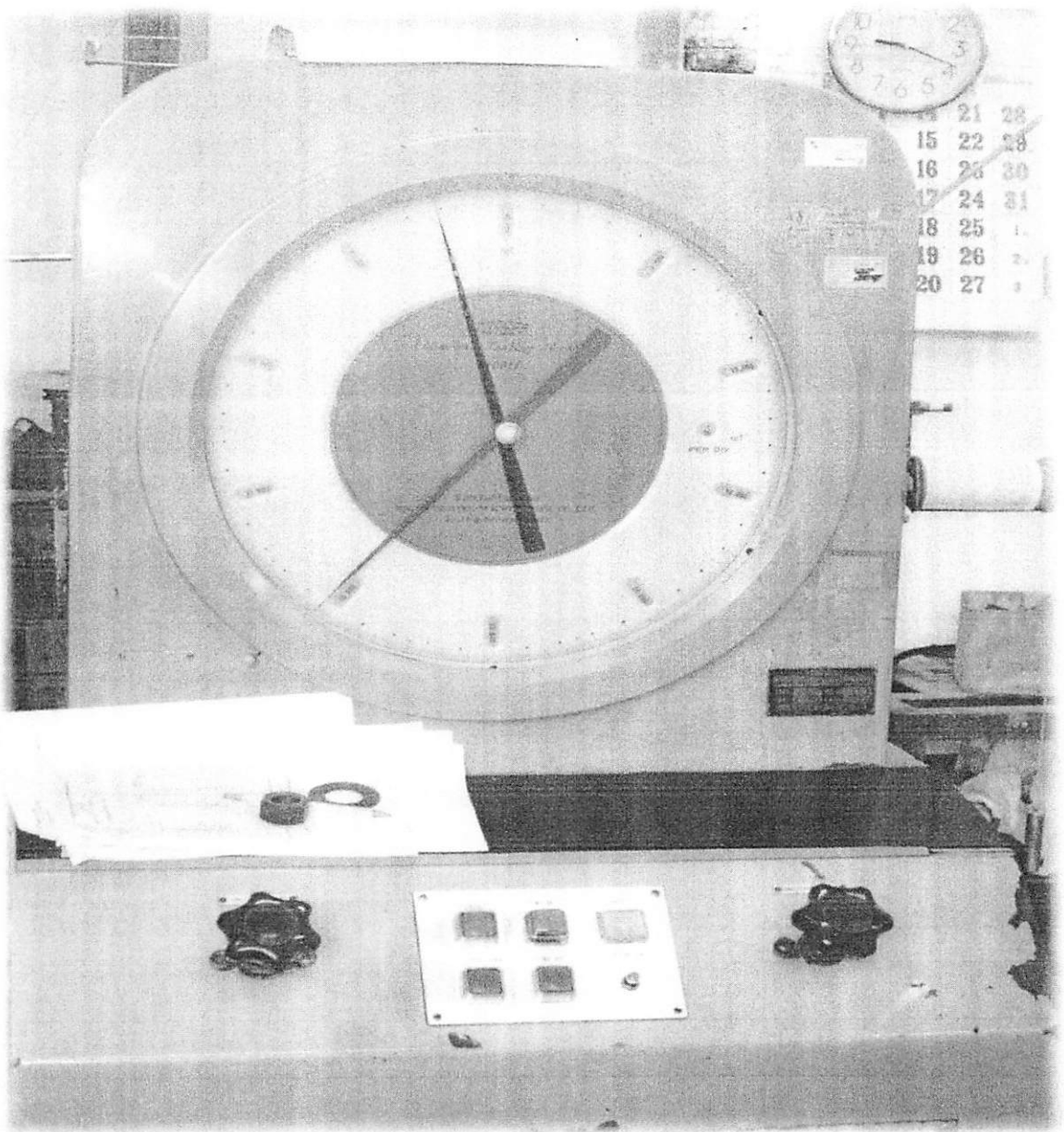
Ø 2-50 Bulat



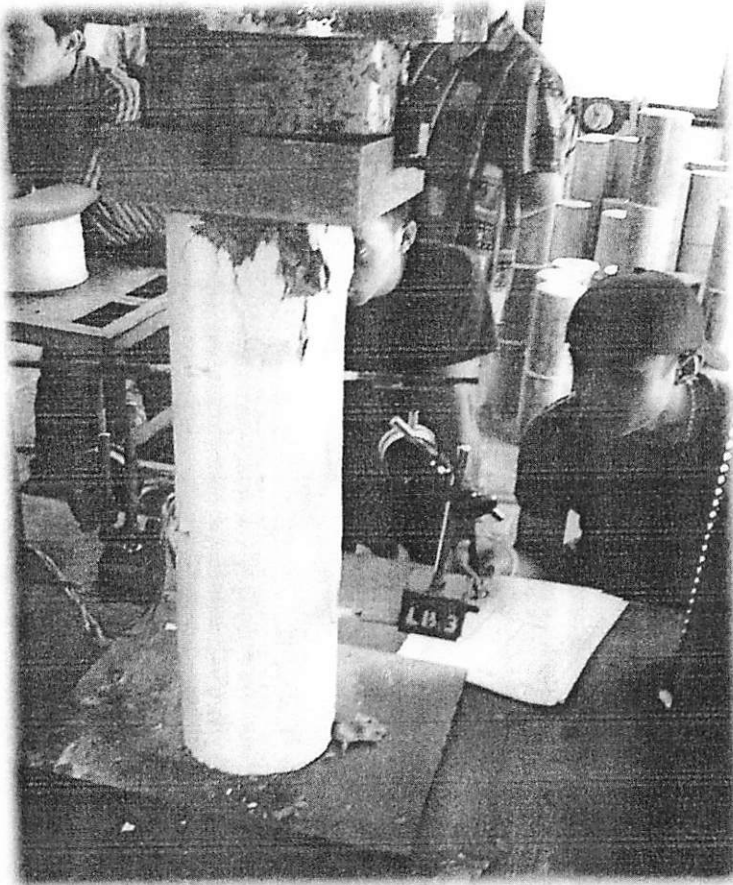
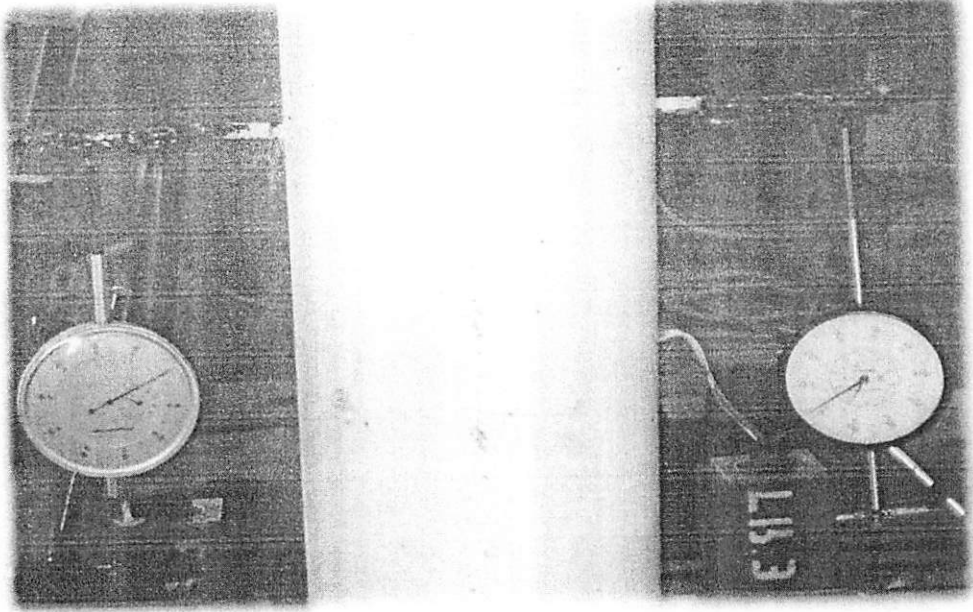
Ø 3-50 Bulat



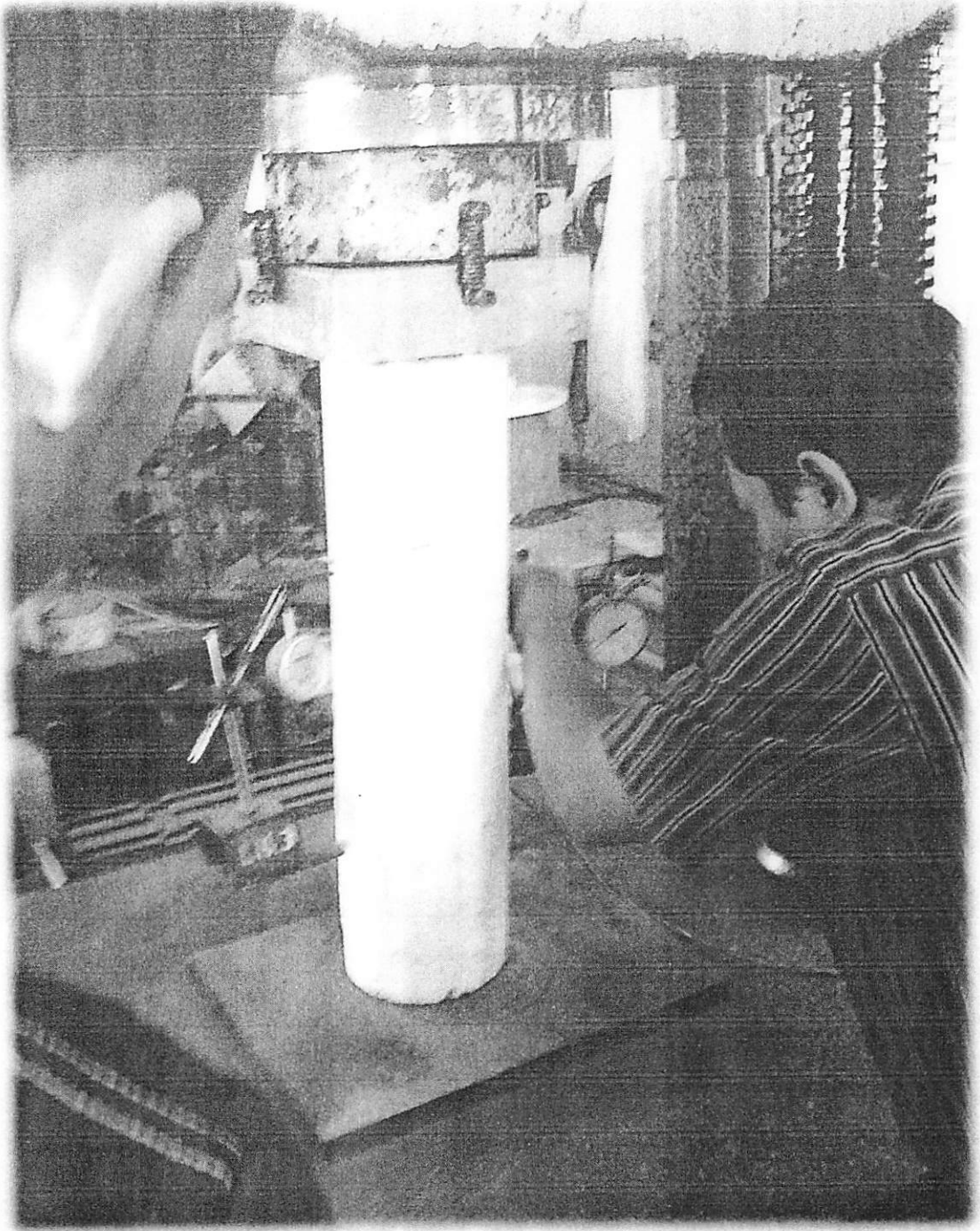
Universal Testing Machine (UTM)



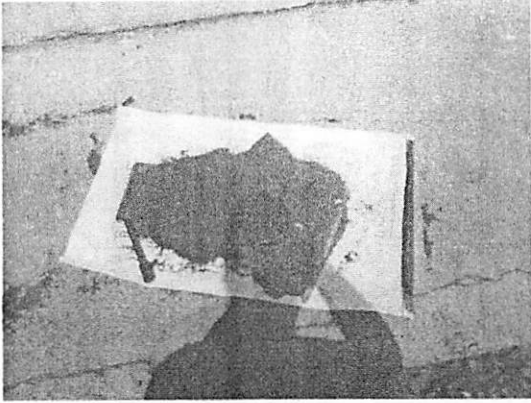
Universal Testing Machine (UTM)



Pencatatan perpindahan pada DAIL



Pemasangan DAIL



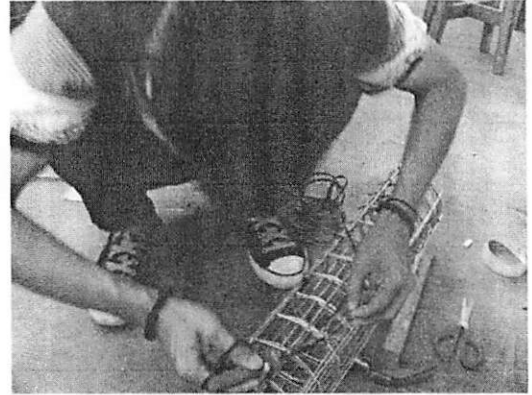
Pengujian Kadar Air



Pemeriksaan Berat Jenis



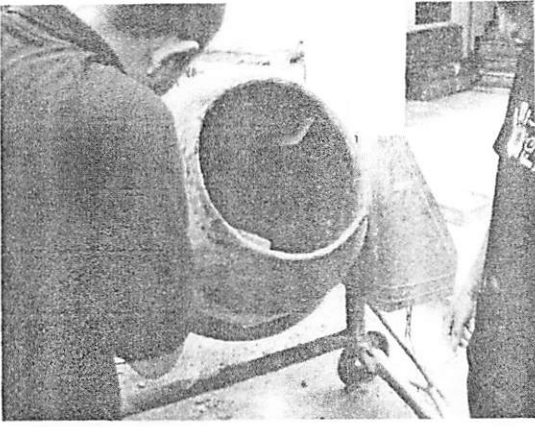
Mencari No Saringan



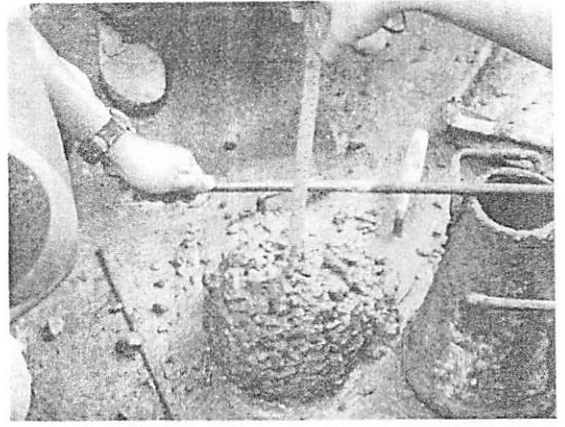
Pemasangan Strain Gauges Pada Fine mesh



Begesting Bulat



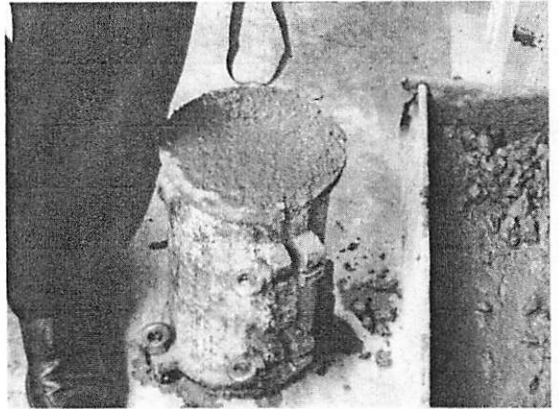
Pencampuran Bahan



Uji Slum



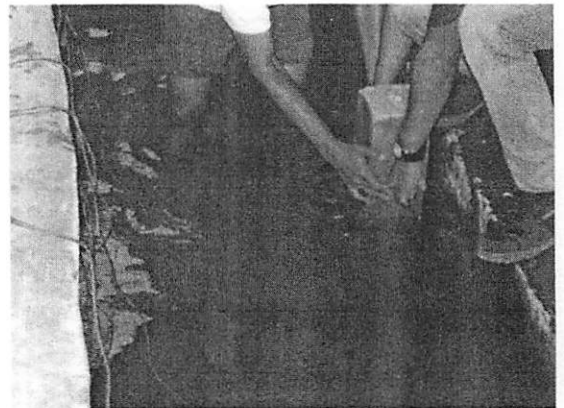
Campuran beton di masukan ke begesting



Silinder Beton



Melepas Begesting



Memasukan Benda Uji Ke Bak Air




**FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG**

Nama : MARTHEN G H K
 NIM : 0621030
 Hari / tanggal : Sabtu, 7-1-2012

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- > Rumusan ~~masalah~~ Sejumlah
- > Gambar pemasangan Tul. Pengelangan yg jelas
- > Dokumentasi
- > Kesimpulan dituliskan


 16-1-2012


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

Pengumpulan berkas untuk Ujian Skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari Dosen Pembahas dan Kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

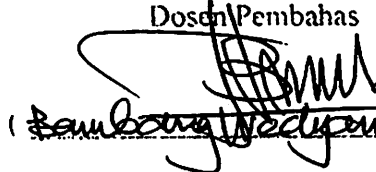
Malang, _____ 20

Dosen Pembahas



Malang, 7-1- 2012

Dosen Pembahas


 (Bambang Widyantodji)



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG Penelitian Beton

Nama : MARTHEN G. HALEK

NIM : 06.21.030

Hari / tanggal : Sabtu, 07 Januari 2012

Perbaiki materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi:

- daftar*
- *lempeng notasi & keterangannya ✓*
 - *⊕ Bab I → Batasan Masalah ✓*
 - *Kesimpulan → cek dg. Rumusan Masalah ✓*
 - *Daftar li*
 - *Daftar Gambar*
 - *Daftar Tabel*
 - *Daftar Notasi*

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

Pengumpulan berkas untuk Ujian Skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari Dosen Pembahas dan Kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 18 - 01 - 2012

Dosen Pembahas

Malang, 07 - 01 - 2012

Dosen Pembahas



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG _____

Nama : MARTHEN GHK

NIM : 0621030

Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Skripsi meliputi:

- > Abstraksi mana? /
- > Rumusan masalah, Tujuan & Batasan masalah, hrs Sinkron /
- > glar hal 47, beln kelam gabungan /
- > Cara menghitung per Bedaan regangan /
- > hal. 34, bgmn menghitung Reg-Reg i
 hit Ecu di Babel mana /
- > Kesimpulan Sempurnakan /

(Handwritten signature)

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

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2010

Dosen Penguji

(Handwritten signature)

Malang, _____ 2010

Dosen Penguji

(Handwritten signature)



FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG Penelitian

Nama : Marthen G. Hale Kehik
 NIM : 06.21.030
 Hari / tanggal : Senin, 20-02-2012

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

~ Cek lagi pagaman data yg diperlukan ✓
 ~ simbol E.R ✓
 ~ bentuk eksperimen sab. ✓

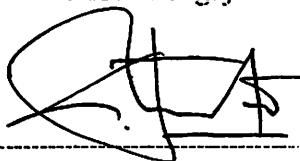
~ kurva Hg vs Ng ✓
 - data AB? → plaris
 - → BC? → ???
 - → CD → plaris

⊕ teori konsep "Strong Columns Weak Beams" → Bab II
 teori pelaksanaan? ✓

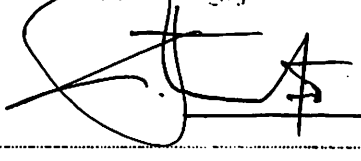
Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikutkan Yudisium.

Revisi Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 02-03- 2012
 Dosen Penguji

()

Malang, 20-02- 2012
 Dosen Penguji

()