

SKRIPSI

**PENELITIAN EFEKTIFITAS *FINE MESH* Ø2-25 SEBAGAI
CONFINEMENT DAN *RETROFITTING* KOLOM PERSEGI BETON
BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (E'_{cc})**



MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

Disusun Oleh :
M. IMAM DIKA WAHYUONO
(06.21.020)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL dan PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2011**

SECRET

RECEIVED THE SECRETARY OF THE ARMY
WASHINGTON, D.C. 20315
MAY 19 1954

RECEIVED
MAY 19 1954

RECEIVED
MAY 19 1954

RECEIVED
MAY 19 1954

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**EFEKTIFITAS FINE MESH Ø2-25 SEBAGAI CONFINEMENT DAN
RETROFITTING KOLOM PERSEGI 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 :

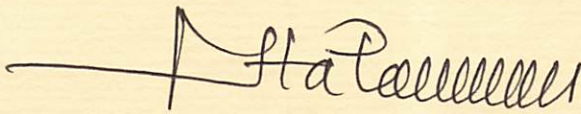
M. IMAM DIKA WAHYUONO

06. 21. 020

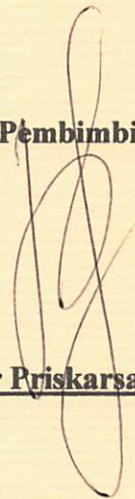
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. Togi H. Nainggolan, MS.)



(Ir. Ester Priskarsari, 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
2011**

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIFITAS FINE MESH Ø2-25 SEBAGAI CONFINEMENT DAN
RETROFITTING KOLOM PERSEGI BETON BERTULANG TERHADAP
KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (E'_{cc})

SKRIPSI

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1)
Pada hari : Kamis
Tanggal : 25 Agustus 2011
Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

M. IMAM DIKA WAHYUONO

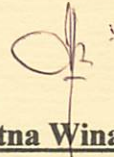
06. 21. 020

Disahkan Oleh:

Ketua


(Ir. H. Hirijanto, MT.)

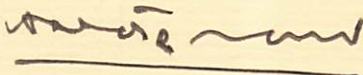
Sekretaris



(Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT.)

Anggota Penguji :

Dosen Penguji I



(Ir. H. Sudirman Indra, MSc.)

Dosen Penguji II



(Yosimson P. Manaha, ST, MT.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2011**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **M. IMAM DIKA WAHYUONO**

Nim : **06. 21. 020**

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

Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan bahwa dengan sesungguhnya Tugas Akhir yang berjudul :

“Efektifitas Fine Mesh Ø2-25 Sebagai Cconfinement dan Retrofitting Kolom Persegi Beton Bertulang Terhadap Kekuatan (f'_{cc}) dan Regangan (E'_{cc})”

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

Malang, Agustus 2011

Yang Membuat Pernyataan



(M. Imam Dika Wahyuono)

ABSTRAKSI

Imamdika, 2011, “EFEKTIFITAS *FINE MESH* Ø2-25 SEBAGAI *CONFINEMENT* DAN *RETROFITTING* KOLOM PERSEGI BETON BERTULANG TERHADAP KEKUATAN (f'_{cc}) DAN REGANGAN (E'_{cc})”.
Dosen Pembimbing I : Togi H. Nainggolan, Dosen Pembimbing II : Ester Priskarsari.

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 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 digantikan oleh *Fine Mesh (FM)* sebagai tulangan pengekang.

Hasil penelitian yang diperoleh dibandingkan dengan hasil analisis teoritis 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 sengkang* yang dibungkus lagi oleh *fine mesh* (RCFMH) memberi efektifitas pengekangan yang setara dengan kolom beton terkekang *tulangan sengkang BJTP* (RCH) dengan perbedaan rasio tulangan transversal $\rho_s = 12,4\%$, kuat tekan (f'_{cc}) berbeda $2,4\%$, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda $5,8\%$ dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda $6,7\%$. Sebaiknya kolom beton yang belum dirancang memikul beban gempa dapat diretrofit menggunakan *fine mesh*, agar dapat meningkatkan daktilitas dari kolom tersebut.

Kata kunci : *Daktilitas, fine mesh, kuat tekan beton, regangan beton, tulangan transversal.*

Kata Pengantar

Dengan memanjatkan puji syukur kepada kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan kekuatan untuk kami, sehingga kami sebagai penulis laporan ini bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul Penelitian "Efektifitas *Fine Mesh* $\varnothing 2 - 25$ Sebagai *Confinement dan Retrofitting Kolom Persegi Beton Bertulang Terhadap Kekuatan ($f'cc$) dan Regangan ($\epsilon'cc$)*" yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam kesempatan ini penyusun juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, diantaranya :

1. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT., selaku Dekan FTSP.
2. Bapak Ir. H. Hirijanto, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1.
3. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
4. Bapak Ir. Togi H. Nainggolan, MS., selaku koordinator Bidang Penelitian dan sekaligus dosen Pembimbing 1.
5. Bapak Ir. Bambang Wedyantadji, MT., selaku dosen ahli Bidang beton.
6. Bapak Yosimson Petrus Manaha, ST, MT., selaku Pembimbing Penelitian.
7. Orang tua kami yang telah memberikan kasih sayang dan doa restu nya serta memberikan dukungan yang tiada henti.
8. Teman-teman kelompok Penelitian yang berjuang keras dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Semua rekan-rekan Teknik Sipil S-1 yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan laporan ini.

Dengan segala kerendahan hati saya menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna, Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan, akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2011

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan

Lembar Pengesahan

Lembar Keaslian

Abstraksi

Kata Pengantar

Daftar isi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1. Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Terkekang	5
2.2. Pengekangan Pada Beton	7
2.2.1. Pengekangan Beton Dengan Tulangan Transversal Konvensional	8
2.2.2. Pengekangan Beton Dengan Fine Mesh	9
2.3. Persyaratan Tulangan Transversal	11
2.3.1. Untuk Penulangan Persegi	11
2.3.2. Kolom Pendek Dengan Beban Konsentrik	11
2.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan	12
2.5. Diagram Tegangan-Regangan Baja Tulangan	13

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Studi Pustaka	15
3.2. Analisis Preliminary Penelitian	15
3.3. Parameter Penelitian	15
3.4. Model Analisis	16
3.5. Pengujian di Laboratorium	17
3.5.1. Spesifikasi Material	17
3.5.2. Benda Uji	18
3.5.3. Peralatan Pengujian Silinder dan Kolom	21
3.5.4. Tahap Pelaksanaan Eksperimen	22
3.6. Analisis Data	23
3.6.1. Kolom beton terkekang fine mesh (RCFM).....	23
3.6.2. Kolom beton tertekan sengkang (RCH).....	30
3.6.3. Kolom Beton Terkekang sengkang yang dibungkus fine mesh (RCFMH)...	36
3.7. Laporan yang akan dikerjakan	44

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Laboraturium.....	46
4.1.1. Perancangan Campuran Beton.....	46
4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder.....	46
4.1.3. Pengujian Tarik Baja dan Fine Mesh.....	47
4.2. Hasil Pengujian Tekan Kolom	47
4.2.1. Kolom Beton Terkekang Fine Mesh (RCFM).....	47
4.2.2. Kolom Beton Terkekang Senggang (RCH).....	50
4.2.3. Kolom Beton Terkekang Tulangan Senggang yang dibungkus Fine Mesh (RCFMH).....	52
4.2.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton Gabungan 3 Kolom.....	55
4.3. Bukti Hipotesa Hasil Analisa.....	56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. kesimpulan.....	58
5.2. Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

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 solusi baru yang murah dan praktis untuk memperbaiki kinerja dengan cara meretrofit struktur gedung yang tak dirancang untuk 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 faktor, 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* dilapangan, selain itu perencana masih mengabaikan konsep "*Strong Columns Weak Beams*". Perancangan struktur kolom beton bertulang tahan gempa sesuai dengan SNI 03-2847-2002 mensyaratkan pemakaian tulangan pengekang untuk mencapai daktilitas yang disyaratkan. Pendetailan khusus dalam bentuk pengekangan diberikan terutama di daerah yang mempunyai potensi terjadinya sendi plastis, selain itu pada daerah yang mengalami tegangan atau gaya dalam yang dominan, seperti pada ujung-ujung kolom dan di daerah sambungan tulangan longitudinal, memerlukan pengekangan yang lebih ketat, untuk menjamin daktilitas yang cukup agar bangunan tidak mengalami kegagalan getas yang tidak diinginkan.

Pemakaian jaring halus (*fine mesh*), merupakan salah satu solusi yang lebih ekonomis untuk dipakai sebagai bahan *retrofit* kolom yang kurang daktil, karena harga *fine mesh* yang relatif murah, mudah didapat dan mempunyai nilai

praktis yang sangat tinggi. Selain itu *Fine Mesh* sudah terfabrikasi dalam bentuk jaring, sehingga hal tersebut memberikan presisi yang lebih baik. Oleh karena itu penelitian mengenai efektifitas *fine mesh* sebagai tulangan pengekuat kolom beton maupun sebagai bahan *retrofit* kolom beton bangunan lama yang terletak pada wilayah gempa kuat perlu dilakukan.

1.2. Identifikasi masalah

Penggunaan *fine mesh* sebagai pengekuat kolom masih tergolong baru dalam teknologi konstruksi pada saat ini. Adapun identifikasi masalah yang telah kami bahas saat ini adalah:

1. Penggunaan *fine mesh* sebagai pengekuat kolom beton persegi masih baru digunakan.
2. Perbandingan *fine mesh* sebagai pengekuat dengan tulangan sengkang BJTP.
3. Perbandingan *fine mesh* yang di *retrofit* dengan tulangan sengkang BJTP.
4. Perbandingan kurva tegangan regangan *fine mesh* dengan tulangan sengkang BJTP.
5. Perbandingan kurva tegangan regangan *fine mesh* yang di *retrofit* dengan tulangan sengkang.

1.3. Perumusan Masalah

Masalah penelitian yang telah diteliti adalah “*Bagaimana efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom persegi Ø2-25 beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})*” dengan rincian permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana efektifitas *fine mesh* Ø2-25 sebagai pengekang (*confinement*) kolom persegi beton.
2. Bagaimana efektifitas *fine mesh* Ø2-25 sebagai pengekang (*confinement*) kolom persegi beton dibanding tulangan *sengkang* BJTP.
3. Bagaimana efektifitas tulangan *sengkang* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *sengkang* BJTP.
4. Bagaimana model kurva hubungan tegangan-regangan kolom persegi beton yang terkekang *fine mesh* Ø2-25 dibanding tulangan *sengkang* BJTP.
5. Bagaimana model kurva hubungan tulangan *sengkang* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *sengkang* BJTP.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah “Untuk Mengetahui efektifitas *fine mesh* Ø2-25 dibanding tulangan konvensional (BJTP) sebagai pengekang kolom persegi beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})” dengan rincian sebagai berikut :

1. Mengetahui efektifitas *fine mesh* Ø2-25 sebagai pengekang (*confinement*) kolom persegi beton.
2. Mengetahui efektifitas *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom persegi beton dibanding tulangan *sengkang* BJTP.
3. Mengetahui efektifitas tulangan *sengkang* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *sengkang* BJTP.
4. Mengetahui model kurva hubungan tegangan-regangan kolom persegi beton yang terkekang *fine mesh* Ø2-25 dibanding tulangan *sengkang* BJTP.
5. Mengetahui model kurva hubungan tulangan *sengkang* BJTP yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* sebagai pengekang (*confinement*) kolom beton dibanding kolom beton terkekang tulangan *sengkang* BJTP.

1.4. Manfaat Penelitian

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

Secara khusus, manfaat utama dari hasil penelitian ini adalah :

1. Memberikan perumusan analisis yang cocok terhadap model kurva hubungan tegangan-regangan untuk kolom beton yang dikekang dengan *fine mesh* Ø2-25 tulangan sengkang yang dibungkus dan di-retrofit *fine mesh*.
2. Mendapatkan kurva diagram hubungan tegangan-regangan yang lebih sesuai bila dimanfaatkan untuk memprediksi kekuatan kolom beton yang dikekang dengan *fine mesh* dan tulangan sengkang yang di-retrofit *fine mesh*.
3. Memberikan informasi kepada para praktisi atau perencana tentang pengekangan kolom beton bertulang menggunakan *fine mesh* pada bangunan gedung yang akan dibangun, terutama pada bangunan gedung yang terletak di wilayah gempa menengah dan gempa kuat.

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 aksial tekan pada benda uji kolom dibawah pembebanan tekan yang tinggi.

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

Berdasarkan penelitian Yong, dkk. (1988) dan Razvi (1995). Saat ini model-model pengekekangan untuk *High Strength Concrete*(HSC) telah banyak diusulkan, umumnya merupakan modifikasi model-model NSC yang telah ada. Model-model tersebut seringkali memiliki keterbatasan, misalnya model Ahmad dan Shah (1982), Martinez, dkk. (1988), Fafitis dan Shah (1985) hanya sesuai untuk kolom bulat. Model Yong, dkk. (1988), Muguruma, dkk. (1993), Azizinamimi, dkk. (1994) serta Cusson dan Paultre (1995) hanya sesuai untuk kolom persegi. Akan tetapi model Maguruma (1993) dan Li, dkk. (2001) dapat diterapkan baik untuk NSC dan HSC serta tulangan transversal mutu tinggi. Berbeda dengan model Hong dan Han (2005) yang diturunkan berdasarkan pada kolom persegi HSC, model tersebut menunjukkan peningkatan tegangan leleh tulangan transversal tidak terlalu meningkatkan pengaruh pengekekangan pada inti beton.

Selain penelitian diatas telah dilakukan penelitian oleh Yosinson P. M. pada tahun (2007) ”Evektivitas Pengekekangan 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 pengekekangan Fine Mesh Terhadap Peningkatan Daktilitas Kolom Beton Terkekang di Daerah Gempa Kuat.

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 pengekekangan juga meningkat, sehingga tidak dapat dihindari saling

berhimpitnya tulangan transversal tersebut. Riset penggunaan *fine mesh* untuk pengekangan belum banyak dilakukan sehingga belum dapat dibuat kesimpulan akhir bahwa *fine mesh* efektif untuk pengekangan.

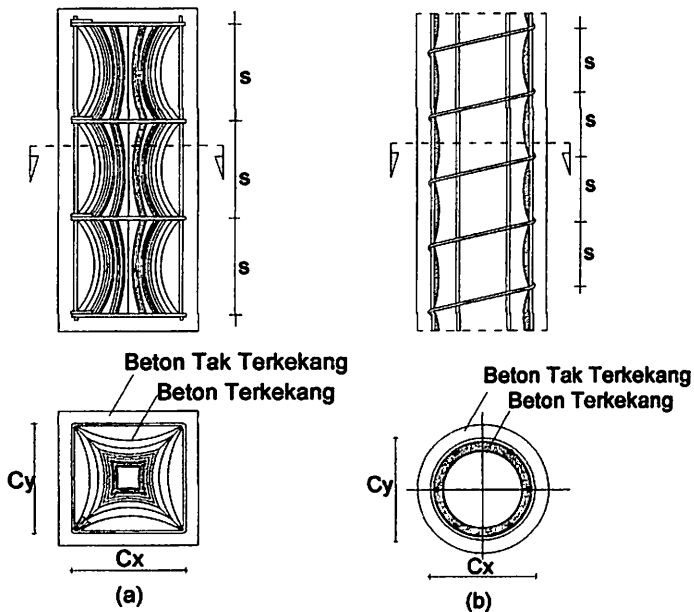
2.2.Pengekangan Pada Beton

Pengekangan 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 mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton, mencegah terjadinya keruntuhan geser pada kolom, dan mencegah *premature buckling* tulangan longitudinal yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas penampang kolom beton bertulang. Semakin tinggi beban aksial yang bekerja terhadap kolom, semakin banyak pula kebutuhan tulangan transversal yang diperlukan agar struktur kolom tersebut lebih kuat dan daktil.

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

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

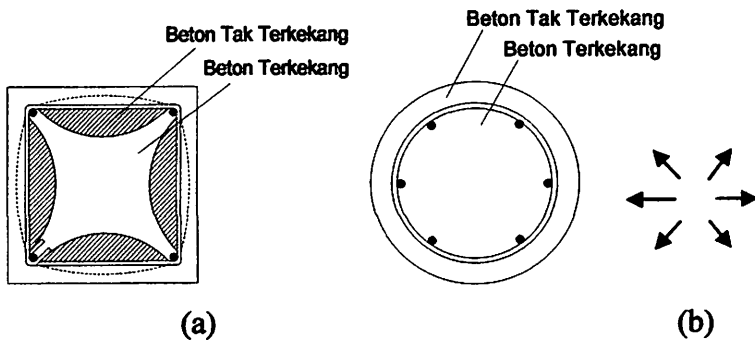
sepenuhnya terbentuk akibat busur (*arching action*), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1a dan 2.1b.



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

2.2.1. Pengekang Beton Dengan Tulangan Transversal Konvensional

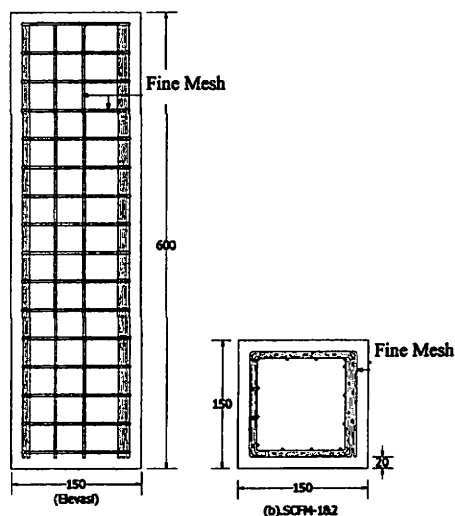
Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan sengkang yang berbentuk persegi dan tulangan spiral yang berbentuk bulat. Tulangan sengkang atau spiral berfungsi untuk memikul gaya geser, mengekang beton agar mengurangi resiko pecahnya beton dan membuat lebih kaku sambungan tulangan memanjang. Sengkang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

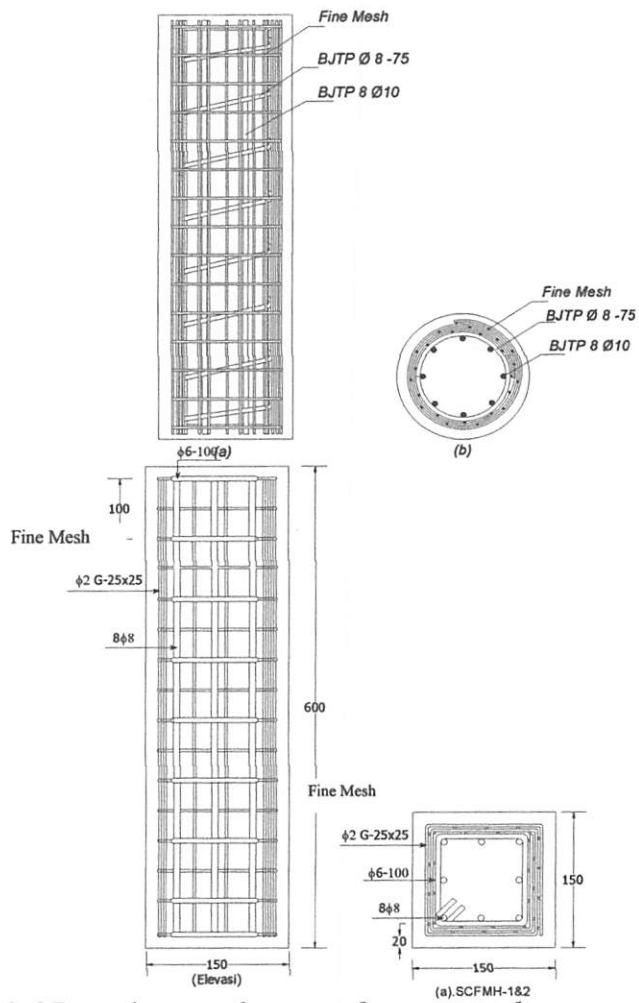
2.2.2. Pengekang Beton Dengan Fine Mesh

Pengekangan dengan *fine mesht*elah memberikan luasan daerah inti beton yang terkekang lebih banyak dan tekanan kekang yang akan lebih meratadibandingkan 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 sengkang persegi biasa, dan *fine mesh* dapat dikerahkan terhadap inti beton bila tegangan kekang dapat dikembangkan penuh. Sedangkan pengekangan kolom persegi dengan menggunakan *fine mesh* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Pengekangan kolom persegi 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 dipasang 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 persegi beton bertulang yang dililitkan *fine mesh*.



Gambar 2.6. Pengekangan dengan *tulangan sengkang* yang dibungkus *fine mesh* (a) Tampak arah memanjang (b) Tampak arah melintang

2.3. Persyaratan Tulangan Transversal

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

2.3.1. Untuk Penampang Persegi.

Ketentuan Pasal 9.10.(5(1)) SNI 03-2847-2002, untuk semua tulangan non-prategang harus diikat dengan sengkang ikat lateral, paling sedikit ukuran $\phi 10$ untuk tulangan lebih kecil dari $\phi 32$.

Luas total penampang *hoop* persegi panjang untuk pengekangan harus tidak boleh kurang dari nilai 2 Persamaan dibawah

$$A_{sh} = 0,3 \left(s \cdot h_c \times \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right), \dots \dots \dots (2.3)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left(s \cdot h_c \times \frac{f'_c}{f_{yh}} \right), \dots \dots \dots (2.4)$$

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 :

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

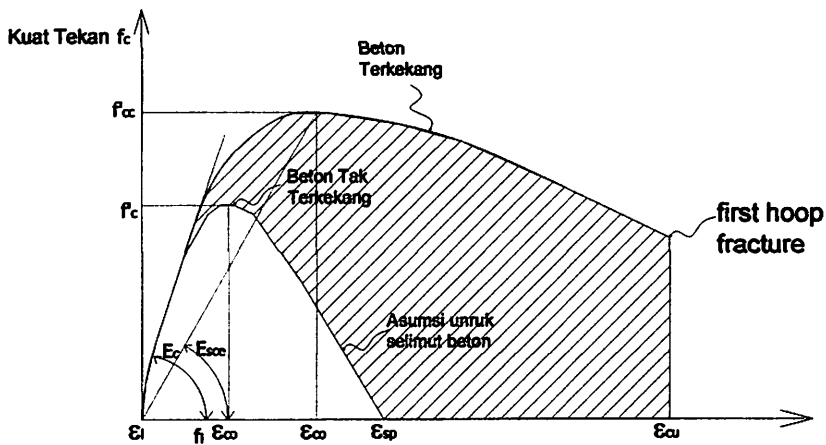
Kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) \cdot f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st} \cdot f_y$. yang digunakan dalam perhitungan disini adalah f'_c , dengan demikian kapasitas beban centris maks adalah P_o yang dapat dinyatakan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

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

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

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

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

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

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

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

Regangan tekan puncak beton terkekang

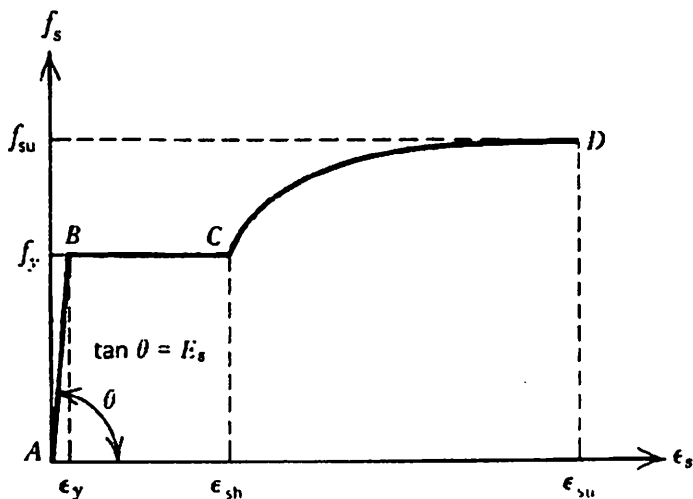
$$\epsilon'_{cc} = 0,002 [1 + 5(f'_{cc} / f'_c - 1)] \dots\dots\dots (2.15)$$

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 : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

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

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

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

Daerah CD : $\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$

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

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

di mana :

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

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Studi Pustaka

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

3.2. Analisis Preliminary Penelitian

Pemilihan spesimen didasarkan pada kondisi dan kapasitas alat pengujian kolom yang ada di Laboratorium Beton jurusan Teknik Sipil ITN Malang dan ITS Surabaya. Sesuai dengan kondisi alat tersebut, diperoleh tinggi maksimum specimen yang dapat diletakkan pada alat *Universal Testing Machine (UTM)* adalah 90 cm, sehingga tinggi specimen yang dibuat pada penelitian ini adalah 60 cm. Kapasitas beban maksimum alat *UTM* adalah 200 ton.

Berdasarkan kapasitas alat tersebut, dengan melakukan *trial and error* akhirnya diperoleh diameter specimen, kuat tekan beton, diameter tulangan BJTP atau tulangan konvensional, diameter dan grid *fine mesh* serta jumlah *layer fine mesh*.

3.3. Parameter Penelitian

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

- a. Kolom pendek dengan penampang berbentuk persegi ukuran 130 x 130 mm
- b. Tinggi kolom $h = 600$ mm
- c. Selimut beton kolom = 15 mm.
- d. Mutu beton $f'_c = 20$ MPa.
- e. Tegangan leleh baja tulangan polos $f_y = 200,96$ MPa
- f. Baja tulangan polos $\emptyset = 4,8$ mm dan $\emptyset = 5,9$ mm

- g. Diameter *fine mesh* adalah $\varnothing = 2$ dengan ukuran grid 25 x 25 mm.
- h. Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai pada kolom beton terkekang *fine mesh (RCFM)* diperhitungkan berdasarkan *Ash* terpasang tulangan *sengkang BJTP* untuk kolom yang memikul beban gravitasi.
- i. Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai pada kolom beton terkekang *fine mesh (RCFM)* diperhitungkan berdasarkan *Ash* terpasang tulangan *sengkang BJTP* untuk kolom yang memikul beban gempa kuat.
- j. Jumlah lapisan *fine mesh* yang dipakai untuk membungkus kolom beton terkekang *BJTP* yang memikul beban gravitasi diperhitungkan berdasarkan selisih antara *Ash* tulangan *sengkang BJTP* gempa kuat terhadap *Ash* terpasang tulangan *sengkang BJTP* yang memikul beban gravitasi .

3.4. Model Analisis

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

- a. Analisis efektifitas kolom beton yang terkekang *fine mesh* $\varnothing 2-25$ (RCFM) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- b. Analisis efektifitas kolom beton yang terkekang *tulangan sengkang gravity* (RCHG) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- c. Analisis efektifitas kolom beton yang terkekang *tulangan sengkang earthquake* (RCHE) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- d. Analisis efektifitas kolom beton yang terkekang *tulangan sengkang Earthquake* yang dibungkus lapisan *fine mesh* (RCFMH) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- e. Analisis efektifitas kolom beton yang terkekang *tulangan sengkang gravity* yang di-*retrofit* lapisan *fine mesh* (RCFMHC) secara teoritis terhadap kuat tekan dan regangan beton.
- f. Analisis data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom beton terkekang *fine mesh* $\varnothing 2-25$ (RCFM).
- g. Analisis data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom RCHG.
- h. Analisis data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom RCHE

- i. Analisis data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom RCFMH.
- j. Analisis data eksperimen peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) kolom RCFMHC.
- k. Analisis data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCFM.
- l. Analisis data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCHG.
- m. Analisis data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCHE.
- n. Analisis data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCFMH.
- o. Analisis data eksperimen hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCFMHC.
- n. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCFM.
- o. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCHG.
- p. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCHE.
- q. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCFMH.
- r. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan (ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu}) kolom RCFMHC.

3.5. Pengujian di Laboratorium

3.5.1. Spesifikasi Material

Tulangan longitudinal yang telah digunakan adalah baja tulangan polos (BJTP) $\varnothing = 5,9$ mm dan tulangan transversal menggunakan baja tulangan polos

$\varnothing = 5,9$ mm dan $\varnothing = 4,8$ mm. Kuat leleh baja tulangan polos akan dites dengan melakukan uji tarik untuk mendapatkan f_y . Jaring kawat menggunakan *fine mesh* diameter $\varnothing = 2$ grid = 25 x 25 mm. Kuat leleh *fine mesh* akan dilakukan uji tarik untuk mendapatkan f_y . Kuat tekan beton akan diperoleh dengan melakukan pengujian silinder beton berukuran 150 x 300 mm yang telah berumur 28 hari.

3.5.2. Benda Uji

Pengujian yang telah dilakukan adalah pengujian benda uji beton berukuran 150 x 300 mm, berumur 28 hari dan jumlah benda uji beton sebanyak 9 buah. Selanjutnya dilakukan pengujian tekan kolom seperti pada tabel 3.1. dan 3.2. di bawah ini.

Tabel 3.1. Perincian benda uji yang akan diteliti pada tahun ke-1

Kode Benda Uji	Penampang Kolom	Jenis Tulangan		Keterangan
		Konvensional	Fine mesh (FM)	
RCFM-1	130 x 130 mm	-	$\varnothing 2-25$	Sampel 1
RCFM-1	130 x 130 mm	-	$\varnothing 2-25$	Sampel 2
RCFM-1	130 x 130 mm	-	$\varnothing 2-25$	Sampel 3
RCHG	130 x 130 mm	Longitudinal $\varnothing=5,9$ mm dan Transversal $\varnothing=4,8$ mm	-	Sampel 4
RCHG	130 x 130 mm	Longitudinal $\varnothing=5,9$ mm dan Transversal $\varnothing=4,8$ mm	-	Sampel 5
RCHG	130 x 130 mm	Longitudinal $\varnothing=5,9$ mm dan Transversal $\varnothing=4,8$ mm	-	Sampel 6
RCFMH	130 x 130 mm	Longitudinal $\varnothing=5,9$ mm dan Transversal $\varnothing=4,8$ mm	FM $\varnothing 2 - 25$ mm	Sampel 7
RCFMH	130 x 130 mm	Longitudinal $\varnothing=5,9$ mm dan Transversal $\varnothing=4,8$ mm	FM $\varnothing 2 - 25$ mm	Sampel 8
RCFMH	130 x 130 mm	Longitudinal $\varnothing=5,9$ mm dan Transversal $\varnothing=4,8$ mm	FM $\varnothing 2 - 25$ mm	Sampel 9

Keterangan :

RCFM = *Rectangular ColumnFine Mesh*

RCHG = *Rectangular ColumnHoops Gravity*

RCFMH = *Rectangular ColumnFine Meshand Hoops*

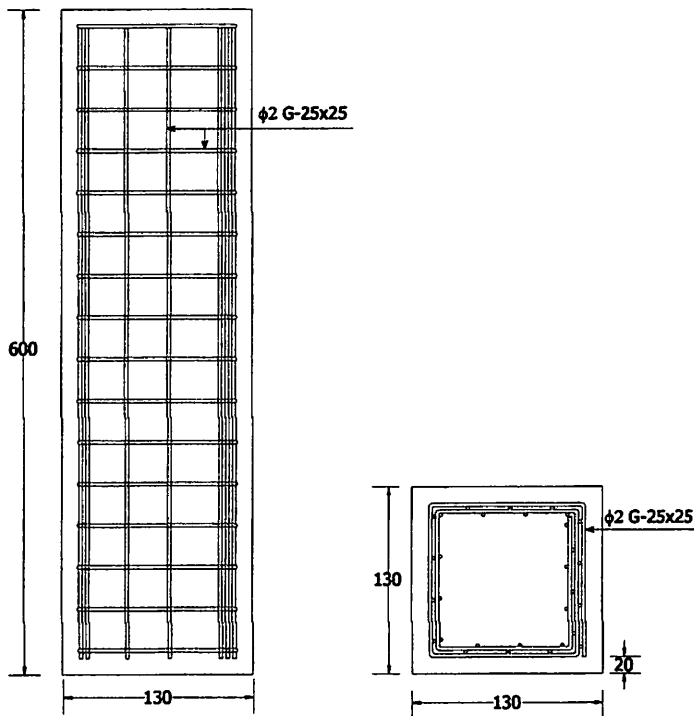
D = Diameter kolom

FM = *Fine Mesh*

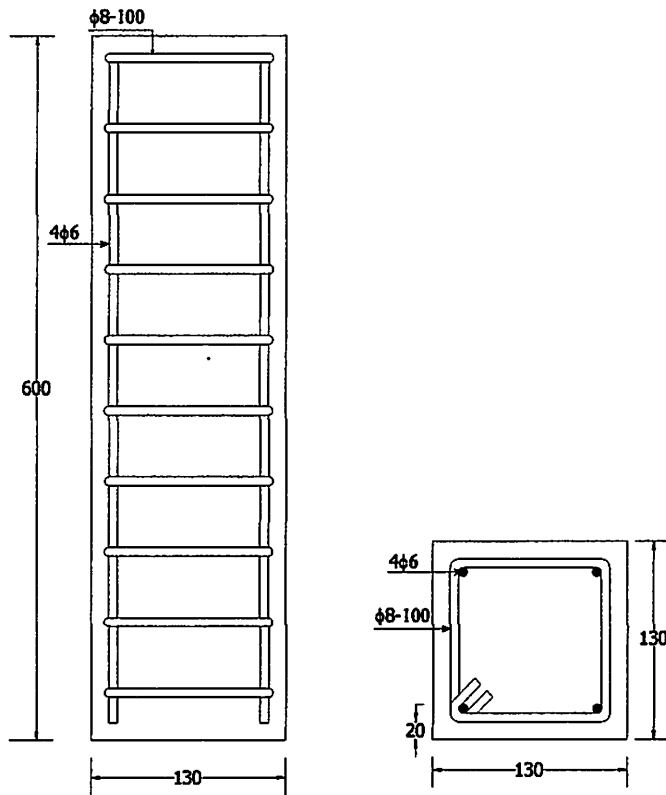
s = *Jarak Tulangan Spiral/Sengkang BJTP*

Model benda uji kolom persegi yang akan diteliti dapat dilihat dalam Gambar 3.2a,

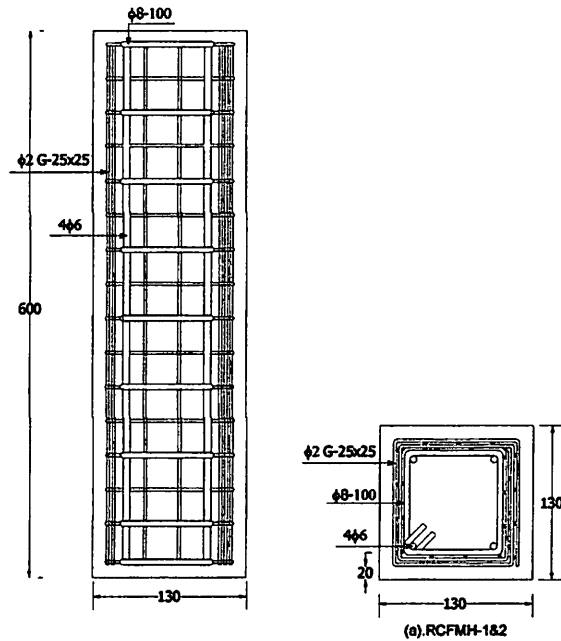
3.2b, 3.2c dan 3.2d berikut ini :



Gambar 3.2b. Benda Uji Kolom Persegi yang terkekang *fine mesh*



Gambar 3.2c. Benda Uji Kolom Persegi Beton yang terkeang tulangan sengkang BJTP

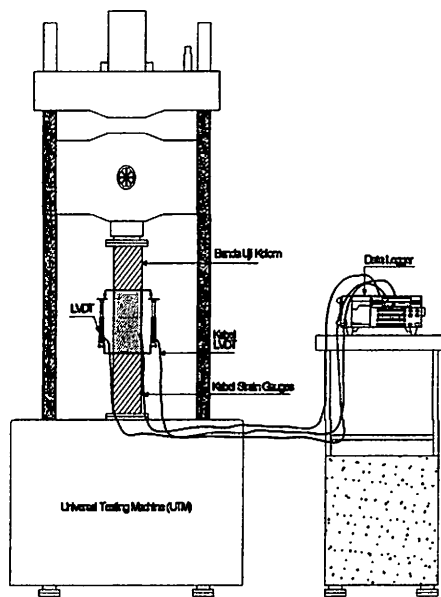


Gambar 3.2d. Benda Uji Kolom Persegi Beton yang terkekang tulangan sengkang BJTP yang dibungkus dan di-retrofitfine mesh

3.5.3. Peralatan Pengujian Silinder dan Kolom

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

Ilustrasi set-up instrument yang telah digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada Gambar 3.3, 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 3.3 Ilustrasi set-up pengujian kolom

3.5.4. Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan uji material agregat dan semen
2. Melakukan uji tarik *fine mesh*.
3. Melakukan uji tarik baja tulangan polos (BJTP).
4. Melakukan penelitian analisis material untuk mendapatkan mix desain campuran beton sesuai dengan kuat tekan rencana $f'c = 20$ MPa.
5. Melakukan pekerjaan begisting kolom bulat $\varnothing = 150$ mm
6. Melakukan pekerjaan begisting kolom persegi 130×130 mm
7. Melakukan pekerjaan pembentukkan dan pemasangan *fine mesh*
8. Melakukan pekerjaan pembesian *tulangan konvensional*.
9. Memasang strain gauge pada *fine mesh*, tulangan longitudinal dan transversal kolom.
10. Melakukan pengecoran benda uji silinder dan kolom.
11. Setelah 48 jam atau beton telah cukup kering, cetakkan benda uji silinder dan kolom dibuka.

11. Setelah cetakan dibuka, telah 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.
12. Setelah benda uji berumur 28 hari, akan pengujian kuat tekan.
13. Pengujian dilakukan dengan sistem *load control* dan *displacement control*.
14. Pengambilan data regangan tulangan *sengkang BJTP* dan *fine mesh* pada saat pembebanan diperoleh melalui strain gauge yang terpasang menggunakan alat *data logger*.
15. Selama pembebanan akan dilakukan pengamatan, pemotretan dan pencatatan data.
16. Data yang akan 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* dan *fine mesh* berdasarkan hasil dari *strain gauge*.

3.6. Analisis Data

Dari kepustakaan yang ada, telah dilakukan analisis teoritis kurva hubungan tegangan regangan beton terkekang. Dari beberapa model kurva tersebut, kami pilih yang paling cocok untuk dipakai sebagai hipotesa perilaku *fine mesh* adalah menggunakan model hubungan tegangan-regangan beton terkekang menggunakan usulan Mander, dkk.(1988).

3.6.1. Kolom Beton Terkekang Fine Mesh (RCFM)

Luas penampang kolom :

$$\begin{aligned}
 A_g &= p \times l \\
 &= 130 \times 130 \\
 &= 16900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas total fine mesh arah longitudinal adalah :

$$\begin{aligned} A_{sfm} &= m_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \\ &= 38 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2^2 \\ &= 119,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{21589,326} \\ &= 9,264 \end{aligned}$$

- *Layer 1 (lapisan dalam) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$h_{cfm} = 130 - 10 - 10 - (2 \times 1,8) - (2 \times 1,8) - 1,8 = 101 \text{ mm}$$

$$h'_{cfm} = 130 - 10 - 10 - (2 \times 1,8) - (2 \times 1,8) = 102,8 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} \rho_{fm} &= \frac{(4 \cdot h_c) \cdot A_{fm}}{(h_c')^2 \cdot s} \\ &= \frac{(4 \cdot 101) (2,5434)}{(102,8^2) 25} \\ &= 0,00389 \end{aligned}$$

- *Layer 2 (lapisan luar) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$h_{cfm} = 130 - 10 - 10 - 1,8 = 108,2 \text{ mm}$$

$$h'_{cfm} = 130 - 10 - 10 = 110 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}\rho_{fm} &= \frac{(4 \cdot h_c) \cdot A_{fm}}{(h_c^2) \cdot s} \\ &= \frac{(4 \cdot 108,2)(2,5434)}{(110^2) \cdot 25} \\ &= 0,00364\end{aligned}$$

Rasio total = $\rho_x = \rho_y = 0,00389 + 0,00364$

$$\rho_{sfm} = \rho_x = \rho_y = 0,007528$$

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

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

$$K_e = 0,95$$

$$\begin{aligned}f'_{lx} = f'_{ly} &= 0,95 \times 0,007528 \times 404,4 \\ &= 2,892 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,892}{20,09} = 0,1439$$

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

$$K = 1 + 2,05 \times 0,007528 \times \left(\frac{404,4}{20,09} \right) = 1,3106$$

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

$$f'_{cc} = 1,3106 \times 20,09 = 26,3308 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{26,3308}{20,09} - 1 \right) \right] = 0,00510$$

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

$$\rightarrow \rho_s = 0,007528$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,007528 \times 404,4 \times \frac{0,15}{26,3308} = 0,0282$$

Beban maksimum kolom RCFM adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_{sfm}) + (A_{sfm} \times n)) \\ &= 26,3308 \times ((16900 - 48,325) + (48,325 \times 9,264)) \\ &= 455505,9303 \text{ N} = 45,550 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 3.3. Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang *Fine Mesh* (RCFM)

menurut Mander, dkk.

No	ε_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00060	0.11000	12.136
3	0.00119	0.22000	19.193
4	0.00179	0.33000	23.216
5	0.00239	0.43999	25.547
6	0.00299	0.54999	26.909
7	0.00358	0.65999	27.696
8	0.00418	0.76999	28.128
9	0.00478	0.87999	28.336
10	0.00538	0.98999	28.399
11	0.00597	1.09999	28.366
12	0.00657	1.20998	28.270
13	0.00717	1.31998	28.131
14	0.00776	1.42998	27.965

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.3.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik (no urut 1 s/d 10)

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

Regangan beton turun (no urut 10 s/d 14)

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

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

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

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

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

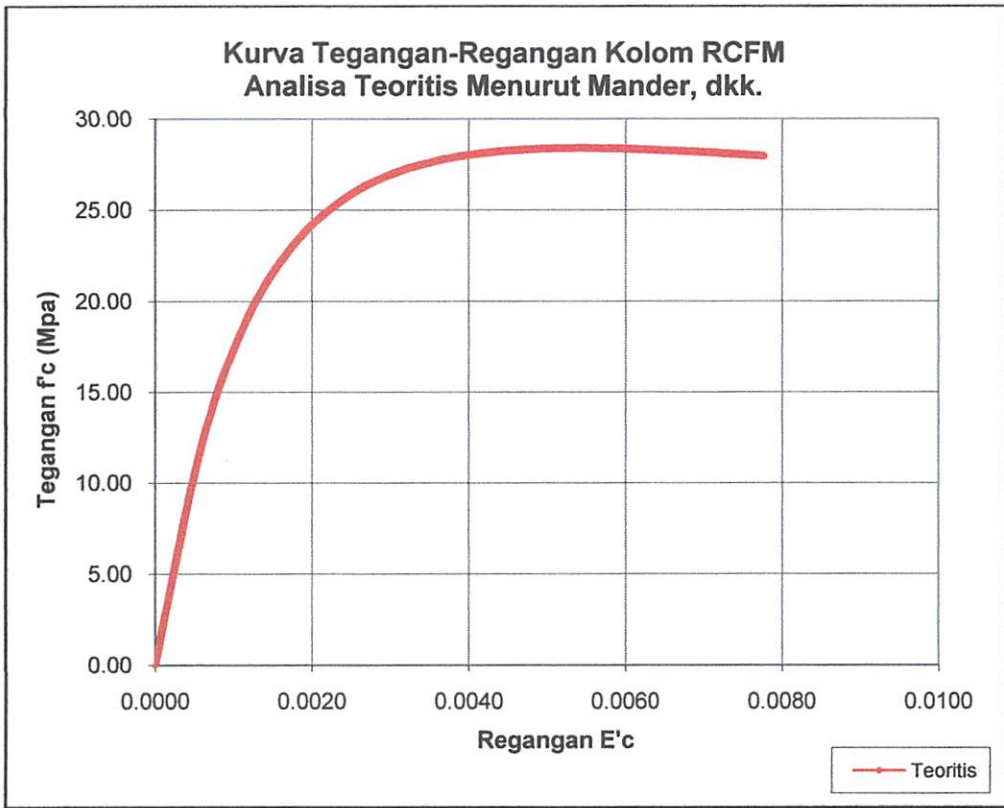
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

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

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

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

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *fine mesh (RCFM)* 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 RCFM

3.6.2. Kolom Beton Terkekang Senggang (RCH)

Kolom RCH adalah kolom beton yang terkekang tulangan sengkang BJTP Ø10 – 60, yang mana tulangan sengkang yang terpasang pada kolom RCH 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.

$$h_c = D - (2 \times \text{selimut beton}) - \varnothing \text{ tulangan sengkang}$$

$$= 130 - (2 \times 10) - 4,8$$

$$= 105,2 \text{ mm}$$

$$h'_c = D - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$= 130 - (2 \times 10)$$

$$= 110 \text{ mm}$$

$$A_s = m_l \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \varnothing^2$$

$$= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 4,8^2$$

$$= 72,34 \text{ mm}^2$$

Tulangan sengkang untuk gempa kuat pada kolom persegi adalah Ø4,8–60.

Rasio tulangan sengkang yang terpasang adalah :

$$\rho = \frac{(4 \cdot h_c) \cdot A_s}{(h'_c)^2 \cdot s}$$

$$= \frac{(4 \cdot 105,2) (26,4074)}{(110^2) 60}$$

$$= 0,01530$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,01530$$

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

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

$$K_e = 0,95$$

$$\begin{aligned} f'_{lx} = f'_{ly} &= 0,95 \times 0,01530 \times 200,98 \\ &= 2,922 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,992}{20,09} = 0,1454$$

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

$$K = 1 + 2,05 \times 0,01530 \times \left(\frac{200,98}{20,09} \right) = 1,314$$

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

$$f'_{cc} = 1,314 \times 20,09 = 26,394 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{26,394}{20,09} - 1 \right) \right] = 0,00514$$

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

$$\rightarrow \rho_s = 0,01530$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,01530 \times 200,98 \times \frac{0,15}{26,394} = 0,0284$$

Beban maksimum kolom RCHG adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_s) + (A_s \times n)) \\ &= 26,394 \times ((16900 - 191,04) + (191,04 \times 9,264)) \\ &= 487728,24 \text{ N} = 48,772 \text{ ton} \end{aligned}$$

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00077	0.13587	14.634
3	0.00153	0.27174	21.883
4	0.00230	0.40761	25.486
5	0.00307	0.54348	27.323
6	0.00383	0.67935	28.252
7	0.00460	0.81522	28.686
8	0.00537	0.95109	28.837
9	0.00613	1.08696	28.821
10	0.00690	1.22283	28.706
11	0.00767	1.35870	28.530
12	0.00707	1.25283	28.671
13	0.00647	1.14695	28.780
14	0.00587	1.04107	28.840
15	0.00528	0.93519	28.829
16	0.00468	0.82932	28.712
17	0.00408	0.72344	28.434
18	0.00348	0.61756	27.910

Tabel 3.4. Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Sengkang BJTP (RCH) menurut Mander, dkk.

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.4.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik (no urut 1 s/d 14)

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

Regangan beton turun (no urut 14 s/d 18)

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

➤ 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

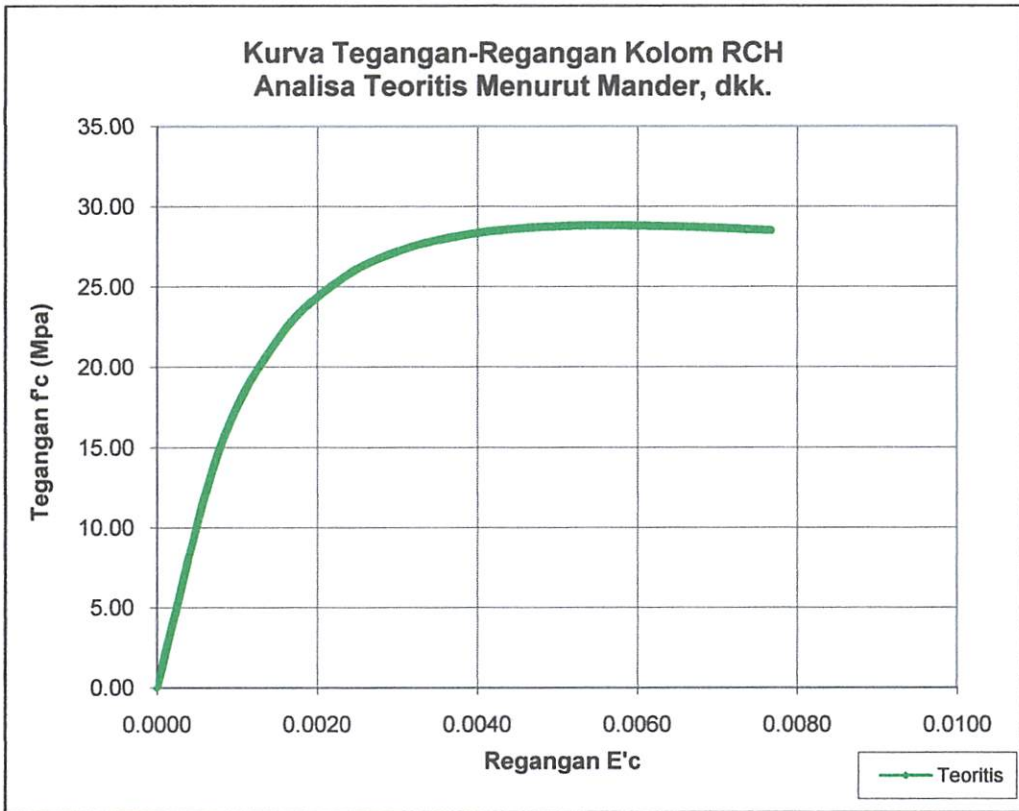
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

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

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

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

Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *tulangan sengkang* (RCH) 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 RCH

3.6.3. Kolom Beton Terkekang Sengkang yang dibungkus Fine Mesh (RCFMH)

Kolom RCFMH adalah kolom beton yang terkekang tulangan sengkang BJTP Ø4,8 – 100, yang mana tulangan sengkang yang terpasang pada kolom RCFMH 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 sengkang agar total ρ_s -nya memenuhi syarat pengekangan yang setara dengan ρ_s pada kolom RCH.

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

$$A_{sfm} = m_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2$$

$$= 38 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2^2$$

$$= 119,32 \text{ mm}^2$$

$$A_s = m_1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2$$

$$= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5,9^2$$

$$= 191,037 \text{ mm}^2$$

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

- Tulangan sengkang yang terpasang pada kolom persegi adalah $\varnothing 4,8 - 100$.

$$\begin{aligned} h_c &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 2x\varnothing \text{ fine mesh} - \varnothing \text{ tulangan sengkang} \\ &= 130 - (2 \times 10) - (2 \times 1,8) - 4,8 \\ &= 101,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{c'} &= D - (2 \times \text{selimut beton}) - 2x\varnothing \text{ fine mesh} \\ &= 130 - (2 \times 10) - (2 \times 1,8) \\ &= 102,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio tulangan sengkang yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{(4 \cdot h_c) \cdot A_s}{(h_c^2) \cdot s} \\ &= \frac{(4 \cdot 101,6) (26,4074)}{(102,8^2) 100} \\ &= 0,0101 < RCH = 0,01530 \end{aligned}$$

- Layer 1 (lapisan dalam) :

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 130 - 10 - 10 - 1,8 - 1,8 - 1,8 = 104,6 \text{ mm}$$

$$D'_{cfm} = 130 - 10 - 10 - 1,8 - 1,8 = 106,4 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{(4 \cdot h_c) \cdot A_s}{(h_c^2) \cdot s} \\ &= \frac{(4 \cdot 104,6) (26.4074)}{(106,4^2) \cdot 25} \\ &= 0,0018 < RCH = 0,01530\end{aligned}$$

- *Layer 2 (lapisan luar) :*

Diameter kolom yang terkekang adalah :

$$D_{cfm} = 130 - 10 - 10 - 1,8 = 108,2 \text{ mm}$$

$$D'_{cfm} = 130 - 10 - 10 = 110 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{(4 \cdot h_c) \cdot A_s}{(h_c^2) \cdot s} \\ &= \frac{(4 \cdot 108,2) (26.4074)}{(110^2) \cdot 25} \\ &= 0,0018 < RCH = 0,01530\end{aligned}$$

$$\text{Rasio total} = \rho_x = \rho_y = 0,0101 + 0,0018 + 0,0018$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,01375$$

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

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

$$K_e = 0,95$$

$$\begin{aligned}f'_{lx} = f'_{ly} &= 0,95 \times 0,01375 \times 200,98 \\ &= 2,626 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{2,626}{20,09} = 0,130$$

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

$$K = 1 + 2,05 \times 0,01375 \times \left(\frac{200,98}{20,09} \right) = 1,2819$$

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

$$f'_{cc} = 1,2819 \times 20,09 = 25,755 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{25,755}{20,09} - 1 \right) \right] = 0,00481$$

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

$$\rightarrow \rho_s = 0,01375$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,01375 \times 200,98 \times \frac{0,15}{25,755} = 0,0265$$

Beban maksimum kolom RCFMH adalah :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= f'_{cc} \times ((A_g - A_s - A_{sfm}) + (A_s \times n) + (A_{sfm} \times n)) \\ &= 25,755 \times ((16900 - (26,404 + 119,32)) + (26,404 \times 9,264) + (119,32 \times \\ &\quad 9,264)) \\ &= 466275,29 \text{ N} = 46,627 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 3.5. Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Sengkang BJTP yang dibungkus *Fine Mesh* (RCFMH) menurut Mander, dkk.

No	ϵ_c	X	f'_c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00075	0.14322	14.282
3	0.00150	0.28644	21.418
4	0.00225	0.42966	24.936
5	0.00300	0.57289	26.693
6	0.00376	0.71611	27.548
7	0.00451	0.85933	27.914
8	0.00526	1.00255	28.005
9	0.00601	1.14577	27.936
10	0.00676	1.28899	27.774
11	0.00751	1.43221	27.557
12	0.00826	1.57544	27.309

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.5.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik (no urut 1 s/d 8)

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

Regangan beton turun (no urut 8 s/d 12)

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

➤ 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

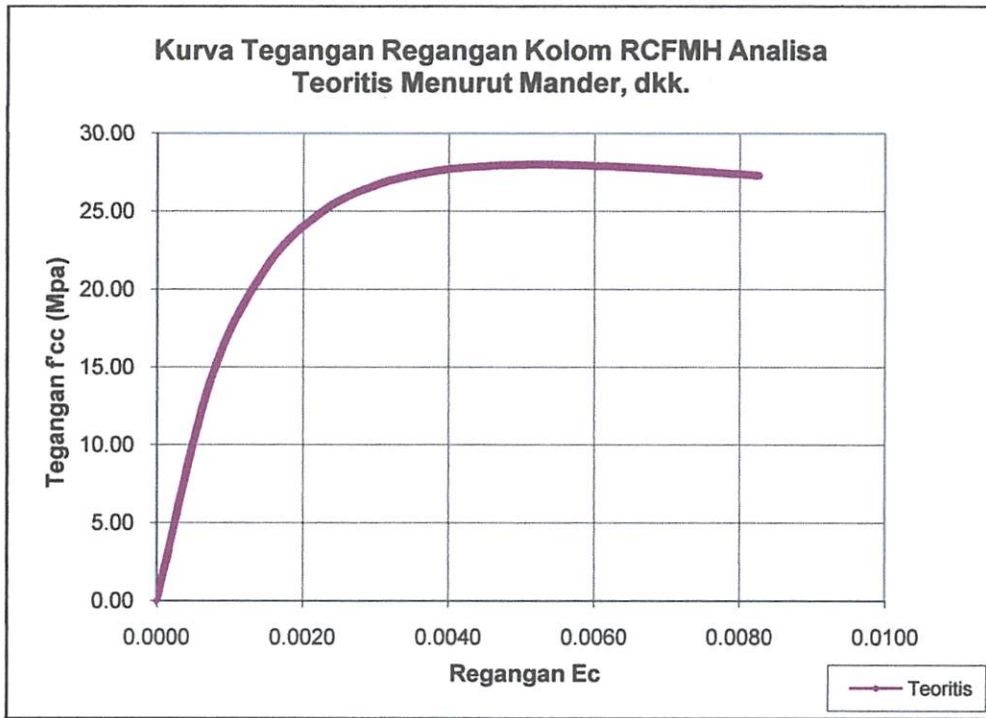
$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \quad (2.14)$$

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

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

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

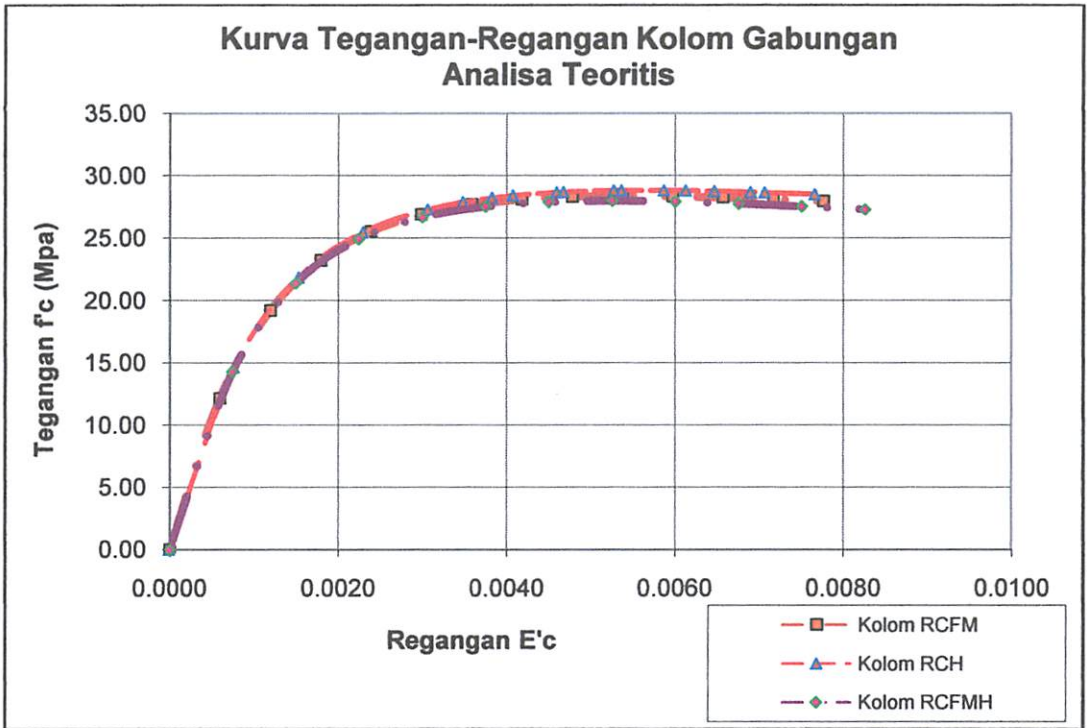
Kurva tegangan-regangan beton kolom terkekang *tulangan sengkang* yang dibungkus dengan *fine mesh (RCFMH)* yang terlihat pada Gambar 3.6. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.5 yaitu angka-angka pada kolom 2 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (tegangan).



Gambar 3.6. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis

Kolom RCFMH

Gambar 3.7 adalah gambar kurva tegangan-regangan hasil analisa teoritis kolom RCFM (Gambar 3.4), RCH (Gambar 3.5), dan RCFMH (Gambar 3.6) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, kolom beton (RCFM) yang terkekang (fine mesh) mempunyai tegangan dan regangan puncak yang lebih kecil daripada kolom beton yang terkekang (RCH). Kolom beton RCFM setelah mencapai tegangan puncak langsung mengalami keruntuhan, sedangkan kolom beton terkekang RCFM 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 RCFM mempunyai efektifitas pengekangan yang cukup baik bila dibanding dengan kolom RCH dan RCFMH 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	ps	Teoritis				Perbedaan (%)	
			f _{cc}	ε' _{cc}	ε' _{cu}	P _{max} (ton)	f _{cc}	ε' _{cc}
1	RCH	0.01530	26,394	0,0051	0,0284	48,772	0	0
2	RCFM	0.00752	26,330	0,0051	0,0282	45,550	0,242	0
3	RCFMH	0.01375	25,755	0,0048	0,0265	46,627	2,183	5,882

3.7. Laporan yang telah dikerjakan

Pada tahap ini dilakukan pengolahan dan analisis data, berupa analisis terhadap data hasil eksperimen yang meliputi pengkajian terhadap peningkatan kuat tekan beton, regangan tekan beton pada saat tegangan maksimum (ϵ'_{cu}) dan regangan tekan beton ultimit (ϵ'_{cu}).

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

1. Pengaruh rasio volumetrik, grid, diameter, *fine mesh* terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
2. Pengaruh rasio volumetrik, spasi, diameter, tulangan *sengkang* terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
3. Pengaruh rasio volumetrik, spasi, diameter, tulangan *sengkang* yang diberi lapisan *fine mesh* terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
4. Pengaruh rasio volumetrik, spasi, diameter dan *fine mesh* terhadap regangan tekan ultimit (ϵ'_{cu}) penampang beton.
5. Pengaruh rasio volumetrik, spasi, diameter dan tulangan *sengkang* terhadap regangan tekan ultimit (ϵ'_{cu}) penampang beton.
6. Pengaruh rasio volumetrik, spasi, diameter dan tulangan *sengkang* 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 *sengkang*.

9. Faktor penambahan kekuatan beton terkekang terhadap efektifitas tulangan *sengkang* yang dibungkus *fine mesh*.
10. Pengaruh efektifitas pengekangan *fine mesh* terhadap regangan pada tegangan respon puncak kolom.
11. Pengaruh efektifitas pengekangan tulangan *sengkang* terhadap regangan pada tegangan respon puncak kolom.
12. Pengaruh efektifitas pengekangan tulangan *sengkang* yang diberi lapisan *fine mesh* terhadap regangan pada tegangan respon puncak kolom.
13. Pengaruh rasio volumetrik, kapasitas pengekangan dan spasi *fine mesh* terhadap rasio penambahan kekuatan kolom.
14. Pengaruh rasio volumetrik, kapasitas pengekangan dan spasi tulangan *sengkang* terhadap rasio penambahan kekuatan kolom.
15. Pengaruh rasio volumetrik, kapasitas pengekangan dan spasi tulangan *sengkang* yang diberi lapisan *fine mesh* terhadap rasio penambahan kekuatan kolom.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Laboratorium

4.1.1. Perancangan Campuran Beton

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

Tabel 4.1. Proporsi Campuran Beton Mutu 20 MPa

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

4.1.1.1. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard ASTM C39-93a (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinder Concrete Specimen*). Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Mechine (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 x 300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder berumur 28 hari, dengan jumlah silinder sebanyak 20 buah. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh sebesar $f'_c = 20.09$ MPa. Perhitungan kuat tekan silinder selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran L3.1.

4.1.3. Pengujian Tarik Baja Tulangan dan Fine Mesh

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dan *fine mesh* menggunakan SNI 07-2052-2002. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Sebagaimana lazimnya, pengujian spesimen baja hanya dilakukan dengan tarikan saja, sedang pengujian tekan tidak dilakukan. Tulangan longitudinal dan sengkang yang digunakan adalah Baja Tulangan Polos (BJTP) diameter 4,8 mm dan 5,9 mm dengan panjang awal BJTP adalah 200 mm serta pengujian *fine mesh* diameter 2 mm dengan panjang awal fine mesh adalah 200 mm. Masing-masing diameter diambil spesimen secara acak. Diameter aktual benda uji BJTP adalah diameter 4,8 mm dan diameter 5,9 dengan kuat leleh rata-rata hasil pengujian adalah $f_y = 200,98$ MPa. Sedangkan diameter aktual *fine mesh* adalah 2 mm dengan tegangan leleh rata-rata hasil pengujian adalah $f_{ym} = 404,4$ MPa. 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 (RCFM)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom RCFM-01 diawali dengan retak arah membelah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 35$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring 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 $P = 37$ ton yang ditandai dengan lepasnya selimut beton, kemudian bagian inti beton mulai pecah karena efek pengeangan berkurang. Beban tekan tetap diberikan hingga beban turun mencapai $P = 22$ ton dengan besar displacement adalah 9,96 mm, setelah itu kolom hancur dengan yang ditandai dengan lelehnya fine mesh hingga bagian inti beton hancur.

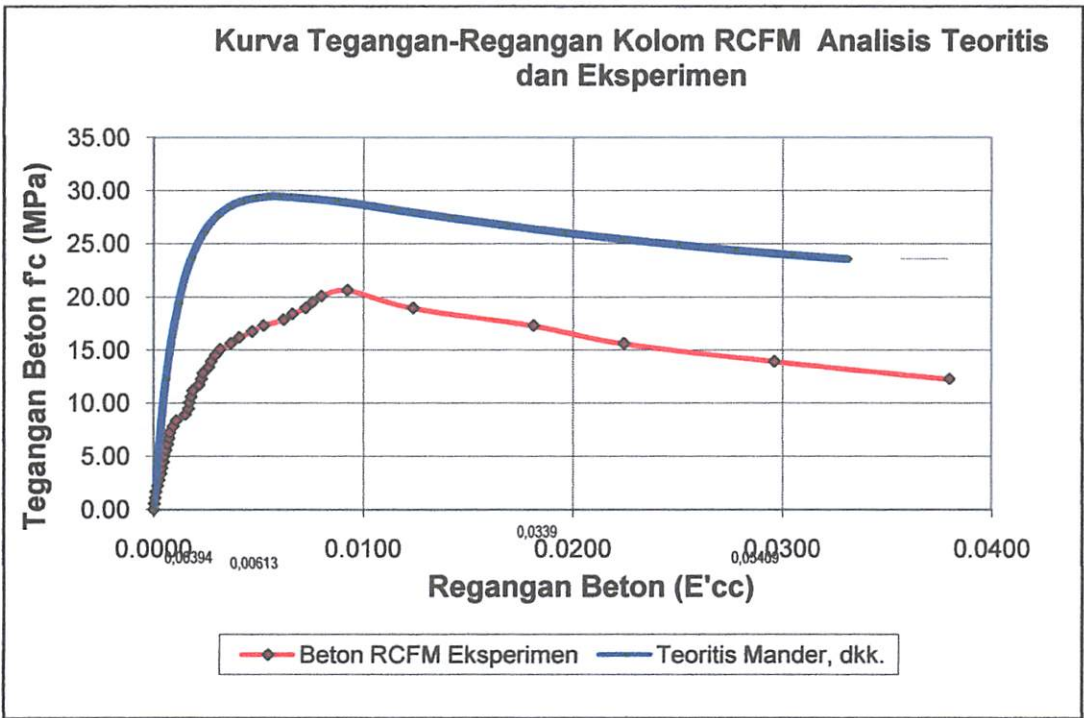


Gambar 4.2. Pengujian Kolom terkekang Fine Mesh (RCFM)

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 *RCFM* hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Lampiran 3 Tabel L3.3 yaitu angka-angka pada kolom 9 dan kolom 10 diambil dari Gambar L3.3.3, sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom *RCFM* hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.5. Kurva tegangan-regangan beton kolom *RCFM* 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 (RCFM)

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 RCFM 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 f'_{cc} maksimum sebesar 20,654 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 26,330 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 21,5 %. Nilai regangan beton ϵ'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,0094 sedangkan ϵ'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,0051 atau mengalami peningkatan sebesar 45,7 %. Nilai regangan beton ultimit ϵ'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,0383 sedangkan ϵ'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0282 atau mengalami peningkatan sebesar 26,3 %. Dapat disimpulkan bahwa pengekangan kolom dengan *fine mesh* (analisa eksperimen) mempunyai daktilitas yang lebih baik dibanding pengekangan kolom dengan *tulangan sengkang BJTP* (analisa teoritis) karena terjadi

displacement yang besar sebelum beton kolom pecah.. Tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 3 Tabel L3.3.

4.2.2. Kolom Beton terkekang Tulangan Sengkang (RCH)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom RCH-01 diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 32$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring 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 $P = 44$ 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 $P = 41$ ton lalu terjadi lompatan beban turun hingga mencapai $P = 29$ ton sehingga pengujian kolom RCH-01 dihentikan.

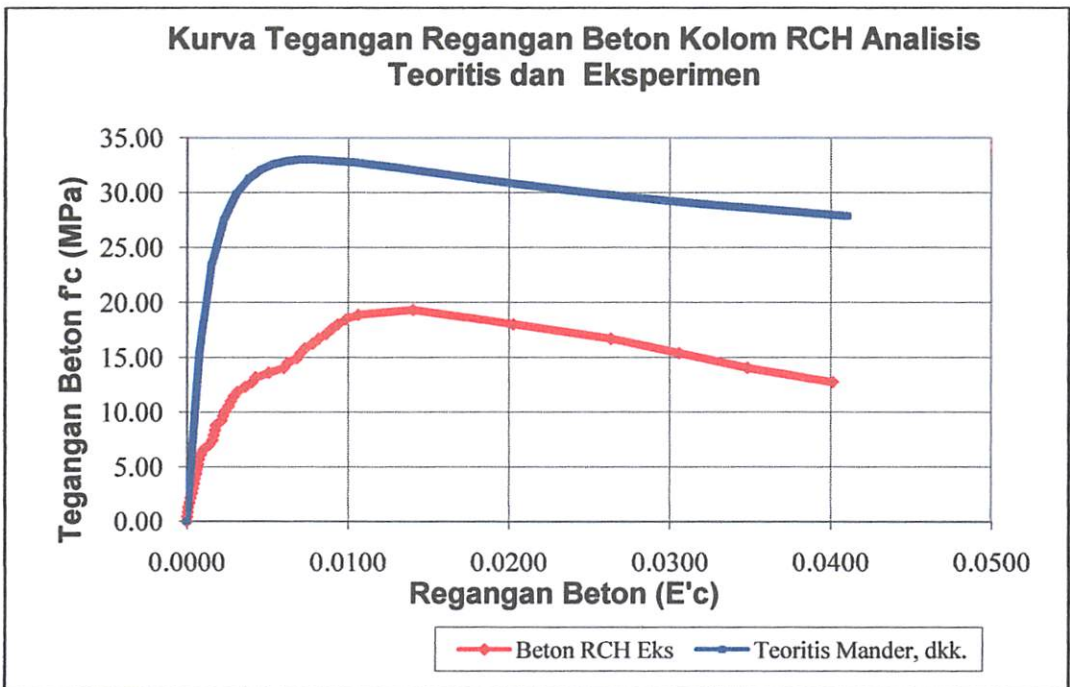


Gambar 4.6. Pengujian Kolom terkekang Tulangan Sengkang (RCH)

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 RCH 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 RCH hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.6. Kurva tegangan-regangan beton kolom RCH 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 Sengkang (RCH)

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 RCH 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 f'_{cc} maksimum sebesar 19,352 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 26,394 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 26,6 %. Nilai regangan beton ε'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,01400 sedangkan ε'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,0051 atau mengalami peningkatan sebesar 63,5 %. Nilai regangan beton ultimit ε'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,04004 sedangkan ε'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0284 atau mengalami peningkatan sebesar 29 %. 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 Senggang yang dibungkus Fine Mesh (RCFMH)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom RCFMH-01 diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 40$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.9, gambar ini diambil pada saat beban P telah mencapai beban puncak $P = 46$ 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 $P = 43$ ton lalu terjadi lompatan beban turun hingga mencapai $P = 25$ ton sehingga pengujian kolom RCFMH-01 dihentikan.

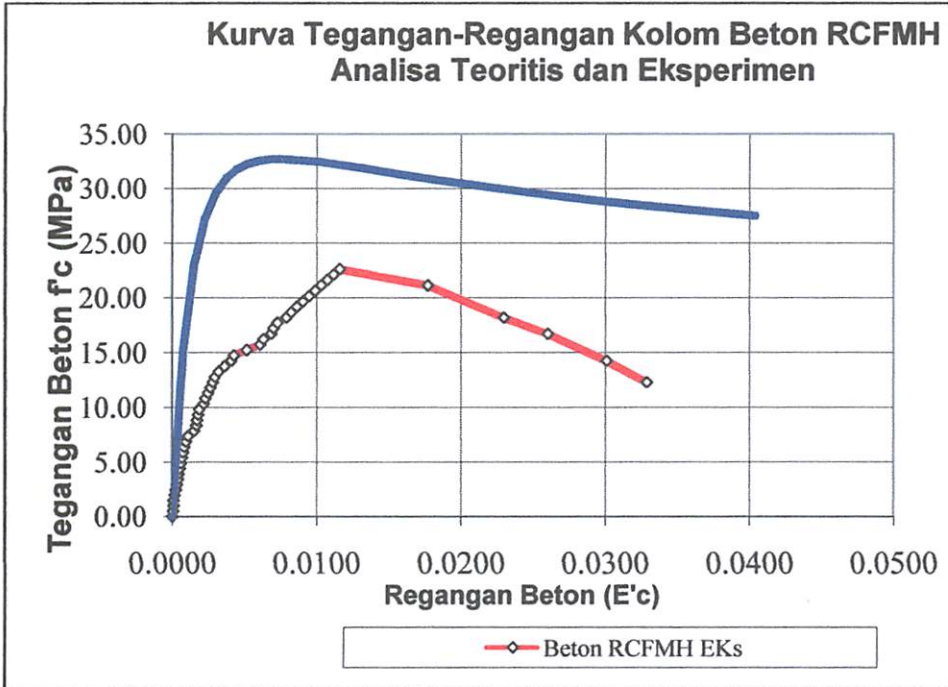


Gambar 4. 9. Pengujian kolom terkekang tulangan sengkang yang dibungkus fine mesh (RCFMH)

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 *RCFMH* 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 *RCFMH* hasil analisa teoritis menurut Mander, dkk. diambil dari Gambar 3.7. Kurva tegangan-regangan beton kolom *RCFM* hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Gambar 4.10.

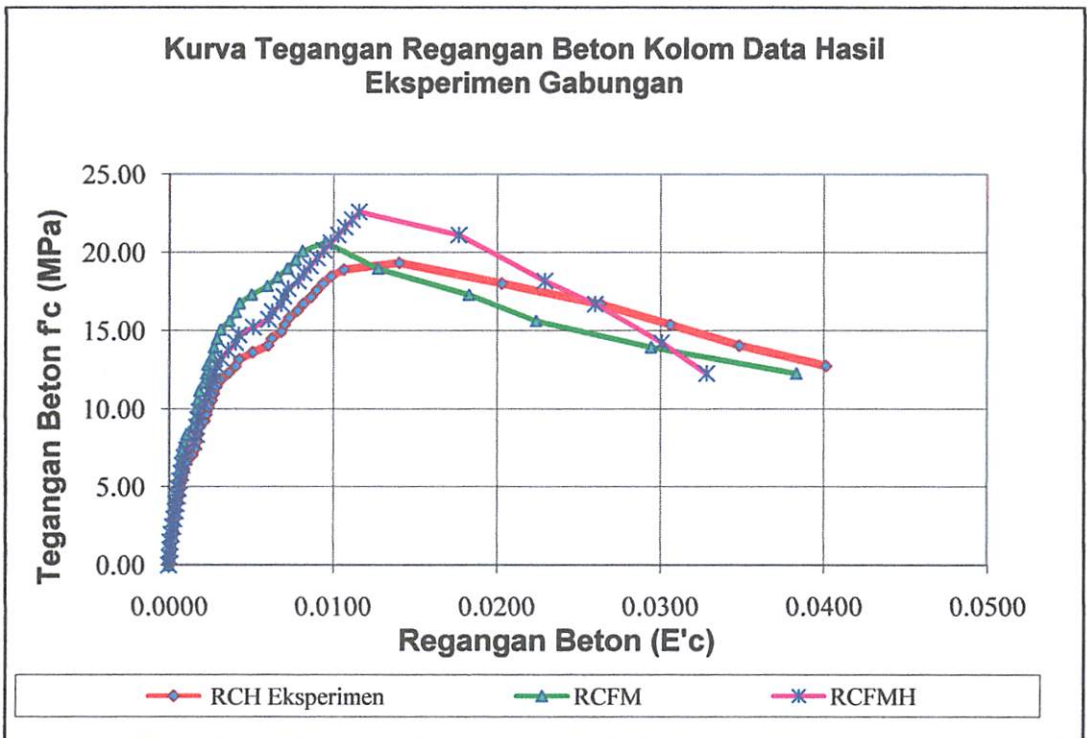


Gambar 4.10. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton terkekang Tulangan Senggang yang diberi lapisan fine mesh (RCFMH)

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 RCFMH 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 f'_{cc} maksimum sebesar 22,605 MPa sedangkan f'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 25,755 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 12,2 %. Nilai regangan beton ϵ'_{cc} hasil analisa eksperimen sebesar 0,01158 sedangkan ϵ'_{cc} hasil analisa teoritis sebesar 0,0048 atau mengalami peningkatan sebesar 58,5 %. Nilai regangan beton ultimit ϵ'_{cu} hasil analisa eksperimen sebesar 0,03286 sedangkan ϵ'_{cu} hasil analisa teoritis sebesar 0,0265 atau mengalami peningkatan sebesar 19,3 %. 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

Terlihat pada Gambar 4.14. kurva tegangan-regangan hasil eksperimen kolom yang terkekang tulangan spiral (RCH) dan kolom yang terkekang tulangan sengkang BJTP yang dibungkus (RCFMH) terlihat terjadi peningkatan tegangan beton yang lebih besar, sedangkan regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) relatif sama dengan regangan beton kolom RCFM.



Gambar 4.14. Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton Analisa Data Eksperimen

Tabel 4.3. Hasil tegangan-regangan analisa eksperimen

No	Tipe Kolom	ρ_s	Eksperimen				Perbedaan (%)		
			f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	P_{max} (ton)	f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}
1	RCH	0.01530	19,352	0,01400	0,04004	48,772	0	0	0
2	RCFM	0.00752	20,654	0.00940	0.03833	45,550	6,3038	32,8571	4,2707
3	RCFMH	0.01339	22,605	0.01158	0.03286	46,627	8,6308	18,8255	14,2708

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

1. Kolom beton yang terkekang *tulangan sengkang BJTP* yang dibungkus *fine mesh* (RCFMH) mempunyai rasio tulangan transversal (ρ_s), memiliki efektifitas pengekanan yang hampir sama dengan kolom beton yang terkekang tulangan sengkang BJTP (RCH), yang mana kuat tekan (f'_{cc}) kolom (RCFMH) berbeda 14 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) kolom RCFMH berbeda 17,2 % dari kolom RCH, sedangkan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) kolom RCFMH berbeda 17,9 % dari kolom RCH.

4.3. Bukti Hipotesa Hasil Analisa

Tabel 4.4. Validasi hasil analisa teoritis dan eksperimen

No	Tipe Kolom	Teoritis			Eksperimen		
		f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}	f_{cc}	ϵ'_{cc}	ϵ'_{cu}
1	RCH	26,394	0.0051	0.0284	19,352	0,01400	0.04004
2	RCFM	26,330	0.0051	0.0282	20,654	0.00940	0.03834
3	RCFMH	25,755	0,0048	0.0265	22,605	0.01158	0.03286

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

1. Kolom RCFM hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan (f'_{cc}) berbeda sebesar 21,5 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 45,7 % dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 26,4 %.
2. Kolom RCH hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan (f'_{cc}) berbeda sebesar 26,6 % , regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar 63,5% dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda sebesar 29,0 %

3. Kolom RCFMH hasil analisa eksperimen terhadap analisa teoritis untuk kuat tekan (f'_{cc}) berbeda sebesar 12,2 % , regangan beton terkekang (ε'_{cc}) berbeda sebesar 58,5 % dan regangan beton ultimit (ε'_{cu}) berbeda sebesar 19,3 %.
4. Dari uraian di atas kolom RCFM, RCH dan RCFMH, seiring dengan peningkatan ρ_s -nya menunjukkan peningkatan daktilitas secara proporsional.
5. Dari hasil eksperimen terlihat kuat tekan kolom beton (f'_{cc}) mengalami sedikit penurunan tapi penurunan kuat tekan beton tersebut tidak terlalu mempengaruhi kekuatan kolom karena kekuatan kolom diawali oleh tulangan bukan oleh beton. Regangan beton terkekang (ε'_{cc}) mempunyai nilai yang relatif sama, tapi nilai regangan beton ultimit (ε'_{cu}) peningkatan yang cukup besar bila dibandingkan dengan analisis teoritis, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen mempunyai daktilitas yang baik dan fine mesh cukup aman digunakan sebagai pengekang kolom beton.
6. Dari uraian di atas dapat disimpulkan pula bahwa berturut-turut f'_{cc} dan ε'_{cu} hasil eksperimen ternyata perbedaan rata-rata lebih kecil dari 10 % dan ε'_{cc} rata-rata lebih besar dari 50 % dari hasil teoritis, maka rumus yang diusulkan oleh Mander, dkk. aman dipakai untuk kolom beton yang terkekang menggunakan *fine mesh*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian yang terbatas ini memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Fine mesh* cukup efektif untuk meningkatkan daktilitas beton bila digunakan sebagai tulangan pengekang pada kolom beton.
2. Kolom beton dengan pengekangan *tulangan sengkang* yang diberi lapisan *fine mesh (RCFMH)* mempunyai efektifitas pengekangan yang hampir sama bila dibandingkan dengan kolom beton yang dikekang *tulangan sengkang (RCH)* walau ρ_s nya sedikit berbeda, yang mana kuat tekan (f'_{cc}) berbeda 14,3 %, regangan beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda 17,2 % dan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) berbeda 17,9 % (lihat Tabel 4.3).
3. Model kurva tegangan-regangan beton hasil analisa eksperimental dan analisa teoritis usulan Mander, dkk. relatif berbentuk hampir sama, bahkan semua sample menunjukkan regangan beton ultimit (ϵ'_{cu}) hasil eksperimental pengekangan *fine mesh* memiliki nilai regangan yang lebih besar dari analisa teoritis, sehingga rumus hubungan tegangan-regangan beton bertulang (f'_{cc} & ϵ'_{cc}) yang diusulkan oleh Mander, dkk. aman digunakan pada kolom beton yang terkekang *fine mesh*.

5.2. Saran

- Penambahan jumlah benda uji kolom dan dimensi benda uji perlu dipertimbangkan untuk memperkuat *validitas* hasil penelitian ini.
- Menggunakan *strain gauges* tipe *Post Yield Strain Gauges* untuk mengukur regangan tulangan konvensional atau *fine mesh*, agar tidak langsung putus setelah tegangan mencapai tegangan leleh.

- 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.

DAFTAR PUSAKA

- 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

TABEL L.3.3

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKEKANG FINE MESH (RCFM)

Es = 200000 Mpa
 Ec = 21066,28 Mpa
 n = 9,49

P (ton)	LVDT1 (mm)	LVDT2 (mm)	SG FM 1	SG FM 2	L (mm)	Ag - As _m (mm ²)	A _{s_m} (mm ²)	A _{total} (mm ²)	A FM (mm ²)	Fc (MPa)	fs FM1 (MPa)	fs FM2 (MPa)	fs FM rata-rata (MPa)	εc1	εc2	εc2 Rata2	εs FM1	εs FM2	εs Rata-rata
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01000	0.01000	0.09505	0.11263	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	0.556	7.241	8.560	7.911	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	3.95531E-05
2	0.02000	0.02000	0.12051	0.09115	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	1.116	9.160	6.944	8.062	0.00008	0.00008	0.00008	0.00005	0.00003	4.03056E-05
3	0.03000	0.03000	0.09863	0.05430	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	1.675	7.529	4.136	5.833	0.00012	0.00012	0.00012	0.00004	0.00002	2.91627E-05
4	0.05000	0.05000	0.03639	0.08379	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	2.233	2.772	6.363	4.578	0.00019	0.00019	0.00019	0.00001	0.00003	2.28867E-05
5	0.07000	0.07000	0.05371	0.08527	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	3.291	4.082	6.466	5.264	0.00027	0.00027	0.00027	0.00002	0.00003	2.64663E-05
6	0.09000	0.09000	0.07871	0.08263	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	3.949	5.966	7.057	6.526	0.00035	0.00035	0.00035	0.00003	0.00004	3.26319E-05
7	0.10000	0.10000	0.16725	0.09638	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	3.908	12.741	7.342	10.042	0.00038	0.00038	0.00038	0.00006	0.00004	5.02099E-05
8	0.12000	0.12000	0.15690	0.11777	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	4.466	11.953	8.972	10.462	0.00046	0.00046	0.00046	0.00006	0.00004	5.23118E-05
9	0.13000	0.13000	0.19785	0.14525	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	5.024	15.072	11.065	13.069	0.00050	0.00050	0.00050	0.00008	0.00006	6.53432E-05
10	0.15000	0.15000	0.13418	0.20898	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	5.582	10.222	15.920	13.071	0.00058	0.00058	0.00058	0.00005	0.00008	6.53556E-05
11	0.17000	0.17000	0.13880	0.26217	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	6.140	10.574	19.972	15.273	0.00065	0.00065	0.00065	0.00005	0.00010	7.6366E-05
12	0.19000	0.19000	0.21283	0.67207	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	6.699	16.213	51.198	37.589	0.00073	0.00073	0.00073	0.00008	0.00026	0.000168528
13	0.20000	0.20000	0.29382	0.68302	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	7.257	22.383	52.794	37.589	0.00077	0.00077	0.00077	0.00011	0.00026	0.000187943
14	0.24000	0.24000	0.30599	0.70181	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	7.815	23.310	53.464	38.387	0.00092	0.00092	0.00092	0.00012	0.00027	0.000191935
15	0.28000	0.28000	0.40579	0.71589	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	8.373	30.913	54.536	42.725	0.00108	0.00108	0.00108	0.00015	0.00027	0.000218624
16	0.39000	0.39000	0.42293	0.72214	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	8.932	32.219	55.012	43.616	0.00150	0.00150	0.00150	0.00016	0.00028	0.000218078
17	0.43000	0.43000	0.47480	0.77233	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	9.490	36.171	58.836	47.503	0.00165	0.00165	0.00165	0.00018	0.00029	0.000237517
18	0.44000	0.44000	0.51530	0.83086	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	10.048	39.256	63.296	51.275	0.00169	0.00169	0.00169	0.00020	0.00032	0.000256376
19	0.46000	0.46000	0.73932	0.86074	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	10.606	56.322	65.571	60.946	0.00177	0.00177	0.00177	0.00028	0.00033	0.000304732
20	0.48000	0.48000	0.93078	0.95677	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	11.164	63.289	72.887	68.088	0.00185	0.00185	0.00185	0.00032	0.00036	0.000340439
21	0.56000	0.56000	0.99466	1.16132	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	11.723	75.773	89.993	82.883	0.00215	0.00215	0.00215	0.00038	0.00045	0.000414415
22	0.59000	0.59000	1.10827	1.44238	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	12.281	84.426	109.881	97.154	0.00227	0.00227	0.00227	0.00042	0.00055	0.0004865772
23	0.61000	0.61000	1.30378	1.56602	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	12.839	99.322	119.299	109.310	0.00235	0.00235	0.00235	0.00050	0.00060	0.000546552
24	0.68000	0.68000	1.46139	1.65306	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	13.397	111.329	126.930	118.630	0.00262	0.00262	0.00262	0.00056	0.00070	0.0006989148
25	0.71000	0.71000	1.55475	1.82773	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	13.956	118.441	139.283	128.839	0.00273	0.00273	0.00273	0.00059	0.00070	0.000644195
26	0.76000	0.76000	1.92715	2.86536	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	14.514	148.810	218.287	182.547	0.00292	0.00292	0.00292	0.00073	0.00109	0.000912734
27	0.82000	0.82000	2.08223	2.95742	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	15.072	156.624	226.296	191.960	0.00315	0.00315	0.00315	0.00079	0.00113	0.000959801
28	0.96000	0.96000	2.47161	3.14714	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	15.630	188.286	239.749	214.018	0.00369	0.00369	0.00369	0.00094	0.00120	0.001070091
29	1.06000	1.06000	2.89297	3.41302	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	16.188	220.386	260.004	240.195	0.00408	0.00408	0.00408	0.00118	0.00148	0.001200976
30	1.12000	1.20000	3.61133	3.89844	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	16.747	275.111	296.983	286.047	0.00431	0.00431	0.00431	0.00130	0.00148	0.0014300235
31	1.31000	1.41000	4.33171	4.45928	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	17.305	329.989	339.708	334.849	0.00504	0.00504	0.00504	0.00165	0.00170	0.001874244
32	1.56000	1.66000	4.83171	4.93783	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	17.863	368.079	376.164	372.122	0.00600	0.00600	0.00600	0.00184	0.00188	0.001860609
33	1.72000	1.72000	5.39964	5.56373	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	18.421	411.360	423.845	417.602	0.00662	0.00662	0.00662	0.00206	0.00212	0.002088011
34	1.89000	1.89000	5.94374	6.20974	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	18.980	452.794	473.058	462.926	0.00723	0.00723	0.00723	0.00226	0.00237	0.002314629

35	2.01000	1.93000	6.48874	6.67383	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	19.538	494.312	508.412	501.362	0.00773	0.00742	0.00758	0.00247	0.00254	0.002506811
36	2.12000	2.04000	7.23204	4.67852	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	20.096	550.937	356.409	453.673	0.00815	0.00785	0.00800	0.00275	0.00178	0.002268366
37	2.48000	2.32000	4.70420	4.84121	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	20.654	358.366	368.804	363.585	0.00954	0.00892	0.00923	0.00179	0.00184	0.001817923
34	3.32000	3.12000	4.86770	5.00391	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	18.980	370.821	381.198	376.009	0.01277	0.01200	0.01238	0.00185	0.00191	0.001880047
31	4.76000	4.66000	5.03119	5.16660	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	17.305	383.276	393.592	388.434	0.01831	0.01792	0.01812	0.00192	0.00197	0.00194217
28	5.83000	5.83000	5.19469	5.32929	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	15.630	395.732	405.986	400.859	0.02242	0.02242	0.02242	0.00198	0.00203	0.002004294
25	7.65000	7.75000	5.35819	5.49199	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	13.956	408.187	418.380	413.283	0.02942	0.02981	0.02962	0.00204	0.00209	0.002066417
22	9.96000	9.78000	5.52169	5.65468	260	16781	1133.38	17914.00	3.141593	12.281	420.642	430.774	425.708	0.03831	0.03762	0.03796	0.00210	0.00215	0.002128541

Keterangan Kolom :

1 = Beban Aksial

2 = Displacement pada LVDT 1

3 = Displacement pada LVDT 2

4 = Pembacaan regangan pada strain gauge 1

5 = Pembacaan regangan pada strain gauge 2

6 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan beton

7 = Luas penampang kolom

8 = Luas penampang fine mesh

9 = Kuat Tekan Beton

10 = Kuat Leleh Fine Mesh 1

11 = Kuat Leleh Fine Mesh 2

12 = Kuat Leleh rata-rata Fine Mesh

13 = Regangan beton pada LVDT 1

14 = Regangan beton pada LVDT 2

15 = Regangan beton rata-rata

16 = Regangan fine mesh 1

17 = Regangan fine mesh 2

18 = Regangan rata-rata fine mesh

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

TABEL L3.4

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKEKANG TULANGAN SENGKANG (RCH)

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 _g .n (mm ²)	A _{total} (mm ²)	A _{sengkang} (mm ²)	f _c Mpa	f _s 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	0.00000	0.00000	0	260	16889.821	96.635579	16986.457	26.42079	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0	0.000000
1	0.01000	0.01000	0.05319008	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	0.440	4.052	0.00004	0.00004	3.85E-05	0.000020
2	0.02000	0.02000	0.04654956	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	0.880	3.546	0.00008	0.00008	7.69E-05	0.000018
3	0.03000	0.02000	0.04713556	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	1.319	3.591	0.00012	0.00008	9.62E-05	0.000018
4	0.05000	0.04000	0.06210944	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	1.759	4.731	0.00019	0.00015	0.000173	0.000024
5	0.07000	0.06000	0.05611976	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	2.199	4.275	0.00027	0.00023	0.00025	0.000021
6	0.09000	0.08000	0.06386724	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	2.639	4.865	0.00035	0.00031	0.000327	0.000024
7	0.10000	0.10000	0.08287756	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	3.079	6.314	0.00038	0.00038	0.000385	0.000032
8	0.12000	0.11000	0.08919272	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	3.519	6.795	0.00046	0.00042	0.000442	0.000034
9	0.13000	0.13000	0.1441406	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	3.958	10.981	0.00050	0.00050	0.0005	0.000055
10	0.16000	0.15000	0.10559888	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	4.398	8.045	0.00062	0.00058	0.000596	0.000040
11	0.17000	0.17000	0.1016276	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	4.838	7.742	0.00065	0.00065	0.000654	0.000039
12	0.19000	0.19000	0.11230468	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	5.278	8.555	0.00073	0.00073	0.000731	0.000043
13	0.20000	0.21000	0.10468756	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	5.718	7.975	0.00077	0.00081	0.000788	0.000040
14	0.23000	0.24000	0.09550772	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	6.158	7.276	0.00088	0.00092	0.000904	0.000036
15	0.27000	0.28000	0.09973948	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	6.597	7.598	0.00104	0.00108	0.001058	0.000038
16	0.35000	0.39000	0.10286452	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	7.037	7.836	0.00135	0.00150	0.001423	0.000039
17	0.41000	0.43000	0.11373684	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	7.477	8.664	0.00158	0.00165	0.001615	0.000043
18	0.44000	0.44000	0.1174478	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	7.917	8.947	0.00169	0.00169	0.001692	0.000045
19	0.46000	0.46000	0.11184892	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	8.357	8.521	0.00177	0.00177	0.001769	0.000043
20	0.47000	0.48000	0.11497388	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	8.797	8.759	0.00181	0.00185	0.001827	0.000044
21	0.56000	0.56000	0.08912756	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	9.236	6.790	0.00215	0.00215	0.002154	0.000034
22	0.59000	0.59000	0.08932284	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	9.676	6.805	0.00227	0.00227	0.002269	0.000034
23	0.61000	0.64000	0.07675788	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	10.116	5.847	0.00235	0.00246	0.002404	0.000029
24	0.68000	0.68000	0.0903644	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	10.556	6.884	0.00262	0.00262	0.002615	0.000034
25	0.71000	0.72000	0.08951812	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	10.996	6.819	0.00273	0.00277	0.00275	0.000034
26	0.76000	0.76000	0.12656248	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	11.435	9.642	0.00292	0.00292	0.002923	0.000048
27	0.82000	0.83000	0.13990892	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	11.875	10.658	0.00315	0.00319	0.003173	0.000053
28	0.96000	0.94000	0.11829436	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	12.315	9.012	0.00369	0.00362	0.003654	0.000045
29	1.06000	1.06000	0.14498696	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	12.755	11.045	0.00408	0.00408	0.004077	0.000055
30	1.12000	1.11000	0.15475268	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	13.195	11.789	0.00431	0.00427	0.004288	0.000059
31	1.31000	1.34000	0.15201824	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	13.635	11.581	0.00504	0.00515	0.005096	0.000058
32	1.56000	1.58000	0.18092436	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	14.074	13.783	0.00600	0.00608	0.006038	0.000069
33	1.62000	1.64000	0.1880208	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	14.514	14.323	0.00623	0.00631	0.006269	0.000072
34	1.78000	1.78000	0.21184896	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	14.954	16.139	0.00685	0.00685	0.006846	0.000081
35	1.85000	1.82000	0.23710936	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	15.394	18.063	0.00712	0.00700	0.007058	0.000090
36	1.92000	1.89000	0.27200516	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	15.834	20.721	0.00738	0.00727	0.007327	0.000104
37	2.02000	2.05000	0.30097652	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	16.274	22.928	0.00777	0.00788	0.007827	0.000115

38	2.12000	2.14000	0.3397786	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	16.713	25.884	0.00815	0.00823	0.008192	0.000129
39	2.26000	2.24000	0.37408856	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	17.153	28.498	0.00869	0.00862	0.008654	0.000142
40	2.33000	2.35000	0.37408856	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	17.593	28.498	0.00896	0.00904	0.009	0.000142
41	2.45000	2.43000	0.4376954	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	18.033	33.344	0.00942	0.00935	0.009385	0.000167
42	2.57000	2.56000	0.53431	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	18.473	40.704	0.00988	0.00985	0.009865	0.000204
43	2.78000000	2.76000000	0.67282772	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	18.913	51.256	0.01069	0.01062	0.010654	0.000256
44	3.64000000	3.67000000	0.96782839	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	19.352	73.729	0.01400	0.01412	0.014058	0.000369
41	5.29000000	5.27000000	1.32827362	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	18.033	101.188	0.02035	0.02027	0.020308	0.000506
38	6.86000000	6.84000000	1.63388929	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	16.713	124.470	0.02638	0.02631	0.026346	0.000622
35	8.03000000	7.89000000	1.856457454	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	15.394	141.425	0.03088	0.03035	0.030615	0.000707
32	9.06000000	9.05000000	2.304898495	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	14.074	175.587	0.03485	0.03481	0.034827	0.000878
29	10.4100000	10.4700000	2.852673626	260	16889.821	5846.4525	22736.274	26.42079	12.755	217.317	0.04004	0.04027	0.040154	0.001087

Keterangan Kolom :

1 = Beban Aksial

2 = Displacement pada LVDT 1

3 = Displacement pada LVDT 2

4 = Pembacaan regangan pada strain gauge

5 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan beton

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

6 = Luas penampang kolom

7 = Luas Penampang Tulangan Sengkang BJTP

8 = Kuat Tekan Beton

9 = Kuat Leleh Tulangan Sengkang BJTP

10 = Regangan beton pada LVDT 1

11 = Regangan beton pada LVDT 2

12 = Regangan beton rata-rata

13 = Regangan Baja Tulangan Sengkang BJTP

TABEL L3.5

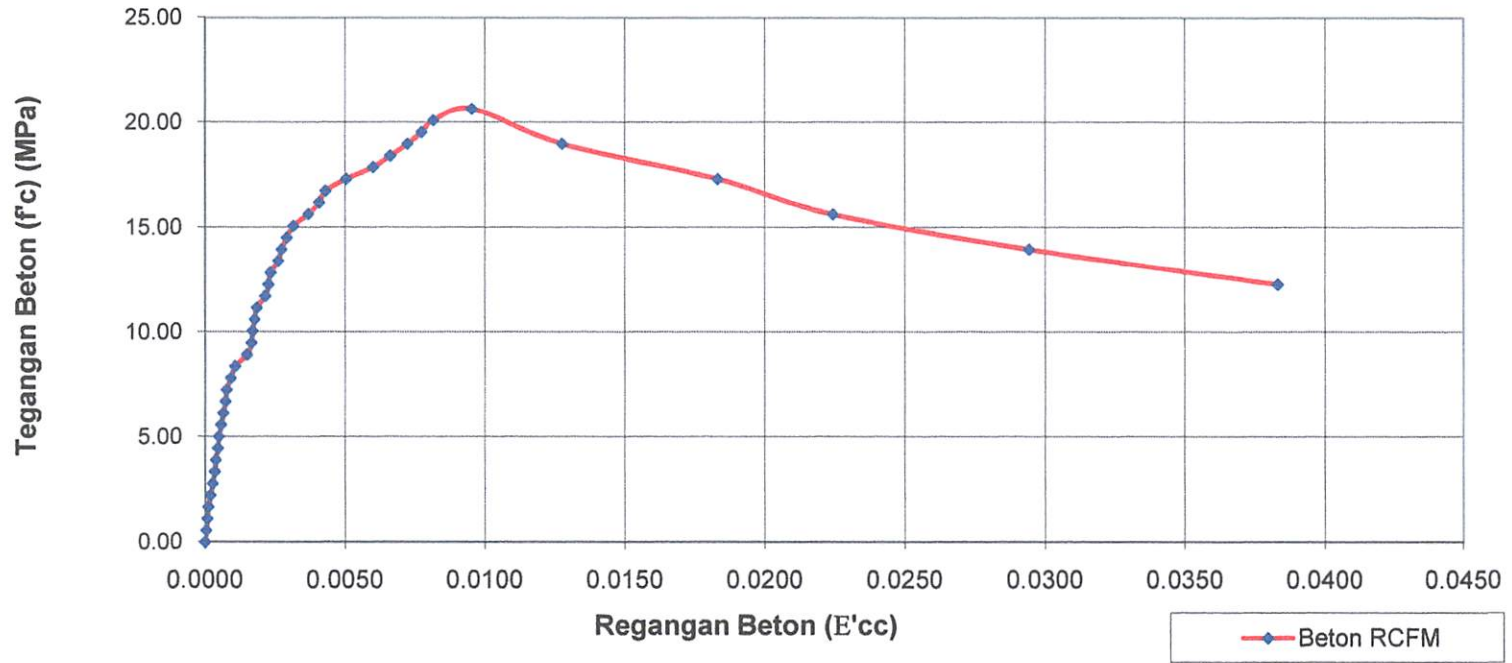
ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON TERKEKANG TULANGAN SENGKANG YANG DIBUNGKUS FINE MESH (RCFMH)

Es = 200000 Mpa
 Ec = 21068.28 Mpa
 n = 9.49

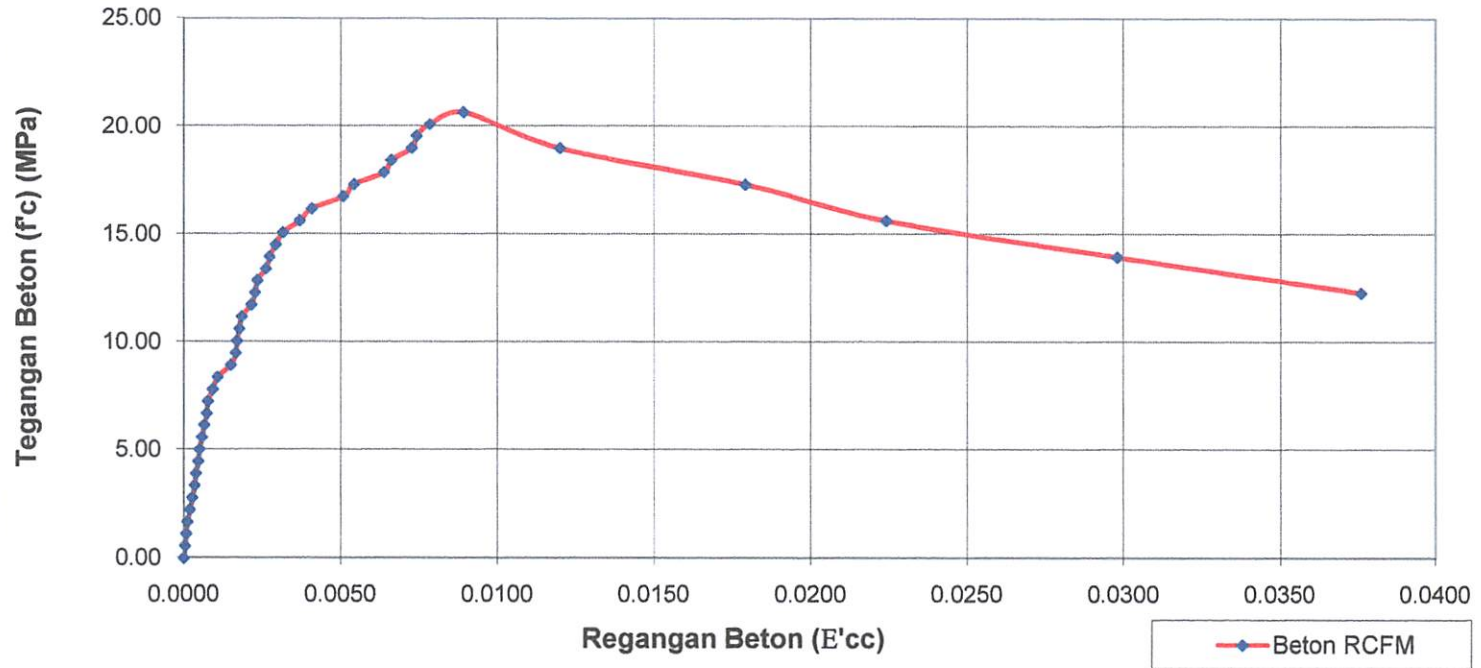
P (ton)	LVD11 (mm)	LVD12 (mm)	SG Spiral	SG FM layer 1	SG FM Layer 2	L (mm)	$A_{p,A_s,A_{smin}}$ (mm ²)	A_s (mm ²)	A_{smin} (mm ²)	A_{smax} (mm ²)	A_{spiral} (mm ²)	A FM (mm ²)	Fc (Mpa)	fs Spiral (Mpa)	fs FM 1 (Mpa)	fs FM 2 (Mpa)	cc1	cc2	cc rata-rata	ϵ_s1 Spiral	ϵ_s1 FM	ϵ_s2 FM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0.0000	0	0	0	0	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.01000	0.01000	0.0222855	0.02383	0.06133	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	0.491	1.698	1.815	4.672	0.00004	0.00004	3.85E-05	0.00001	0.00001	0.00002
2	0.02000	0.02000	0.0095704	0.02080	0.07773	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	0.983	0.729	1.592	5.922	0.00008	0.00008	7.69E-05	0.00000	0.00001	0.00003
3	0.02000	0.02000	0.0103516	0.04981	0.06789	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	1.474	0.789	3.779	6.696	0.00008	0.00008	7.69E-05	0.00000	0.00002	0.00003
4	0.04000	0.04000	0.0253908	0.07268	0.08125	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	1.968	1.934	5.535	8.190	0.00015	0.00015	0.000154	0.00001	0.00003	0.00003
5	0.08000	0.08000	0.0621084	0.10352	0.05137	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	2.457	4.731	7.886	3.913	0.00023	0.00023	0.000231	0.00002	0.00004	0.00002
6	0.08000	0.08000	0.0766017	0.12605	0.03301	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	2.949	5.836	9.603	2.515	0.00031	0.00031	0.000308	0.00003	0.00005	0.00001
7	0.10000	0.10000	0.0958984	0.13809	0.07012	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	3.440	7.306	10.519	5.342	0.00038	0.00038	0.000385	0.00004	0.00005	0.00003
8	0.11000	0.11000	0.0703124	0.15000	0.07012	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	3.931	6.356	11.427	6.342	0.00042	0.00042	0.000423	0.00003	0.00006	0.00003
9	0.13000	0.13000	0.0894532	0.17481	0.08301	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	4.423	6.815	13.302	6.324	0.00050	0.00050	0.0005	0.00003	0.00007	0.00003
10	0.15000	0.15000	0.1128953	0.18785	0.05938	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	4.914	8.685	14.311	4.523	0.00058	0.00058	0.000577	0.00004	0.00007	0.00002
11	0.17000	0.17000	0.1208982	0.19768	0.09768	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	5.408	9.210	15.057	7.439	0.00065	0.00065	0.000654	0.00005	0.00008	0.00004
12	0.19000	0.19000	0.0820313	0.19355	0.10859	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	5.897	6.249	14.745	8.273	0.00073	0.00073	0.000731	0.00003	0.00007	0.00004
13	0.21000	0.21000	0.073242	0.19004	0.12715	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	6.388	5.580	14.477	9.688	0.00081	0.00081	0.000808	0.00003	0.00007	0.00005
14	0.24000	0.24000	0.0718797	0.19434	0.11445	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	6.880	5.481	14.804	8.719	0.00092	0.00092	0.000923	0.00003	0.00007	0.00004
15	0.28000	0.28000	0.085647	0.21191	0.11018	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	7.371	6.517	16.144	8.392	0.00108	0.00108	0.001077	0.00003	0.00008	0.00004
16	0.39000	0.39000	0.1154285	0.24453	0.08477	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	7.863	8.793	18.628	8.457	0.00150	0.00150	0.0015	0.00004	0.00009	0.00003
17	0.43000	0.43000	0.1326172	0.28426	0.08008	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	8.354	10.103	20.131	6.100	0.00185	0.00185	0.001854	0.00005	0.00010	0.00003
18	0.44000	0.44000	0.1778296	0.28023	0.03555	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	8.848	13.655	22.110	2.708	0.00169	0.00169	0.001692	0.00007	0.00011	0.00001
19	0.48000	0.48000	0.1671875	0.31309	0.04121	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	9.337	12.736	23.851	3.139	0.00177	0.00177	0.001769	0.00006	0.00012	0.00002
20	0.48000	0.48000	0.1724608	0.34941	0.04267	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	9.828	13.138	26.618	3.273	0.00185	0.00185	0.001848	0.00007	0.00013	0.00002
21	0.56000	0.56000	0.1943358	0.38477	0.03711	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	10.320	14.605	29.311	2.827	0.00215	0.00215	0.002154	0.00007	0.00015	0.00001
22	0.59000	0.59000	0.251953	0.40293	0.02402	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	10.811	19.194	30.895	1.830	0.00227	0.00227	0.002269	0.00010	0.00015	0.00001
23	0.64000	0.64000	0.2730488	0.42402	0.02578	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	11.303	20.801	32.302	1.984	0.00246	0.00246	0.002462	0.00010	0.00018	0.00001
24	0.68000	0.68000	0.2810936	0.44551	0.01094	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	11.794	21.414	33.939	0.633	0.00262	0.00262	0.002615	0.00011	0.00017	0.00000
25	0.72000	0.72000	0.2919824	0.47617	0.03223	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	12.285	22.244	36.275	2.455	0.00277	0.00277	0.002769	0.00011	0.00018	0.00001
26	0.76000	0.76000	0.3318405	0.50020	0.07539	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	12.777	25.264	38.105	5.743	0.00292	0.00292	0.002923	0.00013	0.00019	0.00003
27	0.83000	0.83000	0.3896484	0.51797	0.11758	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	13.268	29.693	39.459	8.957	0.00319	0.00319	0.003192	0.00015	0.00020	0.00004
28	0.84000	0.84000	0.4925781	0.54981	0.22930	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	13.760	37.625	41.869	17.468	0.00362	0.00362	0.003616	0.00019	0.00021	0.00009
29	1.06000	1.06000	0.8009785	0.56699	0.30605	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	14.251	45.782	43.193	23.315	0.00408	0.00408	0.004077	0.00023	0.00022	0.00012
30	1.11000	1.11000	0.7255858	0.58887	0.40156	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	14.743	55.275	44.860	30.591	0.00427	0.00427	0.004269	0.00026	0.00022	0.00015
31	1.34000	1.34000	0.9888874	0.60596	0.39512	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	15.234	75.332	46.182	30.100	0.00515	0.00515	0.005154	0.00038	0.00023	0.00015
32	1.58000	1.58000	1.3046875	0.65141	0.52568	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	15.725	99.391	49.624	40.069	0.00608	0.00608	0.006077	0.00050	0.00025	0.00020
33	1.64000	1.64000	1.629570	0.78927	0.61802	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	16.217	124.141	58.603	48.828	0.00631	0.00631	0.006308	0.00062	0.00029	0.00023
34	1.78000	1.78000	2.059570	0.84889	0.79785	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	16.708	156.898	64.518	60.780	0.00685	0.00685	0.006846	0.00078	0.00032	0.00030
35	1.82000	1.82000	2.797846	1.18282	0.99364	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	17.200	213.125	90.108	75.898	0.00700	0.00700	0.00700	0.00107	0.00045	0.00038
36	1.89000	1.89000	3.259845	1.69076	1.18937	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	17.691	245.500	121.184	90.606	0.00727	0.00727	0.007269	0.00124	0.00081	0.00045
37	2.05000	2.05000	4.109929	2.09836	1.81828	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	18.183	245.500	159.853	138.515	0.00788	0.00788	0.007885	0.00157	0.00080	0.00069
38	2.14000	2.14000	4.872723	3.27685	2.60937	280	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	18.674	245.500	249.615	214.018	0.00823	0.00823	0.008231	0.00186	0.00125	0.00107

39	2.24000	2.24000	5.633827	4.43556	3.92509	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	19.165	245.500	337.901	299.014	0.00862	0.00862	0.008615	0.00215	0.00169	0.00150
40	2.35000	2.35000	6.598878	5.74374	5.29648	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	19.657	245.500	437.558	403.486	0.00904	0.00904	0.009038	0.00251	0.00219	0.00202
41	2.46000	2.46000	7.573634	6.32983	6.13379	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	20.148	245.500	470.000	467.272	0.00946	0.00946	0.009462	0.00288	0.00241	0.00234
42	2.57000	2.57000	8.423238	6.88960	6.69373	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	20.640	245.500	470.000	470.000	0.00988	0.00988	0.009885	0.00321	0.00262	0.00255
43	2.68000	2.68000	9.398378	7.76465	7.68198	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	21.131	245.500	470.000	470.000	0.01031	0.01031	0.010308	0.00358	0.00296	0.00293
44	2.79000	2.79000	9.974645	8.53374	8.35533	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	21.622	245.500	470.000	470.000	0.01073	0.01073	0.01073	0.00380	0.00325	0.00318
45	2.90000	2.90000	10.966638	9.15676	9.33449	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	22.114	245.500	697.562	711.102	0.01115	0.01115	0.011154	0.00418	0.00349	0.00356
46	3.01000	3.01000	11.824266	9.85824	10.18785	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	22.605	245.500	751.001	776.111	0.01158	0.01158	0.011577	0.00450	0.00376	0.00388
43	4.60000	4.60000	12.681894	10.55972	11.04121	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	21.131	245.500	804.440	841.120	0.01769	0.01769	0.017692	0.00483	0.00402	0.00421
37	5.96700	5.96700	13.539522	11.26121	11.89457	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	18.183	245.500	857.879	906.129	0.02295	0.02295	0.02295	0.00516	0.00429	0.00453
34	6.76500	6.76500	14.397150	11.96269	12.74793	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	16.708	245.500	911.318	971.138	0.02602	0.02602	0.026019	0.00548	0.00456	0.00486
29	7.82300	7.82300	15.264778	12.66417	13.60129	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	14.251	245.500	964.757	1036.147	0.03009	0.03009	0.03009	0.00581	0.00482	0.00518
26	8.54300	8.54300	16.112405	13.36565	14.45465	260	16493.92	2721.902	1133.38	20349.20	47.7836	3.142	12.285	245.500	1018.196	1101.156	0.03286	0.03286	0.032858	0.00614	0.00509	0.00551

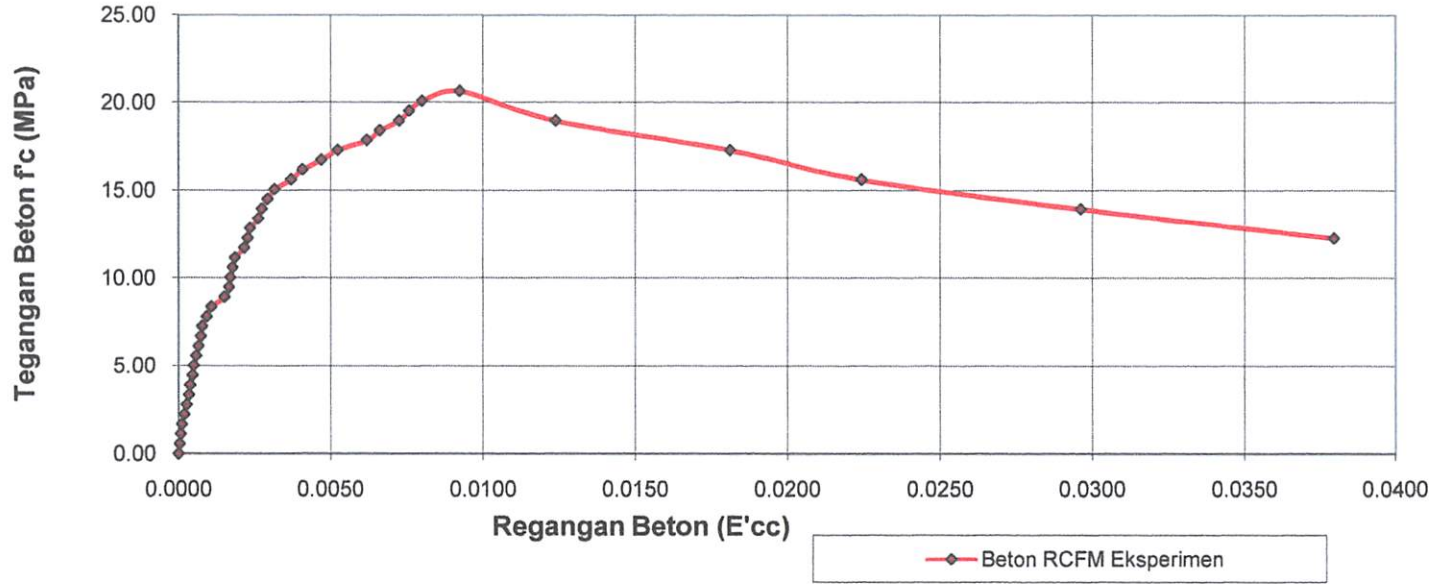
Tegangan-Regangan Beton Kolom RCFM LVDT 1



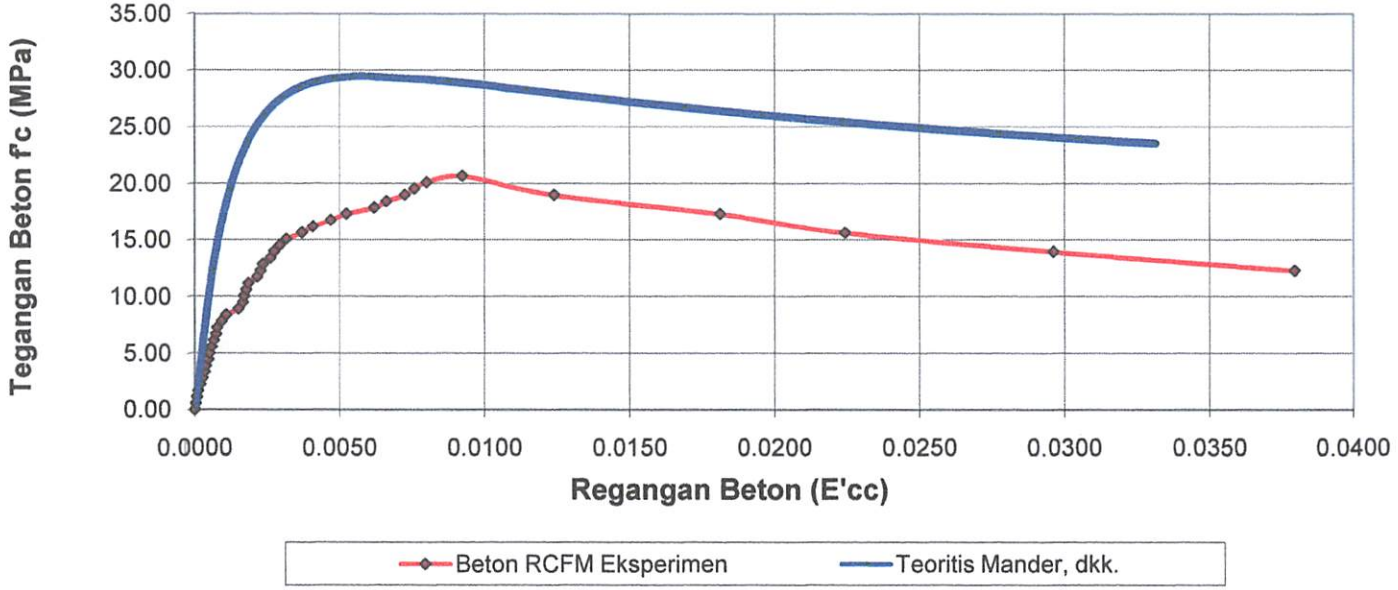
Tegangan-Regangan Beton Kolom RCFM LVDT 2



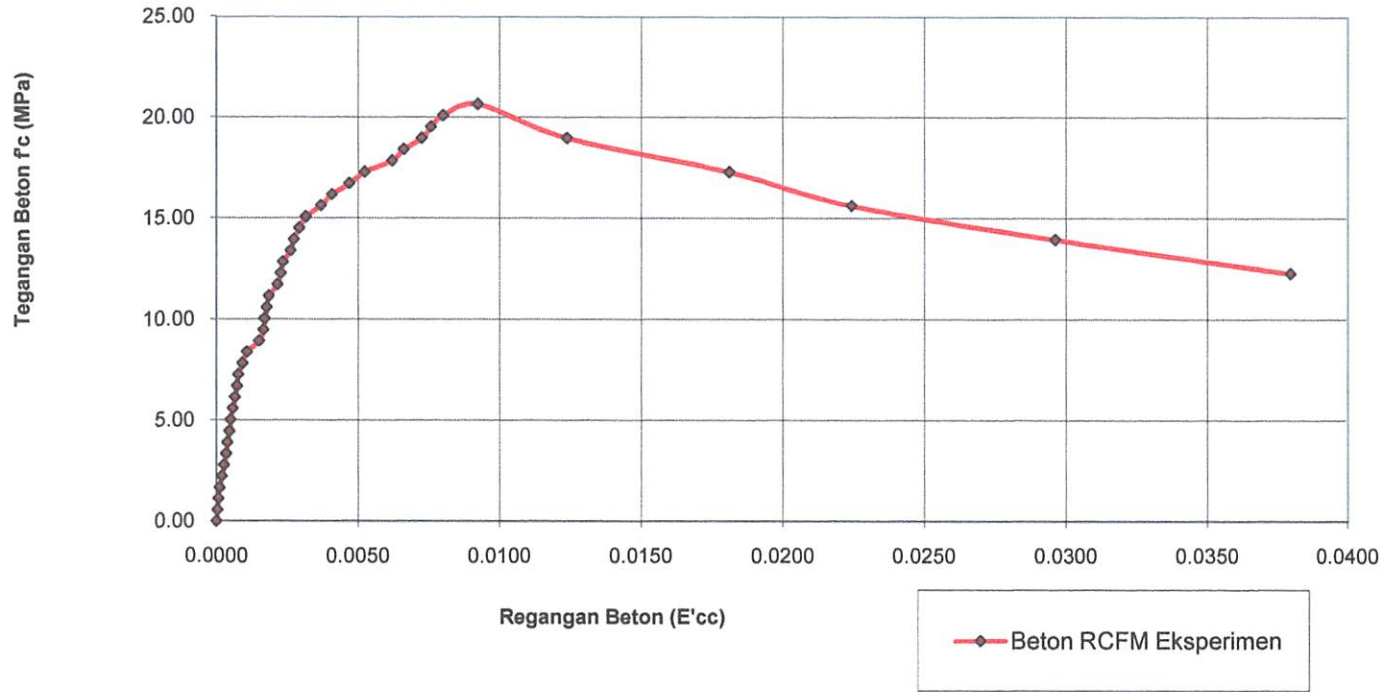
Kurva Tegangan-Regangan Kolom RCFM (Rata-rata)
Analisa Eksperimen

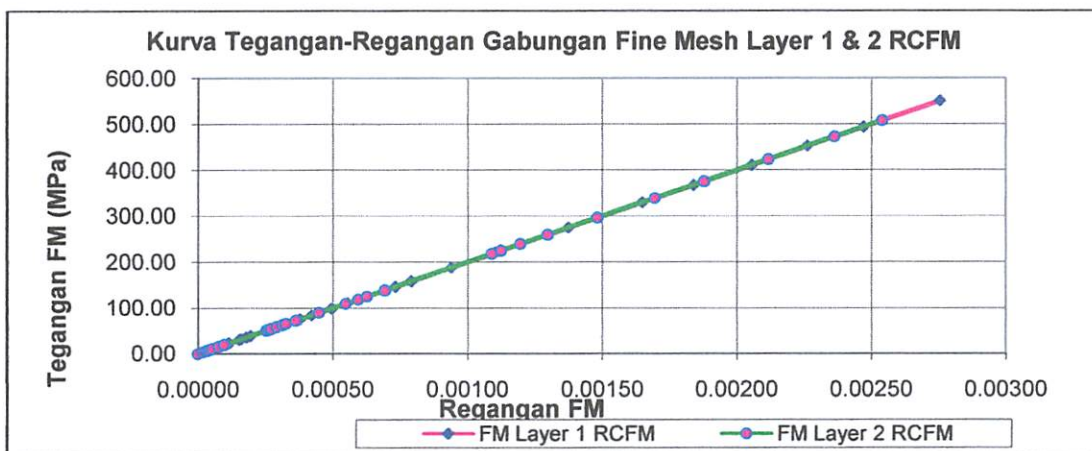
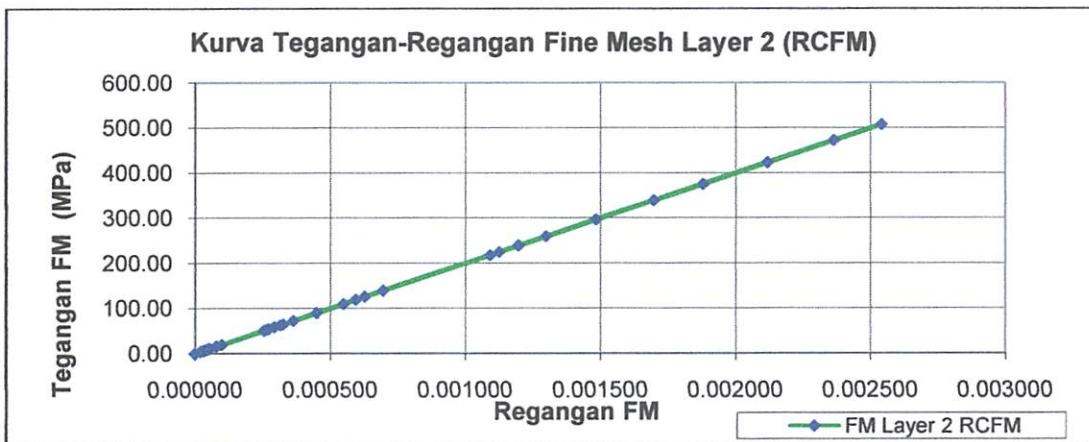
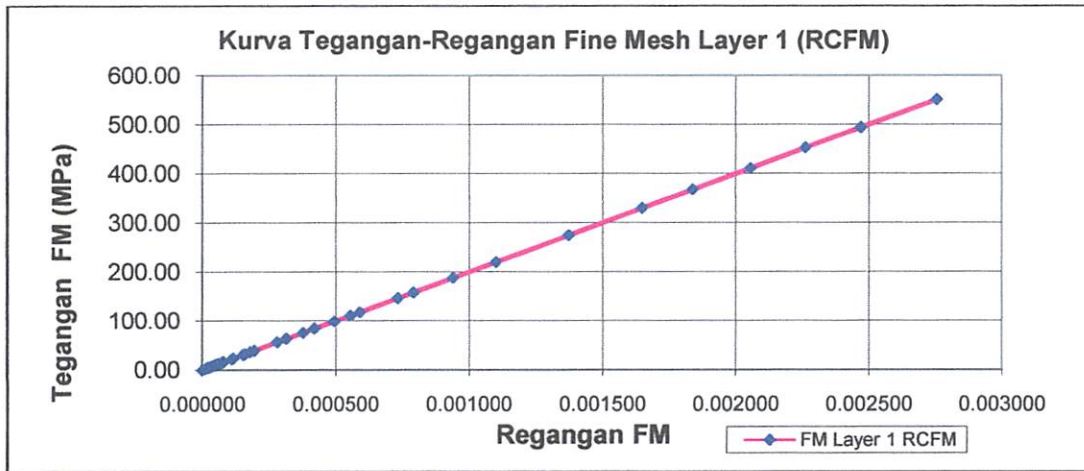


Kurva Tegangan-Regangan Kolom RCFM Analisis Teoritis dan Eksperimen

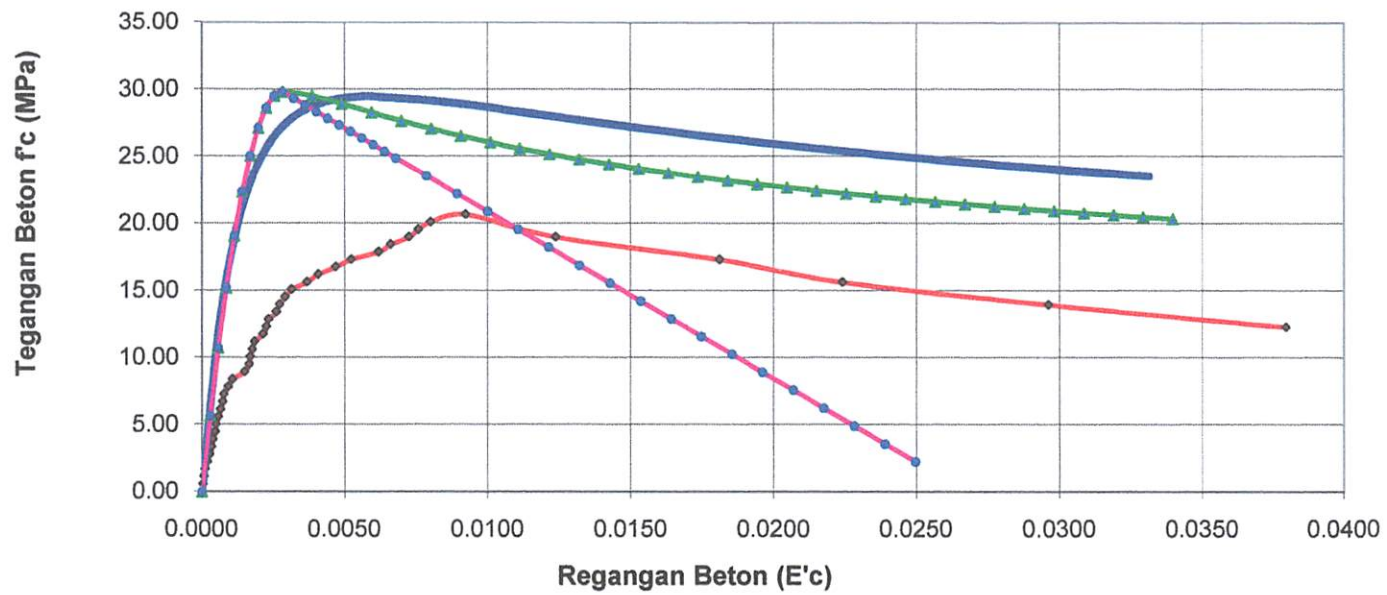


Kurva Tegangan-Regangan Kolom RCFM Analisis
Eksperimen





Kurva Tegangan-Regangan Kolom RCFM Analisa Teoritis dan Eksperimen



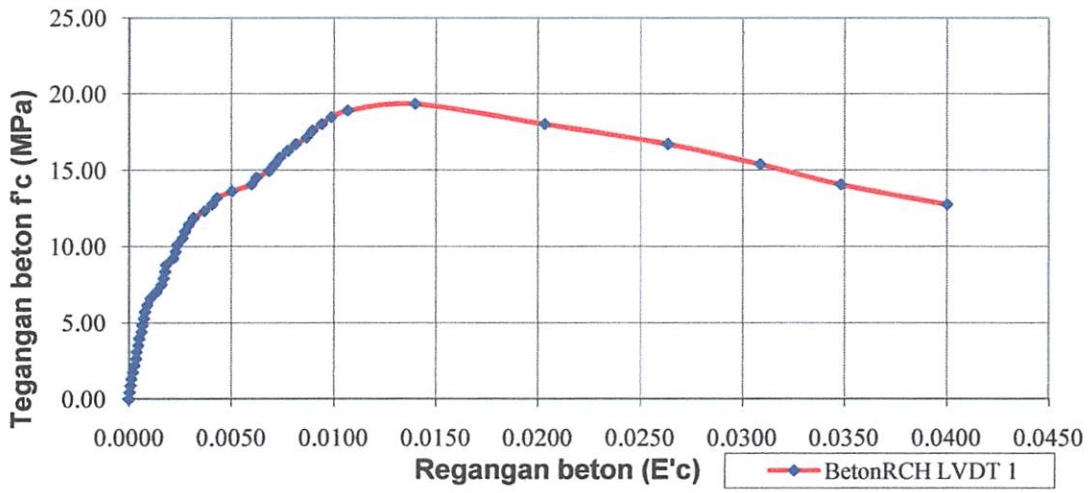
◆ RCFM Eksperimen

■ Teori Mander

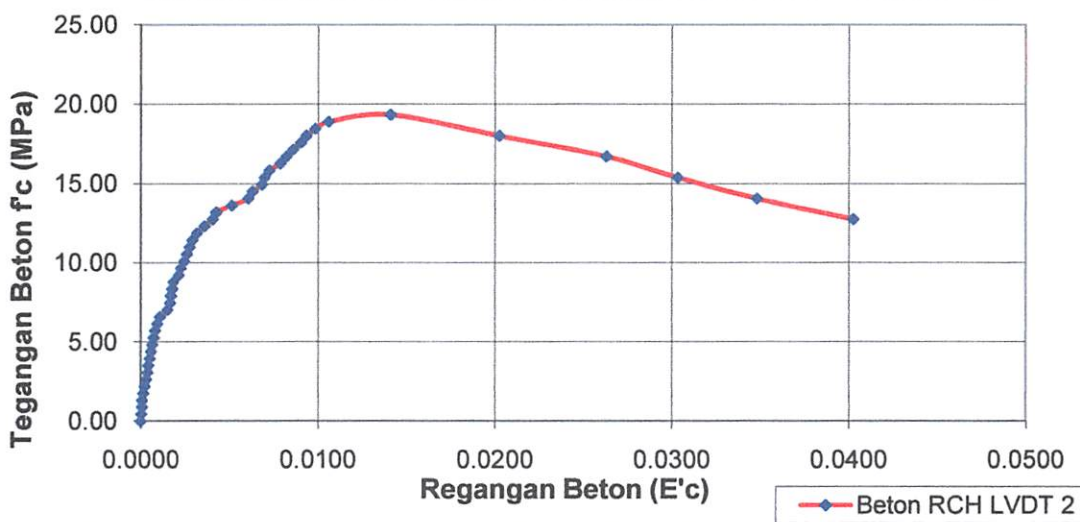
▲ Teori Noyan & Mander

● Teori Noyan

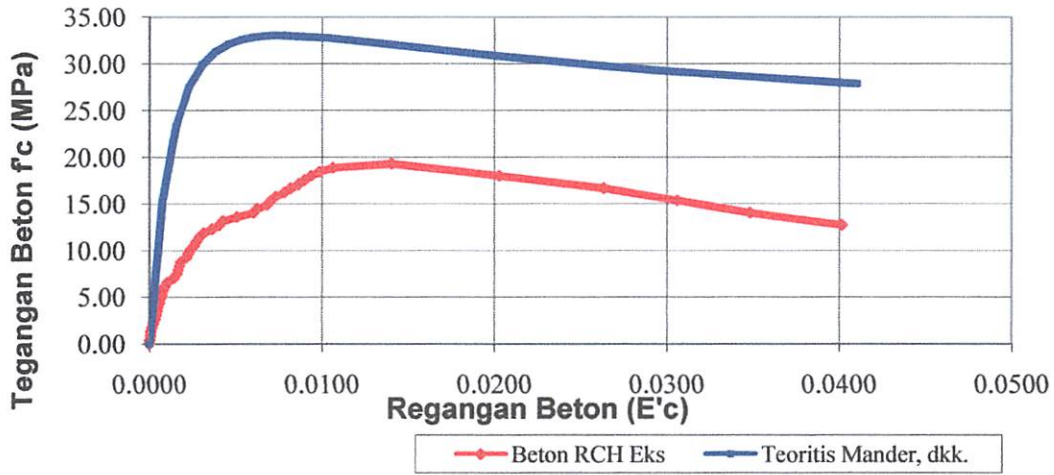
KURVA TEGANGAN-REGANGAN BETON KOLOM RCH LVDT 1



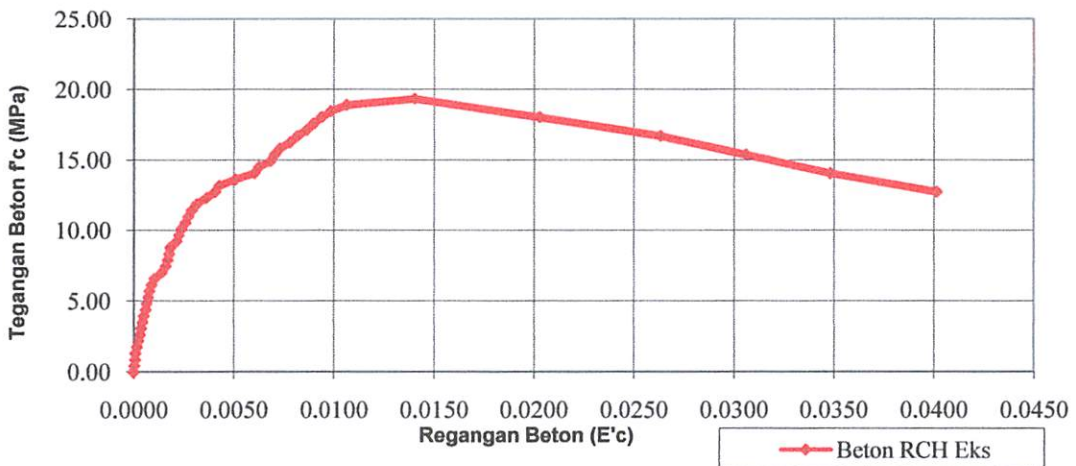
KURVA TEGANGAN-REGANGAN BETON KOLOM RCH LVDT 2



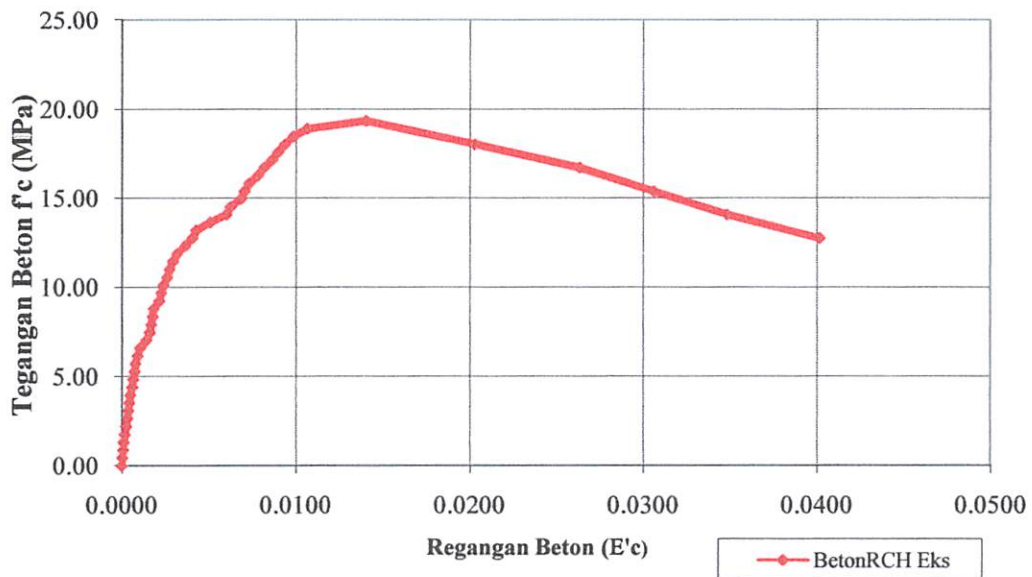
Kurva Tegangan Regangan Beton Kolom RCH Analisis Teoritis dan Eksperimen



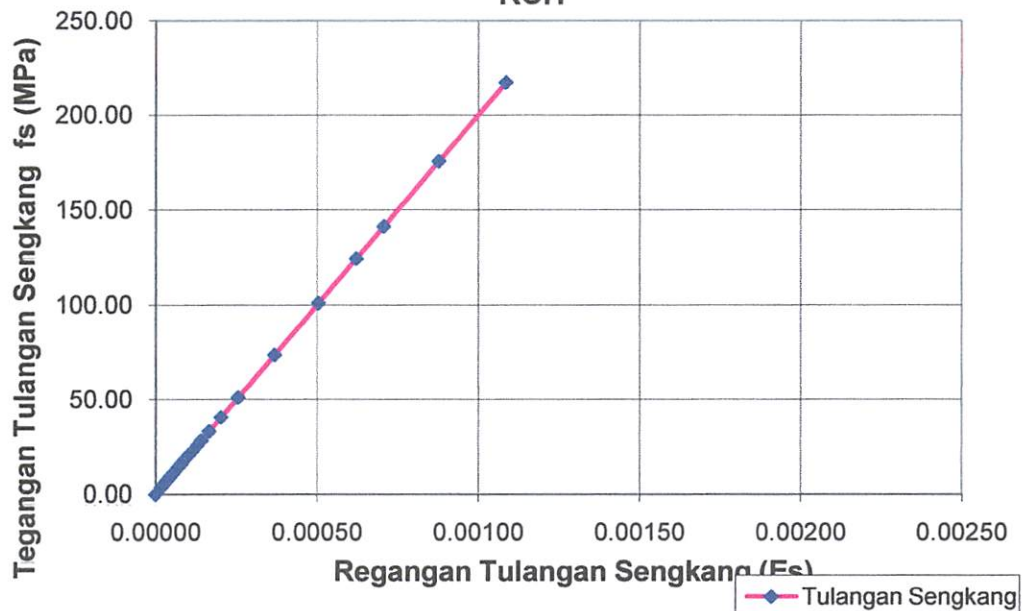
Kurva Tegangan Regangan Beton Kolom RCH Analisis Eksperimen



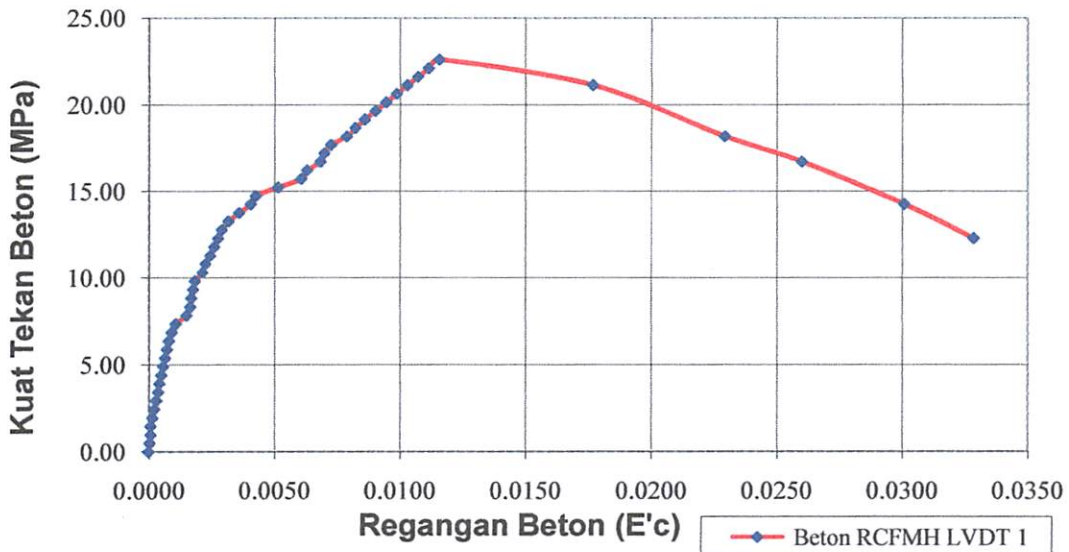
Kurva Tegangan Regangan Kolom RCH Eksperimen (Rata-rata)



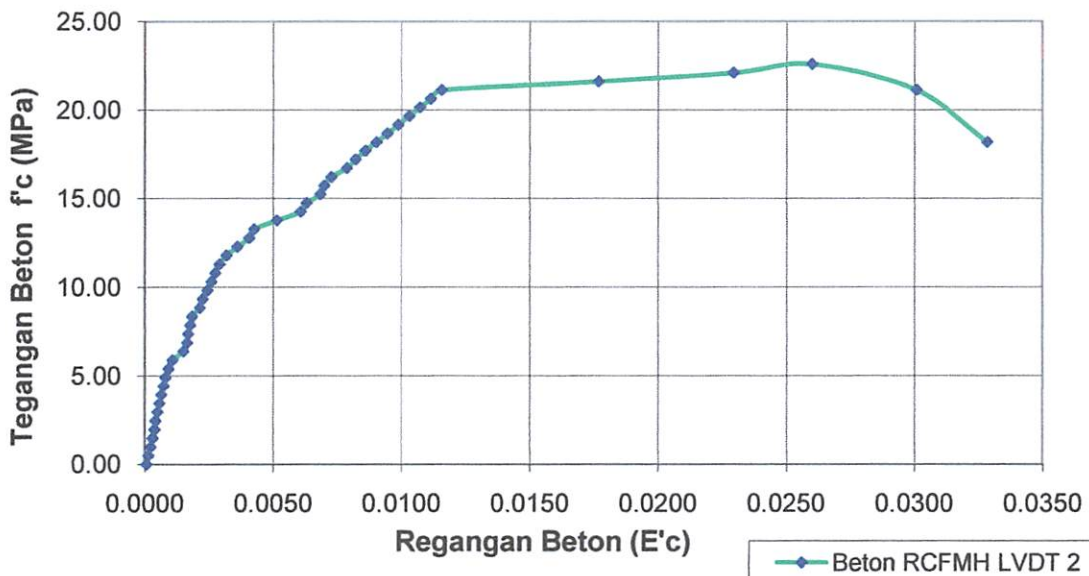
Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Sengkang Kolom RCH



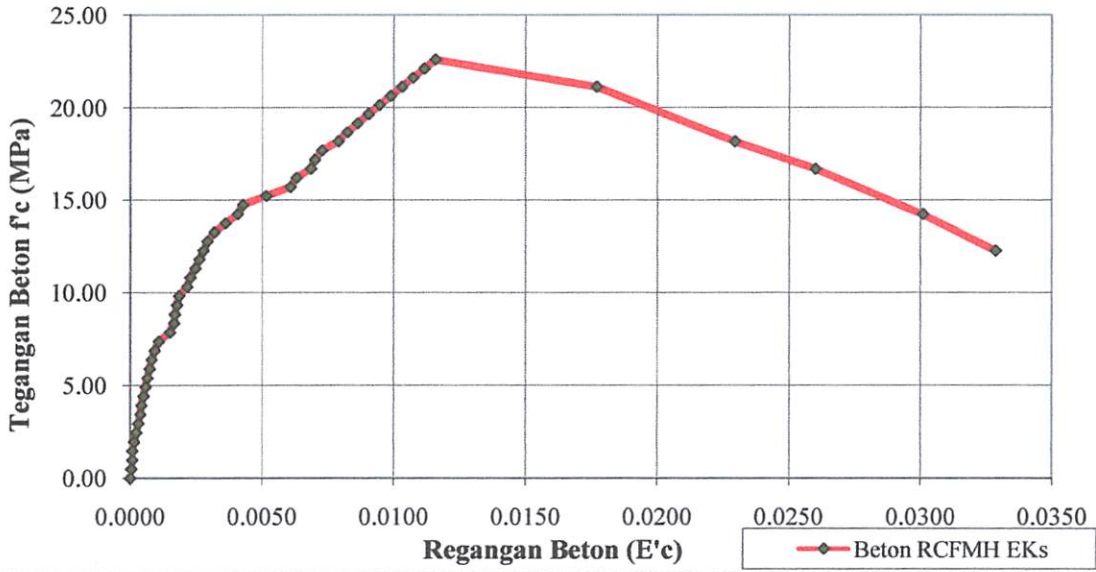
Kurva Tegangan-Regangan Beton Kolom RCFMH LVDT 1



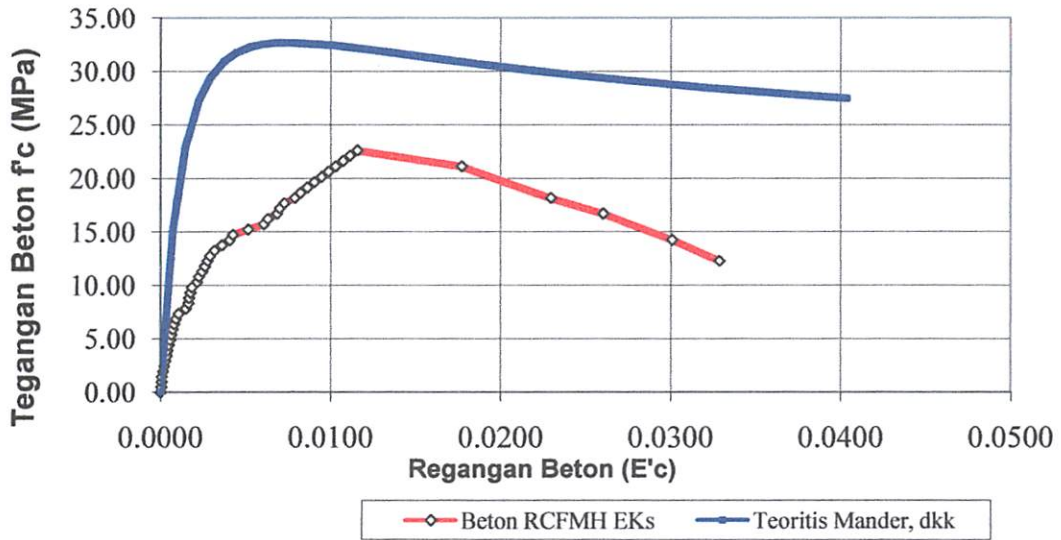
Kurva Tegangan - Regangan Beton Kolom RCFMH LVDT2



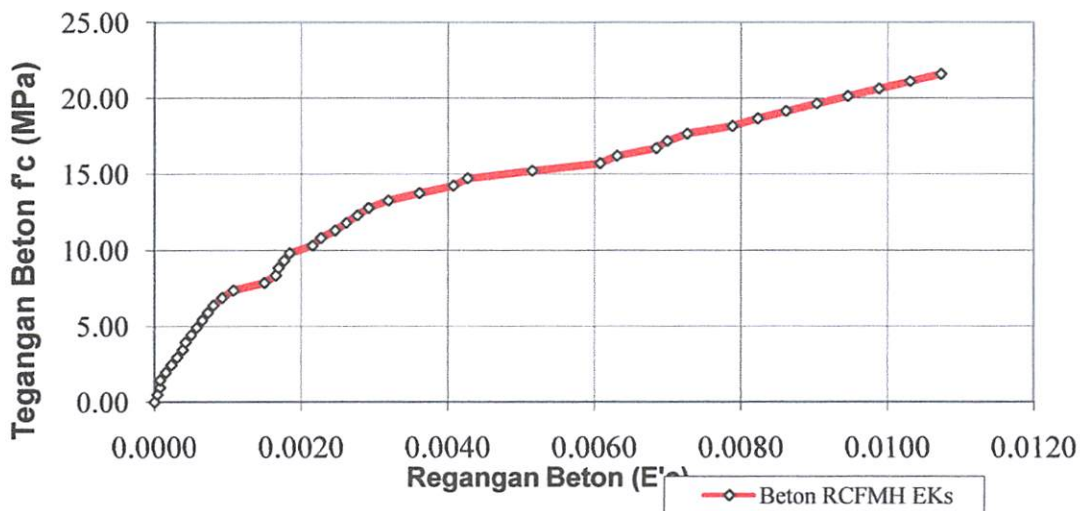
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH (Rata-rata)



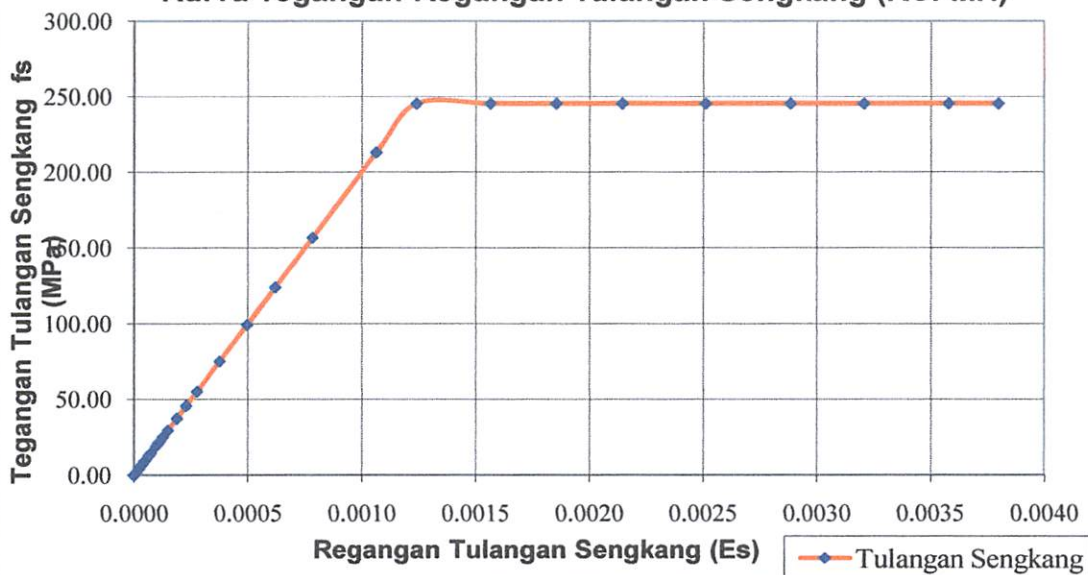
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH Analisa Teoritis dan Eksperimen



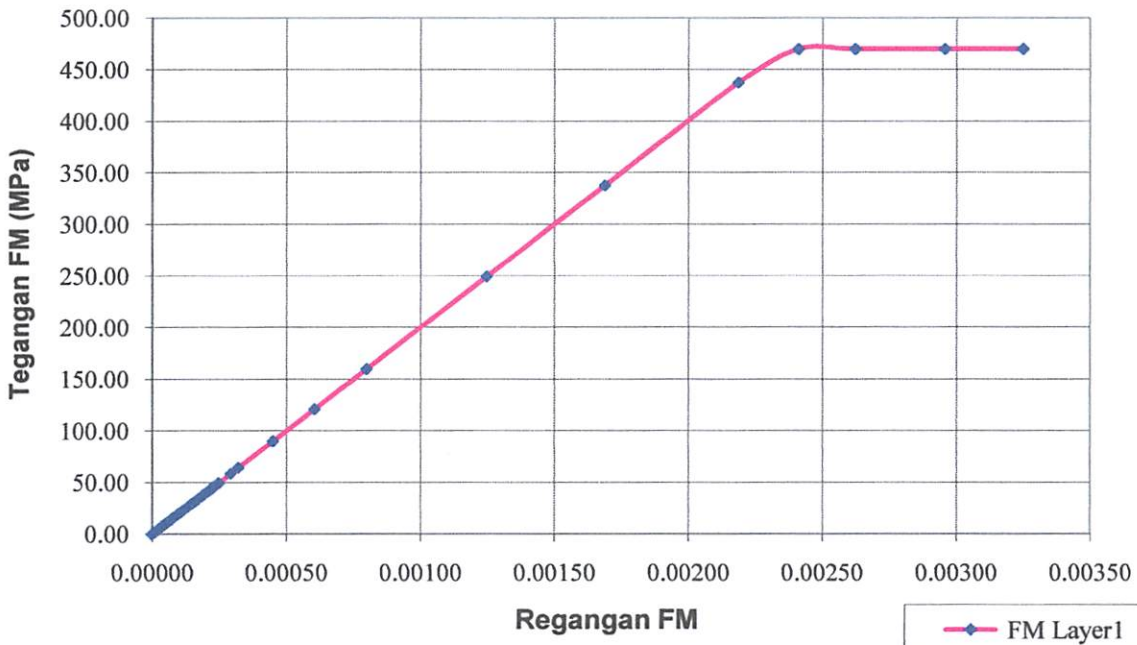
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH Analisis Eksperimen



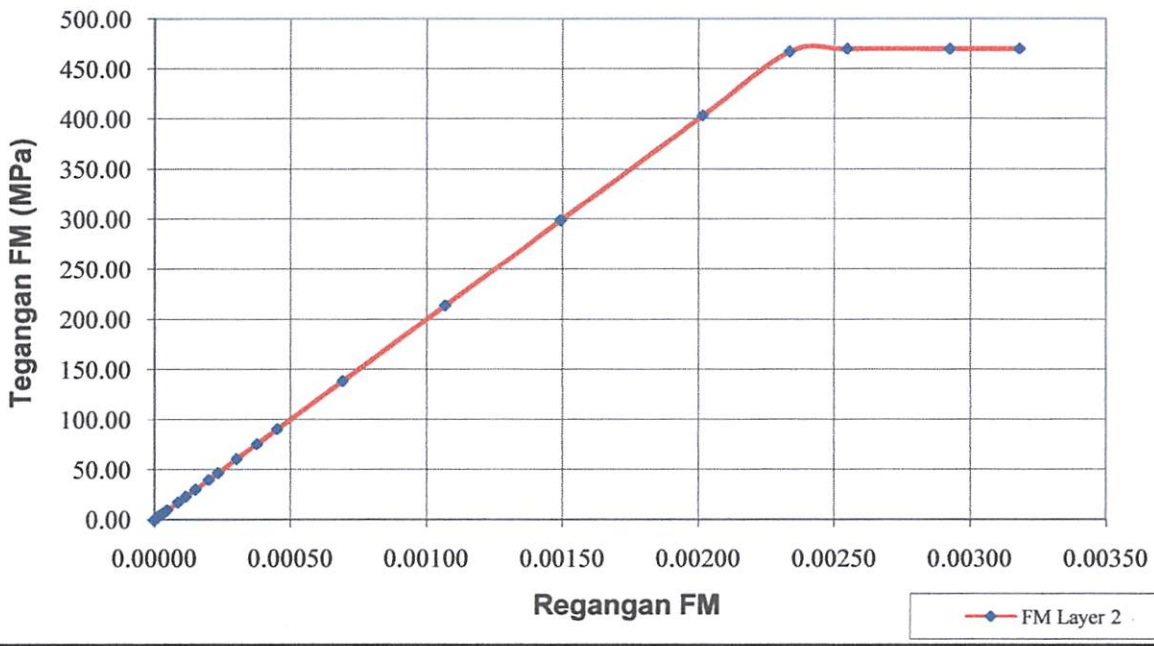
Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Sengkan (RCFMH)



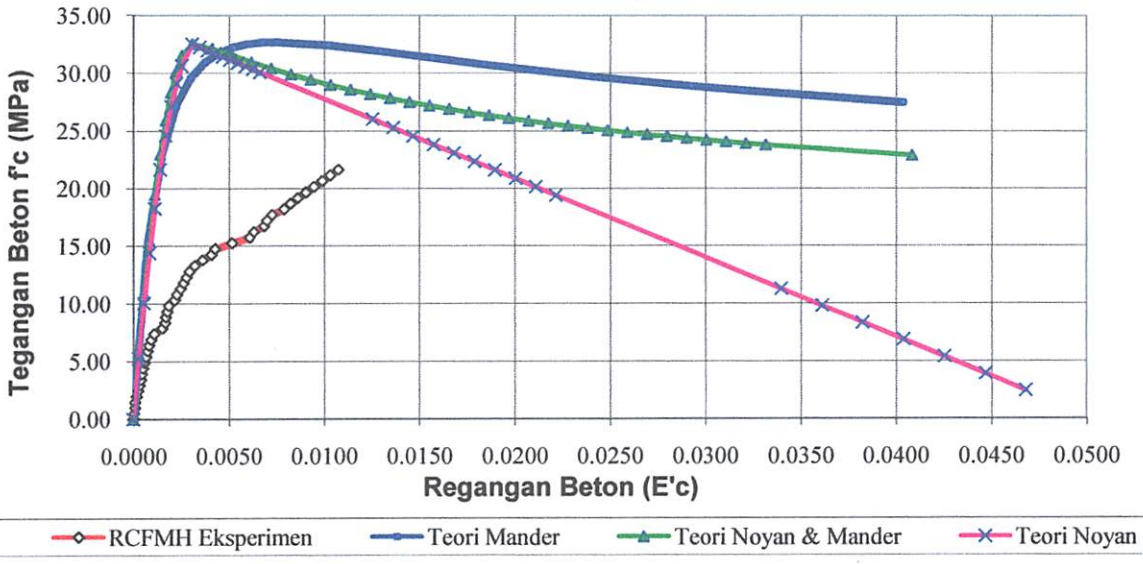
Kurva Tegangan-Regangan Fine Mesh Layer 1 (RCFMH)



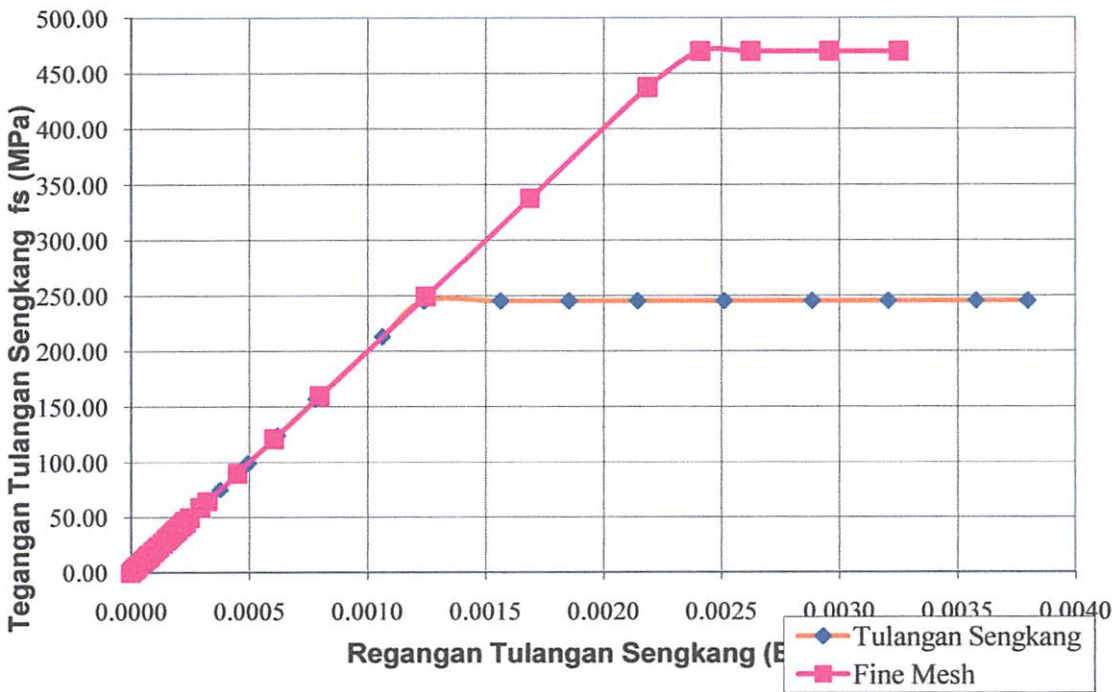
Kurva Tegangan-Regangan Fine Mesh Layer 2 (RCFMH)



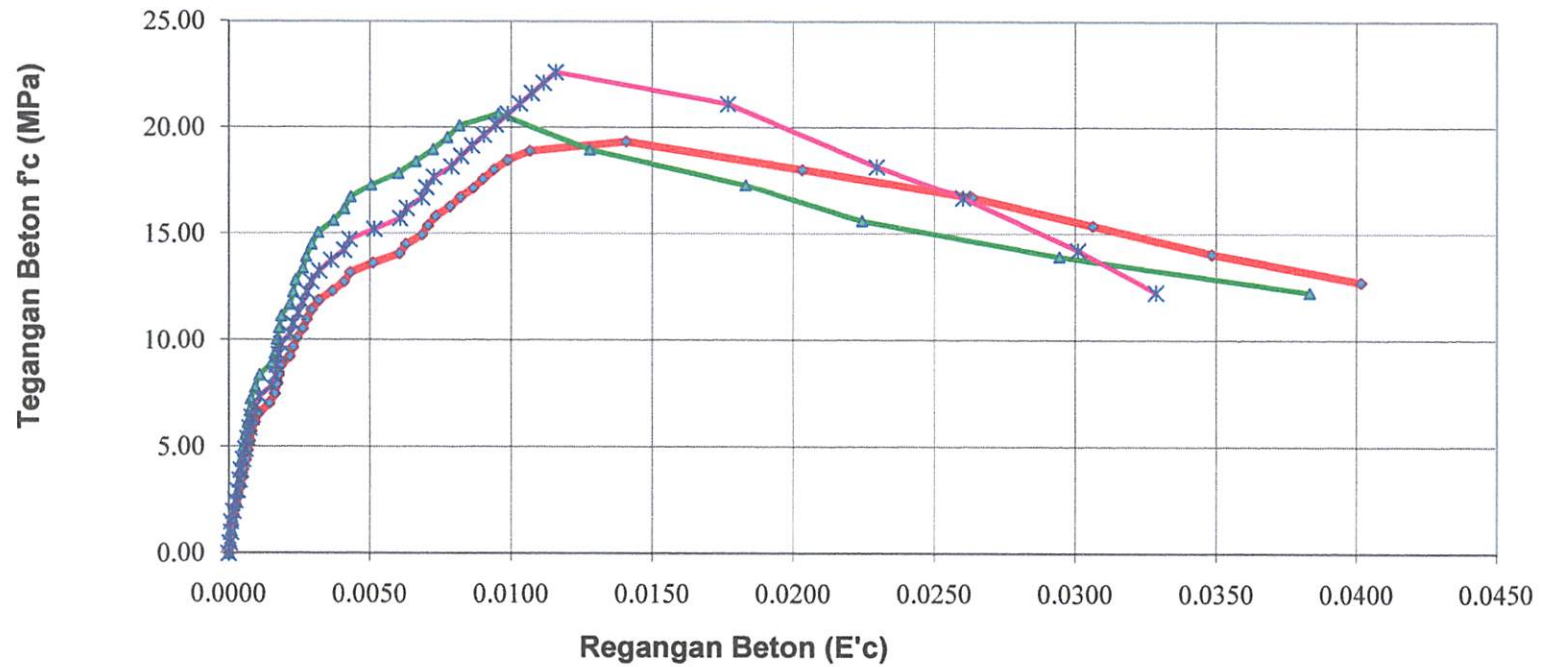
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH Analisa Teoritis dan Eksperimen



Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Sengkang BJTP dan Fine Mesh



Kurva Tegangan Regangan Beton Kolom Data Hasil Eksperimen Gabungan

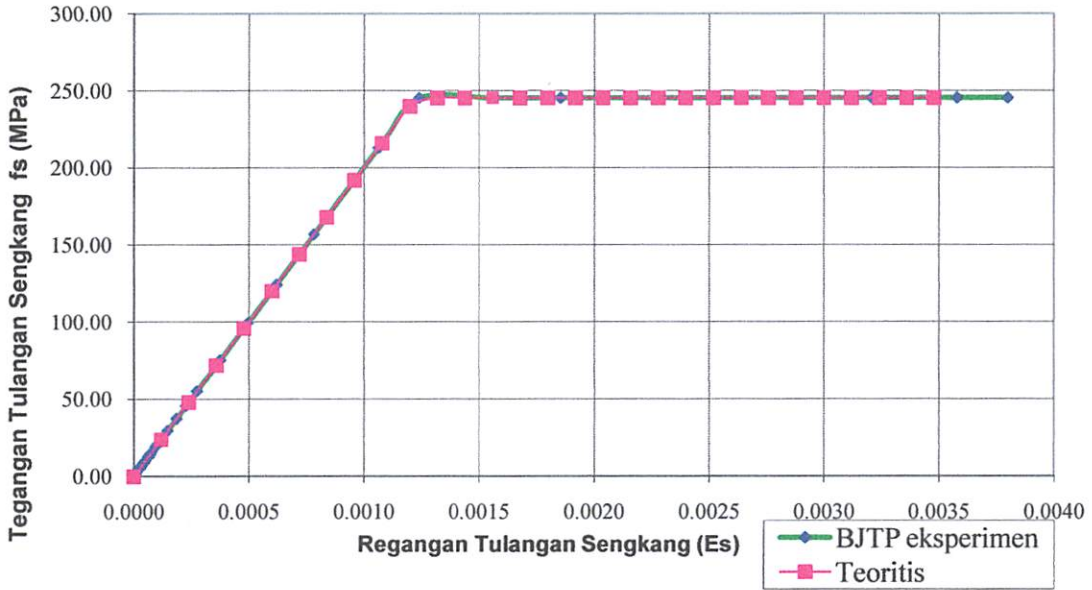


—◆— RCH Eksperimen

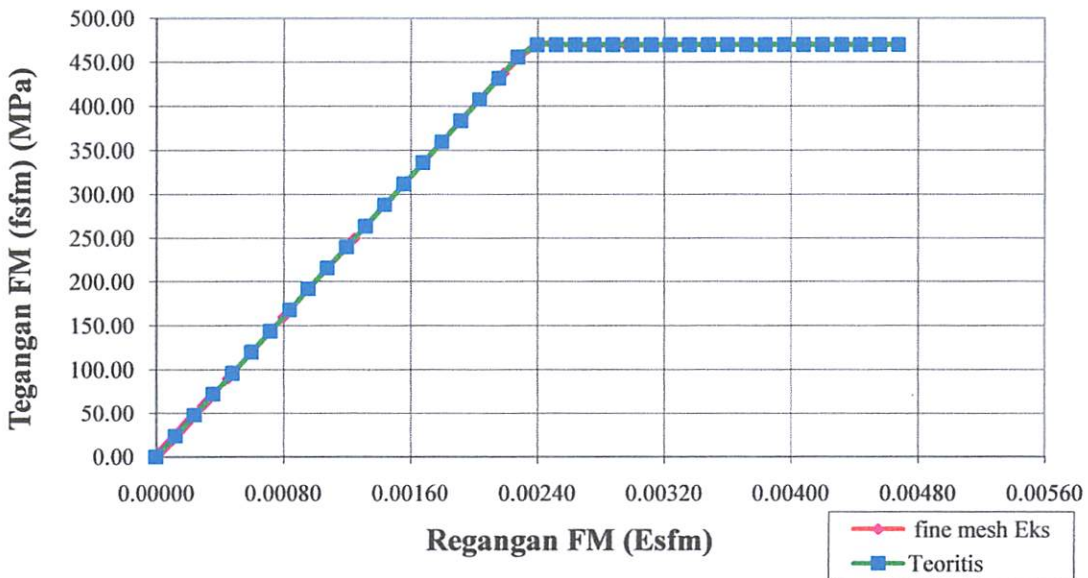
—▲— RCFM

—*— RCFMH

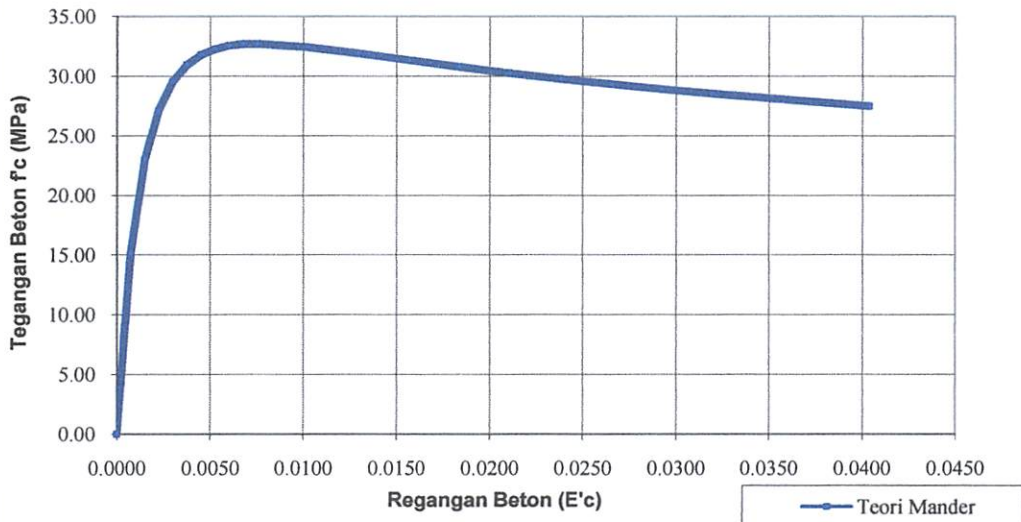
Kurva Tegangan-Regangan Gabungan Tulangan Sengkang BJTP Teoritis dan Eksperimental



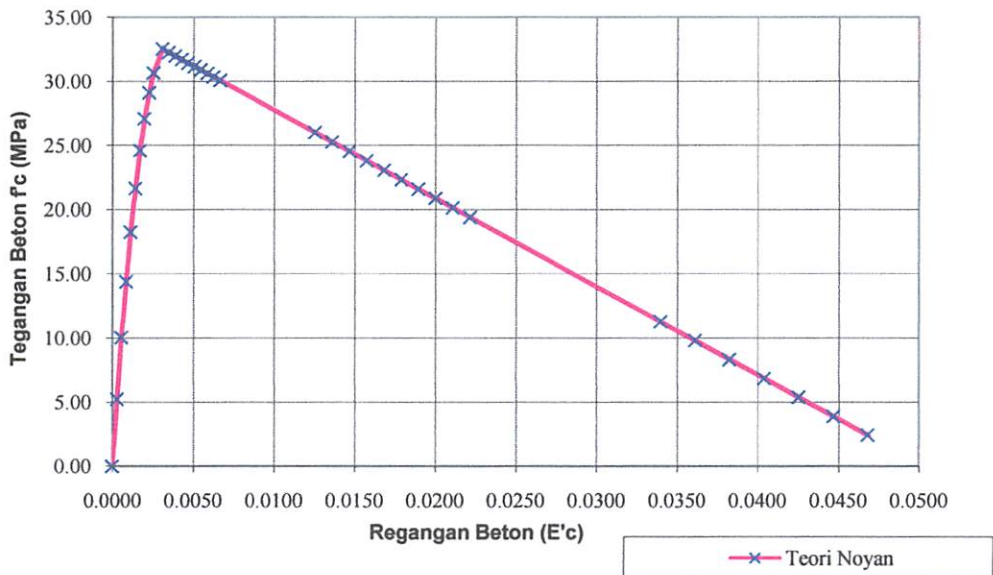
Kurva Tegangan-Regangan Gabungan Fine Mesh Teoritis dan Eksperimental



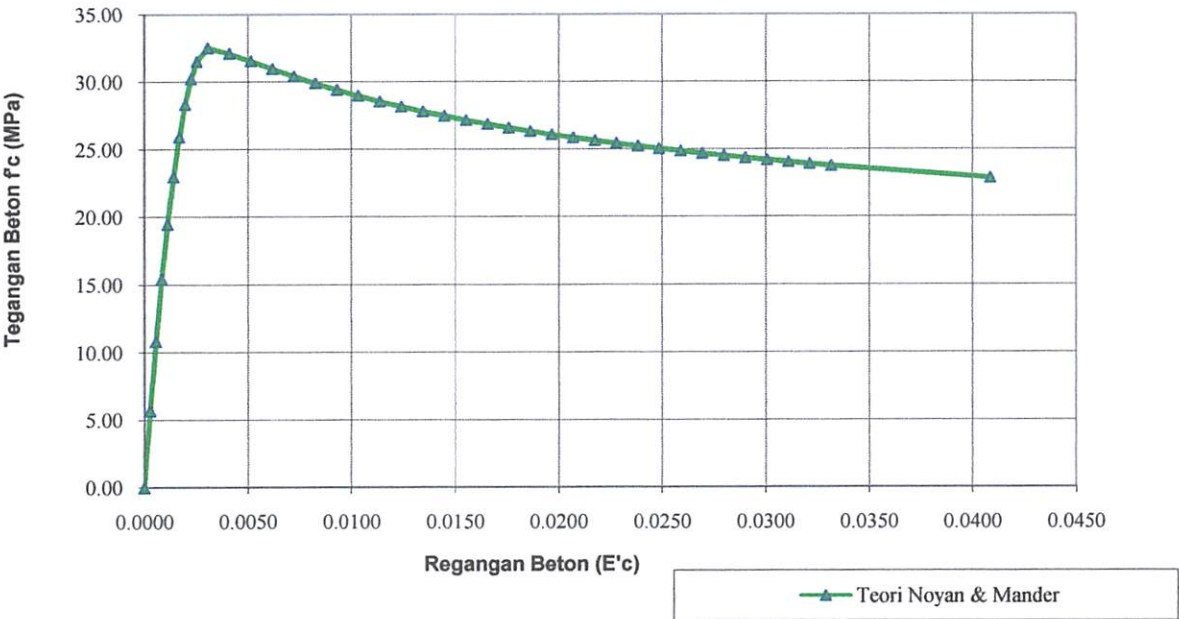
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH Analisa Teoritis dan Eksperimental



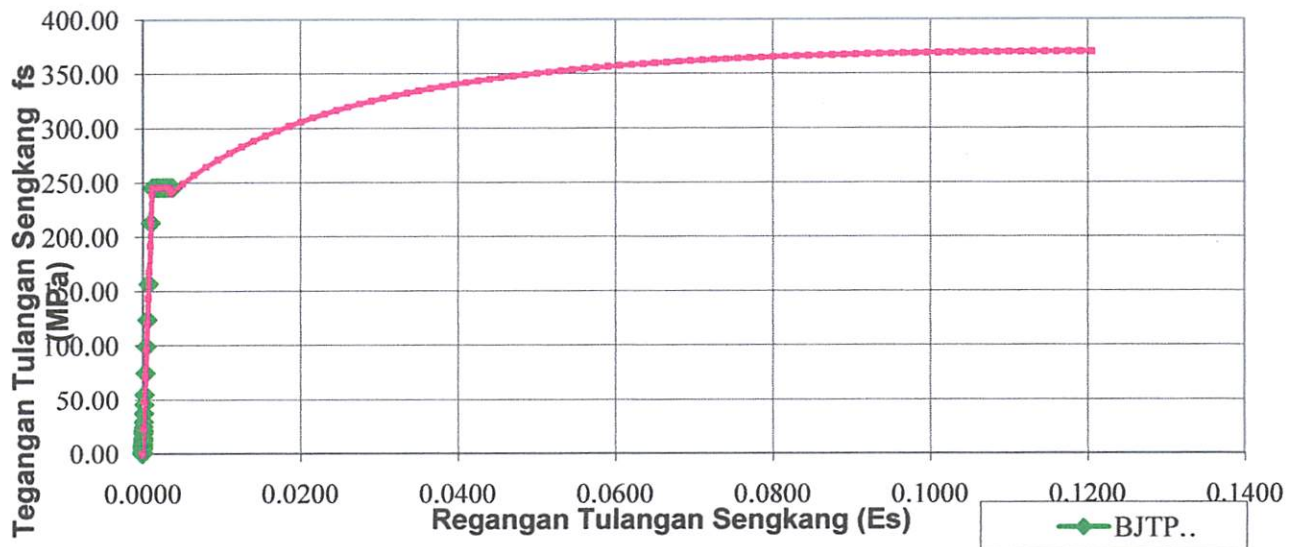
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH Analisa Teoritis dan Eksperimental



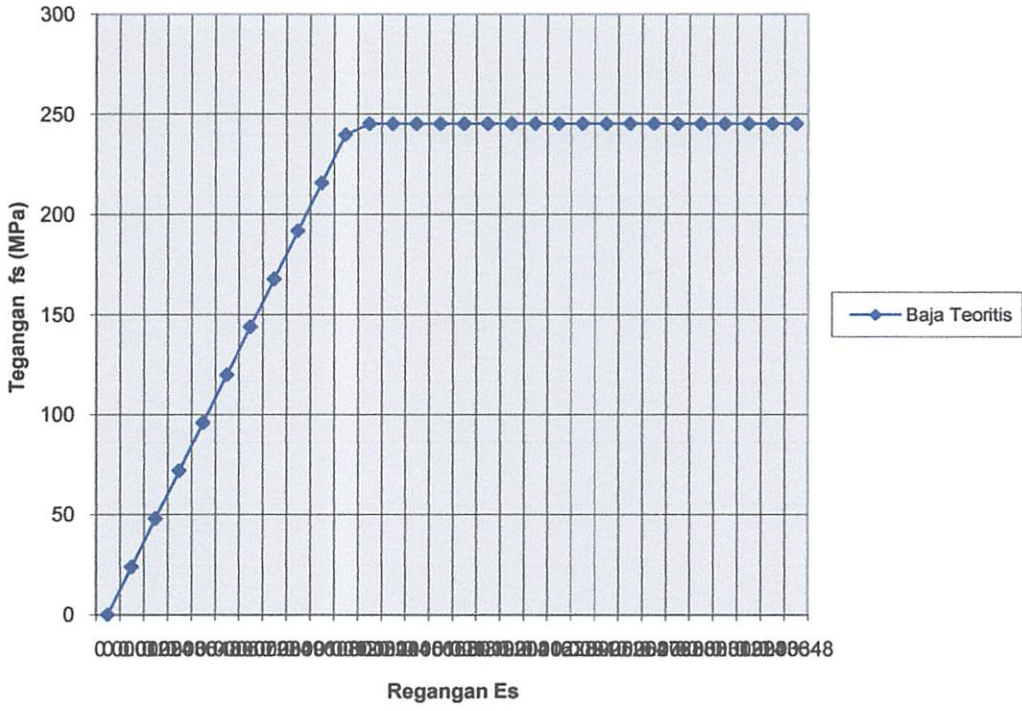
Kurva Tegangan-Regangan Kolom Beton RCFMH Analisa Teoritis dan Eksperimental



Kurva Tegangan-Regangan Gabungan Tulangan Sengkok BJTP Teoritis dan Eksperimental



Baja Teoritis



LAMPIRAN
PERANCANGAN CAMPURAN BETON

No	Uraian	Tabel, Perhitungan, Peraturan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	20 N/mm ² pada umur 28 hari Bagian Cacat 10%
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)	$f_{cr} = f_c + 1,34 \times s$ $f_{cr} = 20 + 1,34 \times 4 = 25.36 \text{ N/mm}^2$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$ $f_{cr} = 20 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 25.82 \text{ N/mm}^2$
5	Kekuatan tekan rata-rata yang dipakai	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	25.82 N/mm ²
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Grasik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19mm)
8	Jenis Agregat halus	Ditetapkan	Pasir lumajang
9	Faktor Air semen	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.4(a)	0,60
10	Nilai slump	MCP 211.1-91 Tabel A1.5.3.1	80 mm
11	Ukuran agregat maksimum	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	19 mm
12	Kadar air bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	184 kg/m ³
13	Kadar udara bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	2% per-m ³
14	Jumlah semen	(12) / (9) MCP pasal 6.3.5 step 5	$184/0,60 = 306.66 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton ITN	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton ITN	2600 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	2730 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	1490 kg/m ³
19	Jumlah presentasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.6	Didapat 0,62 atau 62%
20	Berat Jenis Beton	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.7.1	2275 kg/m ³
21	Jumlah Agregat Kasar	(18) x (19)	$0,62 \times 1490 = 923.8 \text{ kg}$
Sehingga didapat :			
22	Air	(12)	184 kg
23	Semen	(14)	306.66 kg
24	Agregat Kasar	(21)	923.8 kg
25	Total	(22) + (23) + (24)	1414.46 kg
26	Agregat Halus	(20) - (25)	$2275 - 1414.46 = 860.54 \text{ kg}$

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	$(21) / (17)$	$923.8/2730 = 0,33 \text{ m}^3$
30	Volume Udara	(13)	$2\% \times 1 = 0,020 \text{ m}^3$
31	Total Volume padat	$(27) + (28) + (29) + (30)$	$0,631 \text{ m}^3$
32	Volume padat dari pasir	$1 - (31)$	$1 - 0,698 = 0,369 \text{ m}^3$
33	Berat Agregat halus gradient	$(32) \times (16)$	$0,369 \times 2600 = 959.4 \text{ kg}$

Maka didapat Campuran Beton :

	Agregat	Berdasarkan Massa beton	Berdasarkan Gradient
34	Air	184 kg/m^3	184 kg/m^3
35	Semen	306.66 kg/m^3	306.66 kg/m^3
36	Agregat Kasar	923.8 kg/m^3	923.8 kg/m^3
	Agregat Halus	860.54 kg/m^3	860.54 kg/m^3

Referensi

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

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

2011

TEST REPORT

0186

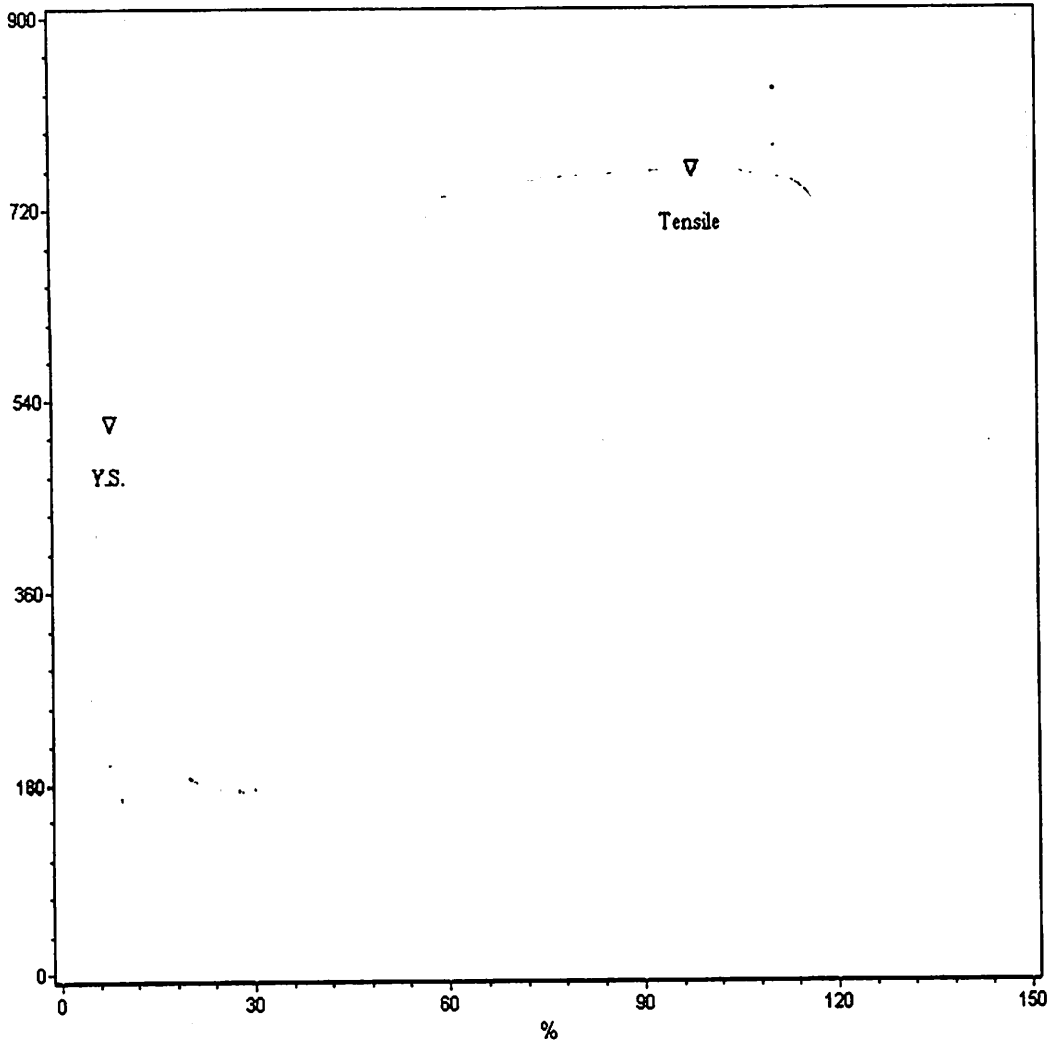
Test Description : tensile

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

0186-01



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

0185

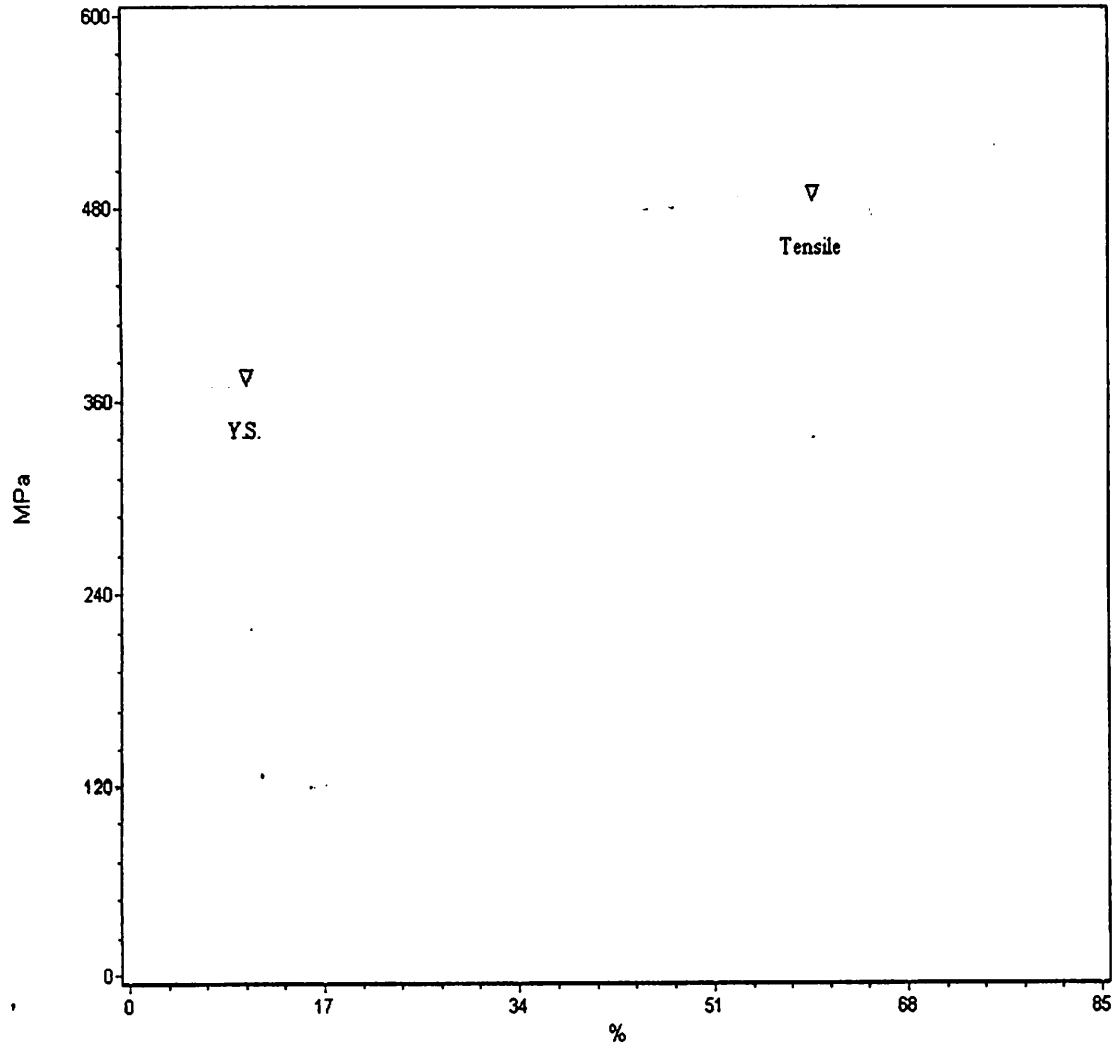
Test Description : tensile

Standard : ASTM 638

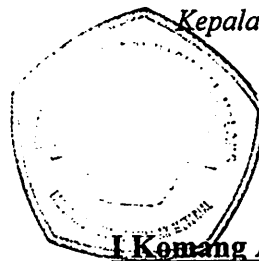
Test Date: 08/09/2011

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

0185-01



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

0183

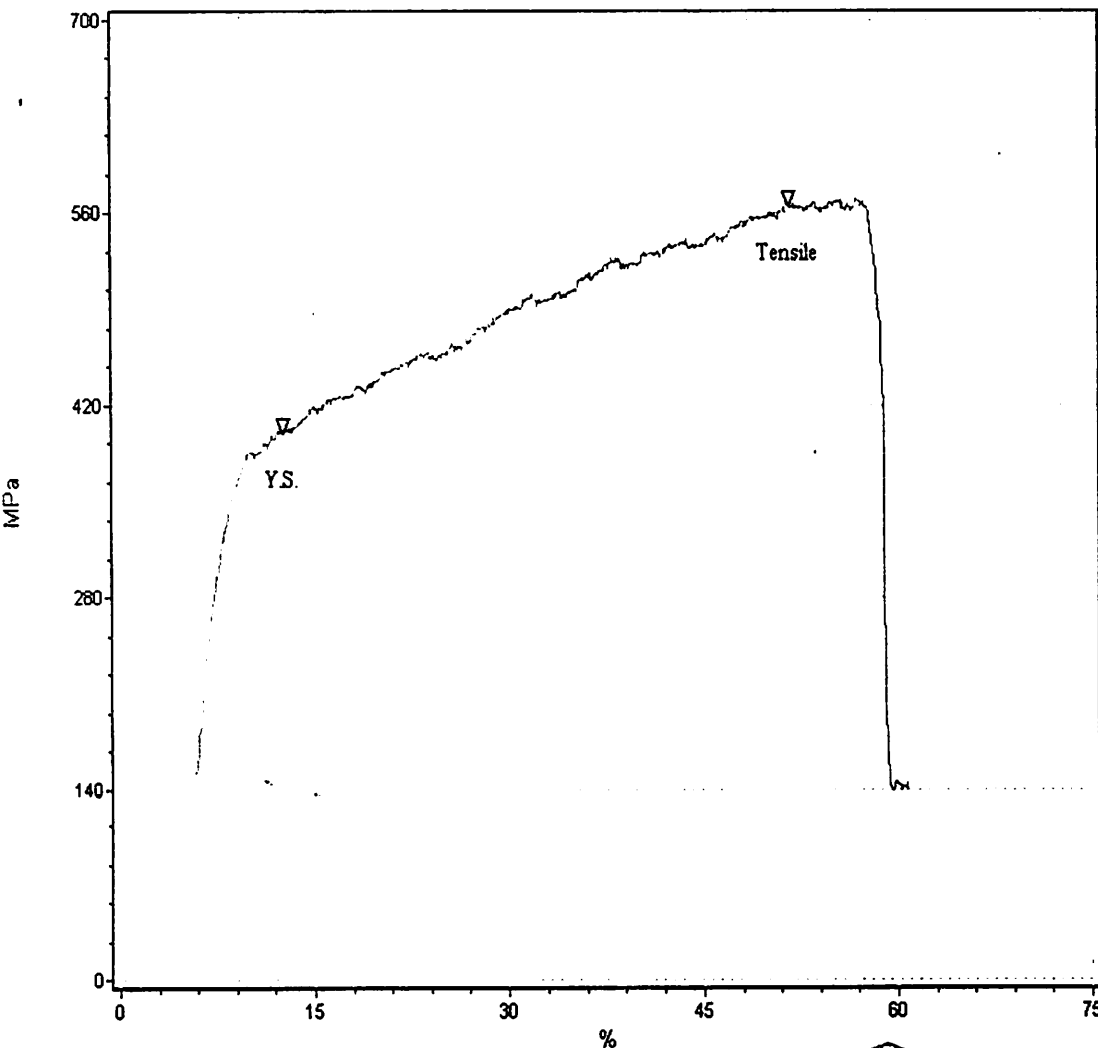
Test Description :tensile

Standard :ASTM 638

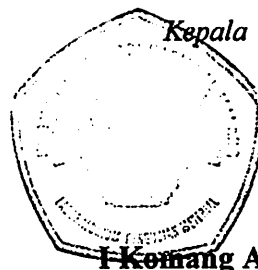
Test Date: 08/09/2011

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

0183-01



Kepala Laboratorium :



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

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

TEST REPORT

: '0184

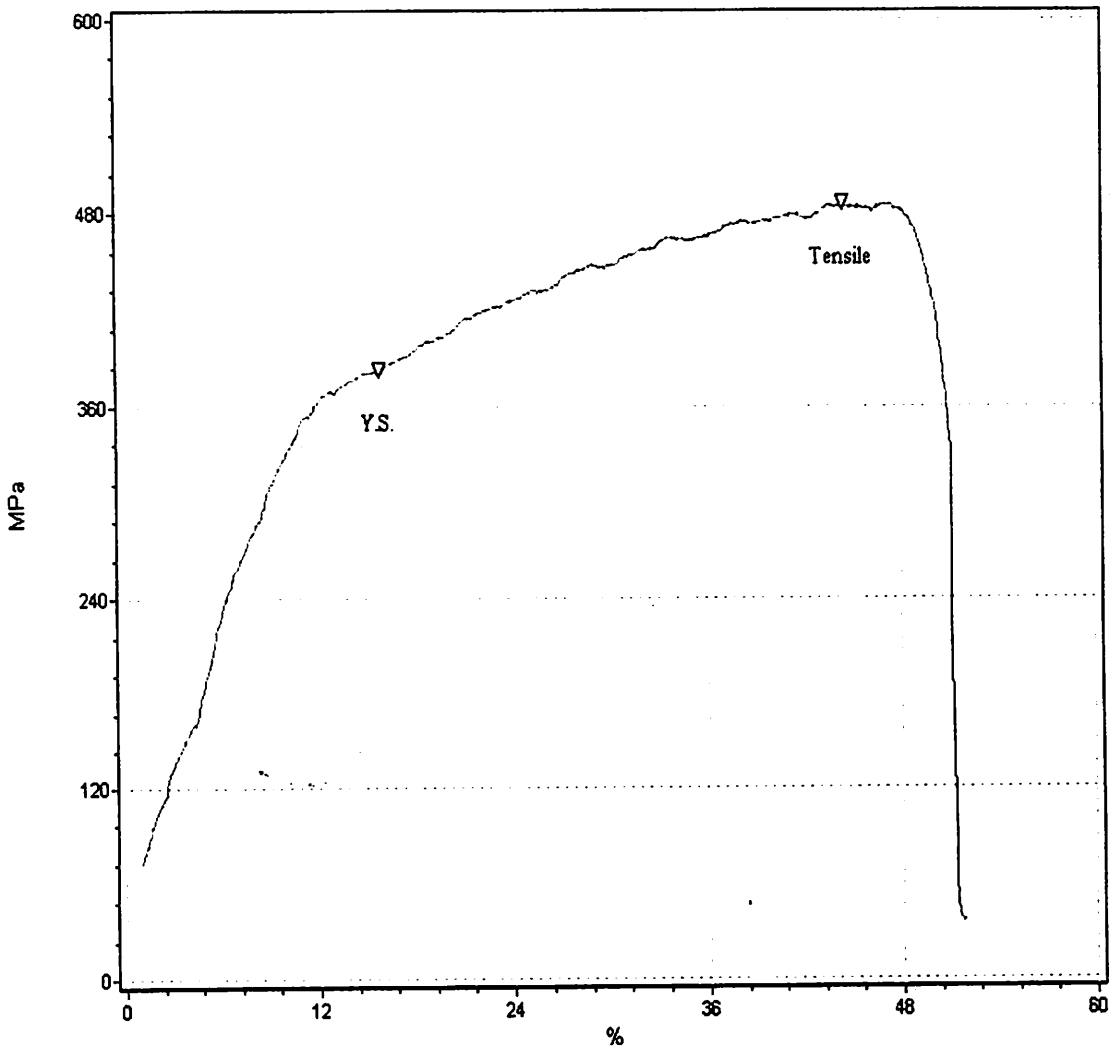
Test Description : tensile

Standard :ASTM 638

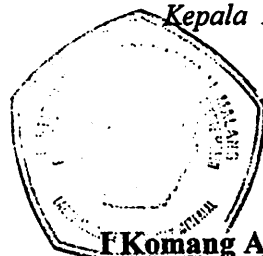
Test Date: 08/09/2011

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

0184-01



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

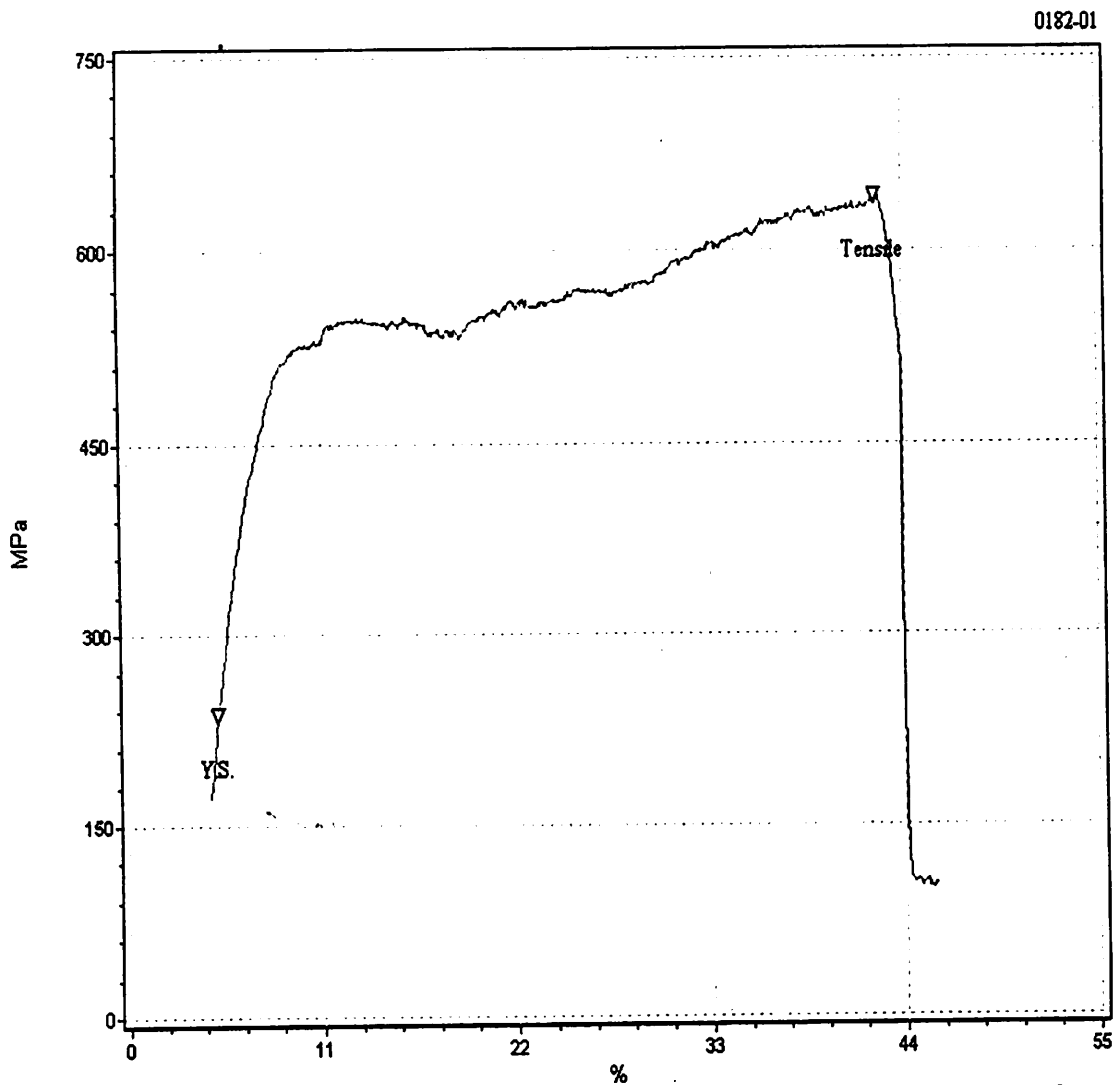
0182

Test Description : tensile

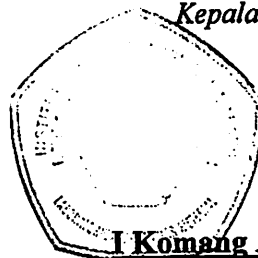
Standard : ASTM 638

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

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)	$f_{cr} = 20 + 1,34 \times 4 = 25.36 \text{ N/mm}^2$
5	Kekuatan tekan rata-rata yang dipakai	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$ $f_{cr} = 20 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 25.82 \text{ N/mm}^2$
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Grasik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19mm)
8	Jenis Agregat halus	Ditetapkan	Pasir lumajang
9	Faktor Air semen	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.4(a)	0,60
10	Nilai slump	MCP 211.1-91 Tabel A1.5.3.1	80 mm
11	Ukuran agregat maksimum	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	19 mm
12	Kadar air bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	184 kg/m ³
13	Kadar udara bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	2% per-m ³
14	Jumlah semen	(12) / (9) MCP pasal 6.3.5 step 5	$184/0,60 = 306.66 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton ITN	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton ITN	2600 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	2730 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	1490 kg/m ³
19	Jumlah presentasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.6	Didapat 0,62 atau 62%
20	Berat Jenis Beton	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.7.1	2275 kg/m ³
21	Jumlah Agregat Kasar	(18) x (19)	$0,62 \times 1490 = 923.8 \text{ kg}$
Sehingga didapat :			
22	Air	(12)	184 kg
23	Semen	(14)	306.66 kg
24	Agregat Kasar	(21)	923.8 kg
25	Total	(22) + (23) + (24)	1414.46 kg
26	Agregat Halus	(20) - (25)	$2275 - 1414.46 = 860.54 \text{ kg}$
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)	$923.8/2730 = 0,33 \text{ m}^3$
30	Volume Udara	(13)	$2\% \times 1 = 0,020 \text{ m}^3$
31	Total Volume padat	(27) + (28) + (29) + (30)	0,631 m ³
32	Volume padat dari pasir	1 - (31)	$1 - 0,698 = 0,369 \text{ m}^3$
33	Berat Agregat halus gradient	(32) x (16)	$0,369 \times 2600 = 959.4 \text{ kg}$

Maka didapat Campuran Beton :

	Agregat	Berdasarkan Massa beton	Berdasarkan Gradient
34	Air	184 kg/m ³	184 kg/m ³
35	Semen	306.66 kg/m ³	306.66 kg/m ³
36	Agregat Kasar	923.8 kg/m ³	923.8 kg/m ³
	Agregat Halus	860.54 kg/m ³	860.54 kg/m ³

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 Bagian Cacat 10%
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)	$f_{cr} = 20 + 1,34 \times 4 = 25.36 \text{ N/mm}^2$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$
			$f_{cr} = 20 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 25.82 \text{ N/mm}^2$
5	Kekuatan tekan rata-rata yang dipakai	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	25.82 N/mm ²
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Grasik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19mm)
8	Jenis Agregat halus	Ditetapkan	Pasir lumajang
9	Faktor Air semen	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.4(a)	0,60
10	Nilai slump	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.1	80 mm
11	Ukuran agregat maksimum	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	19 mm
12	Kadar air bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	184 kg/m ³
13	Kadar udara bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	2% per-m ³
14	Jumlah semen	(12) / (9) MCP pasal 6.3.5 step 5	$184/0,60 = 306.66 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton ITN	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton ITN	2730 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	2600 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	1490 kg/m ³
19	Jumlah presentasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.6	Didapat 0,64 atau 64%
20	Berat Jenis Beton	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.7.1	2275 kg/m ³
21	Jumlah Agregat Kasar	(18) x (19)	$0,64 \times 1490 = 953.6 \text{ kg}$
Sehingga didapat :			
22	Air	(12)	184 kg
23	Semen	(14)	306.66 kg
24	Agregat Kasar	(21)	953.6 kg
25	Total	(22) + (23) + (24)	1444.26 kg
26	Agregat Halus	(20) - (25)	$2275 - 1444.26 = 830.74 \text{ kg}$
Volume padat mutlak dengan jumlah Air, Semen dan Agregat Kasar :			
27	Volume Air	(12) / 1000	$184/1000 = 0,184 \text{ m}^3$
28	Volume Semen	(23) / (15)	$306.66/3150 = 0,097 \text{ m}^3$
29	Volume Agregat Kasar	(21) / (17)	$953.6/2600 = 0,36 \text{ m}^3$
30	Volume Udara	(13)	$2\% \times 1 = 0,020 \text{ m}^3$
31	Total Volume padat	(27) + (28) + (29) + (30)	0,661 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 Campuran Beton :			

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

LAMPIRAN 3
ANALISA EKPERIMENTAL SLINDER BETON

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

Tabel 4 Faktor modifikasi untuk deviasi standar jika jumlah pengujian kurang dari 30 contoh

Jumlah pengujian	Faktor modifikasi untuk deviasi standar
Kurang dari 15 contoh	Gunakan Tabel 5
15 contoh	1,16
20 contoh	1,08
25 contoh	1,03
30 contoh atau lebih	1,00
CATATAN: Interpolasi untuk jumlah pengujian yang berada di antara nilai-nilai di atas	

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34s \quad (1)$$

atau

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33s - 3,5 \quad (2)$$

(2) Bila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji lapangan untuk perhitungan deviasi standar yang memenuhi ketentuan pada 7.3(1(1)) atau 7.3(1(2)), maka kuat rata-rata perlu f'_{cr} harus ditetapkan berdasarkan Tabel 5 dan pencatatan data kuat rata-rata harus sesuai dengan persyaratan pada 7.3(3).

Tabel 5 Kuat tekan rata-rata perlu jika data tidak tersedia untuk menetapkan deviasi standar

Persyaratan kuat tekan, f'_c MPa	Kuat tekan rata-rata perlu, f'_{cr} MPa
Kurang dari 21	$f'_c + 7,0$
21 sampai dengan 35	$f'_c + 8,5$
Lebih dari 35	$f'_c + 10,0$

3) Pencatatan data kuat rata-rata

Catatan proporsi campuran beton yang diusulkan untuk menghasilkan kuat tekan rata-rata yang sama atau lebih besar daripada kuat tekan rata-rata perlu (lihat 7.3(2)) harus terdiri dari satu catatan hasil uji lapangan, beberapa catatan hasil uji kuat tekan, atau hasil uji campuran percobaan.

ACI COMMITTEE REPORT

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								
to 50	207	199	180	179	166	154	130	113
to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
to 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
to 100	202	193	184	175	165	157	133	119
to 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Recommended average total air content, percent for level of exposure:								
moderate exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***††	1.0***††
severe 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 the limits of accepted specifications. Rounded coarse aggregate will generally require 18 kg less water for non-air-entrained and 15 kg less for air-entrained concretes. The use of admixtures, including 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 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 naturally 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, 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. Care 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 75 mm 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 offset the water-cement ratio and to thus compensate for the strength reducing effect of entrained air in 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 accordance with 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 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

The re-estimated average strengths for concrete containing not more than 2 percent total air content 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 the same if the air content is increased.

The test results are 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" of the "Standard Test Method for Making and Testing of Concrete Specimens in the Field." These are cylinders cured moist at 23 ± 0.5 C to testing.

The relationship in this Table assumes a nominal maximum aggregate size of about 19 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 Tables A1.5.3.1, A1.5.3.2, A1.5.3.3, A1.5.3.4 and 5.3.2.

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

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

*Based on ACI 201.2R.

†Concrete should also be air-entrained.

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

APPENDIX 1 – METRIC (SI) SYSTEM ADAPTATION

1 Procedures outlined in this standard practice have presented using inch-pound units of measurement. The les are equally applicable in SI system with proper ion of units. This Appendix provides all of the tion necessary to apply the proportioning procedure I measurements. Table A1.1 gives relevant conversion 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
Pressure	pounds per square inch (psi)	megapascal (MPa)	6.895 x 10 ⁻¹
	pounds per cubic foot (lb/ft ³)	kilograms per cubic meter (kg/m ³)	16.02
Density	pounds per cubic yard (lb/yd ³)	kilograms per cubic meter (kg/m ³)	0.5933
	degrees Fahrenheit (F)	degrees Celsius (C)	‡

*Names (and abbreviations) of measurement units in the inch-pound used in the body of this report and in the SI (metric) system, along with ‡ for converting the former to the latter. From ASTM E 380. †The International d'Units (F - 32) / 1.8

For convenience of reference, numbering of ent paragraphs in this Appendix corresponds to the ' the report except that the designation "A1" is . All tables have been converted and reproduced. ive portions are included only where use of the SI requires a change in procedure or formula. To the racticable, conversions to metric units have been such a way that values are realistic in terms of usual and significance of numbers. For example, aggregate e sixes in the metric tables are ones commonly used e. Thus, there is not always a precise mathematical ndence between inch-pound and SI values in nding tables.

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

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

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

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

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

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

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

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

A1.5.3.5 Step 5. Calculation of cement content.

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

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

$$U_M = \frac{10G_a(100 - A) + C_M(1 - G_a/G_c) - W_M(G_a - 1)}{W_M(G_a - 1)}$$

where

U_M = unit mass of fresh concrete, kg/m³

G_a = 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

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

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

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

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

mentitious material would be $270 \div 0.64 = 422$ lb. weight 20 percent ($F_v = 0.20$) would be fly ash; $20 \times 422 = 84$ lb of fly ash and $422 - 84 = 338$ lb of

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

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

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

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

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

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

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

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

Table 6.3.6 -- Volume of coarse aggregate per unit 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

*Values are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29. These values are selected from empirical relationships to produce concrete of 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.

⁺Use ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Table 6.3.7.1 -- First estimate of weight of fresh concrete

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

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

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 modulus of fine aggregate			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

*Volumes are based on aggregates in dry-rodded condition as described in ASTM 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. (A1.6.3.7) 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

2.1 Example 1 -- Example 1 presented in Section 6.2 is solved here using metric units of measure. Required concrete 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 Section 6.1, other properties of the ingredients are: cement Type I with specific gravity of 3.15; coarse aggregate — specific gravity 2.68 and absorption 0.5 percent; fine aggregate — bulk specific gravity 2.64, absorption 0.7 percent, fineness modulus 2.8.

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

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

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

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

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

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

A2.2.6 Step 6 -- The quantity of coarse aggregate is determined from Table A1.5.3.6. For a fine aggregate having a fineness modulus of 2.8 and a 37.5 mm nominal maximum size of coarse aggregate, the table indicates that 0.71 m³ of aggregate, on a dry-rodded basis, may be used in each cubic meter of concrete. The required dry mass is, therefore, 1600 × 0.71 = 1136 kg.

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

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

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

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

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

A2.2.7.2 Absolute volume basis -- With the quantities of cement, water, and coarse aggregate established, and the approximate entrapped air content (as opposed to purposely entrained air) of 1 percent determined from Table A1.5.3.5, 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



**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 :

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

Pekerjaan :

Permintaan :

BERAT ISI AGREGAT KASAR BATU PECAH

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



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

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

Pekerjaan : 0
0
Permintaan :

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	498.50	497.90	498.20
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	500.00	500.00	500.00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	666.00	677.00	671.50
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	Bt	982.60	994.00	988.30
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{(B + Bj - Bt)}$	2.72	2.72	2.72
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{(B + Bj - Bt)}$	2.73	2.73	2.73
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(B + Bk - B)}$	2.74	2.75	2.75
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \%$	0.30	0.42	0.36



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
Permintaan : 0

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	4884	4891.1	4887.55
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	Ba	3080.5	3069	3074.75
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.54	2.53	2.54
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.60	2.59	2.60
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.71	2.68	2.70
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.38	2.23	2.30

9.9 Sambungan

- 1) Pada pertemuan dari komponen-komponen rangka utama (misalnya pertemuan balok dan kolom), sambungan lewatan tulangan yang menerus dan pengangkuran tulangan yang berakhir pada pertemuan itu harus dilindungi dengan sengkang pengikat yang baik.
- 2) Sengkang pengikat pada pertemuan tersebut di atas, dapat berupa beton eksternal atau sengkang pengikat tertutup internal, spiral atau sengkang.

9.10 Tulangan lateral pada komponen struktur tekan

- 1) Tulangan lateral pada komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan pada 9.10(4) dan 9.10(5), dan pada tempat dimana dibutuhkan tulangan geser atau torsi juga harus memenuhi ketentuan pasal 13.
- 2) Ketentuan untuk tulangan lateral pada komponen struktur tekan komposit harus memenuhi 12.16. Ketentuan mengenai tulangan lateral pada komponen struktur prategang harus memenuhi 20.11.
- 3) Ketentuan tulangan lateral pada 9.10, 12.16, dan 20.11 boleh tidak diikuti, jika hasil pengujian dan analisis struktur menunjukkan bahwa sistem memiliki kekuatan yang cukup dan konstruksinya dapat dilaksanakan.
- 4) Spiral.
Tulangan spiral pada komponen struktur tekan harus memenuhi 12.9(3) dan ketentuan berikut:
 - (1) Spiral harus terdiri dari batang tulangan yang menerus atau kawat dengan ukuran yang sedemikian dan dipasang dengan spasi yang sama sehingga dapat diangkat dan diletakkan tanpa menimbulkan penyimpangan dari ukuran yang telah direncanakan.
 - (2) Untuk konstruksi yang dicor di tempat, ukuran diameter batang spiral tidak boleh kurang dari 10 mm.
 - (3) Jarak bersih antar tulangan spiral tidak boleh melebihi 75 mm dan juga tidak kurang dari 25 mm.
 - (4) Penjangkaran tulangan atau kawat spiral harus disediakan dengan memberikan $1\frac{1}{2}$ lilitan ekstra pada tiap ujung dari unit spiral.
 - (5) Penyambungan spiral harus dilakukan dengan menggunakan salah satu dari beberapa metode di bawah ini:

a) Sambungan lewatan yang tidak kurang dari pada nilai terbesar dari 300 mm dan panjang yang dihasilkan dari salah satu ketentuan-ketentuan berikut ini:

Batang atau kawat ulir tanpa lapisan	48d_b
Batang atau kawat polos tanpa lapisan	72d_b
Batang atau kawat ulir berlapis	72d_b
Batang atau kawat polos tanpa lapisan dengan kait standar atau kait pengikat (yang sesuai dengan ketentuan 9.1(3)) pada ujung-ujung tulangan spiral yang disambung lewatan. Kait-kait tersebut harus tertanam di dalam inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral yang dimaksud	48d_b
Batang atau kawat ulir berlapis epoksi dengan sengkang atau sengkang ikat standar (yang sesuai 9.1(3)) pada ujung-ujung tulangan spiral yang disambung lewatan. Kait tersebut harus tertanam di dalam inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral yang dimaksud	48d_b

b) Sambungan mekanis dan las penuh yang sesuai dengan ketentuan 14.14(3).

(6) Tulangan spiral harus menerus mulai dari tepi atas fondasi telapak atau pelat pada setiap tingkat bangunan hingga ketinggian dari tulangan horizontal terendah dari komponen struktur yang ditumpu di atasnya.

(7) Dimana balok atau konsol pendek tidak merangka pada semua sisi kolom, sengkang ikat harus menerus mulai dari atas titik pengakhiran spiral hingga batas bawah pelat atau penebalan panel.

(8) Pada kolom dengan kepala kolom, tulangan spiral harus mencapai ketinggian dimana diameter atau lebar kepala kolom adalah dua kali diameter atau lebar kolom tersebut.

(9) Spiral harus diikat dengan baik di tempatnya, dan betul-betul terletak pada posisi rencananya dengan menggunakan pengatur jarak vertikal.

(10) Untuk batang tulangan atau kawat spiral yang diameternya kurang dari 16 mm, dibutuhkan minimum dua pengatur jarak untuk diameter lingkaran spiral kurang dari 500 mm, tiga pengatur jarak untuk diameter lingkaran spiral 500 sampai 800 mm, dan empat pengatur jarak untuk diameter lingkaran spiral lebih dari 800 mm.

5) Sengkang pengikat.

Penulangan sengkang pengikat untuk komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan berikut (Gambar 2):

(1) Semua batang tulangan non-prategang harus diikat dengan sengkang dan sengkang ikat lateral, paling sedikit ukuran D-10 untuk tulangan longitudinal lebih kecil dari D-32, dan paling tidak D-13 untuk tulangan D-36, D-44, D-56, dan bundel tulangan longitudinal.

23.4 Komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial pada SRPMK

1) Ruang lingkup

Persyaratan dalam pasal ini berlaku untuk komponen struktur pada SRPMK (a) yang memikul gaya akibat gempa, dan (b) yang menerima beban aksial terfaktor yang lebih besar daripada $A_g f'_c / 10$. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat berikut ini:

- (1) Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang, tidak kurang dari 300 mm.
- (2) Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

2) Kuat lentur minimum kolom

- 1) Kuat lentur setiap kolom yang dirancang untuk menerima beban aksial tekan terfaktor melebihi $A_g f'_c / 10$ harus memenuhi 23.4(2(2)) atau 23.4(2(3)).

Kekuatan dan kekakuan lateral kolom yang tidak memenuhi 23.4(2(2)) harus diabaikan dalam memperhitungkan kekuatan dan kekakuan struktur, tapi kolom tersebut harus memenuhi 23.9.

- (2) Kuat lentur kolom harus memenuhi persamaan 121

$$\Sigma M_e \geq (6/5) \Sigma M_g \quad (121)$$

ΣM_e adalah jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

ΣM_g adalah jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam keadaan tertarik pada muka kolom, tulangan pelat yang berada dalam daerah lebar efektif pelat sesuai dengan 10.10 harus diperhitungkan dalam menentukan kuat lentur nominal balok bila tulangan tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritis lentur.

Kuat lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen kolom berlawanan dengan momen balok. Persamaan 121 harus dipenuhi untuk kedua arah momen balok yang bekerja pada bidang rangka yang ditinjau.

(3) Jika 23.4(2(2)) tidak dipenuhi maka kolom pada hubungan balok-kolom tersebut harus direncanakan dengan memberikan tulangan transversal seperti ditentukan dalam 23.4(4(1)) sampai dengan 23.4(4(3)) yang dipasang di sepanjang tinggi kolom.

3) Tulangan memanjang

(1) Rasio penulangan ρ_g tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06.

(2) Sambungan mekanis harus sesuai 23.2(6) dan sambungan las harus sesuai 23.2(7). Sambungan lewatan hanya diizinkan di lokasi setengah panjang elemen struktur yang berada ditengah, direncanakan sebagai sambungan lewatan tarik, dan harus diikat dengan tulangan spiral atau sengkang tertutup yang direncanakan sesuai dengan 23.4(4(2)) dan 23.4(4(3)).

4) Tulangan transversal

(1) Ketentuan mengenai jumlah tulangan transversal di bawah ini harus dipenuhi kecuali bila ditentukan jumlah tulangan yang lebih besar berdasarkan 23.4(3(1)) atau 23.4(5).

a) Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin, ρ_s , tidak boleh kurang daripada yang ditentukan persamaan 122 berikut ini:

$$\rho_s = 0,12 f'_c / f_{yh} \quad (122)$$

dan tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada persamaan 27

b) Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada persamaan 123 dan 124 berikut ini:

$$A_{sh} = 0,3 (sh_c f'_c / f_{yh}) [(A_g / A_{ch}) - 1] \quad (123)$$

$$A_{sh} = 0,09 (sh_c f'_c / f_{yh}) \quad (124)$$

c) Tulangan transversal harus berupa sengkang tunggal atau tumpuk. Tulangan pengikat silang dengan diameter dan spasi yang sama dengan diameter dan spasi sengkang tertutup boleh dipergunakan. Tiap ujung tulangan pengikat silang harus terkait pada tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk kait ujungnya. Lihat Gambar 42.

d) Bila kuat rencana pada bagian inti komponen struktur telah memenuhi ketentuan kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa maka persamaan 123 dan 27 tidak perlu diperhatikan.

e) Bila tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekanng melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan perlu dipasang dengan spasi tidak melebihi 300 mm. Tebal selimut di luar tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 100 mm.

23.4(5). Spasi maksimum antar sengkang di sepanjang tinggi kolom adalah s_o , dimana s_o tidak boleh melebihi 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil, dan 150 mm.

(3) Komponen struktur dengan gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi melebihi $0,35P_o$ harus memenuhi ketentuan 23.9(2(2)) dan jumlah tulangan transversal yang disediakan tidak kurang daripada setengah yang disyaratkan oleh ketentuan 23.4(4(1)) dan spasinya tidak lebih daripada s_o pada seluruh bentangnya.

3) Apabila momen atau lintang akibat perpindahan rencana pada 23.9(1) melampaui kuat lentur atau geser rencana komponen struktur tersebut, atau apabila momen atau lintang akibat perpindahan rencana tidak dihitung maka ketentuan-ketentuan 23.9(3(1)), 23.9(3(2)) dan 23.9(3(3)) harus dipenuhi.

(1) Material harus memenuhi ketentuan 23.2(4) dan 23.2(5). Sambungan mekanis harus memenuhi 23.2(6) dan sambungan las harus memenuhi 23.2(7(1)).

(2) Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang tidak melebihi $(A_g f'_c / 10)$, harus memenuhi ketentuan 23.3(2(1)) dan 23.3(4). Spasi sengkang di seluruh panjang komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$.

(3) Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi yang melebihi $(A_g f'_c / 10)$, harus memenuhi ketentuan pada 23.4(4), 23.4(5), dan 23.5(2(1)).

23.10 Ketentuan-ketentuan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

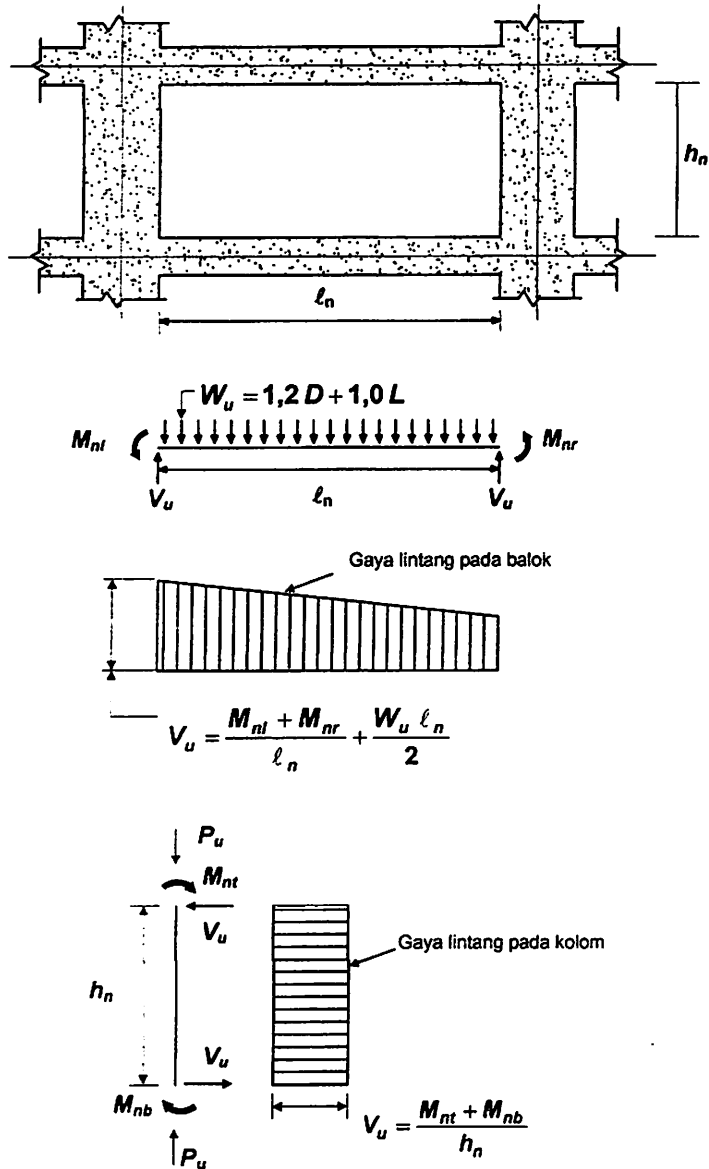
1) Ketentuan pada pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah.

2) Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan 23.10(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $(A_g f'_c / 10)$. Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi $(A_g f'_c / 10)$, maka 23.10(5) harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan 27. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi 23.10(6).

3) Kuat geser rencana balok, kolom, dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

(1) Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor (lihat Gambar 47), atau

(2) Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahap gempa.



Gambar 47 Gaya lintang rencana untuk SRPMM

4) Balok

(1) Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.

(2) Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a) $d/4$,
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- c) 24 kali diameter sengkang, dan
- d) 300 mm.

(3) Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

5) Kolom

(1) Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang ℓ_0 dari muka hubungan balok-kolom adalah s_0 . Spasi s_0 tersebut tidak boleh melebihi:

- a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- b) 24 kali diameter sengkang ikat,
- c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan
- d) 300 mm.

Panjang ℓ_0 tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,
- b) Dimensi terbesar penampang kolom, dan
- c) 500 mm.

(2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 s_0$ dari muka hubungan balok-kolom.

(3) Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi 13.11(2).

(4) Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 s_0$.

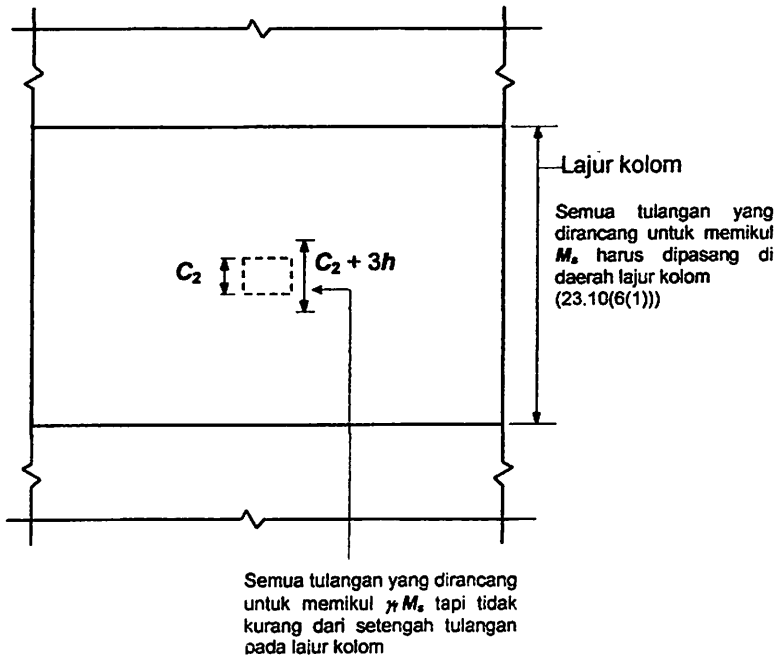
6) Pelat dua arah tanpa balok

(1) Momen pelat terfaktor pada tumpuan akibat beban gempa harus ditentukan untuk kombinasi beban yang didefinisikan pada persamaan 6 dan 7. Semua tulangan yang disediakan untuk memikul M_s , yaitu bagian dari momen pelat yang diimbangi oleh momen

tumpuan, harus dipasang di dalam lajur kolom yang didefinisikan dalam 15.2(1). Lihat Gambar 47.

(2) Bagian dari momen M_s yang ditentukan oleh persamaan 89 harus dipikul oleh tulangan yang dipasang pada daerah lebar efektif yang ditentukan dalam 15.5(3(2)).

(3) Setidak-tidaknya setengah jumlah tulangan lajur kolom di tumpuan diletakkan di dalam daerah lebar efektif pelat sesuai 15.5(3(2)).



Catatan: Ketentuan ini berlaku untuk tulangan atas dan bawah.

(Lihat pasal 15 untuk notasi)

Gambar 48 Lokasi tulangan pada konstruksi pelat dua arah

(4) Paling sedikit seperempat dari seluruh jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan harus dipasang menerus di keseluruhan panjang bentang.

(5) Jumlah tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang daripada sepertiga jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan.

(6) Setidak-tidaknya setengah dari seluruh tulangan bawah di tengah bentang harus diteruskan dan diangkur hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan sesuai 15.6(2(5)).

(7) Pada tepi pelat yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada daerah tumpuan harus dipasang sedemikian hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan sesuai 15.6(2(5)). Lihat Gambar 49.

23.4(5). Spasi maksimum antar sengkang di sepanjang tinggi kolom adalah s_o , dimana s_o tidak boleh melebihi 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil, dan 150 mm.

(3) Komponen struktur dengan gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi melebihi $0,35P_o$ harus memenuhi ketentuan 23.9(2(2)) dan jumlah tulangan transversal yang disediakan tidak kurang daripada setengah yang disyaratkan oleh ketentuan 23.4(4(1)) dan spasinya tidak lebih daripada s_o pada seluruh bentangnya.

3) Apabila momen atau lintang akibat perpindahan rencana pada 23.9(1) melampaui kuat lentur atau geser rencana komponen struktur tersebut, atau apabila momen atau lintang akibat perpindahan rencana tidak dihitung maka ketentuan-ketentuan 23.9(3(1)), 23.9(3(2)) dan 23.9(3(3)) harus dipenuhi.

(1) Material harus memenuhi ketentuan 23.2(4) dan 23.2(5). Sambungan mekanis harus memenuhi 23.2(6) dan sambungan las harus memenuhi 23.2(7(1)).

(2) Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang tidak melebihi $(A_g f'_c / 10)$, harus memenuhi ketentuan 23.3(2(1)) dan 23.3(4). Spasi sengkang di seluruh panjang komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$.

(3) Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi yang melebihi $(A_g f'_c / 10)$, harus memenuhi ketentuan pada 23.4(4), 23.4(5), dan 23.5(2(1)).

23.10 Ketentuan-ketentuan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

1) Ketentuan pada pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah.

2) Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan 23.10(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $(A_g f'_c / 10)$. Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi $(A_g f'_c / 10)$, maka 23.10(5) harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan 27. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi 23.10(6).

3) Kuat geser rencana balok, kolom, dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

(1) Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor (lihat Gambar 47), atau

DAFTAR NOTASI

$BJTP$ = Baja Tulangan Polos

ρ = Rasio volumetrik tulangan

ρ_{fm} = 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 sengkang 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 persegi yang terkekang tulangan sengkang (mm^2)

A_{cfm} = Luas penampang beton kolom persegi yang terkekang *fine mesh* (mm^2)

A_{sh} = Luas tulangan sengkang BJTP (mm^2)

s = Spasi tulangan sengkang BJTP (mm)

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

hc = Penampang beton kolom yang terkekang dari sumbu ke sumbu sengkang (mm)

$h'c$ = Penampang beton kolom yang terkekang dari sisi luar sengkang (mm)

$hcfm$ = Penampang beton kolom yang terkekang dari sumbu ke sumbu *fine mesh* (mm)

$h'cfm$ = Penampang beton kolom yang terkekang dari sisi luar *fine mesh* (mm)

- ε_c = Regangan beton
 f'_x = Tegangan kekang efektif arah x penampang (MPa)
 f'_y = 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, $K_e = 0,95$
 f'_{cc} = Kuat tekan beton terkekang (MPa)
 ε_{c0} = Regangan beton tidak terkekang pada saat tegangan maksimum
 ε'_{cc} = Regangan beton terkekang pada saat tegangan maksimum
 ε'_{cu} = Regangan beton ultimit
 ε_{sm} = Regangan baja tulangan pada tegangan tarik maksimum
 ε_{cm} = regangan beton terkekang maksimum
 E_s = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
 E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
 n = Perbandingan Modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton
 A_s = Luas total tulangan longitudinal (mm^2)
 $A_{s_{fm}}$ = Luas penampang *fine mesh* (mm^2)
 K = Rasio kuat tekan beton terkekang



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

PENELITIAN "efektifitas fine mesh sebagai confinement dan retrofitting kolom persegi \varnothing 25 beton bertulang terhadap kekuatan (f'_{cc}) dan regangan (ϵ'_{cc})"

Nama : M. Imam Dika Wahyuono
Nim : 06.21.020
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Pembimbing : Ir. Togi H. Nainggolan, MS

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	2/7-11	Lanjutan persiapan di Lab	
	11/7-11	Lanjutan pembuatan Mix Design	
	14/7-11	hit volume camp benda uji (silinder) + volume kerolan (Rauk. Camp.) Ace A	
	5/8-11	Lanjutan hasil analisa persiapan benda uji	
	19/8-11	keputusan hasil	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
 Jl. Bendungan Sigura-gura 2
 Jl. Raya Karanglo Km. 2
 Malang

SEMINAR HASIL SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG _____

Nama : M. IMAM DIKA WATYUNO

NIM : 0621 020

Hari / tanggal : Senin, 22-8-2011

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

*dan cek ke Hsi teknik & Exper
 karyanya*

AR

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, 23 - 8 - 2011

Dosen Pembahas

[Signature]

(_____)

Malang, 22 - 8 - 2011

Dosen Pembahas

[Signature]

(_____)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
 Jl. Bendungan No. 2
 Jl. P.

SEMINAR HASIL SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG _____

Nama : M. Imam Dika Wahyu 020
 NIM : 0621020
 Hari / tanggal : Senin, 22-11-'11

Perbaiki materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- Cele. mutu beton yg dijabari untuk menghitung secara teoritis sama dgn experiment

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi harus dilaksanakan Seminar. Bila melebihi 14 hari, maka diambilnya 14 hari terhitung sejak diikutkan Ujian Skripsi.

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi harus dilaksanakan Seminar. Bila melebihi 14 hari, maka diambilnya 14 hari terhitung sejak diikutkan Ujian Skripsi.

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 23-11-2011
 Dosen Pembahas

22-11-2011
 Dosen Pembahas





FORM REVISI / PERBAIKAN
 BIDANG Penelitian

Nama : M. Imam. Dika Wahyuono.
 NIM : 06.21.020
 Hari / tanggal : Kamis / 25-08-2011.

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- kata kunci di perbaiki penulisan & penulisan kata
- Jumlah kata pada abstrak disesuaikan dg aturan
- pelajaran teori dan hitungan teoritis. (Sempurnakan isi hitungan teoritis)
- perbaiki kesimpulan dan saran

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, 08/09 - 2010
 Dosen Penguji

[Signature]
 ()

Malang, 25-08 - 2011
 Dosen Penguji

[Signature]
 (Yosman Maraha.)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
 Jl. Bendungan Sigura-gura 2
 Jl. Raya Karanglo Kra. 2
 Malang

UJIAN SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG _____

Nama : _____

NIM : _____

Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

judul & rumus y. dan y. & ke

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

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2010
 Dosen Penguji

Malang, _____ 2014
 Dosen Penguji

(_____)

(_____)